

# ЗБОРНИК РАДОВА PROCEEDINGS

## ДРУГИ СРПСКИ КОНГРЕС О ПУТЕВИМА

9 и 10 јун 2016.  
Београд, Србија

SECOND SERBIAN ROAD CONGRESS / 9 - 10 June 2016. / Belgrade, Serbia

### Платинасти спонзори



### Генерални покровитељ



Удружење Бословаца путне изградње  
Републике Србије "Пушар"

### Златни спонзори



### Сребрни спонзори



### Бронзани спонзори



# ZNAČAJ I ULOGA GEODETSKIH RADOVA PRI REKONSTRUKCIJI PUTNE INFRASTRUKTURE

## THE SIGNIFICANCE AND ROLE OF GEODETIC WORKS IN RECONSTRUCTION OF ROAD INFRASTRUCTURE

Slobodan Pandžić<sup>1</sup>, Slavoljub Tomić<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Visoka građevinsko-geodetska škola, Hajduk Stankova 2, Beograd, Srbija, slobodanpandzic@vggs.rs

<sup>2</sup>Visoka građevinsko-geodetska škola, Hajduk Stankova 2, Beograd, Srbija, tomicslavoljub@vggs.rs

**Rezime:** Rekonstrukcija putne infrastrukture se sprovodi po određenoj proceduri u okvirima važeće zakonske regulative. Sve faze realizacije projekata rekonstrukcije putne infrastrukture zahtevaju odgovarajuću geodetsku podršku. Bez nje nije moguća izrada neophodne tehničke dokumentacije, kao ni sama realizacija projekata, što jasno ukazuje na značaj geodetskih radova na ovakvim projektima. Da bi geodetska podrška bila na zahtevanom nivou u pogledu tačnosti i dinamike radova, neophodno je da bude definisana odgovarajućim projektnim zadacima. Pri definisanju projektnih zadataka za izradu geodetskog dela tehničke dokumentacije, zbog nedovoljne usklađenosti Zakona o planiranju i izgradnji i Zakona o državnom premeru i katastru, dolazi do nepotrebne konfuzije u definisanju poslova i nadležnosti. Navedeno zahteva da se posebna pažnja posveti pravovremenom i sveobuhvatnom planiranju svih geodetskih aktivnosti. U radu je dat pregled svih geodetskih radova na realizaciji projekata rekonstrukcije putne infrastrukture sa posebnim komentarima u vezi tehničke kontrole nad izvođenjem tih radova, kao i predlozi u cilju unapređenja njihove efikasnosti.

**Ključne reči:** Rekonstrukcija puteva, geodetska podrška, tehnička dokumentacija

**Summary:** Reconstruction of road infrastructure is carried out according to a specific procedure within the framework of existing legislation. All phases of realization of road infrastructure reconstruction projects require adequate geodetic support. Without this support it is not possible to create necessary technical documentation, as well as to realize projects, which clearly indicates the importance of geodetic works for such projects. In order for the geodetic support to be at a required level in terms of accuracy and dynamics of works, it is necessary for it to be defined in the appropriate terms of reference. During defining the terms of reference for preparation of a geodetic part of the technical documentation it comes to unnecessary confusion in defining tasks and responsibilities because of the lack of compliance of the Law on Planning and Construction with the Law on State Survey and Cadastre. This requires special attention to be paid to timely and comprehensive planning of all geodetic activities. The paper gives an overview of all geodetic works on realization of road infrastructure reconstruction projects with special comments on technical control over execution of these works, as well as proposals for improving their efficiency.

**Keywords:** Road reconstruction, geodetic support, technical documentation

### 1. UVOD

Rekonstrukcija putne infrastrukture se obavlja na osnovu odgovarajućih projekata i druge tehničke dokumentacije za čiju izradu su neophodne geodetske podloge, najčešće u formi katastarsko-topografskih planova. Te podloge se izrađuju na osnovu geodetskog snimanja i podataka o katastarskim parcelama. Kao osnova za snimanje služi geodetska mreža (operativni poligon) čije se uspostavljanje mora obaviti pre početka snimanja. Pored izrade geodetskih podloga, učešće geodezije u rekonstrukciji putne infrastrukture je veoma važno i neophodno kod drugih radova, a posebno kod geodetskog obeležavanja projektovanog stanja i geodetskih merenja za potrebe obračuna građevinskih radova, kao i snimanja izvedenog objekta. Može se slobodno reći da rekonstrukcija putne infrastrukture počinje i završava se geodetskim radovima.

---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: slobodanpandzic@vggs.rs

<sup>1</sup>dr, dipl. inž. geod., Visoka građevinsko-geodetska škola, Hajduk Stankova 2, Beograd, Srbija, slobodanpandzic@vggs.rs

<sup>2</sup>dr, dipl. inž. geod., Visoka građevinsko-geodetska škola, Hajduk Stankova 2, Beograd, Srbija, tomicslavoljub@vggs.rs

Osnovu za izradu projekata (tehničke dokumentacije) rekonstrukcije putne infrastrukture čine projektni zadaci koje treba da sastavljaju stručnjaci sa iskustvom i dobrim poznavanjem zakonske regulative koja tretira odgovarajuću oblast. Nažalost, projektnim zadacima za geodetske radove se ne pridaje neophodna pažnja, već se najčešće prepisuju iz drugih projekata, ne prateći izmene zakonske regulative. Do velike konfuzije u izradi projektnih zadataka dolazi i zbog neusklađenosti zakonske regulative, pre svega Zakona o planiranju i izgradnji i Zakona o državnom premeru i katastru. Često se u projektnim zadacima za geodetske radove poziva na normativna rešenja koja se odnose na državni premer, iako se uspostavljanje geodetske osnove i snimanje detalja izvodi za potrebe izrade i realizacije projekata rekonstrukcije putne infrastrukture, koja po tačnosti treba da je na znatno višem nivou.

## **2. FAZE PROJEKTOVANJA I REALIZACIJE PROJEKTA REKONSTRUKCIJE PUTNE INFRASTRUKTURE**

Rekonstrukcija putne infrastrukture se odvija kroz sledeće faze:

### 1. Pripremni radovi:

- uspostavljanje geodetske osnove (geodetske mreže),
- geodetsko snimanje detalja duž zadatog koridora trase,
- izrada odgovarajuće geodetske podloge za potrebe projektovanja (katastarsko-topografskog plana),
- kreiranje digitalnog modela terena (DMT).

### 2. Projektovanje:

- definisanje ose buduće trase sa glavnim elementima (pravcima i krivinama),
- kreiranje uzdužnog profila trase i definisanje nivelete,
- definisanje karakterističnih poprečnih preseka (normalnih profila),
- crtanje poprečnih profila trase,
- definisanje granice putnog pojasa (povlačenje linije eksproprijacije),
- predmer i predračun građevinskih i drugih radova.

### 3. Izvođenje radova:

- izvođenje radova na realizaciji projekta,
- snimanje izvedenog objekta.

Rekonstrukcijom putne infrastrukture najčešće nije obuhvaćena eksproprijacija koja može da se pojavi u manjoj ili većoj meri. Ona se pojavljuje u slučajevima kada pri rekonstrukciji puta treba pomeriti trasu ili u slučaju uređenja trupa puta. Ukoliko je trup puta oštećen ili ugrožen klizištem za njegovu sanaciju je neophodno izvršiti eksproprijaciju.

## **3. PROJEKTNII ZADATAK ZA GEODETSKE RADOVE PRI IZRADI I REALIZACIJI PROJEKTA REKONSTRUKCIJE PUTNE INFRASTRUKTURE**

Generalno, Projektni zadatak za geodetske radove za potrebe projektovanja i realizacije rekonstrukcije putne infrastrukture se sastoji iz četiri glavne celine koje se odnose na:

- geodetsku mrežu (geodetsku osnovu),
- geodetsko snimanje terena (koridora) za potrebe projektovanja rekonstrukcije puta,
- geodetsko obeležavanje projektovanog puta,
- eksproprijaciju ako je neophodna (ovaj deo se radi potpuno odvojeno od ostalih geodetskih radova i čini celinu za sebe, radi se kao posebna knjiga).

U Projektnom zadatku, pored ostalog treba da se navedu i podaci o:

- lokaciji,

- cilju geodetskih radova,
- obliku geodetske osnove (mreže),
- uslovima uspostavljanja geodetske osnove za snimanje terena (maksimalno rastojanje tačaka, dogledanje tačaka, pozicije tačaka u odnosu na trasu, itd.),
- načinu stabilizacije tačaka geodetske osnove,
- tačnosti određivanja koordinata poligonskih tačaka,
- tačnosti određivanja visina poligonskih tačaka,
- uslovima za transformaciju koordinata,
- tačnosti koja se zahteva pri snimanju terena,
- načinu snimanja detalja (rastojanje između profila, širina pojasa snimanja, detalji koji se snimaju),
- načinu obrade podataka snimanja (izrada situacionog plana, formiranje digitalnog modela terena, itd.),
- tačnosti koja se zahteva pri obeležavanju,
- načinu snimanja i obrade podataka izvedenog stanja.

### 3.1. Nedostaci projektnih zadataka koji se odnose na geodetske radove

Izvođenje geodetskih radova za potrebe rekonstrukcije puteva (realizacija geodetske mreže, snimanje i izrada podloga i obeležavanje) u najvećoj meri zavisi od kvaliteta projektnih zadataka. Stručni nadzor nad realizacijom projektnih zadataka je usmeren i ograničen njihovim sadržajem. Sve manjkavosti projektnih zadataka imaju za posledicu loš kvalitet izrade tehničke dokumentacije.

#### 3.1.1. Nedefinisanost potrebne tačnosti koordinata tačaka geodetske mreže

Praksa pokazuje da se u projektnim zadacima za uspostavljanje geodetske mreže (operativnog poligona) najčešće poziva na „Instrukciju za izradu i održavanje geodetske osnove za snimanje detalja“ br. 951-83/96 od 13.01.1997. godine koju je propisao Republički geodetski zavod (RGZ). Prema toj Instrukciji, u članu 64. se pri uspostavi poligonske mreže 1. i 2. reda treba pridržavati pravila da:

- obim poligona mora biti manji od 20 km,
- dužina pojedinih vlakova mora biti manja od 4 km,
- poligonski vlakovi treba da budu po mogućnosti što ispruženiji,
- odnos dužina susednih strana u poligonskoj mreži može biti najviše 1:3,
- dužine poligonskih strana treba da su u granicama 50-500 m, bez obzira na izgrađenost prostora,
- se poligonski vlakovi u istom nivou terena po pravilu ne smeju seći,
- se ne smeju projektovati dugački paralelni vlakovi.

Član 65. ove Instrukcije predviđa izradu projekata poligonske mreže, što se u praksi retko primenjuje. Ako bi se dosledno primenila ova Instrukcija onda bi to značilo obavezu izrade projekata, ali istovremeno i pridržavanje pravila koje dopušta dužinu poligonih strana i do 500 m, što kod operativnih poligona nije dobro rešenje. Takođe, u projektnim zadacima se često poziva na „Uredbu o primeni tehnologije globalnog pozicionog sistema u okviru premera nepokretnosti“ („Službeni glasnik RS“, br. 69/2002). Prema članu 9. te Uredbe, tačnost koordinata tačaka geodetske osnove se izražava ocenom standardne devijacije horizontalnog i vertikalnog položaja tačaka, a koja se dobija postupkom izravnjanja po metodi najmanjih kvadrata. U tabeli 1. su date granične vrednosti tih odstupanja.

**Tabela 1:** Standardna odstupanja koordinata tačaka geodetske mreže

	Standardna odstupanja horizontalnog položaja	Standardna odstupanja vertikalnog položaja
Poligonska mreža 1. reda	15 mm	20 mm
Poligonska mreža 2. reda	25 mm	35 mm

*Izvor: Uredba o primeni tehnologije globalnog pozicionog sistema u okviru premera nepokretnosti*

Ako se uzmu u obzir ovakva standardna odstupanja koordinata tačaka geodetske osnove, onda se ne može očekivati da će se geodetsko obeležavanje izvesti prema zahtevanoj tačnosti koja treba da bude 25 mm po položaju i 5 mm po visini.

Treba napomenuti i to da se projektnim zadacima traži da stručni nadzor nad realizacijom operativnog poligona vrši RGZ, koji uglavnom poštuje propise koji se odnose na uspostavu i održavanje geodetske osnove za potrebe katastra nepokretnosti. To je i ključni problem jer se tačnost koordinata tačaka geodetske mreže za izradu i održavanje katastra nepokretnosti ne može poistovetiti sa tačnošću geodetske mreže za potrebe u inženjersko-tehničkim oblastima.

### 3.1.2. Nedefinisana potreba tačnosti geodetskih podloga

U projektnim zadacima se za izradu dokumentacije u digitalnom obliku najčešće traži poštovanje „Uredbe o digitalnom geodetskom planu“ („Službeni glasnik RS“, br. 15/03, 18/03 i 85/08). Član 23. koji se odnosi na podatke dobijene polarnom metodom snimanja, a kada se za snimanje koriste totalne stanice, propisuje da razlike koordinata tačaka sračunatih direktno na totalnoj stanici i datih koordinata ( $\delta y$  i  $\delta x$ ) moraju biti manje od 0.1 mm u razmeri geodetske podloge.

Ako se uzme u obzir da se projektnim zadacima najčešće traže geodetske podloge u razmeri  $R=1:1000$ , to bi značilo da se toleriše greška u koordinatama tačaka u iznosu od 10 cm. Ovakva tačnost koordinata tačaka nije dovoljna za geodetske podloge koje se koriste za projektovanje. S obzirom da se najčešće projektnim zadacima ne definiše tačnost snimanja detalja, a ako se primeni ova Uredba, tačnost geodetskih podloga za potrebe projektovanja ne bi bila na zadovoljavajućem nivou. Uredbom je data mogućnost da se dozvoljena odstupanja mogu definisati i glavnim projektom, odnosno projektnim zadatkom, tako da njihova apsolutna vrednost ne može biti veća od navedene. Dakle, tačnost geodetskih podloga mora biti definisana projektnim zadacima.

Prema članu 25. tačka 6. Zakona o državnom premeru i katastru, Glavni projekat se izrađuje za potrebe izvođenja geodetskih radova u cilju izrade geodetskih podloga za potrebe raznih vrsta projekata u inženjersko-tehničkim oblastima. Te projekte izrađuje RGZ ili geodetska organizacija na osnovu projektnog zadatka koji obezbeđuje i overava investitor. U istom članu je rečeno da se geodetske podloge za radove manjeg obima i složenosti izrađuju na osnovu projektnog zadatka koji obezbeđuje i overava investitor. Podloge za projektovanje rekonstrukcije putne infrastrukture se ne mogu smatrati podlogama manjeg obima i složenosti. Samim tim se, prema navedenoj odredbi Zakona o državnom premeru i katastru, za izradu geodetskih podloga za ove namene u inženjersko-tehničkim oblastima moraju raditi Glavni projekti.

Takođe, prema članu 27. Zakona o državnom premeru i katastru, Glavni projekat podleže tehničkoj kontroli, koju vrši RGZ ili geodetska organizacija koju odredi investitor, a koja ispunjava uslove iz člana 17. stav 1. ovog Zakona. Prema članu 29. ovog Zakona, stručni nadzor nad izradom geodetskih podloga za potrebe projektovanja u inženjersko-tehničkim oblastima vrši geodetska organizacija koju bira investitor.

## 4. GEODETSKI RADOVI PRI REKONSTRUKCIJI PUTNE INFRASTRUKTURE

Geodetski radovi pri rekonstrukciji putne infrastrukture obuhvataju:

- uspostavljanje geodetske osnove (geodetske mreže),
- geodetsko snimanje trase puta,
- izradu odgovarajuće geodetske podloge za potrebe projektovanja,
- geodetsko obeležavanje projektovanog puta i putnih objekata,
- geodetsko snimanje za obračun građevinskih radova,
- geodetsko snimanje izvedenog objekta.

### 4.1. Uspostavljanje geodetske mreže

Uspostavljanje geodetske mreže (operativnog poligona) ima za cilj da se obezbedi matematička osnova za snimanje postojećeg stanja za potrebe projektovanja, obeležavanja i snimanja izvedenog stanja puta. Geodetska mreža, u položajnom smislu, se realizuje u vidu poligonskog vlaka umetnutog između postojećih trigonometrijskih tačaka. Visine tačaka geodetske mreže se oslanjaju na repere postojeće nivelmanske

mreže. S obzirom da se u praksi najčešće ne rade projekti geodetske mreže, često se koriste trigonometrijske tačke i reperi čija tačnost koordinata i visina ne zadovoljava postavljene kriterijume. Takođe, bez projekta geodetske mreže nije moguć dobar odabir mesta za stabilizaciju tačaka geodetske mreže. Takav pristup nije profesionalan i ne daje garanciju u pogledu kvaliteta mreže koja najčešće već u početnim fazama građevinskih radova bude uništena. Osim fizičkog oštećenja tačaka mreže, postavlja se ozbiljno pitanje tačnosti koordinata i visina tačaka mreže. Takođe, nedostatkom projekta geodetske mreže ostavljena je mogućnost pojave raznih improvizacija pri njenoj realizaciji, što uzrokuje da se pri izvođenju radova javlja niz drugih problema.

Pri realizaciji geodetske mreže treba se pridržavati sledećeg:

- za stabilizaciju tačaka geodetske mreže treba koristiti armirano-betonske stubove (15x15x60 cm) sa precizno definisanim centrom ili metalne bolcne sa rupicom promera 2 mm,
- tačke se stabilizuju van putnog pojasa (po mogućnosti sa iste strane puta) kako bi bile zaštićene od oštećenja ili uništenja u toku izvođenja građevinskih radova,
- rastojanje između tačaka treba da bude od 150 m do 250 m,
- tačke mreže moraju biti stabilizovane najmanje 20 dana pre početka geodetskih merenja u mreži,
- merenja se moraju obavljati prema unapred definisanom planu merenja,
- merenja u mreži moraju biti izravnata i data ocena tačnosti (standardna odstupanje) koordinata tačaka.

#### 4.2. Geodetsko snimanje trase puta

Geodetsko snimanje za potrebe rekonstrukcije puta danas se najčešće realizuje polarnom i GNSS (engl. Global Navigation Satellite System) metodom. Imajući u vidu tačnost koordinata i visina tačaka koju postiže GNSS metoda (položajno oko 2 cm, a visinski 3 cm) može se konstatovati da ova metoda nije dostigla traženu tačnost (tačnost obeležavanja od 2.5 cm položajno i visinski 5 mm). Polarna metoda snimanja, za razliku od GNSS metode, obezbeđuje dovoljnu tačnost koordinata i visina detaljnih tačaka uz ograničenje dužine vizure do 120 m. Dakle, za snimanje trase puta treba primeniti polarnu metodu snimanja ili GNSS uz nivelanje asfalta.

Snimanje treba obaviti po profilima na definisanom rastojanju. Nivo detaljnosti snimanja ne zavisi od tražene razmere geodetske podloge, već isključivo mora biti definisan Projektnim zadatkom. Osim snimanja trase puta neophodno je detaljno snimiti i sve putne objekte. Veoma je važno da u ekipu za snimanje bude uključeno i lice koje će obrađivati podatke (kreirati geodetsku podlogu).

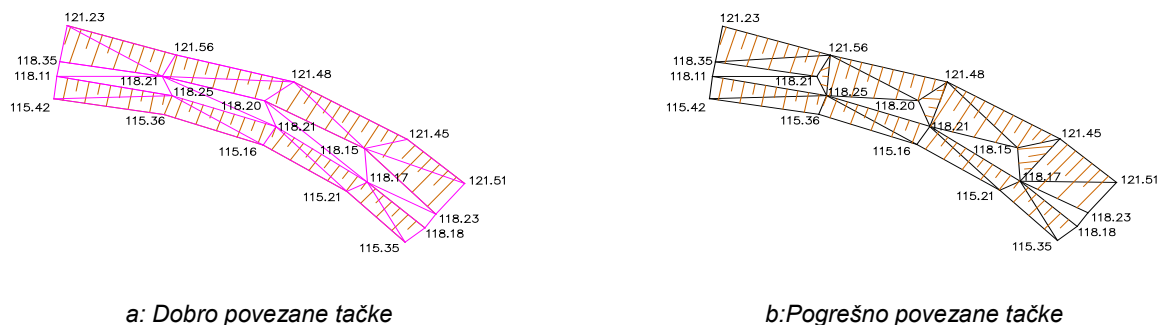
#### 4.3. Izrada geodetske podloge za potrebe projektovanja rekonstrukcije puta

S obzirom na nivo razvoja merne i računarske opreme, izrada geodetskih podloga je značajno olakšana, a izbegnute su i mnoge greške poput greške kartiranja, spajanja detalja, itd. Imajući u vidu da se danas geodetske podloge za projektovanje izrađuju u digitalnom obliku, njihov sadržaj i nivo detaljnosti je značajno promenjen u odnosu na analogne podloge. Prednost ovakvih geodetskih podloga se naročito ogleda u mogućnosti dobre organizacije podataka i raslojavanja detalja. Ograničavajući faktor u količini sadržaja kod analognih planova je bila razmera, dok to danas nije slučaj. Geodetske podloge se izrađuju u CAD tehnici primenom gotovih računarskih programa. Najčešće se za izradu podloga koristi AutoCAD, ali je svrsishodnije podlogu kreirati primenom programskog paketa koji će biti korišćen pri projektovanju. Razlog za to leži u činjenici da svi programski paketi koriste svoje interne baze podataka koje se odnose na merenja i njihovu obradu. Izrada geodetske podloge se obavlja sledećim redosledom:

- kartiranje tačaka,
- spajanje tačaka (kreiranje detalja),
- dodeljivanje odgovarajućih znakova po topografskom ključu i
- kreiranje digitalnog modela terena (DMT).

Što se tiče kartiranja tačaka, ono se obavlja automatski nakon transfera tačaka iz mernog instrumenta u računar. Spajanje detalja, u zavisnosti od toga kako su tačke iskartirane, može biti prostorno ili u ravni XOY, a obavlja se prema skici snimanja detalja. Mnogi programi omogućavaju i automatsko topografisanje detaljnih tačaka dodajući simbole prema kodu (opisu) tačke.

Pored kreiranja detalja u prostoru, za potrebe projektovanja neophodno je da geodetska podloga sadrži i DMT snimljenog detalja. Kreiran DMT se obično predstavlja kao TIN (engl. Triangulated Irregular Network) strukturom ili izohipsama. Ako se ima u vidu prirodna složenost snimljenog terena, može se zaključiti da formiranje DMT-a nije nimalo jednostavan posao i da taj posao mora obavljati stručno lice koje razume matematičku logiku i prirodu formiranja modela terena. Najbolje je da kreiranje DMT obavlja lice koje je učestvovalo u snimanju terena. Pri kreiranju DMT-a mora se voditi računa o međusobnom povezivanju tačaka. Na primer, pogrešno spojene tačke TIN-a (Sl. 1.1b) neminovno dovode do pogrešnog DMT-a, a samim tim i do grešaka pri projektovanju i obračunu zapremine.



**Slika 1. Kreiranje TIN-a**

Izvor: knjiga Inženjerska geodezija

U cilju sagledavanja imovinsko-pravnog stanja, na geodetskoj podlozi mora biti prikazano i katastarsko stanje koje se preuzima od nadležne službe za katastar nepokretnosti. Nadležna služba za katastar nepokretnosti izdaje tražene podatke u vidu digitalnih planova prikazanih u vektorskom ili rasterskom obliku. Pri izdavanju katastarskih planova u rasterskom obliku moraju se izdati i podaci o parametrima za njihovo georeferenciranje. Problem rasterskog oblika katastarskih planova je u tome što će, bez obzira na jedinstvenost georeferenciranja, lica koja koriste te podloge za iste tačke očitati različite koordinate. To može da ima ozbiljne posledice u obračunu površina parcela pa se u tom slučaju moraju preuzeti originalni podaci premera.

#### 4.4. Geodetsko obeležavanje projektovanog puta i putnih objekata

Za potrebe geodetskog obeležavanja projektovane rekonstrukcije puta neophodno je da se uradi projekat geodetskog obeležavanja. Taj projekat, pored ostalog, treba da sadrži:

- skicu geodetske mreže (topografska karta sa ucrtanim položajem tačaka geodetske mreže),
- položajni opis tačaka mreže sa približnim koordinatama tačaka,
- spisak koordinata i visina tačaka geodetske mreže sa njihovom ocenom tačnosti,
- spisak koordinata i visina tačaka ose puta, leve i desne ivice kolovoza kao i ostalih detalja u profilu puta,
- spisak koordinata i visina tačaka za detaljno obeležavanje putnih objekata,
- skicu obeležavanja tačaka trase puta i putnih objekata,
- proračun tačnosti obeležavanja,
- izbor instrumenata i metode obeležavanja,
- opis načina obeležavanja i kontrole tačnosti obeleženih položaja tačaka,
- predmer i predračun radova.

U zavisnosti od toga da li se radi o rekonstrukciji puta ili izgradnji novog, geodetska obeležavanja kao što su obeležavanje širokog iskopa, nasipa, useka, slojeva kolovozne konstrukcije, ivičnjaka, rigole, itd. se često ponavljaju. Osim ovih obeležavanja, geodeta obeležava i druge putne objekte kao što su: kanali, propusti, nadvožnjaci, podvožnjaci, mostovi, tuneli i dr. Za položajno obeležavanje karakterističnih tačaka definisanih projektom, uglavnom se primenjuje polarna ili GNSS metoda. Visinsko obeležavanje slojeva puta (konstrukcije) mora da se izvodi geometrijskim nivelmanom.

U praksi se najčešće ne radi predmer i predračun geodetskih radova, već se ta pozicija iskazuje paušalno. To stvara značajne probleme kod sveobuhvatnog sagledavanja obima i složenosti geodetskih radova. Takođe, to ne odražava ni njihov značaj za realizaciju celokupnog projekta rekonstrukcije puta. Zbog toga je neophodno da se geodetski radovi, posebno u fazi obeležavanja detaljno specificiraju i sačini njihov predmer i predračun.

#### 4.5. Geodetsko snimanje za potrebe obračuna građevinskih radova

Osnovu za obračun izvršenih građevinskih radova predstavlja snimak tzv. „nultog“ stanja koji treba usaglasiti sa geodetskom podlogom koja je korišćena za izradu projekta. Ukoliko postoji odstupanje snimljenog „nultog“ stanja od stanja datog u projektu ono se konstatuje. Novo, usaglašeno stanje služi kao polazna osnova za obračun izvršenih građevinskih radova (iskopa i nasipa). Navedeno „nulto“ stanje je validno samo ako ga je prihvatio geodetski nadzor nad izvođenjem radova.

Pozicije iz projekta koje se geodetski snimaju u cilju obračuna građevinskih radova su:

- površina skidanja humusa,
- površina obrade podtla,
- zapremina iskopa,
- zapremina nasipa,
- zapremina zamene materijala,
- količina ugrađenih građevinskih materijala (kod konstrukcije puta),
- količine ugrađenih ivičnjaka i rigola, itd.

Rezultati snimanja i obračuna količina se zapisnički predaju geodetskom nadzoru. Naredna pozicija građevinskih radova se može započeti samo ako je prethodna prihvaćena od strane nadzora.

#### 4.6. Geodetsko snimanje izvedenog objekta

Geodetski snimci svih izvedenih preseka stanja počevši od „nultog“ pa do završetka izgradnje puta predstavljaju važne podatke za izradu projekta izvedenog objekta. Kada je izgradnja puta završena, snima se konačno izvedeno stanje koje je neophodno za tehnički prijem tog puta i eventualno evidentiranje promena u katastru nepokretnosti.

### 5. TEHNIČKA KONTROLA PROJEKATA GEODETSKIH RADOVA

Tehnička dokumentacija na osnovu koje se izvode geodetski radovi mora da bude urađena u skladu sa važećom zakonskom regulativom koja se odnosi na geodetske radove u inženjersko-tehničkim oblastima. Zbog nedovoljne usklađenosti Zakona o državnom premeru i katastru sa Zakonom o planiranju i izgradnji i nedostatka pratećih pravilnika koji bi uredili ovu oblast, javljaju se brojni problemi pri izradi tehničke dokumentacije i realizaciji geodetskih radova. Veliki problem u kontroli tehničke dokumentacije predstavlja to što se, prema projektnim zadacima, prepliću nadležnosti RGZ i vršioca tehničke kontrole. U projektnim zadacima se traži da stručni nadzor nad realizacijom operativnog poligona vrši RGZ koji primenjuje propise date u „Instrukciji za izradu i održavanje geodetske osnove za snimanje detalja“. Problem nastaje kada vršilac tehničke kontrole Projekta geodetskih radova, čiji je sastavni deo i Elaborat o realizaciji operativnog poligona, konstatuje da tačnost koordinata tačaka operativnog poligona nije na zadovoljavajućem nivou, a prema ovoj Instrukciji zadovoljava potrebe državnog premera. Ukoliko bi se u projektnim zadacima definisala potrebna tačnost koordinata tačaka operativnog poligona onda bi se izbegao problem različitog pristupa pri vršenju tehničke kontrole.

### 6. ZAKLJUČAK

Projektnim zadacima za geodetske radove na rekonstrukciji putne infrastrukture treba posvetiti posebnu pažnju i treba da ih izrađujuiskusni stručnjaci. U njima treba da budu definisani svi geodetski radovi koji se odnose na izradu tehničke dokumentacije i realizaciju projekata. Naročito, mora biti definisana tačnost geodetske osnove, snimanja detalja i obeležavanja projektovanog objekta. Takođe, treba izbeći pozivanje na pojedine odredbe zakonske regulative koje ostavljaju mogućnost pojave raznih improvizacija i za posledicu mogu imati loš kvalitet geodetske osnove i geodetskih podloga.

U cilju kvalitetnijeg uspostavljanja geodetske mreže, neophodno je da se pre njene realizacije izradi odgovarajući Projekat geodetske mreže.



S obzirom da se danas isključivo koriste digitalne geodetske podloge, pri izradi Projektnog zadatka ne treba da se definiše razmera snimanja, već nivo detaljnosti snimanja kao i način prezentovanja snimljenog detalja.

Neophodno je istrajati u nastojanju da se projektima geodetskih radova obavezno rade predmer i predračun geodetskih radova jer se jedino na taj način može prikazati njihov obim, količina i troškovi koji ih prate.

Treba da se uvaži odredba Zakona o državnom premeru i katastru, da RGZ više ne vrši overu geodetskih podloga za potrebe projektovanja u inženjersko-tehničkim oblastima, već da to obavlja odgovarajuća geodetska organizacija, kao i da nadzor nad tim radovima vrši geodetska organizacija koju bira investitor.

Izborom iskusnih lica za nadzor nad izradom geodetskih podloga za potrebe projektovanja stvaraju se dobri preduslovi da te podloge budu kvalitetno urađene. Stoga je u projektnom zadatku potrebno naglasiti da odgovarajuće geodetske podloge mora overiti ne samo onaj ko ih je izradio, već i geodetski nadzor.

## Literatura

- [1] Pandžić, S., Pandžić, J., Inženjerska geodezija, Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd, (2015).
- [2] Zakon o državnom premeru i katastru („Sl. glasnik RS“, br. 72/2009, 18/2010, 65/2013, 15/2015 - Odluka US RS i 96/2015  
[http://www.paragraf.rs/propisi/zakon\\_o\\_drzavnom\\_premeru\\_i\\_katastru.html](http://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_drzavnom_premeru_i_katastru.html)  
(25.03.2016.)
- [3] Instrukcija za izradu i održavanje geodetske osnove za snimanje detalja br. 951-83/96 od 13.01.1997. godine koju je propisao Republički geodetski zavod  
[http://www.rgz.gov.rs/web\\_preuzimanje\\_datotetka.asp?FileID=283](http://www.rgz.gov.rs/web_preuzimanje_datotetka.asp?FileID=283)  
(25.03.2016.)
- [4] Uredba o digitalnom geodetskom planu („Sl. glasnik RS“, br. 15/03, 18/03 i 85/08)  
<http://www.mgsi.gov.rs/sites/default/files/UREDBA%20%20DIGITALNOM%20GEODETSKOM%20PLANU.pdf>  
(25.03.2016.)
- [5] Uredba o primeni tehnologije globalnog pozicionog sistema u okviru premera nepokretnosti („Sl. glasnik RS“, br. 69/2002)  
[http://www.podaci.net/\\_gSRB/propis/Uredba\\_o\\_primeni/U-ptgps03v0269.html](http://www.podaci.net/_gSRB/propis/Uredba_o_primeni/U-ptgps03v0269.html)  
(25.03.2016.)

**20160104004\_T1\_Pandžić\_Značaj i uloga geodetskih radova pri rekonstrukciji putne infrastrukture.doc.**

# UZ BIM TEHNOLOGIJU DO UČINKOVITIJE I JEFTINIJE GRADNJE INFRASTRUKTURNIH OBJEKATA

**Dipl.inž.građ. Matjaž Šajn**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CGS plus d.o.o. Brnčičeva ulica 13, 1000 Ljubljana, Slovenija, matjaz.sajn@cgspplus.si

**Dipl.inž.građ. Andrej Kogovšek**

CGS plus d.o.o. Brnčičeva ulica 13, 1000 Ljubljana, Slovenija, andrej.kogovsek@cgspplus.si

**Dipl.org. menadž. Aleš Korbar**

CGS plus d.o.o. Brnčičeva ulica 13, 1000 Ljubljana, Slovenija, ales.korbar@cgspplus.si

**Rezime:** U radu opisujemo BIM (Building Information Modeling) tehnologiju, koja predstavlja odgovor na pitanje, na koji način što učinkovitije i jeftinije graditi infrastrukturne objekte u otežanim ekonomskim uslovima. Važno je znati da učinkovitijom informatizacijom i razmenom podataka tokom projektovanja, gradnje i održavanja odnosno upravljanja objektima možemo postići veću produktivnost, uštedu vremena, smanjenje grešaka, postići veći kvalitet i na taj način smanjiti troškove. U razvijenim zemljama, kao npr. SAD-u, Velikoj Britaniji i skandinavskim zemljama, primena BIM tehnologije je zakonom propisana.

EU je donela direktivu kojom podržava primenu BIM tehnologije u svim zemljama članicama i najavljuje obavezu zakonsku primenu. U radu su predstavljena iskustva uvođenja BIM tehnologije u svetu i Sloveniji i predloženo, kako da se srpski građevinski sektor što pre uključi u te procese, čime bi bio konkurentniji u traženju novih poslovnih mogućnosti u Srbiji i inostranstvu.

**Ključne reči:** BIM, Building Information Modeling, infrastruktura, tehnologija, efikasnost, brzina, cena gradnje, optimizacija procesa rada, preliminarno planiranje, projektovanje, gradnja, održavanje.

## 1. UVOD

BIM (Building Information Modeling) je odgovor na brojna pitanja koje donose novi, teži ekonomski uslovi; kako racionalizovati gradnju i održavanje objekata uz istovremeno povećanje kvaliteta. BIM predstavlja sledeći veliki korak u informatizaciji radnih procesa u građevinarstvu, nakon što smo pre 25 godina prešli s olovke, papira i „lenjira“ na CAD sisteme. Za razliku od tadašnjeg koraka, današnji je zahtevniji i sveobuhvatniji. Uvođenje BIM tehnologije ne znači samo investicija u opremu i znanje, već je potrebno menjati i radne procese tokom projektovanja, gradnje i održavanja, te ih međusobno povezati. Informaciona tehnologija je razvojem interneta i mobilnih uređaja izbrisala fizičke granice. Posao će dobiti najsposobniji bez obzira na geografsku udaljenost.

## 2. SVETSKA ISKUSTVA U UVOĐENJU BIM TEHNOLOGIJE

Modernizaciju građevinskog sektora uz podršku informacionih tehnologija, bi trebala da podrži i sama vlada odnosno država. Države u kojima je BIM tehnologija već ozvaničena i uvedena su planirale i izdvojile finansijska sredstva za potrebe uvođenja te tehnologije.

Na drugom evropskom BIM susredu u Barseloni - European BIM Summit, februar 2016, objavljeno je da će Francuska izdvojiti 20 miliona evra za promene i unapređenja u oblasti industrijske digitalizacije, te izgradnju 500.000 objekata do 2017. godine. Finska je od 1997. godine do sada uložila 40 miliona evra. A Nemačka će do 2020. izdvojiti 2,7 milijarde evra, kako bi osigurala izvođenje velikih pilot projekata na području BIM-a. Naravno, uloga države nije samo da obezbedi finansijsku podršku za prelazak na novi način rada, već i da obezbedi i usaglasni odgovarajuće propise za primenu BIM-a.

U tome svakako prednjači Velika Britanija, koja je već najavila obavezu upotrebu 3D BIM tehnologije za sve projekte koji se finansiraju od strane države. Državni projekti u Velikoj Britaniji predstavljaju oko 40% celokupne investicije u građevinarstvu i zapravo to je razlog zašto tako snažno i posvećeno uvode BIM tehnologije. Stav britanske vlade je da je BIM prva ozbiljna globalna tehnologija za digitalnu gradnju, koja će biti uskoro u upotrebi širom sveta. To je „game changer“ tehnologija i moramo biti svesni da je već tu i da će ostati.

Velika Britanija, kao najnaprednija evropska država na području implementacije BIM-a, ove godine će postati takođe i prva „BIM država“ i to zvanično od 4. aprila 2016. kada počinje i zvanično da važi obaveza upotrebe BIM-a na nivou 2 (Level 2) za sve projekte koji se finansiraju od strane države.

---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: matjaz.sajn@cgspplus.si

Od tog datuma će korisnicima biti dostupna i nova internet stranica [www.level2BIM.org](http://www.level2BIM.org), gde će biti objavljena sva potrebna dokumentacija, smernice i ostali materijali za obezbeđenje BIM Level 2. Ova internet stranica će u budućnosti biti takođe i referentna tačka, gde će biti sabrana sva dokumentacija.

Za projekte finansirane od strane države posle tog datuma, za svaki ugovor moraće biti i tačno definisan EIR (Employers Information Requirements) dokument.

U 2016. za Veliku Britaniju je važan još jedan datum, a to je 3. oktobar 2016, od kada će i svim vladinim sektorima biti omogućeno elektronsko potvrđivanje BIM projekata.

Takođe i u SAD-u je prisutna svesnost o važnosti BIM-a kao nove tehnologije pri planiranju, gradnji i održavanju objekata. Američka revija McGraw-Hill Construction je već 2012. godine objavila rezultate analize tržišta vezano za korišćenje BIM tehnologije u SAD-u, u kojoj stoji:

- 46% anketiranih preduzeća s područja niskogradnje je već 2012. godine aktivno koristilo BIM tehnologiju, dok je 2010. godine taj udeo bio samo 27%,
- 67% svih korisnika BIM tehnologije iskazuje pozitivnu ROI vrednost investicije u BIM tehnologiju,
- 58% korisnika BIM tehnologije iskazuje manje potrebe za izmenama i popravkama na projektima,
- 48% iskazuje poboljšanje kvaliteta projekata.

Kao u Velikoj Britaniji, gde je vlada postavila jasan cilj uvođenja BIM-a i sve to podržala sa odgovarajućim propisima, mi bi želeli da se to desi i kod nas.

EU je 26.02.2014. prihvatila direktivu 2014/24EU, a koja će u toku 2016. godine stupiti na snagu. Preduzeće CGS plus je za te izazove već spremno i zajedno sa američkom firmom Autodesk možemo ponuditi primenljiva programska rešenja.

### 3. ŠTA JE BIM?

Skraćenica BIM znači Building Information Modeling (digitalni informacioni model objekta). Radi se o tehnologiji koja povezuje objekte (Building), podatke (Information) i modeliranje (Modeling). To je proces stvaranja i upravljanja podacima o objektu tokom njegovog postojanja. BIM nije računarski program, koji omogućuje izradu i upravljanje tehničkom dokumentacijom. BIM nije ni skup programa koji to omogućavaju. BIM je proces koji povezuje sve učesnike u projektovanju, gradnji i upravljanju odnosno održavanju koji uz pomoć odgovarajuće programske opreme i znanja vrše izradu i upravljanje sa tehničkom dokumentacijom.

Podaci nastali BIM procesom sadrže detaljne informacije. Ne radi se više o 2D crtežima ili 3D modelu, iz kojih možemo dobiti geometrijske informacije ili u najboljem slučaju površine i zapremine. Dokumentacija nastala u BIM procesu sadrži detaljne informacije o dimenzijama, komponentama, materijalu i njihovim karakteristikama, mogućnostima, cenama, terminskim komponentama, itd. Možemo reći, da u BIM procesu nastaje pametna tehnička dokumentacija. Radi se o virtualnom modelu, na osnovu kojeg će objekat kasnije biti izgrađen i kojim će se upravljati. Rezultat BIM procesa projektovanja je inteligentna baza podataka, koja sadrži sve potrebne informacije o objektu.

U samoj osnovi BIM procesa je izrada digitalnog modela objekta koji sadrži grafičke i tekstualne podatke o projektovanju objekta, njegovoj izgradnji i na kraju o upravljanju. Ovo su podaci prikupljeni i dostupni svim zainteresovanim u svakom trenutku tokom postojanja objekta. Dokumentacija u BIM procesu nije nikad konačna, već se neprekidno dopunjava izmenama nastalim u pojedinim fazama postojanja objekta.

BIM procesi podrazumevaju usaglašenost sa određenim uslovima. Tehnička dokumentacija mora biti dostupna svima koji su uključeni u projektovanje, gradnju i održavanje objekata. Ne sme se duplirati, jer inače ne možemo očekivati da će promena jednog elementa/podatka uticati na ostalu dokumentaciju. Delovi tehničke dokumentacije moraju imati pored geometrijskih podataka i odgovarajuće atributne podatke za potrebe izrade izveštaja, analiza, simulacija, izrada vremenskih i finansijskih planova gradnje, upravljanja...

### 4. PREDNOSTI

Prednosti korišćenja BIM tehnologije su velike. Naravno, prednosti za različite ciljne grupu učesnika i saradnika tokom postojanja objekta su svakako različite, ali je nesumnjivo da se sa uređenim inteligentnim skupom podataka uključuju svi učesnici u sam proces. Najveće koristi imaju investitori koji zbog dobrog planiranja i analize različitih varijanti projekta u idejnoj fazi dobijaju bolji uvid u socijalne, ekološke i finansijske aspekte, a da ne govorimo o vizuelnoj prezentaciji projekta. Osim toga investitori u fazi izgradnje i kasnijeg upravljanja objektom imaju uvid i kontrolu nad vremenskim (4D) i finansijskim (5D) aspektom projekta i na taj način učinkovito prate svoja ulaganja. A samim tim, projekti se odvijaju i transparentnije.

Prilikom izrade tehničke dokumentacije saradnici lakše i bolje razmenjuju informacije, dokumentacija je usklađena, podaci se nalaze na jednom mestu, smanjuje se mogućnost grešaka, proveravaju se kolizije raznih elemenata i time smanjuju nepotrebni dodatni troškovi i vremenski zastoji u fazi gradnje. Sastavni delovi tehničke dokumentacije su međusobno povezani pa se svaka promena ažurno odražava u izveštajima, analizama itd. što smanjuje greške i skraćuje vreme izrade projekta.

Izvođači imaju bolji uvid nad projektom, tačnije podatke i dostup do svih podataka koji su na gradilištu za njih važni. Istovremeno praćenje radova, materijala koji se koristi i vremena, omogućava kako njima tako i ostalim zainteresovanim bolje praćenje projekta i izvršavanje obaveza.

Upravljanje objektom za koji postoje svi potrebni podaci o projektovanju, izgradnji i uslovima održavanja, znatno je lakše nego kad su ovi podaci nepotpuni ili ih uopšte nema. Tako da oni koje se bave upravljanjem objekata, sve podatke prikupljene u procesu projektovanja i izgradnje objekta, mogu koristiti i uz pomoć odgovarajućeg informacionog sistema lako uređivati i dopunjavati.

## 5. BIM RADNI PROCESI U NISKOGRADNJI

Evo jednog konkretnog primera, kako uspostaviti BIM radni proces uz pomoć postojećih programskih rešenja.

### 5.1. Planiranje

U fazi idejnih rešenja projektantu su potrebni alati, koji će mu omogućiti dinamičku izradu modela uz istovremeni prikaz nastalih promena i novo pozicioniranje infrastrukturnih objekata u prostoru. Fazu idejnog projektovanja ćemo uraditi u programu InfraWorks 360, Autodeskovoj platformi za modeliranje infrastrukturnih objekata. Program podržava razne tipove ulaznih podataka (oblake tačaka, katastar, rasterske podloge, 3D modele...) iz kojih dobijemo model terena i postojeću infrastrukturu. 3D modeliranjem infrastrukturnih objekata (putevi, mostovi, kanalizacija, odvodni kanali) u idejnoj fazi projektovanja dolazimo do kvalitetnijih rešenja i tačnijih studija izvodljivosti, troškova i uticaja na okolinu.



**Slika 1.** Modeliranje infrastrukture u programu InfraWorks 360

### 5.2. Projektovanje

Nakon što je gotovo idejno rešenje, sledi razrada detalja i izrada izvođačke dokumentacije. Projekt ćemo podeliti u faze, u skladu s očekivanim etapama gradnje, odvojeno ćemo obraditi trasu i objekte (tuneli, mostovi). Putne deonice ćemo preneti u program Plateia, u kojem ćemo obraditi situaciju i uzdužne profile u skladu s važećim pravilnicima, iscrtaćemo poprečne profile, izračunati zapremine i pripremiti detaljan 3D model. Idejna rešenja objekata kao što su mostovi, tuneli, kanali, prenosimo u program Revit, u kojem ćemo izraditi detaljne 3D modele, planove oplata i pripremiti ga za analizu konstrukcije. Na osnovi izrađenog 3D

modela i terminskog plana u programu Navisworks možemo izraditi 4D simulaciju, odn. analizu toka gradnje. U programu Navisworks možemo izvršiti i analizu kolizija pojedinih elemenata 3D modela i kontrolu izvodljivosti i optimizovati terminski plan. Svaki element 3D modela ima osim geometrijskih informacija i pripadajuće podatke o tipu elementa, materijalu i sl. Ti podaci nam služe za pripremu izveštaj o materijalima i troškovima, odnosno za predmer i predračun radova.

### 5.3. Gradnja

2D nacрте i 3D modele snimamo u Autodesk 360, internet portal, gde možemo čuvati sve datoteke projekta, koje će tako biti na raspolaganju saradnicima. Internet portal nam omogućava da 3D modele i druge datoteke pregledamo bilo gde i bilo kada, s bilo kojeg uređaja: računara, tableta ili pametnog telefona. Kada se promene na tehničkoj dokumentaciji izvedu tokom gradnje sve dokumente možemo obeležiti QR kodom, u koji se snimaju informacije o tome kada je neki nacrt izrađen i postoji li neka novija verzija postojećeg dokumenta. Izvođač na gradilištu može skeniranjem QR koda bilo gde proveriti, ima li ažurnu projektnu dokumentaciju.

### 5.4. Upravljanje i održavanje

Na temelju 3D modela i pripadajućih dokumenata priprema se informacioni sistem za nadzor, upravljanje i održavanje objekta. Informacioni sistem omogućava korisnicima dostup do verodostojnih prostornih i atributnih podataka, koji su potrebni za učinkovito upravljanje objektom. Dostup do informacija i mogućnost njihovog uređivanja su određene korisničkim pravima, koja se definišu u informacionom sistemu. Podatke možemo pregledati, uređivati i obavljati razne analize. Informacioni sistem je izgrađen na platformi Autodesk Infrastructure Map Server.

### 5.5. BIM šema



## 6. KAKO KRENUTI U IMPLEMENTACIJU BIM-A

Implementacija BIM tehnologije je proces, koji ćemo u budućnosti obavljati u više koraka. Govorimo o takozvanim nivoima uvođenja BIM tehnologije, pri čemu je početni ili nulti nivo onaj na kojem se danas nalazi većina naših preduzeća.

### Nivo 0 (Level 0)

Tehnička dokumentacija se dobija CAD sistemom, ali je nepovezana. Projekti su izrađeni u 2D, prenos podataka se vrši razmenom crteža na papiru ili u elektronskom obliku.

### Nivo 1 (Level 1)

Podaci o projektu nastaju u CAD sistemu u 2D ili 3D obliku. Podaci su organizovani i standardizovani, koriste se alati za saradnju na daljinu. Finansijski podaci se obrađuju odvojeno od tehničke dokumentacije i nisu povezani sa tehničkim podacima.

### Nivo 2 (Level 2)

Svi podaci su prostorno određeni (3D) i obrađuju se u BIM aplikacijama. Finansijski podaci se obrađuju u posebnim aplikacijama, i povezani su sa digitalnim 3D modelom. Ovaj nivo BIM-a će engleska vlada zahtevati od građevinske struke od 4.4.2016. godine.

### Nivo 3 (Level 3)

U celini integrisan sistem saradnje, podržan internet servisima i novim IFC standardom (Industry Foundation Classes). Ovaj nivo omogućava 4D, 5D kao i 6D (obuhvaćen celi životni vek objekta).

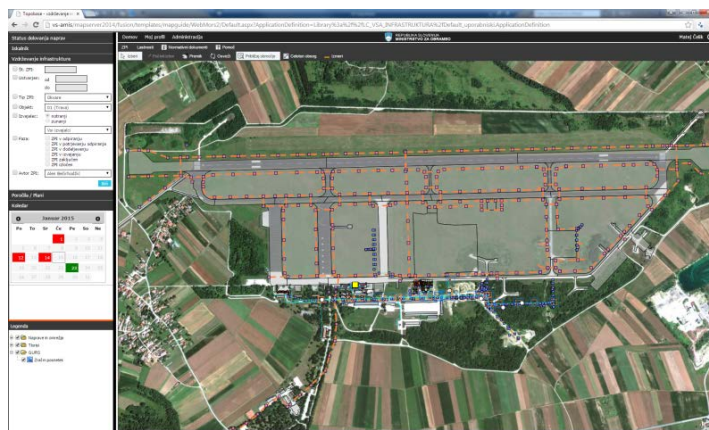
Uvođenje BIM-a dakle, može teći postepeno, u fazama i tokom celog veka trajanja objekta. Istina je da su projektanti najsvesniji potrebe njegovog uvođenja, ali je logično i to da se interes za BIM pokaže od strane investitora i onih koji se bave upravljanjem objekata. Oni su ti koji na objektu rade najduže i na kraju snose i najveće finansijske posledice.

Primer razmišljanja u pravom smeru je obnova i gradnja dodatnih objekata na vojno-civilnom aerodromu Cerklje ob Krki, gde Ministarstvo odbrane Republike Slovenije vidi koristi od uvođenja BIM tehnologije.

## 7. PRIMER IZ PRAKSE, AERODROM CERKLJE OB KRKI

Obnova aerodroma Cerklje ob Krki započeta je 2008. godine, a završetak se predviđa za 2016. godinu. U zajedničkom finansiranju Slovenije i NATO saveza, za modernizaciju i obnovu predviđeno je 70 miliona evra. Na ukupnoj površini od 375 ha glavni radovi su produženje poletno-sletne piste, modernizacija i proširenje rulnih staza i spojnice, izgradnja novog kontrolnog tornja, hangara i ostalih objekata kao i devijacija pristupnog puta. Svi sadržaji imaju pripadajuću infrastrukturu, koja je za objekte aerodroma dosta kompleksnija i zahtevnija.

U duhu optimizacije rada, te prenosa što je moguće više podataka iz projektne dokumentacije do sistema za održavanje, dogodili su se neki značajni pomaci. Projektna dokumentacija je na kraju izrađena tako da je omogućila jednostavan prenos podataka i informacija dalje u sistem održavanja. Projektanti su uz mali dodatni napor napravili korak prema realizaciji BIM koncepta. U sledećoj fazi ti su podaci nadograđeni za potrebe održavanja infrastrukture na aerodromu Cerklje, a u obzir su uzeti i zahtevni vojni standardi. Ovi ažurni podaci sada služe korisnicima za potrebe održavanja ili kao osnova za sledeću fazu obnove i novih ulaganja. Održavanje aerodroma je kontinuirano, a aplikacija za održavanje se stalno unapređuje. I tako korisnicima pruža veliku lepezu informacija i funkcionalnosti, čime omogućava nastavak BIM procesa tokom celokupnog veka objekta.



Slika 2. Aplikacija za upravljanje i održavanje Aerodroma Cerklje ob Krki

## 8. ZAKLJUČAK

Uvođenje BIM tehnologije je neizbežno, kao što je pre 25 godina bio neizbežan korak pri prelasku sa table za crtanje i „lenjira“ na računare. Sada, kada je srpsko građevinarstvo u teškoj poziciji, BIM je prilika za novi početak. BIM tehnologija je način razmišljanja, moguća odskočna daska za učinkovitiji način rada i veću konkurentnost na sve zahtevnijem domaćem i inostranom tržištu, imperativ budućnosti.

### Literatura

- [1] Šajn, M., Gregor, D., Leban, L., Ivačić, M. 2010. Sodobne GIS tehnologije v službi povezovanja procesov načrtovanja, gradnje in vzdrževanja cestne, železniške in letališke infrastrukture. Portorož, 7. slovenski kongres o cestah in prometu.
- [2] Šajn, M. 2013. From CAD to BIM. Dimensio, 18, 2013, 6-7 str.
- [3] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. 2011. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. Wiley.
- [4] Autodesk BIM: Building Information Modeling. (on-line) available at:  
<http://www.autodesk.com/solutions/building-information-modeling/overview>  
(11.2.2015)
- [5] SmartMarket Report, The Business Value of BIM in North America. (on-line) available at:  
<http://www.bimformasonry.org/pdf/the-business-value-of-bim-in-north-america.pdf>  
(11.2.2015)

# PRIMENA LIDAR TEHNOLOGIJE KOD PROJEKTOVANJA I GRAĐENJA PUTEVA

Toša Ninkov<sup>1</sup>, Zoran Sušić<sup>2</sup>, Đorđe Ninkov<sup>3</sup>, Aleksandar Milosavljević<sup>4</sup>, Vladimir Šušić<sup>5</sup>, Spasoje Pavlović<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, ninov.tosa@gmail.com

<sup>2</sup> Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, zsusuc@uns.ac.rs

<sup>3</sup> GeoGIS Konsultanti, Beograd, djordjeninkov@gmail.com

<sup>4</sup> GeoGIS Konsultanti, Beograd, a.milosavljevic@hotmail.com

<sup>5</sup> GeoGIS Konsultanti, Beograd, vladimir.susic@rgf.rs

<sup>6</sup> GeoGIS Konsultanti, Beograd, spasoje.pavlovic@geogis.rs

**Abstract:** Savremeni senzori i platforme u postupku laserskog skeniranja pružaju veliku efikasnost u masovnom prikupljanju prostornih podataka, pri čemu se obezbeđuje nivo tačnosti specificiran u projektnim zadacima, posebno kada se radi o infrastrukturnim objektima. Podaci o snimanju puteva, dalekovoda i ostalih prostornih formi, mogu se prikupiti u toku jednog dana, čak i kada se radi o stotinama kilometara dugačkim koridorima. U radu će se prezentirati mogućnosti tehnologije laserskog skeniranja za potrebe izrade geodetskih podloga u projektima rekonstrukcije saobraćajne infrastrukture, premera urbanih zona i projektima zaštite od buke. Tehnologija podrazumeva primenu mobilnih platformi za snimanje, pri čemu se kombinuju podaci laserskog skenera, GNSS prijemnika, inercijalnog navigacionog sistema i digitalnih kamera visoke rezolucije.

**Ključne reči:** LIDAR, lasersko skeniranje, GNSS, saobraćajna infrastruktura.

## 1. UVOD

Tehnologija laserskog skeniranja LIDAR (*Light Detection and Ranging*) predstavlja jednu od najbrže rastućih tehnologija u postupcima prikupljanja i obrade prostornih geoinformacija. Koncept mobilnog laserskog skeniranja prvu primenu ima od kasnih osamdesetih i ranih devedesetih u okviru Centra za kartiranje na državnom Univerzitetu u Ohaju. Sistem pod nazivom GPSVan™ integrisao je senzore poput jednofrekventnog GPS prijemnika, dve digitalne CCD kamere, dve video kolor kamere i nekoliko senzora, kao što su dva žiroskopa i distomat na svakom od prednjih točkova mobilne platforme [1]. Nakon razvoja Globalnih Navigacionih Satelitskih Sistema (GNSS), inercijalnih navigacionih sistema i matematičkih modela koji kombinuju različite podatke (Kalmanovo filtriranje), postala je moguća primena laserskih skenera zasnovanih na vazдушnim platformama. Paralelno sa mobilnim laserskim sistemima, razvijani su sistemi terestričkog laserskog skeniranja za različite topografske i industrijske primjene, kao i za oblasti arhitekture i arheologije. Početkom 21-og veka počeli su intenzivno da se razvijaju mobilni terestrički sistemi skeniranja. Aktuelni senzori tehnologija laserskog skeniranja i daljinske detekcije obezbeđuju efikasnu i fleksibilnu metodu prikupljanja trodimenzionalnih topografskih podataka visoke rezolucije. Zahvaljujući visokoj prostornoj rezoluciji laserskih podataka i digitalnih snimaka, i najsitniji topografski detalji mogu se identifikovati i rekonstruisati, na osnovu čega je olakšana izrada 3D modela objekata i okolnog terena. Gustina i tačnost prikupljenih podataka preduslov su primene navedene tehnologije, posebno kada se radi o snimanju objekata saobraćajne infrastrukture. Kada se ima u vidu da se radi o integrisanim sistemima za prikupljanje podataka, neophodno je obezbediti sinhronizaciju svih komponenti sistema, da bi finalni produkt bio odgovarajućeg kvaliteta.

LIDAR, kao tehnologija daljinske detekcije, bazira se na prikupljanju tri različita seta podataka. Pozicija senzora se određuje primenom GNSS prijemnika, koristeći fazna merenja u režimu relativne kinematike, upotrebom Inertial Measurment Unit (IMU), određuje se orijentacija. Poslednja komponenta je laserski skener. Laser šalje infracrveni zrak prema zemljinoj površini i reflektuje se do senzora. Vreme proteklo od emitovanja do prijema signala uz poznavanje pozicije senzora i orijentacije, omogućuje da se sračuna trodimenzionalna koordinata na zemljinoj površini. Većina savremenih LIDAR sistema, pored GPS-a, IMU i laserskog skenera, integrišu i RGB/NIR (Red-Green-Blue, Near Infra Red) kamere visoke rezolucije koje omogućavaju izradu kvalitetnih ortofoto planova rezolucije i do 2cm, u zavisnosti od visine preleta [2].

<sup>1</sup> Prof. dr Toša Ninkov: email: ninkov.tosa@gmail.com

<sup>2</sup> Doc. dr Zoran Sušić: email: zsusuc@uns.ac.rs

<sup>3</sup> Đorđe Ninkov, MBA: email: djordjeninkov@gmail.com

<sup>4</sup> Aleksandar Milosavljević, dipl.inž.geod.: email : a.milosavljevic@hotmail.com

<sup>5</sup> Vladimir Šušić, mast.inž.geod.: email : vladimir.susic@rgf.rs

<sup>6</sup> Spasoje Pavlović, mast.inž.geod.: email : spasoje.pavlovic@geogis.rs



## 2. KONCEPT MOBILNE LIDAR TEHNOLOGIJE

Mobilni LIDAR sistemi integrišu nekoliko podсистema, kao što su laserski skener, GNSS prijemnik sa antenom, inercijalni navigacioni sistem (INS), koji uključuje inercijalnu mernu jedinicu (IMU) za korigovanje orijentacije mobilne platforme, i sofisticiranu softversku jedinicu koja služi za kontrolu navedenih komponenti, sinhronizaciju vremena svih realizovanih merenja i snimanje prikupljenih podataka. Skener emituje impulse sa visokom frekvencijom i reflektuje se od površi nazad do instrumenta. Ogledalo unutar laserskog transmitera se pomera rotirajući upravno na pravac letanja čime se omogućuje merenje u širem pojasu. Vreme proteklo od emisije do povratka svakog impulsa i ugao odklona od vertikalne ose instrumenta se koriste za određivanje relativne pozicije svake merene tačke. Kombinacijom laserskog opsega, ugla skeniranja, pozicije lasera od strane GNSS-a i orijentacijom laserske platforme od strane INS-a, mogu se sračunati xzy koordinate na zemljinoj površini za svaki laserski zrak, sa visokom tačnošću. Aktuelni savremeni komercijalni LIDAR sistemi obezbeđuju prikupljanje od 30.000 do 500.000 merenja u sekundi, koja omogućava korisniku akviziciju svih strukturnih linija na terenu.



**Slika 1.** Mobilni sistem za skeniranje MLS Riegl VUX-1 (GeoGIS Konsultanti, Beograd)

Inercijalni navigacioni sistem (INS), integrisan sa laserskim skenerom, predstavlja ključnu komponentu mobilnog lidarskog sistema u cilju dobijanja georeferenciranih koordinata prikupljenih LIDAR podataka. INS merenja se zasnivaju na simultanom prikupljanju i obradi GNSS i IMU podataka. Na slici 1 je prikazan sistem za mobilno lasersko skeniranje privrednog sruštva GeoGIS Konsultanti iz Beograda. Sistem se sastoji iz laserskog skenera Riegl VUX-1, INS-a i dvofrekventnog GNSS prijemnika. Sistem se može opremiti sa digitalnim kamerama visoke rezolucije, koje se mogu koristiti za bojenje oblaka tačaka, kao i za generisanje snimaka za potrebe izrade orto-foto plana predmetnog područja. Deklarisana tačnost navedenog senzora Riegl VUX-1 iznosi 1 cm, dok ukupna tačnost svih integrisanih komponenti zavisi od tačnosti satelitskog pozicioniranja. Sistem može biti podešen na način da prikuplja podatke direktno u državnom koordinatnom sistemu, dakle u okviru mreže permanentnih stanica AGROS.

Tehnologija mobilnog laserskog skeniranja (MLS) obezbeđuje bržu i efikasniju akviziciju 3D podataka u odnosu na stacionarno terestručko lasersko skeniranje (TLS), posebno kada se radi o snimanju urbanih područja, saobraćajnica, dalekovoda i velikih površina. Prikupljeni oblaci tačaka obično sadrže i podatke o intenzitetu refleksije, na osnovu čega se mogu ekstrahovati bilo koje geometrijske prostorne forme, kao što je pešački prelaz, druge pešačke strukture, zgrade, ostrva, šahtovi, ivičnjaci, stubovi, saobraćajni znaci i sl. Klasifikacija različitih prostornih kategorija u okviru oblaka tačaka može da se izvrši na osnovu intenziteta refleksije. Identifikacija i popis elektro-energetskih vodova, saobraćajnih znakova i bandera predstavlja

primer korišćenja MLS tehnologije u urbanog održavanju infrastrukture. MLS podaci mogu da obezbede ažurne informacije o vodovima, železničkim postrojenjima i drugim segmentima saobraćajne infrastrukture. Klasifikacija prostornih formi u okviru oblaka tačaka je olakšana ukoliko, pored inenziteta i geometrijskih karakteristika, podaci poseduju RGB informacije.



**Slika 2.** Mobilna vazдушna platforma (avion) za lasersko skeniranje terena ALS (GeoGIS Konsultanti, Beograd)

Riegl VUX-1 predstavlja veoma lagan (3,5 kg) i kompaktan laserski skener, koji je projektovan tako da se može montirati u bilo kojoj orijentaciji, čak i pod ograničenim uslovima težine i prostora. Uređaj je veoma skroma u potrošnji električne energije i zahteva samo jedan izvor napajanja. Tačnost premera iznosi 10 mm, pri čemu je brzina skeniranja do 200 skenova u sekundi. Može se montirati u okviru aviona, kao i u okviru bespilotnih letelica (UAS ili UAV). Prikupljeni podaci se čuvaju na internom hard disku 240 GB, pri čemu je obezbeđen LAN-TCP/IP interfejs. Mobilno lasersko skeniranje sa vazdušne platforme (Slika 2) predstavlja najefikasniju tehnologiju masovnog prikupljanja prostornih podataka na velikim površinama.

Podaci laserskog skenera u kombinaciji sa pozicijom skenera i orijentacijom obezbeđuju generisanje trodimenzionalne koordinata laserskog otiska na površi terena. Emitovani zrak može imati višestruku refleksiju što uzrokuje da određena tačka ima iste koordinate, ali različitu visinu. Prva refleksija može poticati od vegetacije ili ivice objekta, voda ili sličnog, dok poslednja najverovatnije potiče od površi Zemlje ili veštačkog objekta. Ukoliko je prvi impuls skoro jednak poslednjem najčešće se radi o površi Zemlje (Ninkov, 2008). Maksimalna visina leta može iznositi i do 5.000 m. U slučaju korišćenja UAV bespilotne letelice, maksimalna operativna visina leta iznosi 350 m, uz frekvenciju laserskog merenja od 50 kHz. Maksimalna frekvencija merenja iznosi 550 kHz uz 500.000 merenja po sekundi, pri čemu je operativna visina leta UAV 110 m. U tabeli 1 su dati osnovni detalji iz tehničke specifikacije skenera Riegl VUX-1.

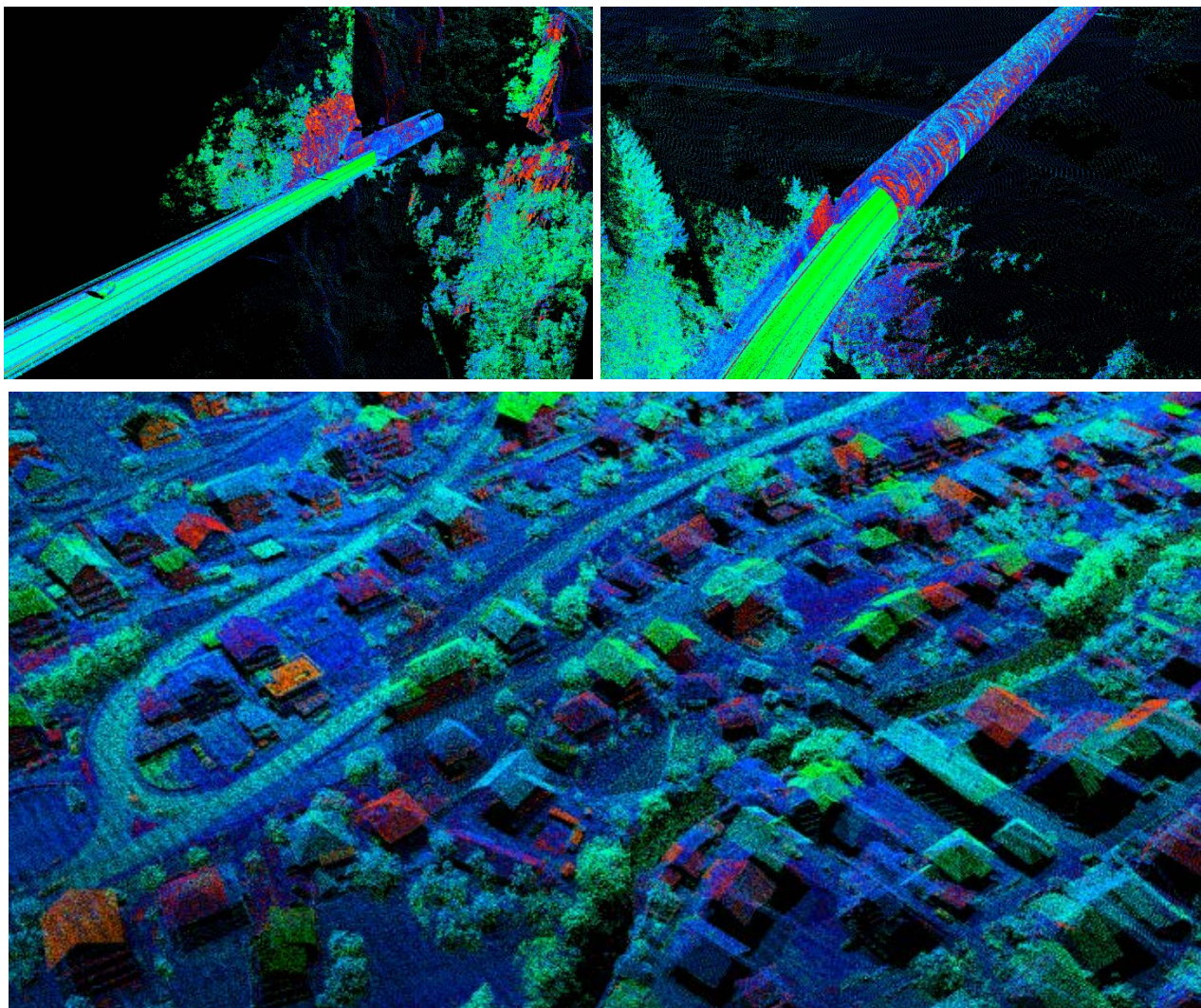
**Tabela 1.** Tehnička specifikacija Riegl VUX-1

Opseg merenja laserskog zraka frekvencija / visina	550 kHz/85 m – 50 kHz/550 m
Maksimalna operativna visina leta (kada se radi o bespilotnoj letelici)	do 350 m
Maksimalan broj meta po zraku	praktično bez ograničenja
Minimalna udaljenost od predmeta snimanja	3 m
Tačnost	10 mm
Preciznost	5 mm
Maksimalna efektivna stopa merenja	Do 500.000 merenja po sekundi
Uglovni pomak između uzastopnih laserskih snimanja	$0.006^{\circ} \leq \Delta\theta \leq 1.5^{\circ}$
GNSS interfejs	Serial RS232
Interna memorija	240 Gbyte SSD
Eksterna kamera	TTL ulaz/izlaz
Eksterna GNSS antena	SMA konektor

Optimalna integrisana komponenta uz ovaj uređaj odnosi se na visoko precizni višekanalni GNSS prijemnik. Rasipanje laserskog zraka iznosi 0.5 mrad. Važna komponenta mehanizma skenera odnosi se na rotirajuće ogledalo. Polje pogleda u maksimalnom opsegu merenja iznosi do 330°. Uglovna rezolucija merenja iznosi 0.001°.

### 3. OBRADA I INTERPRETACIJA PROSTORNIH FORMI

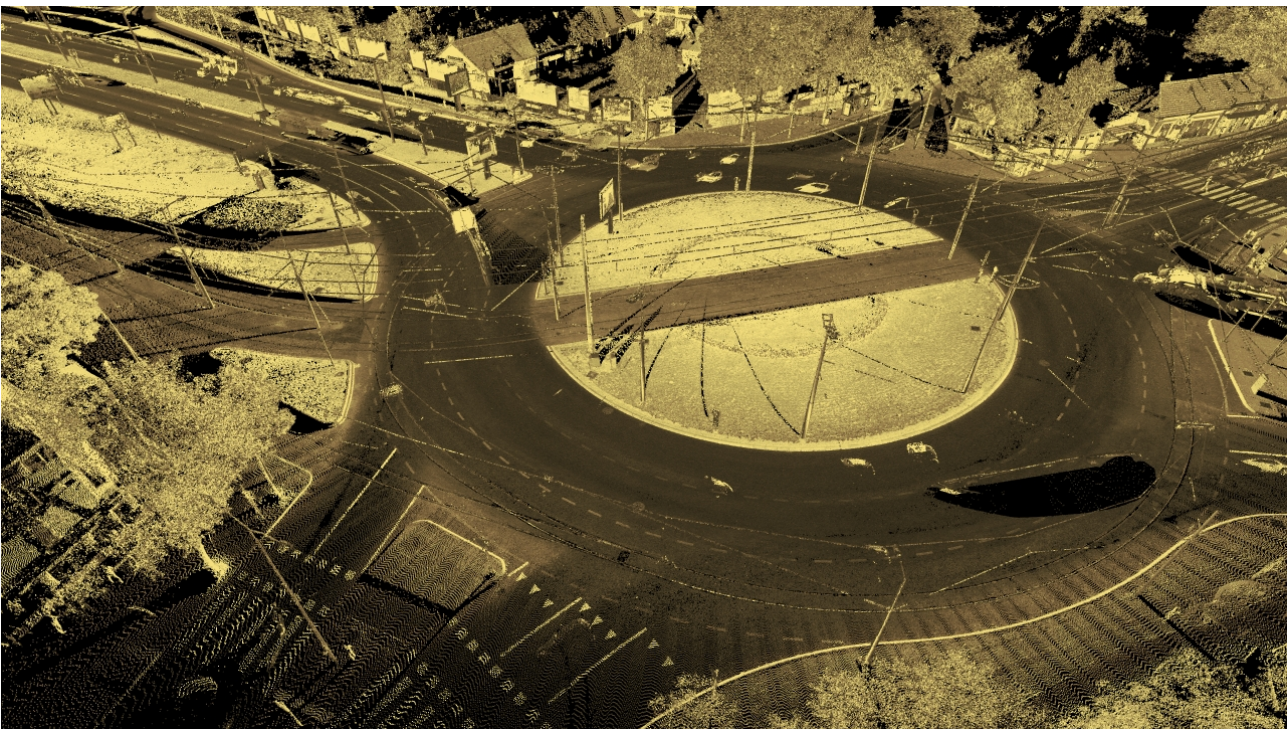
Podaci laserskog skeniranja se mogu prikupljati *on-line*, pri čemu prijemnik direktno dobija korekcije u okviru VRS koncepta mreže permanentnih stanica. Podaci se takođe mogu naknadno procesirati. Jedna od glavnih prednosti jeste prikupljanje, procesiranje i isporuka podataka u digitalnom formatu. Najjednostavnija forma procesiranih LIDAR podataka odnosi se na oblak tačaka, koji se najčešće čuva u ASCII formatu (xzy RGBI). Obak tačaka može biti učitani u brojnim specijalizovanim softverskim alatima i GIS aplikacijama (*PointTools*, *MicroCurvey CAD*, *MicroStation*, *ArcGIS*). Glavni nedostatak u procesu obrade kod komercijalnih paketa jeste ograničenja broja učitanih tačaka. Tradicionalni način projektovanja saobraćajne infrastrukture i objekata obično sa bazira na CAD aplikacijama, u kojima se ne može lako manipulirati sa više desetina miliona tačaka, tako da geodetski stručnjaci imaju zadatak da ekstrahuju sve karakteristične prostorne forme od značaja, a da se ne izgubi na kvalitetu strukturnih linija, prilikom generisanja geodetske podloge za projektovanje. Inercijalni navigacioni sistem predstavlja ključnu komponentu prilikom snimanja u tunelima. Postavljanjem veštačkih reflektora ili markica na zidovima tunela, kao kontrolnih tačaka, verifikuje se postupak skeniranja u pogledu tačnosti finalnog podatka (Slika 3). Prostorne koordinate kontrolnih tačaka se mogu odrediti tradicionalnim geodetskim postupcima, merenjem totalnom stanicom. U postupku georeferenciranja oblaka tačaka, računanjem transformacionih parametara poput tri translacije, tri rotacije i razmere, dobija se definitivni geometrijski podatak sa RGBI karakteristikama.



**Slika 3.** Oblak tačaka mostovske konstrukcije i tunela (gore) i urbanog područja (dole) u severnom delu Crne Gore, klasifikovan po različitim kategorijama terena (GeoGIS Konsultanti, Beograd)

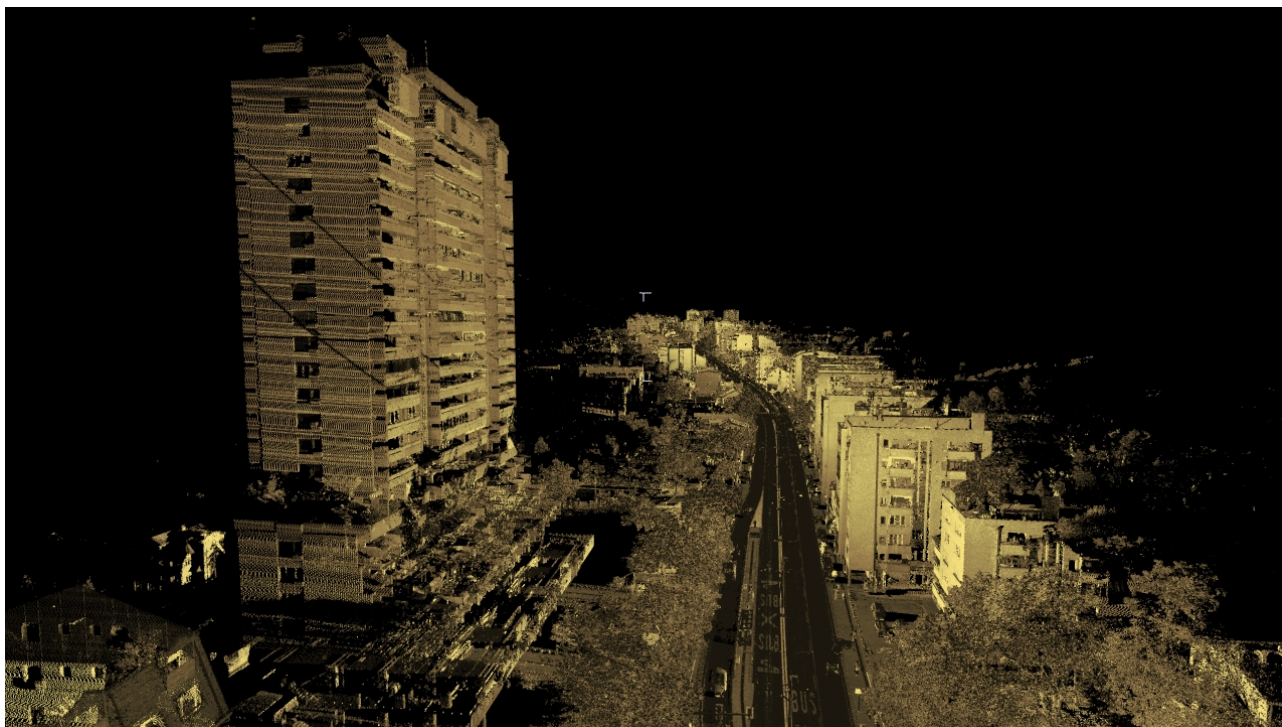
Na osnovu pažljivo planiranog leta snimanja, moguće je prikupiti podatke o svim strukturnim linijama na terenu. Ako se kao mobilna platforma snimanja koristi automobil, iz više prolazaka u okruženju predmetnog lokaliteta, može se obezbediti zahtevana gustina snimanja. Na osnovu RGBI komponenti prikupljenih integrisanim kamerama visoke rezolucije, moguće je obojiti oblak tačaka tako da se stvori kompletan trodimenzionalni vizuelni utisak terena koji u potpunosti odgovara stvarnom okruženju. Značajne informacije dobijaju se o svim prirodnim i veštačkim formama terena (objekti, vegetacija), iz kojih se može kreirati digitalni model površi (eng. Digital Surface Model, DSM). S obzirom da je za određene vrste prostornih planiranja i projektovanja (geomorfometrija, geostatistika, analiza slivova i sl.) neophodno generisati digitalni model terena (eng. Digital Terrain Model, DTM), važno je napomenuti da navedena tehnologija obezbeđuje višestruku refleksiju, pri čemu prva refleksija može poticati od vegetacije ili ivice objekta, zgrade i sličnog, dok poslednja potiče od površi „golog” terena [2].

Mobilno lasersko skeniranje predstavlja najefikasniju tehniku za 3D kartiranje autoputeva, ostalih saobraćajnica, pruga, objekata infrastrukture i sl. Prostorna rezolucija zavisi od brzine kretanja vozila i frekvencije, a obično iznosi nekoliko centimetara, što je preduslov kvalitetne ekstrakcije svih prostornih formi od značaja za projektovanje.



**Slika 4.** Oblak tačaka kružnog toka na „Autokomandi” u Beogradu (GeoGIS Konsultanti, Beograd)

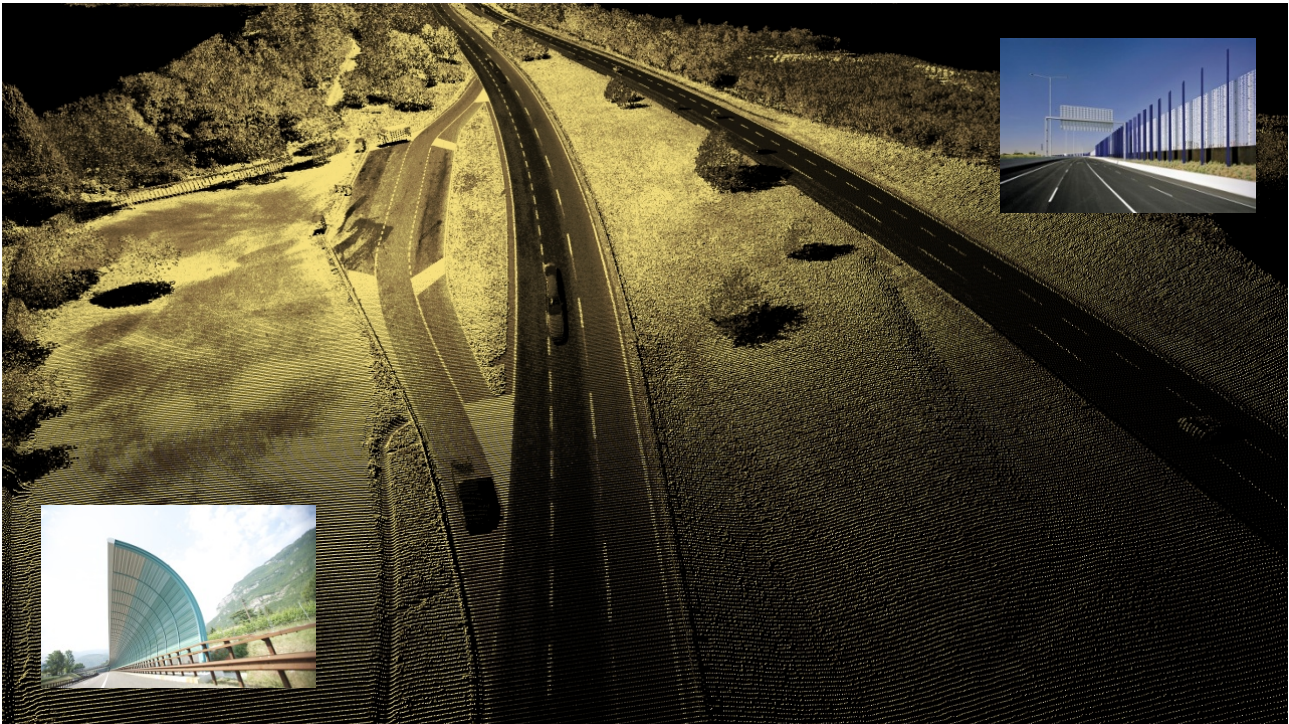
Prostorno razumevanje saobraćajne infrastrukture je preduslov uspešnoj obradi geo-informacija. Prostorni segmenti se sastoje od zgrada, drveća, puteva, trotoara, ograda, ali i od mobilnih entiteta koji se trenutno prikupe, kao što su vozila, ljudi, kontejneri i sl. Svaka pojedinačna saobraćajnica predstavlja jedinstvenu kombinaciju navedenih segmenata prostora. Postupak modeliranja objekata predstavlja veoma složenu proceduru gde je potrebno jasno diferencirati različite prostorne forme, npr. puteve od ivičnjaka. Ranijim postupcima, primenom metoda digitalne fotogrametrije, 3D informacije su ekstrahovane iz stereo-modela dva snimka sa preklomom. Za razliku od ovog postupa, koji je prilično neizvestan, produkti LIDAR mobilnog skeniranja proizvode konkretne i precizne 3D informacije o prostoru. Jedan od načina modeliranja odnosi se na metod detekcije ivice puta na osnovu približne širine u narednim pozicijama, određene GNSS-om [3]. Detektovanje putne površine se postiže primenom metode Kalmanovog filtriranja, koja prati obe strane saobraćajnice. Dakle, ova metoda zahteva dodatno poznavanje elemenata, kao što je širina puta na nekim konkretnim preciznim pozicijama. Podaci o objektima saobraćajne infrastrukture se mogu prikupljati tehnologijom vazdušnog laserskog skeniranja (eng. *Airborne Laser Scanning* ALS) i mobilnim laserskim skeniranjem (MLS). Za postupak napredne vizualizacije objekata saobraćajne infrastrukture, nije pogodno koristiti samo geometrijske podatke sa vazdušne LIDAR platforme u kombinaciji sa satelitskim snimcima, već je potrebno prikupiti dodatne podatke primenom mobilne platforme (automobil, voz i sl.). MLS tehnologija se odlikuje stabilnom platformom koja pruža mogućnost akvizicije prostornih podataka u kompleksnom okruženju, gde se u kombinaciji sa ALS podacima može proizvoditi visoko kvalitetna 3D scena modela.



**Slika 5.** Oblak tačaka objekata saobraćajne infrastrukture u ulici Vojvode Stepe u Beogradu (GeoGIS Konsultanti, Beograd)

Produkti digitalne fotogrametrije, kao što su pojedinačna fotografija, stereo fotografija ili više fotografija, obezbeđuju značajne vizuelne informacije u postupku modelovanja objekata. Dakle, kada se posmatra fasada nekog objekta u ravni ili ako je poznata tekstura objekta, izvor svetlosti, položaj kamere, mogu se dobiti pouzdane informacije u okviru 3D modela. Međutim, da bi se modelovanjem podataka laserskog skeniranja izbegle „testeraste“ ivice objekata, potrebno je primeniti funkcije koje će generalizovati i uglačati finalnu liniju oblika. Za rekonstrukciju objekata obično se primenjuju dve tehnike: „modelom vođen pristup“ i „podacima vođen pristup“. „Modelom vođen pristup“ konstruiše modele po unapred definisanim primitivima, dok „podacima vođen pristup“ koristi složene algoritme, kao što je detekcija ravni, generalizacija oblika, detekcija preseka linija (raskrsnica) u cilju postizanja konačnog modela [4]. Industrijalizaciju, koja je praćena

ekspanzijom tehnike i tehnologije, posebno u urbanim sredinama, prati brzi razvoj saobraćaja i saobraćajne infrastrukture, što je dovelo do povećanja nivoa buke. S obzirom da zakonska regulativa reguliše granične tolerancije za buku, već sredinom 20-og veka je započela izgradnja ograda za zaštitu od buke. Podaci mobilnog laserskog skeniranja saobraćajnica (MLS i ALS) koriste se u projektima zaštite od buke (u toku je realizacija projekta u okviru privrednog društva GeoGIS Konsultanti). Generisani visoko precizni digitalni model saobraćajnica i okolnog terena koristi se za projektovanje i realizaciju zaštitnih ograda od buke izazvane uticajem transporta, na teritoriji Republike Srbije. U domenu nadležnosti službi koje upravljaju autoputevima i saobraćajnicama jeste briga o zaštiti životne sredine, posebno kada se radi o prekomjernom nivou buke naseljenih područja uz postojeće i novoizgrađene autoputeve i saobraćajnice. Zaštitne ograde mogu biti izgrađene kao zidovi građevine ili u obliku nasipa. Najčešći tip predstavljaju linijske građevine izrađene od različitih materijala (kamen, beton, mineralna vuna, plastika, drvo, metal, staklo i sl.).



**Slika 6.** Podaci MLS I ALS skeniranja u projektima zaštite od buke (GeoGIS Konsultanti, 2015)

MLS tehnologija se primenjuje i u postupcima inspekcije stanja kolovoza, u cilju identifikacije površinskih pukotina, kolotruga i slično. Iz prikupljenih podataka se može generisati digitalni model putne površi, koji daje geometrijski opis površine puta. Veća fleksibilnost prikupljanja podataka u većoj rezoluciji i pri većim brzinama vozila, može se postići upotrebom uređaja sa dve LIDAR skenera. Prednost MLS tehnologije ogleda se i u činjenici da se akvizicija podataka može realizovati bez zastoja saobraćaja, uz pretpostavku da je brzina saobraćaja manja od 70 km/h. Kada se ima u vidu da se podaci prikupljaju i obrađuju u kraćem vremenskom intervalu, moguća su i pristupačna ponovljena istraživanja puteva i ažuriranje baze podataka. Objekti duž saobraćajnica i autoputeva, trotoari, zaštitne ograde, mostovi, tuneli, potporni zidovi i nadzemni vodovi, mogu se lako prepoznati kao jasne geometrijske forme iz oblaka tačaka, čime je omogućena interaktivna izrada baze podataka izvedenih objekata od značaja.

Finalni produkti mobilnog laserskog skeniranja u postupku formiranja putne dokumentacije mogu se podeliti u sledeće kategorije [5]:

- 3D podaci sa topološki konektovanim grafičkim putevima, povezani sa GIS bazom podataka,
- Georeferencirane slike i video snimci u JPEG ili AVI formatu (za virtuelnu inspekciju putne mreže, na osnovu koje se može sagledati stanje kolovozne konstrukcije),
- Poprečni i podužni putni preseki (u zavisnosti od rezolucije skeniranja) sa georeferenciranog oblaka tačaka,
- Digitalni model terena (za brzo računanje zapremine),
- 3D modeli terena i objekata sa detaljnim teksturama fasada i prostornim informacijama o ulicama.

#### 4. ZAKLJUČAK

U radu su opisane prednosti tehnologija mobilnog laserskog skeniranja ALS i MLS sa aspekta nivoa detaljnosti i tačnosti prikupljenih podataka, koja ispunjava specifikacije za sve vrste projektovanja. Prikupljene podatke je potrebno filtrirati i klasifikovati u specijalizovanim softverima, kako bi konačan proizvod bio prilagođen standardnom načinu projektovanja. Finalni produkti odnose se na digitalni model terena i digitalni model površi iz oblaka tačaka visoke prostorne rezolucije, kao i digitalni orto-foto plan sa pikselom od svega nekoliko centimetara, na osnovu čega je moguće kreirati 3D modele u cilju prostorne vizuelizacije i savremenog načina projektovanja. 3D modeli se mogu koristiti i kao segmenti projekata izvedenog stanja, za neke buduće projekte rekonstrukcije i sanacije, prvenstveno kada se radi o objektima saobraćajne infrastrukture.

U fazi prikupljanja podataka, tri podsistema rade u sinhronizovanom modu, GNSS/INS sistem izračunava putanju i generiše prostorne koordinate laserskog zraka, laserski skener meri rastojanja po unapred definisanim profilima, dok sistem digitalnih kamera prikuplja slikovne podatke, koji se koriste za izradu orto-foto plana ili za obezbeđenje RGB karakteristika oblaka tačaka. Opšti principi rada su gotovo identični i sa vazdušnih i sa kopnenih mobilnih LIDAR sistema i mogu imati razne primene, kao što je opisano u radu. Ipak, najbolji efekti se postižu kombinacijom navedenih tehnologija. Razvoj senzora i geoinformacionih tehnologija obezbeđuje upotrebu širokog spektra geo-informacija, što je preduslov opstajanja i razvijanja geodezije u multidisciplinarnim projektima i istraživanjima.

Aktuelni projekti pokazuju da je primena MLS tehnologije raznovrsna, od inspekcije stanja kolovoza u okviru virtuelnog pregleda putne mreže, izrade geodetskih podloge za projektovanje visoke rezolucije i detaljnosti, pa do projektovanja zaštitnih barijera od prekomjernog nivoa buke naseljenih područja uz postojeće i novoizgrađene autoputeve i saobraćajnice.

#### Literatura

- [1] Goad, C. C. 1991. "GIS Data Collection Using The Gpsvan Supported By A GPS/Inertial Mapping System". In Proceedings of GPS-94. The Institute of Navigation (ION), Salt Lake City, UT.
- [2] Ninkov, T., Bulatović, V., Sušić, Z. 2008. Primena laserskog skeniranja kod projektovanja linijskih struktura i objekata, međunarodna konferencija: *Građevinarstvo, Nauka, Praksa*, Žabljak, Crna Gora.
- [3] Wijesoma, W., Kodagoda, K. and Balasuriya, A., 2004. Roadboundary detection and tracking using ladar sensing. *IEEE Transactions on Robotics and Automation* 20(3), pp. 456–464.
- [4] Zhu, L. & Hyypa, J. 2014. The Use of Airborne and Mobile Laser Scanning for Modeling Railway Environments in 3D, *Remote Sens*, 3075-3100; doi:10.3390/rs6043075.
- [5] Puente, I., Gonyales-Jorge, H., Arias, P., Armesto, J. 2011. Land-based mobile laser scanning systems: a review, *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXVIII-5/W12, 2011, pp.163-168.

# IZGRADNJA I ODRŽAVANJE PUTEVA NA POPLAVNIM PODRUČJIMA

**dr. Krajnc Uroš, dipl. ing.,** *Institut za ekološki inženiring d.o.o., Maribor, uros.krajnc@iei.si*

**Stergar Boris, dipl. ing.,** *Biro za projektiranje in inženiringd.o.o., Maribor*

**Pavčič Metka, dipl. ing.,** *Institut za ekološki inženiringd.o.o., Maribor, metka.pavcic@iei.si*

## **Rezime:**

*Poplave su bile nekad, danas su, a biće i ubuduće prirodni fenomen kojeg stanovnici ove planete neće moći da izbegnu. Putevi odnosno kolovozi i građevine na njima oni su građevinski objekti, koji su u slučaju poplava jako izloženi, pa je kod tih objekata utoliko važniji stručan pristup tokom planiranja, projektovanja, izgradnje i održavanja.*

*Naravno, to ne zavisi samo od pojedinaca koji rade na tome, nego najpre od države i njenih instiucija koje moraju takav stručan proces kroz sve spomenute faze da omoguće odnosno zahtevaju.*

*U Republici Sloveniji taj smo problem već pre mnogo godina prepoznali, pa na tu temu i organizovali više stručnih skupova.*

*Prvi je problem da i zakonodavstvo Evropske unije još nema jedinstvene propise za projektovanje odvodnjavanja puteva. U Sloveniji je kod gradnje autoputeva u fazi planiranja uveden postupak kod kojeg se proverava trasa autoputa s obzirom na mogućnost pojavljivanja poplava. U tom se postupku predviđaju i mere koje su potrebne u fazi projektovanja, gradnje i održavanja. Bitno je i poređenje poplavnih područja pre i posle izgradnje autoputa. Mnogo puta prisutno je i loše održavanje objekata odvodnjavanja koje dodatno utiče na stanje.*

**Ključne reči:** *odvodnjavanje puteva, velike poplave, održavanje puteva i objekata, zakonodavstvo*

## **Abstract:**

*Flooding has always been, is and probably will be in the future, one of the natural phenomena from which the population of this planet cannot escape.*

*In a case of flooding, the most endangered are different roads, paths, and buildings along them and with those objects there is an extra need for professional approach during the time of planning, designing, construction and maintenance.*

*Of course, this is not only the responsibility of individuals who are working on the project, but first it is the responsibility of the state and her institutions. They must ensure professional process through all of the above phases, to please all of the demands.*

*In Republic of Slovenia, we identified this problem many years ago and on the subject, we already organized many professional consultations.*

*First problem represent the fact, that there is still no unified legislation on the road drainage in the European Union. When building motorways in Slovenia, in the planning phase, we applied a certain procedure. When the route for a motorway is verified, the possibility of the flooding is taken into the consideration. During this procedure, also the measurements are taken into the consideration, the ones that are foreseen in the phases of the designing, construction and maintenance. The most important thing is the comparison of the flooding areas before and after the works. Many times, there is also a case of a bad maintaining of the drainage objects, which contributes to the general state.*

**Key words:** *roads drainage, big floods, maintenance of the roads and objects, legislation*



## 1. UVOD

Poslednje katastrofalne poplave u novembru 2012. godine u Sloveniji u slivu reke Drave (slika 1 i slika 2) i 2013. godine u Centralnoj Evropi (slike 3 i 4) pokazuju, kako su poplave razorno pogodile puteve i mesta. Zanimljivo je da skoro nigde nisu oštetile železničke pruge!



**Slika 1:** *Poplave Slovenj Gradec novembar 2012.* **Slika 2:** *Poplave Duplek novembar 2012.*



**Slika 3:** *Usti nad Labo 4. Jun 2013.*

**Slika 4:** *Passau 3. Jun 2013.*

U članku želimo da prikazemo praktična iskustva u Republici Sloveniji prilikom projektovanja odvodnjavanja puteva i vezu sa visokim vodama u površinskim odvodnicima.

Zakonodavni okvir smo predstavili na 1. kongresu o putevima Srbije 2014 godine .

Slovenačka struka je do sada već organizovala više savetovanja na temu odvodnjavanja puteva:

- Vode i putevi (Slovenačko društvo za hidraulička istraživanja, DRI) Novo mesto 10. Maj 1996.
- Projektovanje i gradnja sistema za odvodnjavanje putnih površina (DRC, Društvo za puteve Maribor), MEGRA 200, Gornja Radgona 12.april 2000.
- Odvodnjavanje puteva (DRC), Ljubljana 3. Novembar 2009.

Kao i na slovenačkim kongresima o putevima i saobraćaju u Portorožu ( na primer 6. Kongres oktobar 2004., 9. Kongres 22.-24. oktobar 2009., 11. Kongres 24.-25. Oktobar 2012. [1,2 ])

Po našem mišljenju, uzroci za plavljenje puteva su:

- Klimatske promene koje dovode do većih poplava u poređenju sa prošlošću
- Neodgovarajući položaji puteva na poplavnim područjima
- Loše održavanje puteva i objekata na putevima, pre svega prepusta.

## 2. IZGRADNJA I ODRŽAVANJE PUTEVA NA POPLAVNIM PODRUČJIMA

### 2.1. Planiranje i projektovanje puteva

Prilikom planiranja trase određenog puta vrlo je važan izbor pravilne varijante, ocenjene po različitim kriterijumima, među kojima ovde izdvajamo poplavnu ugroženost trase i njene okoline. Izbor najadekvatnije varijante je vrlo dugotrajan postupak u poređenju sa daljim fazama projektovanja i same gradnje.

Vlada Republike Slovenije je na sednici dana 14. 06. 2012. usvojila mere za skraćanje postupaka i smanjenje administracije prilikom smeštanja objekata u prostor. U praksi pripreme državnih prostornih planova će izvođenje ovog uputstva dakle značiti da se u fazi studije mera na ekonomski aspekt razmatraju sve varijante, a pri tom se koriste svi raspoloživi izvori podataka koji već postoje i koji su javno objavljeni.

Ekspertsko mišljenje po ovom uputstvu sadrži umesto hidrološko-hidrauličkih studija za svaku od varijanti jedno ekspertsko mišljenje, koje je je sa aspekta poplavne ugroženosti (i potencijalno i s aspekta posledica, eventualnih ublažavajućih, naročito:

- opis pojedinačne varijante planiranog uređenja;
- prikaz postojećeg stanja klasa poplavne opasnosti na osnovu korišćenja izvora podataka, navedenih u ovom uputstvu, i u skladu sa ovim uputstvom za svaku od varijanti;
- stručnu procenu svake od varijanti sa aspekta poplavne ugroženosti;
- navođenje, kratak opis, približnu lokaciju i grubu procenu troškova koncipiranja i izvođenja mera za ublažavanje, ako se predviđa da će one biti potrebne prilikom izbora ove varijante;
- opis i stručnu procenu uticaja svake od varijanti sa aspekta poplavne ugroženosti posle izvođenja svake varijante i izvođenja mera za ublažavanje, pri čemu se za procenu koriste klase veličina iz propisa koji određuje izveštaj uticaja na životnu sredinu i detaljniji postupak sveobuhvatne procene uticaja izvođenja planova na životnu sredinu;
- poređenje svih varijanti, predlog svih prihvatljivih varijanti i predlog najpovoljnije varijante sa aspekta poplavne ugroženosti;
- informaciju da za određene delove ili celokupnu oblast određene varijante nema podataka o plavljenju u osnovama sa podacima iz drugog stava, a postoji velika verovatnoća da je područje izloženo plavljenju.

Ključna novost u pripremi ekspertskeg mišljenja je da se kategorije iz određenih poplavnih osnova sa podacima prevode u klase poplavne opasnosti koje su (u skladu sa poplavnom uredbom) ključne za smeštanje u prostor. Uslovi i ograničenja za izvođenje zahvata u prostor na poplavnim područjima su naime srazmerni klasi poplavne opasnosti. Za prevođenje u klase poplavne opasnosti se u fazi vrednovanja varijanti prilikom pripreme DPN (i samo u tom slučaju!) koriste već postojeće osnove sa podacima, i to u sledećem prioritarnom redosledu:

1. integralna karta klasa poplavne opasnosti (iKRPN Si);
2. upozoravajuća karta poplava (OpKP Si);
3. geolocirani podaci i javno objavljeni snimci o obimu zabeleženih poplavnih događaja za godine 1980., 1987., 1990., 1998., 2007., 2009. i 2010. (evidencija poplavnih događaja – ePoDo Si).

Prikaz konkretnog primera (primer pripreme državnog prostornog plana za državni put od priključka Šentrupert na autoputu A1 Šentilj - Koper do priključka Velenje-jug)



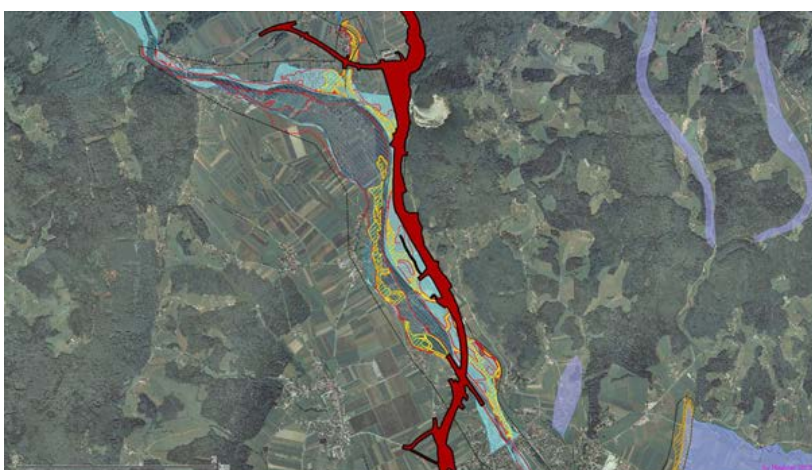
**Slika 5:** Tok trase planirane  
drumske infrastrukture

**Slika 6:** Prikaz iKRPN Si za področje  
planiranog smeštanja



**Slika 7:** Prikaz OpKP Si za področje  
planiranog smeštanja

**Slika 8:** Prikaz ePoDo Si za področje  
planiranog smeštanja



**Slika 9:** Prikaz sve tri poplavne evidencije za področje  
planiranog smeštanja

Umesto da se od planera u fazi studije varijanti zahteva priprema (nove) hidrološko-hidrauličke studije (sa izradom LIDAR snimka, hidrologije, hidrauličkih modela, itd...), u ekspertskom mišljenju se vrši vrednovanje i rangiranje te trase sa aspekta poplavne ugroženosti na osnovu već postojećih i objavljenih podataka. U ministarstvu procenjujemo da će to bitno doprineti vremenskoj i troškovnoj optimizaciji smeštanja uređenja, bitnih za državu, u prostor [3].

U daljim fazama projektovanja vrlo je važna pravilna konstrukcija nivelete puta. Bilo bi idealno, što nije uvek moguće, da niveleta bude iznad kote visoke (poplavne) vode odnosno da iznad nje bude kompletna kolovozna konstrukcija, uključujući elemente odvodnjavanja puta.

Poplave ugrožavaju puteve na različite načine. Neke posledice poplava su direktne i na putevima ih osećamo odmah, a druge registrujemo odmah čim se voda povuče. Neke posledice poplava ostaju prikrivene, akumulirane su u slojevima kolovozne konstrukcije i utiču na ubrzano propadanje puta, kad smo mi već zaboravili da je bila poplava. Posle poplave, kad se poplavna voda povuče, materijali u telu kolovoza i u kolovoznoj konstrukciji ostaju potpuno zasićeni (saturirani). Zbog potpune saturacije smanjuju se čvrstina i krutost svih nevezanih slojeva u kolovozu i posledično i nosivost kolovoza. Potrebno je određeno vreme da se materijali u kolovozu osuše i da se svim slojevima u kolovozu vrate početne čvrstine i krutosti. Ograničenje saobraćaja posle poplave, u vreme kad se slojevi u kolovozu suše i vraćaju u stanje pre poplave, od odlučujućeg je značaja za ponašanje puta posle poplave. To naročito važi za puteve, projektovane za niska saobraćajna opterećenja, gde nevezani slojevi imaju važnu strukturnu ulogu.

Nevezani slojevi su svi slojevi od zrnastih materijala u kojima čvrstina, krutost i hidrauličke osobine zavise isključivo od osobina zrna, njihove strukture i stepena saturacije. Nevezani noseći slojevi (NNP) ili u žargonu "tampon slojevi" su strukturni slojevi u kolovozu čije osobine su tačno propisane.

Zaštita kolovoza od negativnih uticaja eventualnih poplava zato počinje još u fazi projektovanja, odgovarajućim izborom zrnastih materijala za nevezane noseće slojeve, sa odgovarajućim debljinama i geometrijom planuma pojedinačnih slojeva, a pre svega sa planiranjem takvih mera odvodnjavanja koje će omogućiti brzo povlačenje vode iz nevezanih strukturnih slojeva posle povlačenja poplavne vode[3].

Kad govorimo o poplavama i negativnim uticajima na celokupnu drumsku konstrukciju, uz poplave površinskih voda ne smemo da zanemarimo ni poplave podzemne vode.

Do poplave podzemne vode dolazi onda, kada nivo podzemne vode dostigne ili pređe kritičnu kotu, izraženu nadmorskom visinom, koju određujemo kao visok nivo podzemne vode. Podizanje podzemne vode po pravilu ostaje ispod kote tla i zbog toga prikriveno za neposredno posmatranje, a isto primećujemo samo u bušotinama za posmatranje ili preko više ili manje posrednih uticaja na privrednu infrastrukturu (npr. duboki podrumi, temelji, posteljice puteva i železnica, podvozi, duboke ukopane pozicije, sistemi za propadanje vode i sl.).

Kako i kod površinskih voda, i u slučaju podzemnih voda vreme trajanja poplava određujemo krivama trajanja poplave ili krivama trajanja poplave preko kritične granice (tzv. POT modeli – engleski PointOverThreshold). U poređenju sa površinskim vodama su krive trajanja podzemnih voda horizontalnije i spljoštenije.

Kao poplave podzemne vode se u praksi tretiraju samo povremene poplave, pri čemu se radi o retkim i izuzetnim događajima koji na objekat utiču samo u izuzetnim slučajevima. Za procenu uticaja takvih poplava ključno je određenje njihove kritične kote i posledica koje takva poplava pričinjava.

Prilikom zaštite budućih podvoza od poplava podzemne vode je sledeće pitanje za investitora, na koji povratni period poplave želi da štiti objekat. Uopšteno važi da niže kategorije puteva traže niži stepen zaštite, što u praksi znači da će takav podvoz biti češće poplavljen zbog podizanja nivoa podzemne vode. Ipak, u pravnim osnovama i tehničkim smernicama za gradnju podvoza nema preciznijih odluka o vezi između kategorije puta i zahtevanog povratnog perioda poplave. Tako mora do usvajanja odluka te vrste projektant sam da odredi povratni period poplave i vrstu zaštite objekta. U slučaju projekta Pragersko - Hodoš je tako donet konsenzus učesnika na projektu da se građevinske jame štite na najviše nivoe sa 5-godišnjih periodom povraćaja, a podvozi na najviše nivoe sa 100-godišnjim povratnim periodom [4].

## 2.2. Održavanje i saobraćajna bezbednost

I kad smo sve pravilno isplanirali, isprojektovali i u skladu sa projektima i izgradili, na red dolazi održavanje koje je od ključnog značaja prilikom obezbeđivanja trajnosti i otpornosti konstrukcije puta, od donjeg do

gornjeg postroja, elemenata odvodnjavanja, objekata, potpornih konstrukcija i saobraćajne opreme i signalizacije. Pre svega održavanje odvodnjavanja puta je skoro na prvom mestu, a u slučaju poplava sigurno onda, kada se voda povuče i kada je sistem odvodnjavanja po pravilu začepljen blatom, granama, plastičnom ambalažom i mnogim drugim stvarima. Pri tom je veoma bitno da se pored nabrojanog na samom putu redovno, a pre svega posle poplava, održavaju i čiste i vodotokovi na širem području.

Pošto su putevi namenjeni saobraćaju, gde je na prvom mestu saobraćajna bezbednost svih učesnika u saobraćaju, redovno i pravilno održavanje puteva je, uz obezbeđivanje trajnosti puta, suštinski uslov za bezbedno odvijanje saobraćaja. Ipak, sve zajedno je uzalud, ako učesnici u saobraćaju nismo oni, koji u takvim izuzetnim slučajevima, kao što su poplave, ne vodimo računa o svojoj bezbednosti.

Tabela 1. Žrtve zbog poplava u Sloveniji

Godina	Žrtve	Zbog saobraćaja	uzrok	% celokupnog broja
1926	10			
1933	17	10	Rušenje mosta	59
1954	21			
1990	2			
1998	2			
2000	7			
2004	1	1	vozilo	100
2007	6	1	vozilo	17
2010	5	3	vozilo	60

Istraživanja smrtnih žrtava prilikom pojave poplava u Sloveniji ukazala su na izuzetan značaj saobraćaja. Naime, sve više smrtnih žrtava ima među vozačima koji su spremni da svojim vozilom pređu preko poplavljenog kolovoza. Ono se vrlo brzo pretvara u plovilo koje lagano tone, sa katastrofalnim posledicama za vozača. Na primer, u SAD-u su 60% žrtava vozači i putnici, zarobljeni na poplavljenim putevima. Nažalost, na ovu pojavu ne obraćamo dovoljno pažnje prilikom procene rizika u slučaju poplava.

Tabela 2. Podaci NOAA o smrtnim žrtvama u SAD-u

Godina	Br. žrtava	Zbog saobraćaja	% celokupnog broja
2012	29	16	55
2011	113	68	60
2010	103	50	49

([http://www.nws.noaa.gov/hic/flood\\_stats/recent\\_individual\\_deaths.shtml](http://www.nws.noaa.gov/hic/flood_stats/recent_individual_deaths.shtml))

Uređenja vodotokova su se od davnina do kraja dvadesetog veka vršila tako da se vodi ostavljalo što manje prostora. Prostor je bio dragocen i potreban pre svega za poljoprivredu i naseljavanje. Uska regulisana korita

su omogućavala gradnju mostova sa mnogo manjim rasponima u poređenju sa onima koje bi zahtevao prirodni režim voda. Često su se mostovi gradili sa dodatnim sužavanjem korita i sa što nižom niveletom. Prilikom poplava takva premošćavanja stvaraju dodatne hidrauličke otpore i podižu nivo vode ispred mosta zbog efekta brane, što može da utiče i na podizanje nivoa vode na dužoj deonici. Pri tom su stubovi mostova bili izloženi dodatnim opterećenjima i eroziji. Posledica je rušenje mostova.

Analiza uzroka žrtava u Sloveniji, koju je izvršila Katedra za opštu hidrotehniku Fakulteta za građevinarstvo u Ljubljani, pokazala je veliki uticaj puteva i saobraćaja prilikom pojavljivanja žrtava poplava. Već prilikom velike poplave 1933. godine bilo je 17 žrtava zbog rušenja mosta na reci Gradaščici. Godine 2004. imali smo prvu žrtvu koja je kolima ušla u bujicu reke Gradaščice. Činjenica je da imamo prilikom skoro svakog većeg događaja u Sloveniji smrtnih ishoda i pri tom bar jedno lice, koje je život izgubilo u vozilu. Pojava nije nova, jer je prema podacima u SAD-u, 2011. godine 60% svih smrtnih ishoda tokom poplava bilo iz redova vozača ili putnika u vozilima, tabela 2. Vozila tokom poslednjih godina postaju sve veća, teža, jača i vozačima daju lažan utisak bezbednosti. Većina vozila se brzo pretvara u plovilo u vodi. U trenutku, kad voda povuče vozilo sa kolovoza, sudbina vozača je prepuštena bujici. Vozilo polako tone, a zbog hidrostatičkog pritiska se vrata ne mogu otvoriti. U koritu, gde se prilikom poplava šljunak kreće kao bujični delovi, vozilo je brzo uništeno slika. Već posle nekoliko desetina metara u koritu prilikom poplave od vozila ostaje samo neprepoznatljiva olupina [5],

### 2.3. Hidraulička kalkulacija kolovozne kanalizacije

Cilj hidrauličke kalkulacije da izračunavanje merodavnog protoka koji nastane zbog pljuska u određenoj tački puteva i zatim izbor odgovarajuće cevi, kanalete ili kanala koji je sposoban da odvede tu vodu.

Klasična jednačina za određivanje merodavnog protoka, nazvana i racionalna formula, glasi

$$Q = A \cdot \Phi \cdot I$$

Q – merodavni protok [l/s]

A – površina koja doprinosi [ha]

$\Phi$  – koeficijent odvoda

I – računski pljusak [l/s.ha]

Kolovoznu kanalizaciju dimenzionišemo na takozvanu računsku kišu. Pri tom smo svesni da mogu nastupiti i jače kiše, ali zbog načela ekonomičnosti dozvoljavamo da sistemi doduše vrlo retko ne funkcionišu.

Još je Uredba [6] uvela pojmove:

- sopstvene vode su padavinske vode koje padnu na utvrđene površine javnog puta,
  - pozadinske vode su padavinske vode koje padnu na druge površine
  - spoljne (tuđe) vode su padavinske odn. druge vode koje nastaju izvan površina javnog puta, ali su u kontaktu sa okruženjem puta odnosno trasa javnog puta ih prelazi,
  - prijemnik padavinske vode sa javnih puteva, koja se prikuplja uređajima za odvodnjavanje javnog puta, može biti tlo, površinske vode ili javna kanalizacija.
- 
- sopstvene vode su padavinske vode koje padnu na utvrđene površine javnih puteva. S obzirom na lokalne okolnosti, saobraćajno opterećenje i propisane kriterijume, za sopstvene vode je regulisano sakupljanje, odvodnjavanje i po potrebi i obrada padavinskih otpadnih voda.
  - pozadinske vode su padavinske vode koje padaju na neutvrđene površine javnih puteva, kao što su na primer zatravljene površine padina na deonicama u ukopu, i raspršeno se skupljaju prema telu puta. Pozadinske vode nisu u kontaktu sa vodama sa kolovoza, zato se po pravilu prikupljaju i odvoje odvoje od sopstvenih voda.

- spoljne (tuđe) vode su vode koje nastaju na drugom mestu i samo su u posrednom kontaktu sa okruženjem puta, pošto inače stižu iz brdovitih područja, nepovezanih putevima, kroz vodotokove ili raspršeno, pa je za njih posebno regulisano samo ukrštanje sa telom puta, na primer u propustu.

#### 2.4. Zaštite urbanizovanih područja, ugroženih zbog poplava

Tokom poslednjih godina bili smo svedoci čestih preplavlivanja urbanizovanih naselja u Sloveniji, što je pricinilo velikom materijalnu štetu. Autori smatraju da se radi o tri grupe problema [7,8,9]:

- Ugroženost zbog neposredne blizine površinskih odvoda koji plave
- Problem površinskih odvoda koji prolaze kroz urbanizovana naselja
- Problem kanalizacije naselja

Slovenija mora kao članica Evropske Unije da poštuje evropsko zakonodavstvo. Standard EN752 »Drain and sewer systems outside buildings« iz jula 1996. preuzeo je Zavod RS za standardizaciju i mere u Ljubljani po metodi proglašenja decembra 1996. godine. Deo 2 tog standarda sa naslovom „Performancer equirements“ preporučuje povratne periode računskih kiša s kojima projektujemo kanalizacione mreže.

**Tabela 3: Učestalosti računskih kiša za proračune kanalizacije po EN 752**

Učestalost pljuskova <sup>1</sup> (1x u "n" godina) <sup>1</sup>	Lokacija	Učestalost poplava (1x u "n" godina)
1 u 1	Selo	1 u 10
1 u 2	Stambena područja	1 u 20
1 u 2	Gradski centri, industrijska i zanatska područja	1 u 30
1 v 5		-
1 u 10	Podzemna železnica, podvozi	1 u 50
1 Kod pljuskova ne sme doći do preopterećenja.		

Dakle, ključan je zahtev da moramo proveriti sistem i za snažnije pljuskove sa periodima povraćaja 10-50 godina i proveriti kakve su posledice takvih poplava.

Potpuno drugačiji problem je zaštita urbanizovanih površina od poplava spoljnih voda. Za urbanizovana područja zahtevamo uobičajenu bezbednost od stogodišnjih poplava. tako je već prisutan prvi konflikt različitog izbora bezbednosti od poplava. Sledeći problem je, ako se pozadinski potoci priključe na gradsku kanalizaciju koja nije projektovana za tu svrhu. Tako je sada površina koja doprinosi toj kanalizaciji znatno veća.

Zato moramo da naglasimo da je kanalizacioni sistem, bio planiran tako ili ne, dvostruki sistem koji obuhvata:

- podzemni deo kišne kanalizacije – MINOR sistem (cevi, odvodi, šahtovi),
- površinski deo kanalizacije MAJOR sistem (ulice, parkovi, podrumi) [9]

Za pljuskove perioda povraćaja, za koje je dimenzionisan kanalizacioni sistem (na primer, do 2 godine ili do 10 godina perioda povraćaja) deluje sistem minor, a kad nastupe pljuskovi, veći ili znatno veći od hidrograma, merodavnih za dimenzionisanje cevni sistema, dominantan je sistem major. Granica podele na ta dva sistema je niz kontrolnih objekata, kao što su odvodni šahtovi na putevima, ivičnjaci u mešovitim sistemima kanalizacije i propusti na prirodnim slivovima.

U godinama 2008. 2009. u Mariboru smo imali pljuskove takvih intenziteta da su poplavili određene delove grada. Padavine krajem maja 2009. poplavile su mariborsku kanalizaciju na više deonica: Stražunski kanal ispod ukrštanja sa energetskim kanalom hidroelektrane Zlatoličje, oblast Tržnice na Taboru i područje Razvanja. Prema podacima merenja padavina na centralnom uređaju za prečišćavanje Maribor, padavine su dana 22.5.2009. dostigle 36.5 mm, a dana 26.5.2009. 88.5 mm. Sledeći intenzivni pljusak bio je 4.8.2009. Služba za zaštitu, spasavanje i odbrambeno planiranje pri Gradskoj upravi je prilikom tog pljuska pumpala vodu iz podruma 46 objekata.

Poređenje padavina u maju 2009. prema merenjima na Postrojenju za prečišćavanje Maribor i podacima o računskim kišama Agencije Republike Slovenije za životnu sredinu pokazuje da su dana 22.5. bile 10-godišnje padavine, a 26.5. bile su više nego 250-godišnje. Poređenje padavina u maju po podacima, merenim na kišnoj stanici Maribor – Aerodrom, i perioda povraćaja ARSO pokazuje da su 22.5. bile manje od 1-godišnjih, a 26.5. bile su 50-godišnje.

Povećane vode Potoka iza Kalvarije ne mogu otići u kanalizaciju i teku ulicom (Ribniška, Trubarjeva, Strossmayerjeva)



**Slika 10:** Maribor Ribniška ulica 4.8.2009.



**Slika 11:** Maribor Trubarjeva ulica 4.8.2009.

Premali broj odvoda kod prve prepreke, ivičnjaka trotoara Koroške ceste kod pijace, dovode do plavljenja Koroške ceste.



**Slika 12:** Odvodi uz ivičnjak trotoara Koroške ceste kod pijace u Mariboru



Dr. Krajnc Uroš

Stergar Boris

Pavčič Metka

Potpuno drugačije su postavljeni odvodi u slučaju drumskog podvoza u Laškom.



**Slika 13:** *Odvodi uz ivičnjak kolovoza regionalnog puta Celje – Zidani most u Laškom*

## 2.5. Pozadinske vode

Ključni problem poplavne bezbednosti su vode koje nazivamo pozadinske, dakle ne spadaju u kolovoznu kanalizaciju. Te vode su bitne naročito u slučaju, kad moramo da čistimo padavinske vode, jer povećavaju objekte za prečišćavanje. Ipak, za to odvajanje moramo da sprovedemo određene fizičke mere koji tu vodu vode direktnu u odvod. Te mere striktno sprovodimo na autoputevima i magistralnim putevima, a na putevima nižeg reda često se jarak uz put koristi za odvodnjavanje kolovoza i pozadinskih voda.

Pozadinske vode su problem poplavljanja celokupnog puta sa okolinom.



**Slika 14:** *Poplave Savinje u Celju*



**Slika 15:** *Poplava Muretinci*



Slika 16: Poplave PolhovGradec



Slika 17: Poplava Soče

Tehničke specifikacije [11] su odredile periode povraćaja (učestalost) računskih pljuskova u zavisnosti od

- kategorije puta
- konstrukcije kolovoza

**Tabela 2: Periodi povraćaja za računске pljuskove prilikom dimenzionisanja kanalizacije puteva (po predlogu TSC)**

Kategorija puta	Autoputevi, Magistralni putevi	Putevi G2 Putevi R1	Kategorisani lokalni putevi	Putevi R3 Turistički putevi	Javni putevi
Konstrukcija kolovoza	Putevi G1	Putevi R2			
Nasip	Sopstvene i pozadinske vode period povraćaja (učestalost) 5 godina	Sopstvene i pozadinske vode period povraćaja (učestalost) 2 godine	Sopstvene i pozadinske vode period povraćaja (učestalost) 1 godina	Sopstvene i pozadinske vode period povraćaja (učestalost) 0,2 godine	Sopstvene i pozadinske vode period povraćaja (učestalost) 0,2 godine
Ukup	Sopstvene i pozadinske vode period povraćaja (učestalost) 20 godina	Sopstvene i pozadinske vode period povraćaja (učestalost) 10 godina	Sopstvene i pozadinske vode period povraćaja (učestalost) 5 godina	Sopstvene i pozadinske vode period povraćaja (učestalost) 2 godine	Sopstvene i pozadinske vode period povraćaja (učestalost) 1 godina
Depresija	Sopstvene i pozadinske vode period povraćaja (učestalost) 50 godina	Sopstvene i pozadinske vode period povraćaja (učestalost) 20 godina	Sopstvene i pozadinske vode period povraćaja (učestalost) 5 godina	Sopstvene i pozadinske vode period povraćaja (učestalost) 2 godina	Sopstvene i pozadinske vode period povraćaja (učestalost) 1 godina
Spoljne vode	Period povraćaja (učestalost) 100 godina+0,5 m	Period povraćaja (učestalost) 20 godina+0,5 m	Period povraćaja (učestalost) 5 godina+0,5 m	Period povraćaja (učestalost) 2 godine+0,5 m	Period povraćaja (učestalost) 1 godina+0,5 m

Nažalost, tehničke specifikacije još nisu zakonski regulisane.

Problem istovremene visoke vode na putu i u odvodu - je hidrološki problem. Pogledajmo primer: ispuštanje kolovozne kanalizacije u reku Savu ispod Zidanog mosta ili ispuštanje kolovozne kanalizacije u Radvanjski potok u Mariboru. U prvom slučaju se česti slučajevi snažnih pljuskova kod niskih vodostaja Save i visokih nivoa Save bez padavina na slivnoj površini kolovoza. Radi se o dva različito velika sliva i, pojednostavljeno možemo reći, o dve nezavisne pojave. U drugom slučaju ista kiša puni odvodnik Radvanjski potok sa

Dr. Krajnc Uroš  
Stergar Boris  
Pavčič Metka

Pohorja i kolovoznu kanalizaciju Zapadne obilaznice u Mariboru, a slivne površine su iste klase veličine. U ovom slučaju moramo da proverimo koincidenciju oba pojava u pogledu ometanog odvoda kolovozne kanalizacije u odvod i hidraulički uzdužni profil kolovozne kanalizacije. Pomoću hidrauličkog uzdužnog profila razumemo uzdužni profil do krajnjeg odvoda, zajedno sa nivoima odvoda.



**Slika 18:** *Poplave na novoizgrađenoj deonici Lackove ceste u Mariboru*

Visoke vode Drave novembra 2012. dovele su do poplave u Melju zbog ometanog odvoda kanalizacije.



**Slika 19:** *Poplave Drave ispod Jeza u Melju*



**Slika 20:** *Poplave Meljske ceste 5.11.2012.*

## ZAKLJUČAK

Katastrofalne poplave nanose ogromnu štetu naseljima i infrastrukturnim objektima, pa i putevima. Uzroci za plavljenje puteva su: klimatske promene koje dovode do većih poplava u poređenju sa prošlošću, neodgovarajući položaji puteva na poplavnim područjima i loše održavanje puteva i objekata na putevima, pre svega propusta.

Prilikom planiranja trase određenog puta vrlo je važan izbor pravilne varijante, procenjene po različitim kriterijumima, među kojima ovde izdvajamo poplavnu ugroženost trase i njene okoline.

Poplave ugrožavaju puteve na različite načine. Neke posledice poplava su direktne i na putevima ih osećamo odmah, a druge registrujemo odmah čim se voda povuče. Neke posledice poplava ostaju prikrivene, akumulirane su u slojevima kolovozne konstrukcije i utiču na ubrzano propadanje puta posle poplava.

**Literatura:**

- [1] Stergar, B., Krajnc, U.; Tehnična specifikacija za odvodnjavanje cest, referat na 6. slovenskem kongresu o cestah in prometu, Zbornik referatov, Portorož, oktober 2004
- [2] Štravs, L.; Vrednotenje umestitve državne cestne infrastrukture v prostor z vidika poplavne ogroženost, Ceste in poplave, 10. oktober 2013 Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo
- [3] Petkovšek, A.; Nevezane plasti cest in voda – večna a nevšečna sopotnika, Ceste in poplave, 10. oktober 2013 Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo
- [4] Brenčič, M., Ratej, J.; Poplave podzemne vode – hidrogeološka izhodišča in prikaz praktičnih primerov, ceste in poplave, 10. oktober 2013 Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo
- [5] Brilly M., Špitalar M., Vidmar A.: Ceste in varnost pred poplavami, Ceste in poplave, 10. oktober 2013 Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo
- [6] Uredba o emisiji tvari kod odvodnjavanja kišne vode sa javnih cesta (Službeni glasnik RS br. 47/2005 na dan 13.5.2005) (originalni naslov: Uredba o emisiji snovi pri odvajanju padavinske vode z javnih cest).
- [7] Krajnc U.: Sanitarna hidrotehnika v funkciji zaštite urbaniziranih območij, ogroženih zaradi poplav, Mišičev vodarski dan 2009
- [8] Krajnc, U.; Protipoplavna varnost levega brega Maribora Ekolist, dec. 2009,
- [9] Despotović, J.; Kanalsanje kišnih voda , Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd 2009
- [10] Krajnc, U.; Problemi iz prakse pri zasnovi in projektiranju poplavnevarnosti in odvodnje cest, Ceste in poplave, 10. oktober 2013 Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo
- [11] Republika Slovenija, Ministrstvo za promet; Tehnična specifikacija za javne ceste TSC 03.380 (osnutek, junij 2010) Odvodnjavanje cest

# INTERAKTIVNO UPRAVLJANJE I POVEZIVANJE PROCESA PLANIRANJA, PROJEKTOVANJA I IZGRADNJE INFRASTRUKTURNIH OBJEKATA

## INTERACTIVE MANAGEMENT AND CONNECTING THE PROCESSES OF PLANNING, DESIGN AND CONSTRUCTION OF INFRASTRUCTURE FACILITIES

Isidora Pančić, master. inž. građ.<sup>1</sup>  
Zoran Nedeljković, dipl. geod. inž.<sup>2</sup>  
Ognjen Popović, master. inž. mat.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Saobraćajni institut CIP, Nemanjina 6/IV, 11000 Beograd, Republika Srbija, [pancicisidora@gmail.com](mailto:pancicisidora@gmail.com)

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, Katedra za geodeziju i geoinformatiku, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd

<sup>3</sup> Infrakit – DCS Finland Oy, regionalni menadžer / programer, Kutomotie 16, 00380 Helsinki

**Rezime:** Izgradnja infrastrukturnih građevinskih projekata predstavlja kompleksan proces sa fazama planiranja, projektovanja i izvođenja. Tokom izvođenja je važno uspostaviti ažurnu interakciju između podataka projekta i realnog objekta. Projektni podaci i podaci sa terena se povezuju u digitalni informacioni model. Internet tehnologija takozvanog oblaka (eng. Cloud), omogućava svim učesnicima u projektu praćenje izgradnje u realnom vremenu. Ovim se postiže bolja komunikacija između svih učesnika. Ažurna veza je posebno važna kod objekata velikog teritorijalnog prostiranja, posebno kod izgradnje saobraćajne putne i železničke infrastrukture. Osnovu ovako složenog sistema čini informacioni Cloud sistem, kao softverska komponenta i različiti geodetski merni uređaji, kao hardverski deo. Ovaj rad ima za cilj da prikaže moderan način interakcije na relaciji projekat-teren, kao i važnost kvalitetnog prikupljanja podataka.

**Cljučne reči:** Projekat, infrastruktura, Cloud, BIM, Infrakit, GCM, GPS, AGROS, geodetski datum

**Abstract:** Implementation of civil engineering infrastructure projects is a complex process which includes phases of planning, design and construction. During construction works it is important to establish prompt interaction between design data and the real facility. Design data and field data are interconnected with a digital information model. So-called "Cloud" interned technology enables stakeholders to monitor construction works in real time and to have better communication between them. Prompt connection is especially important for projects covering large areas, especially road and railway infrastructure projects. Such complex system is based on Cloud information system being a software component and on different geodetic survey devices being a hardware component. This paper is aimed at presentation of a modern interaction between design process and construction site, as well as of an importance of high-quality data collection.

**Key words:** Project, infrastructure, Cloud, BIM, Infrakit, GCM, GPS, AGROS, geodetic datum

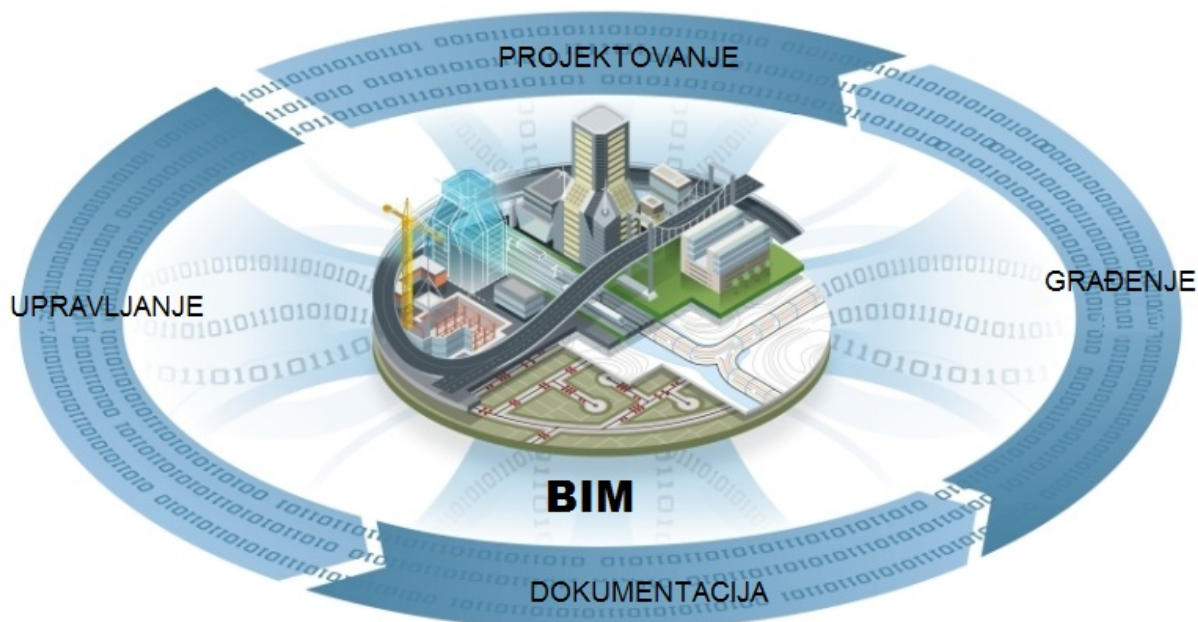
### 1. UVOD

Nastajanje jednog objekta od ideje pa do izvedenog stanja predstavlja niz složenih aktivnosti koje se nadovezuju jedna na drugu. Prvo se pristupa analizi postojećeg stanja i prognozi budućeg što predstavlja proces planiranja mreže infrastrukture, zatim slede projektovanje i izvođenja objekta. Sinhronizacija nabrojanih procesa zahteva kvalitetno i precizno sakupljanje i upravljanje podacima. Rad prikazuje važnost komunikacije između svih učesnika u projektu. Osnovna ideja je da se svi nabrojani procesi povežu i objedine, što je moguće postići korišćenjem softvera i savremene opreme namenjene merenju i izvođenju radova.

### 2. BIM metodologija

Tendencija porasta stepena motorizacije je kompleksan proces jer podstiče razvoj čitavog sistema aktivnosti u oblastima celokupne infrastrukture, informacionih sistema i saobraćaja. Pravilan razvoj infrastrukturne mreže saobraćajnica podrazumeva procese planiranja i projektovanja koji se ne mogu posmatrati odvojeno već kao jedna celina. Analize postojećeg stanja i potreba korisnika predstavljaju planiranje, a oblikovanje elemenata trase projektovanje. Nakon izrade projekta sledi kontrola projektne dokumentacije, zatim izvođenje radova na izgradnji objekta i na kraju izrada arhivskog projekta i studije pre i posle [Maletin, 2009].

Prikupljanje podataka i stvaranje baze je poseban proces, čiji je cilj optimizacija izgradnje sa minimalnim gubicima vremena i materijala.



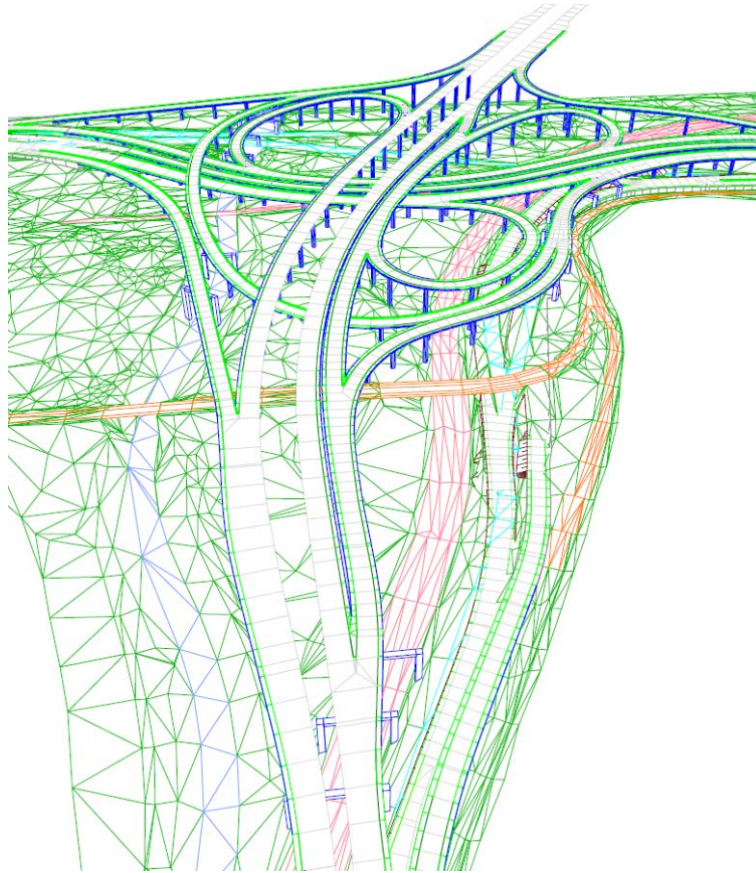
Slika 1: Objedinjavanje podataka u informacioni Cloud sistem

Sa druge strane merenjem se utvrđuje stvarno stanje na terenu i vrši korekcija projekta. Na kraju se dobija precizan projekat izvedenog stanja, što automatski daje ažurnu projektnu dokumentaciju. Povezivanje svih pobrojanih procesa u jedinstven digitalizovan sistem informacija, kome preko zajedničke platforme mogu pristupiti svi učesnici u projektu, je ideja iz koje je proizašla BIM metodologija (eng. Building Information Modeling-BIM). BIM stvara uslove za upravljanje podacima tokom celog procesa projektovanja koji podrazumeva dizajniranje koncepta objekta, izradu projektne dokumentacije za izgradnju objekta, upravljanje izgradnjom i na kraju održavanje objekta u fazi eksploatacije [slika 1]. Pored klasičnih geometrijskih podataka, BIM omogućava prikazivanje negeometrijskih atributa. To su najčešće podatci o specifikacijama i količinama materijala, tehnički opisi, položaj instalacija, dinamika odvijanja aktivnosti na gradilištu, audio-vizuelni sadržaj i ostalo. [URL 4]. Informacije koje se dobijaju iz projekta predstavljaju ulazne podatke, dok je na kraju izvođenja radova cilj dobiti stvarnu situaciju sa svim izmenama nastalih tokom izgradnje. Stvaranje jedinstvenog digitalizovanog informacionog modela zahteva upotrebu različitog softvera i opreme za prikupljanje podataka. Ranije se napretkom smatralo prelaženje sa papirnog na digitalno projektovanje. Danas je neki projekat BIM ukoliko se računarski prati ceo njegov životni ciklus. Postoji prilično puno savremenih softvera koji se koristi prilikom projektovanja i izvođenja radova kao i načini za prikupljanje podataka. Neka softverska rešenja biće opisana u daljem tekstu.

### 3. Projektovanje GCM

Razvoj informacionih tehnologija poslednjih decenija utiče i na razvoj softvera namenjenog inženjerima različitih struka (mašinstvo, saobraćaj, građevina, arhitektura,...). Informacione tehnologije i kompjuterska tehnika su prisutni kao standardni deo projektovanja u savremenoj inženjerskoj praksi. Kompjuterski podržano projektovanje predstavlja moćnu alatku u rukama savremenog inženjera. Danas u svetu postoji više softverskih rešenja namenjenih 2D i 3D projektovanju. Autodesk zauzima dominantno mesto u proizvodnji i razviju softvera namenjenog projektovanju i modeliranju. Napravljeni su i brojni potprogrami koji su podržani CAD tehnologijom, a primenjuju se za specifične potrebe inženjera. GCM-Gavran Civil Modeller je jedan takav softver namenjen projektovanju i modeliranju linijskih objekata, pre svega puteva i železnica. GCM sadrži tri palete sa alatkama GAVRAN CLASSIC, GAVRAN NEW i GavranSTL. Svaka od ove tri glavne trake sa alatkama dalje otvara nove module, a svaki od modula izvršava jedan tehnološki zaokružen proces projektovanja. GCM nudi veliki broj komandi namenjenih projektovanju elemenata situacionog i nivelacionog plana, kao i 3D modeliranju objekata niskogradnje sa svim pratećim objektima (kanalima, kosinama, potpornim zidovima,...). Nivo detaljnosti zavisi od faze projekta. GCM radi u 2D i 3D okruženju. Omogućava pravljenje kompletnog 3D modela terena i svih objekata sastavljenih od mreže trouglova (3D fejsova). Trouglovi predstavljaju površine terena, kolovoza, potpornih zidova i drugih prirodnih i stvorenih objekata, [slika 2]. Nakon definisanja elemenata situacionog i nivelacionog plana i pravljenja 3D modela sledi

iscrtavanje serije poprečnih preseka koji se bukvalno seku iz gotovog modela pa je nivo detaljnosti profila isti kao i 3D modela.



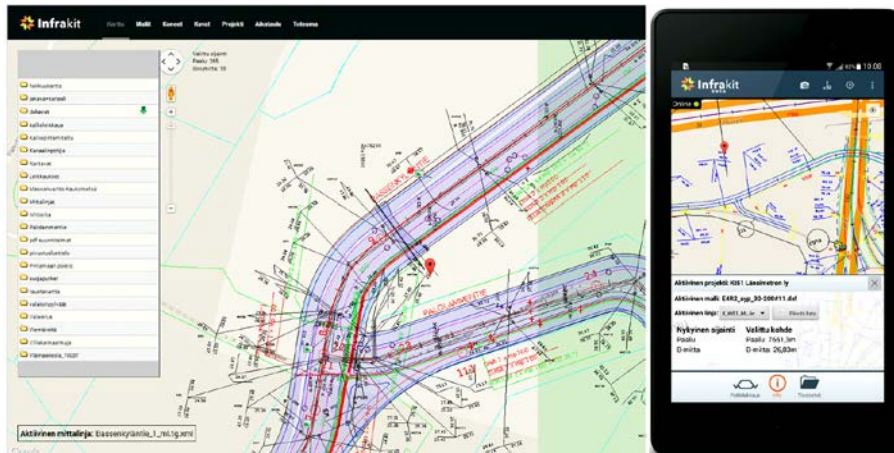
*Slika 2: Primer 3D modela terena i raskrsnice sa svim pratećim objektima*

CSC grupe komandi uvedene su u GCM 2006, koriste se za obradu serija poprečnih profila, tzv. projektovanje po poprečnim profilima. Nakon 3D trasiranja, a na osnovu podataka o kolovozu (širina traka i poprečni nagib) dolazi se do serije uprošćenih poprečnih profila koji sadrže samo kolovozne površine i liniju terena. Na ovakve serije uprošćenih profila aplicira se CSC koji analizira odnose kolovoza i terena. Analizira se da li je konkretna ivica u useku ili nasipu i da li je na višoj ili nižoj strani kolovza, pa se na osnovu toga konstruiše odgovarajući detalj [URL 3]. GCM sadrži grupe alata koje na osnovu prostorne analize modela generišu grafičku i numeričku dokumentaciju projekta. Softver omogućava analizu raspoložive preglednosti na osnovu generisanih 3D modela dobijenih u ranijim fazama projektovanja. Na osnovu dijagrama raspoložive preglednosti i tačaka proboja kroz postavljene barijere moguće je odrediti potrebnu širinu berme prglednosti. Osim iscrtavanja poprečnih profila moguće je i njihovo planimetrisanje (obračun količina) i izvoz dobijenih podataka koji se dalje obrađuju u excel-u i služe kao dokaznice radova. Softver sadrži komande pomoću kojih se proračunava vreme putovanja i potrošnje goriva za teretna vozila kao i komande koje se koriste za iscrtavanje dijagrama krivinskih karakteristika i dijagrama projektne brzine u zavisnosti od horizontalne i vertikalne usklađenosti puta [URL 2]. Program ima alate namenjene simulaciji kretanja merodavnog vozila duž zadatog stringa čime se vrši analiza prohodnosti vozila u uslovima određenih prostornih ograničenja (raskrsnice, industrijski pogoni i sl.). GCM i sličan softver omogućavaju efikasniji i kvalitetniji pristup planiranju, modeliranju i optimizaciji u procesu projektovanja i pružaju mogućnost brzog i jednostavnog dobijanja više različitih varijanti rešenja.

#### **4. Izvođenje Infrakit**

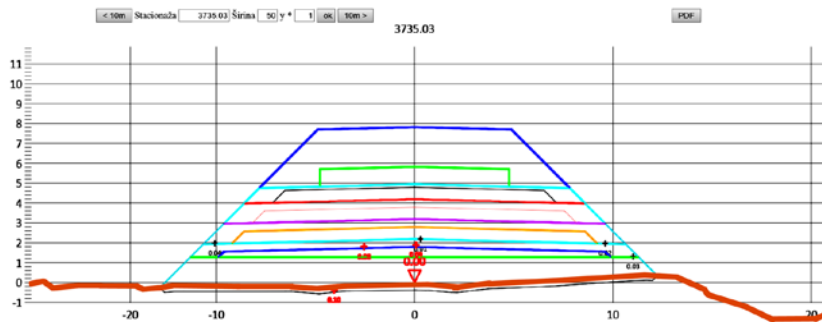
Izgradnja linijskih objekata je zahtevan i složen proces. Da bi se postigla veća efikasnost izgradnje često se radovi vrše simultano na više lokacija. Upravljanje procesom izgradnje objekta podrazumeva koordinaciju i komunikaciju između učesnika različitih struka u cilju optimizacije. Infrakit je web aplikacija namenjena za praćenje izgradnje objekata. Ona predstavlja deo BIM metodologije. Infrakit sadrži u sebi bazu podataka o objektu koji se izvodi. Baza se konstantno ažurira od strane vlasnika projekta, projektanata, nadzornog organa ili geometara. Podaci koji se unose u bazu prikazani su i tabelarno ali i na geografskoj mapi i mogu

se videti iz web pregledača, bez obzira na tip računara ili operativni sistem. Na ovaj način se u proces izradnje uključuju svi učesnici, a komunikacija između njih je znatno jednostavnija.



Slika 3: Učitani 3D model objekta u Infracit generisan sa Google mapom

Rezultat je efikasno praćenje, optimizacija procesa izgradnje i kontrola izvedenih radova. Konstantnim praćenjem izgradnje objekta brže se mogu uočiti greške i smanjiti rizik od nekvalitetnog izvođenja radova. Na kraju izvođenja radova dobija se slika stvarnog stanja izvedenog objekta. Ovakvo BIM cloud rešenje je odlična platforma za prikaz bilo kakvih podataka vezanih za proces izgradnje i konstantno se prilagođava potrebama učesnika. Kao primer navodimo neke od opcija koje su već u upotrebi, kao što je vizuelno prikazivanje cevi i instalacija u poprečnom preseku terena. Takav prikaz može biti od koristi projektantu u fazi projektovanja. On može izlaskom na teren da vidi svoju lokaciju, projektovani model i položaj instalacija. Isti podaci su veoma bitni i za vreme izvođenja, kada vozač građevinske mašine treba da obradi taj isti deo terena. Do sada nije postojalo cloud BIM rešenje za praćenje izgradnje nakon što je posao projektanta završen. Isprojektovane CAD modele terena, puteva i pruga, na kojima se vrše radovi, Infracit integriše sa Google mapom i prikazuje ih na glavnom ekranu kao 3D površine sa iscrtanim trouglovima ili konturama na stvarnoj lokaciji, [slika 3]. Na osnovu ovog modela se izvode radovi. Klikom na bilo koji deo modela dobijaju se podaci o stacionaži kao i mogućnost prikazivanja poprečnog preseka (profila) na odbranom mestu. Na profilu su prikazane tačke koje su izvedene i koje se u cloud mogu prebaciti automatski, direktno sa mernih geodetskih uređaja [slika 4]. Te iste tačke se vide i u situacionom planu. Komunikaciju između korisnika olakšava i mogućnost prikazivanja fotografija nastalih na terenu. Fotografije se prikazuju na mapi tačno na mestu gde je nastala sa upisanim komentarom, vremenom, datumom i imenom korisnika [URL 1]. Infracit se oslanja na nacionalne smernice države Finske koje su nazvane InfraBIM, a napisale su ih firme okupljene u buildingSMART biznis grupi (izvođačke firme, Finska Agencija za Transport, finske samouprave, konsultantske kompanije...). Velike Evropske države čekaju na prevod svih poglavlja ovih smernica, i pokušaću da usklade svoje smernice sa Finskom, jer je ona trenutno vodeća zemlja u digitalizaciji radova u niskogradnji. U drugom delu smernica pod nazivom „Opšti zahtevi“, podvučeno je da podaci o projektu moraju biti u otvorenim formatima. Rezultat saradnje softvera GCM i Infracit je da GCM sada nudi izvoz svojih osovina u otvorenom LandXML formatu. Sa druge strane, kvalitet 3D modela napravljenih u GCM softveru može povećati preciznost obračuna i izveštaja koje Infracit pravi – od preciznosti izvedenih tačaka do računanja zapremina između dva sloja.



Slika 4: Prikaz poprečnog profila sa izvedenim tačkama



Treći deo InfraBIM smernica se odnosi na „Zahteve u vezi prikupljanja pripremljenih, inicijalnih podataka“, koji opisuje kako da se sirovi podaci dobijeni sa terena obrade i pripreme u otvorene formate i moderne koordinatne sisteme kako bi se u narednim koracima koristile u okviru smernica i BIM tehnologije [URL 5]. Cloud platforma pomaže da se svi ovi podaci lako prikažu, vizuelizuju i provere kako bi bili upotrebljivi i u daljim fazama gradnje.

## 5. Prikupljanje podataka

Prikupljanje podataka prilikom realizacije građevinskih radova se može obaljati različitim mernim uređajima. Najčešće se koriste totalne stanice za ugao i dužinu i niveliri za merenje visinskih razlika. U ovo vreme je sve češća upotreba GPS/GNSS uređaja zasnovanim na satelitskoj tehnologiji. Ono što izdvaja ovu tehnologiju je jednostavnost u radu, koju svakako zahteva korisnik. Pravidna jednostavnost krije u svojoj pozadini zapravo veoma složen sistem koji funkcioniše integralno i na globalnom nivou [Hofmann-Wellenhof and all, 2001.]. Veoma praktičan značaj mernog sistema je merenje pojedinačne tačke u realnom vremenu [slika 5]. Takva merenja se mogu izvoditi u centimetarskom nivou tačnosti. Visoka integrisanost GPS prijemnika i prateći softverski sistemi pružaju danas veoma velike mogućnosti. Pozicija tačke koja se može dobiti u svakoj sekundi tokom merenja može da se dalje iskoristi za obradu i uspostavljanje složenih geometrijskih struktura u projektu. Kreiranje linija, površina i danas sve češće TIN i DTM modela postaje sve jednostavnije. Ovakvi merni uređaji se oslanjaju na veoma sofisticiranu pozicionu infrastrukturu kao što je AGROS (Aktivna Geodetska Referentna Osnova Srbije). Sistem je uspostavljen od strane Republičkog geodetskog Zavoda (RGZ) za potrebe pozicioniranja na nivou cele države. AGROS podrazumeva permanentni servis preciznog satelitskog pozicioniranja u Srbiji [slika 6]. Uspostavljanjem AGROS ostvaren je neophodan uslov za prevazilaženje problema koji se odnose na referentne geodetske osnove u Republici Srbiji i stvoreni su uslovi koji omogućavaju:

- Realizaciju i održavanje geodetskog referentnog okvira Republike Srbije,
- Realizaciju, kontrolu kvaliteta i unifikaciju datuma geodetske osnove državnog premera,
- Pozicioniranje detaljnih tačaka državnog premera pri izradi i održavanju katastra nepokretnosti,
- Pozicioniranje za potrebe izrade svih vrsta topografsko-kartografskih podloga,
- Realizacija geodetskih kontrolnih mreža kao i druge vrste pozicioniranja pri projektovanju, izgradnji i eksploataciji građevinskih i drugih vrsta inženjersko-tehničkih radova,
- Precizno praćenje vozila javnih službi i privrednih objekata,
- Praćenje i izučavanje geodinamičkih fenomena,
- Distribucija tačnog vremena.

AGROS se saglasno projektu Republičkog geodetskog Zavoda, sastoji iz:

- GPS segmenta, (koji se sastoji od 32 permanentne stanice)
- Komunikacionog segmenta i
- Korisničkog segmenta.

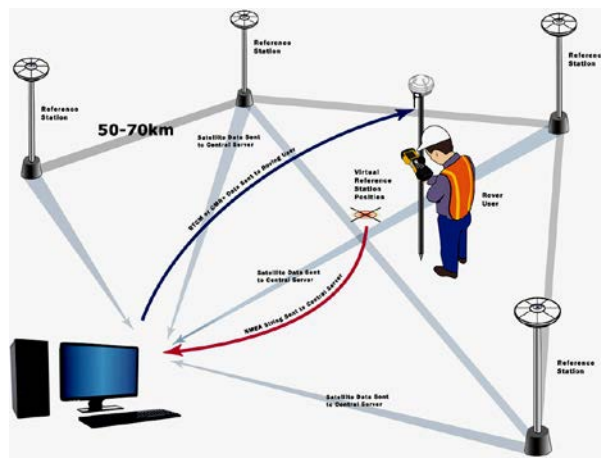


Slika 5. GPS/GNSS merni uređaji

Mreža je uspostavljena u fazama od 2002. godine do 2005. godine. Ekonomsko korišćenje servisa AGROS počinje 16.12.2005. Trenutni servisi koji se mogu koristiti i njihova tačnost su prikazani u tabeli 1:

Tabela 1 AGROS servisi i njihova tačnost

Red.br.	Servis	Tačnost [m]	Opis
1.	AGROS RTK	0.02 - 0.03	Pozicioniranje primenom kinematičke metode
2.	AGROS DGPS	0.5 - 3.0	Pozicioniranje primenom diferencijalne metode
3.	AGROS PP	0.01	Pozicioniranje primenom statičke metode

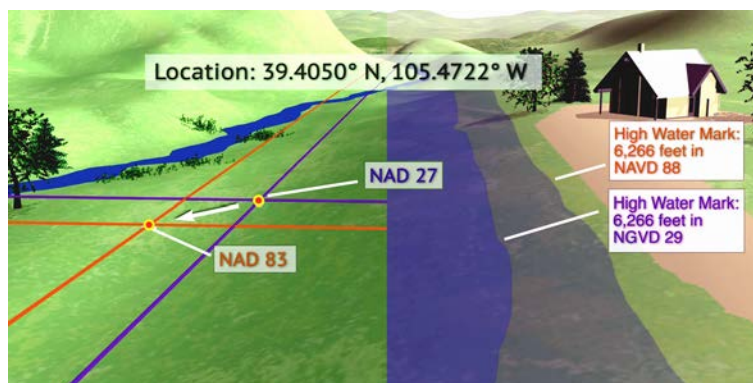


Slika 6. Princip rada mreže permanentnih stanica

Servis je moguće koristiti ako su sve stanice direktno povezane sa kontrolnim centrom. Sa permanentnih stanica stižu sve informacije u centar AGROS-a. Server u kontrolnom centru kontinuirano prikuplja opservacione podatke i kreira tzv. živu bazu regionalnih korekcija. Ove podatke sistem kasnije koristi za pravljenje i kreiranje VRS (Virtual Reference Station) pozicije korisnicima na terenu. Prijemnik na terenu šalje svoju približnu poziciju kontrolnom centru standardnom NMEA rečenicom sa GGA porukom. Ovaj format je izabran jer gotovo svi prijemnici podržavaju navedeni format. Kontrolni centar sa centralnom softverskom jedinicom, prihvata podatak, proverava, i putem RTCM korekcionih mrežnih poruka, šalje podatke korisniku preko virtuelne permanentne stanice koja se kreira na položaju koji je korisnik poslao sa terena. Tako dobijenu korekciju pokretni prijemnik, rover koristi da bi u relanom vremenu, gotovo trenutno procesiranjem dobio preciznu poziciju. Sa korisničkog aspekta GPS omogućava uspostavljanje koordinatnog sistema na celoj teritoriji gradilišta. Tako uspostavljen geodetski datum pruža homogenu tačnost na celoj obuhvaćenoj teritoriji. U univerzumu u kome se prepoznaje stalno kretanje i opšta relativnost položaja, koordinatni sistem ima ulogu da privremeno i u svom ograničenom domenu obezbedi privid apsolutne pozicije [Nedeljković i Sekulić 2016.]. Rad sa prostornim podacima i parametrima geodetskog datuma zahteva pažljivo postupanje. Glavni problem i česta zamka koja može da se pojavi je nepravilna upotreba parametara nekoliko geodetskih datuma, koji su prisutni u različitim skupovima podataka [slika 7]. Kombinovanje, na primer karte iz istočne Evrope sa kartom iz zapadne Evrope proizvodi značajne nesuglasice [Kovalevsky and Mueller, 1981]. Različite geografske karte su produkt kartografske projekcije sa različitih elipsoida. Elipsoidi su prethodno pridruženi međusobno različitim koordinatnim sistemima koji nisu geocentrični i čiji je položaj i orijentacija lokalnog karaktera. Istovremeno se danas proizvodi veoma obimna količina podataka, merenja i geodetskih podloga. Geografska karta koja je kreirana danas je proizvod korišćenja savremenih globalnih sistema, pa njen geodetski datum može da bude globalnog karaktera tj. geocentričan, na primer WGS84. Zato je značajna posledica izražen nesklad geodetskih datuma starijih podataka, sa danas snimljenim materijalom. Nesaglasnost koordinatnih sistema prostornih podataka može da bude prepoznata kroz dva pojavna oblika:

- Podaci imaju na isti način definisan koordinatni sistem, ali je realizovan različito kod različitih podataka. Samim tim su pojedine realizacije, svaka na svoj način implementirane nepravilno ili ne odgovaraju savremenim zahtevima.
- Podaci imaju dva, ili više različito definisanih geodetskih koordinatnih sistema.

Prvi slučaj se često sreće prilikom upotrebe sistema geodetskog premera iz ranijeg vremenskog perioda. Iz različitih razloga, kroz istoriju su prilikom realizacije referentnog okvira, često zanemarivane važne naučne činjenice i pravljenе suštinske greške. U prošlosti je bio čest slučaj da se matematička izračunavanja u geodetskoj mreži ne izvode integralno i homogeno zbog nedostatka odgovarajuće računarske tehnologije. Širenje teritorije mreže ili njena densifikacija je izvođena često uz nenaučne pretpostavke i aproksimativno. Činjenice kao što su tektonska, regionalna i lokalna pomeranja tla su uglavnom zanemarivane.



Slika 7. Posledica položajne i visinske nesaglasnosti dva koordinatna sistema

Problem je utoliko značajniji što postoji ogroman broj podataka koji su sistemski vezani za mrežu. Geodetski i katastarski premer, podloge urbanista, kartografa i ostalih, zavise suštinski od ovakvog referentnog sistema [Blagojević, 2009.]. Drugi slučaj je prvenstveno problem logističke i organizacione prirode. Različiti koordinatni sistemi, po svojoj definiciji i realizaciji mogu da se transformišu u jedan homogeni objedinjeni datum. Da bi ovaj problem bio rešen, neophodno je usvajanje jednog ciljnog geodetskog datuma, pa se najčešće za te potrebe uzima globalni geocentrični geodetski datum. Najčešće je to elipsoid i koordinatni sistem WGS84, koji se inače po potrebi, jednostavno može uspostaviti primenom GNSS tehnologije [NIMA, 2000.]. Za tako usvojeni ciljni datum je dalje neophodno određivanje datumskih parametara svakog pojedinačnog lokalnog datuma. Primenjuje se dakle takozvana datumaska transformacija, koja je danas obavezan alat i integrisana je u svim softverskim sistemima GIS-a.

## 6. ZAKLJUČAK

Korišćenjem softvera omogućeno je efikasno upravljanje procesima optimizacije u različitim fazama projekta, a brzina i lakoća sa kojom se dokumentacija kreira ili modifikuje ima niz prednosti u odnosu na klasičan način rada. Dosadašnji klasičan pristup procesu izvođenja radova je komplikovan jer zahteva dosta vremena i usporava komunikaciju između projektanta i izvođača radova. Savremene tehnologije omogućavaju praćenje dinamike izvođenja radova i brži protok informacija pa se na taj način skraćuje vreme izgradnje objekta. Prikazan softver daje mogućnost povećanja produktivnosti rada u smislu efikasnijeg projektovanja, praćenja i kontrole izvođenja geometrije objekta. Dalja nadogradnja softvera koja bi doprinela još bržoj i jeftinijoj izgradnji jeste i mogućnost jednovremenog praćenja kvaliteta izvedenih radova u smislu nosivosti, zbijenosti i ravnosti, a ne samo geometrije izvedenih radova.

## Literatura

Blagojević D., Research of optimal model of horizontal transformation on the territory of the Republic of Serbia-Final Report, Republic of Serbia-Serbian Geodetic Authority, Belgrade, 2009.

Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J.: Global Positioning System: Theory and Practice (Fifth Edition), Springer-Verlag, 2001.

Kovalevsky J, Mueller I. Comments On Conventional Terrestrial And Quasi-Inertial Reference Systems, Reference Coordinate Systems For Earth Dynamics-Proceedings Of The 56Th Colloquium Of The International Astronomical Union Warsaw, Poland, September 8-12, 1981.

Maletin M., Planiranje i projektovanje saobraćajnica u gradovima, Orion Art, 2009

Nedeljković Z., Sekulić A., Concept of spatial coordinate systems, their defining and implementation as a precondition in geospatial applications, Bulletin of the Serbian Geographical Society, Volume 96 Issue 1, Belgrade, 2016.

NIMA Technical Report, World Geodetic System 1984-It's Definition and Relationships with Local Geodetic Systems, U.S.A. Department of Defense, 2000.

URL 1: <https://infrakit.com/en/>

URL 2: <http://www.gcm-gavran.com/gavran-gcm-history.htm>

URL 3: [http://www.gcm-gavran.com/gavran-gcm-modules.htm#\\_CSC1,\\_CSC2\\_and](http://www.gcm-gavran.com/gavran-gcm-modules.htm#_CSC1,_CSC2_and)

URL 4: <http://extreme.rs/arhitektura-i-visokogradnja/>

URL 5: <http://www.infrabim.fi/en/requirements-and-guidelines/common-infrabim-requirements/>

# BIM TEHNOLOGIJA I NJENA PRIMENA KOD PROJEKTOVANJA I GRADNJE PUTEVA

Toša Ninkov<sup>1</sup>, Igor Sabadoš<sup>2</sup>, Zoran Sušić<sup>3</sup>, Mehmed Batilović<sup>4</sup>, Vladimir Bulatović<sup>5</sup>

## Rezime:

*Projektovanje puteva predstavlja zahtevan proces koji se odvija po fazama tokom kojih treba doneti dobre odluke utemeljene na pravim informacijama i činjenicama zasnovanim na brojevima. Savremeni alati poput BIM tehnologije zbog svoje sveobuhvatnosti predstavljaju budućnost za sve vrste projektovanja u građevinarstvu. BIM omogućava projektovanje uz trodimenzionalnu vizualizaciju prostora, pažljivo planiranje dinamike radova i praćenje razvoja projekta kroz sve faze i time pruža mogućnost potpune kontrole kompleksnog gradilišta.*

**Ključne reči:** BIM, Projektovanje

## 1. UVOD

Iako BIM (Building Information Modeling) jeste pojam koji se vezuje za savremene tehnologije, svoje korene vuče iz perioda razvoja računarskih tehnologija. Charles Eastman je 1975 u svom radu "The use of computers instead of drawings in building design" pisao o ideji parametarskog dizajniranja objekta i kreiranju 2D crteža iz jedinstvene baze podataka koja bi mogla poslužiti kako za vizualne tako i za kvantitativne analize. Takođe je sugerisao da bi izvođači velikih radova na bazi tih podataka mogli predvideti i naručiti količinu materijala potrebnu za gradnju. Glavni razlog zašto to nije bilo tako primenjivo u to vreme jeste nedostatak računarske grafike koja bi mogla to da pokrene. Razvojem računarske tehnologije ovaj nedostatak je prevaziđen. U Severnoj Americi od 2007. godine do 2012. godine upotreba BIM, u raznim sferama inženjerstva, porasla je sa 28% na 71%. Svest o prednostima BIM projektovanja iz godine u godinu raste i na našim prostorima i sve više inženjera uviđa da je BIM jedno od najperspektivnijih otkrića koje svoju primenu nalazi u arhitekturi, inženjerstvu i građevinskoj industriji. [1] [7] [8]

## 2. BIM i njegove mogućnosti

BIM je sveobuhvatni proces projektovanja koji započinje dizajniranjem koncepta objekta, a završava se izradom projektne dokumentacije za izgradnju objekta, upravljanjem izgradnjom objekta i održavanjem objekta u fazi eksploatacije. BIM predstavlja generisanje i korišćenje koordinisanog, jedinstvenog i preciznog 3D modela objekta koji kao podlogu ima sistem informacija. Informacije o projektu koje donose pouzdani digitalni prikazi objekta mogu se koristiti za: ispitivanje, analizu i simulaciju različitih varijanti rešenja, izradu precizne i ažurne projektne dokumentacije, predviđanje performansi objekta u izgrađenom okruženju, specifikaciju materijala, procenu troškova izgradnje, i na kraju, za upravljanje i održavanje objekta. [2]

BIM može predstaviti kompletan životni vek objekta, od procesa gradnje do scenarija korišćenja, tj. održavanja objekta. BIM pruža jednostavno dobijanje svih potrebnih informacijama o količinama (na primer, prilikom izrade specifikacije i proračuna troškova). On objedinjuje geometriju, prostorne odnose, analizu osvetljenja, geografske parametre, količine i tehnički opis elemenata (na primer, detalje proizvođača pojedinih elemenata zgrade). Obim i određena polja rada mogu biti izdvojena iz projekta i posebno definisana. Sistemi, montaža ili delovi objekta mogu biti prikazani u odgovarajućoj razmeri u odnosu na ceo objekat ili grupu objekata.

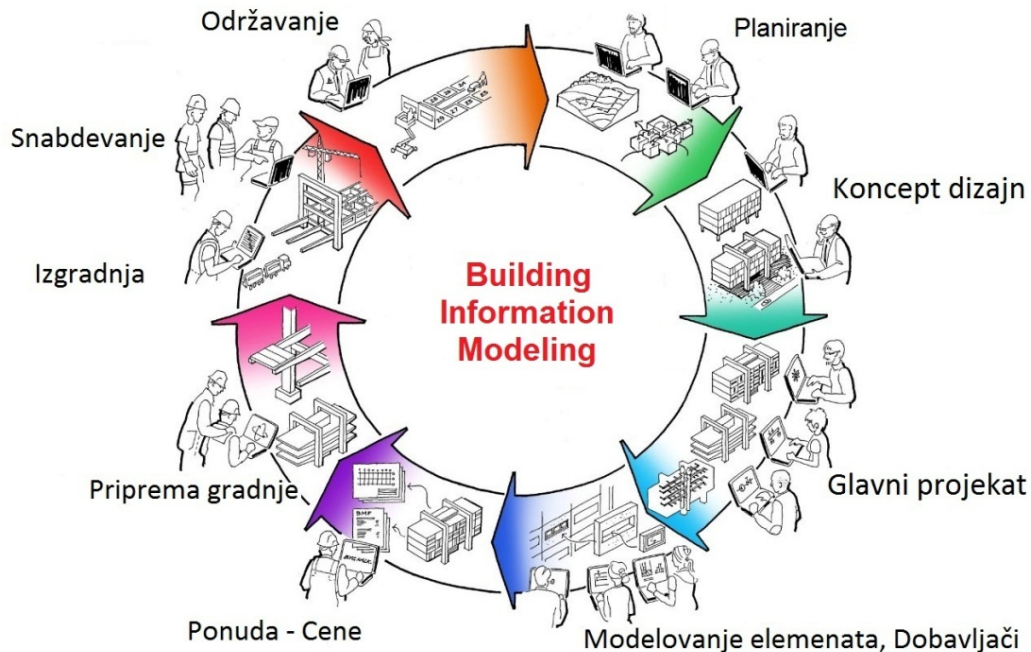
<sup>1</sup> Red. Prof. Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, ninkov.tosa@gmail.com

<sup>2</sup> Asistent, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, igorsabados@gmail.com

<sup>3</sup> Docent, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, susic\_zoran@yahoo.com

<sup>4</sup> Asistent, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, batilovicm@gmail.com

<sup>5</sup> Docent, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, vbulat2003@gmail.com



**Slika 1.** Proces pravlejnja BIM-a

BIM je zapravo sličan konceptu PLM (Product Lifecycle Management – upravljanje životnim vekom proizvoda) jer prevazilazi problematiku geometrije i dotiče teme kao što su: upravljanje troškovima, projektni menadžment, ali i istovremeni rad na većini različitih aspekata korišćenja objekta. [3]

## 2.1. BIM projektovanje

Tradicionalan način projektovanja podrazumeva kreiranje preseka objekta po različitim profilima i prikazivanje u 2D ravni. Godinama unazad razvijeni su softveri poput (AutoCAD-a, ArhiCAD-a itd.) koji omogućavaju 3D projektovanje. Međutim Bim je mnogo više od 3D projektovanja. Projektovanje BIM softverskim alatima vrši se gotovim građevinskim elementima, uz mogućnost projektovanja potrebnih elemenata, i njihovim uklapanjem u celinu. To prevazilazi tradicionalan način pristupanju projektovanja i više podseća na sklapanje kockica.

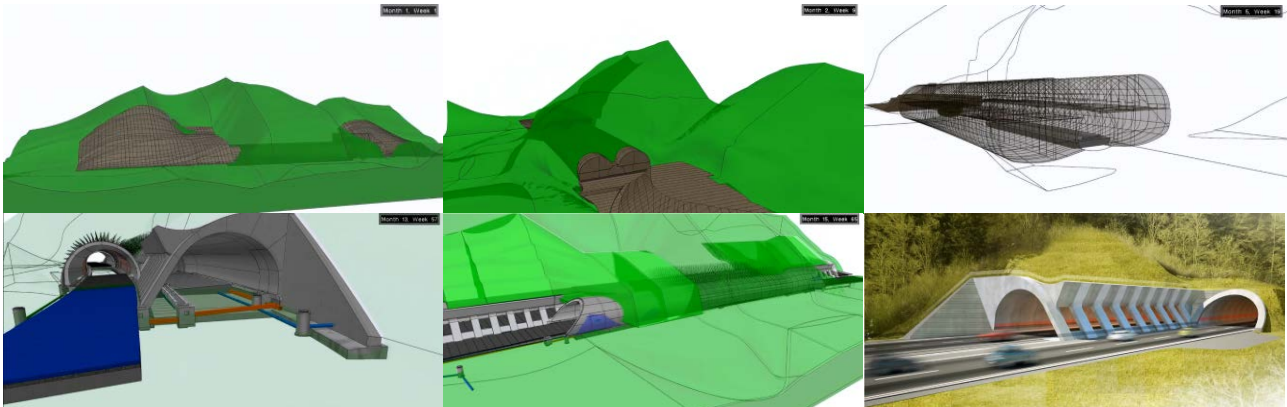
Ali BIM nije samo 3D reprezentacija. On omogućava inženjerima da lakše predvide performanse objekta pre nego se izgradi, da optimizuju dizajn i brže odgovore na njegove promene na osnovu analiza, simulacija i vizualizacije i na taj način kreiraju kvalitetniju projektnu dokumentaciju. Pored toga omogućava i bolju saradnju među timovima i omogućava prenošenje dragocenih podataka sa modela na objekat pre izgradnje i na taj način štedi vreme i novac koji bi bili utrošeni na prepravke. [6]

Kada se na to doda mogućnost praćenja izgradnje tokom vremena uz praćenje troškova, tada ovaj vid projektovanja dobija na značaju. Pored 3D vizualizacije ovakav pristup omogućava pažljivo planiranje izgradnje, koja može teći bez zastoja, u zavisnosti od priliva finansija. Po završetku izgradnje BIM omogućava i upravljanje objektom i izradu projekta održivosti i upravljanje objektom tokom eksploatacije. Dakle govorimo 7D projektovanju.

## 3. BIM u projektovanju i gradnji puteva

BIM uprkos tome što mu stoji u imenu, nije ograničen samo na primenu u arhitekturi i zgradarastvu. BIM su vrlo brzo prepoznali i građevinski inženjeri kao alat koji omogućava brzo i pametno projektovanje. [6]

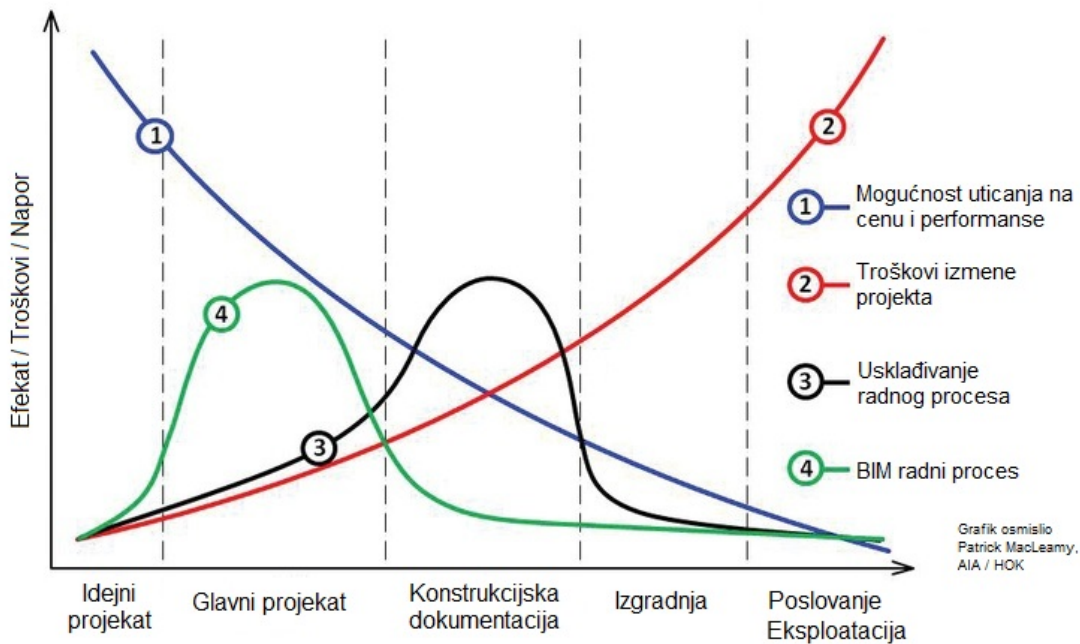
Primena BIM-a za projektovanje puteva i autouteva počinje izradom kvalitetnih 3D podloga terena, kao što su digitalni model terena (DTM) i digitalni model površi (DSM). Zatim se nastavlja modelovanjem na bazi relevantnih informacija o dizajnu i prostornom položaju projekta. To dovodi do izrade inteligentnog 3D modela puta (autoputa) čiji elementi su povezani dinamički, ne samo tačkama, površinom, ravnima, već bogatim skupom zajedničkih podataka. [5]



Slika 2. Kompozicija fotografija BIM tunela u Sloveniji kroz faze izgradnje (Bexel consulting)

Razliku između tradicionalnog pristupa i BIM možemo uočiti ako se osvrnemo na proces građenja puteva i autoputeva. Tradicionalni pristup počinje izradom 2D crteža idejnog projekta, glavnog projekta i građevinske dokumentacije. Svaki korak je završen pre nego što počne sledeći. Ovakav pristup funkcioniše dobro dok ne dođe do potrebe za promenom projekta. [6]

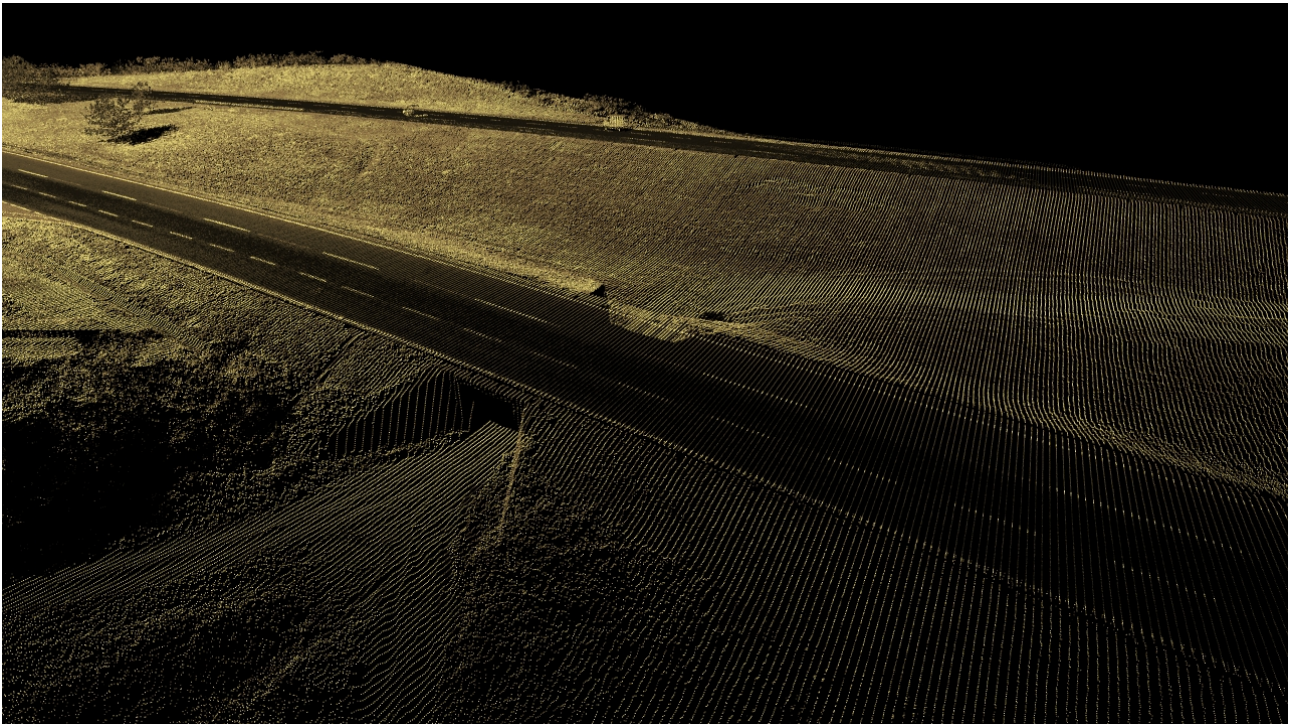
Na primer pretpostavimo da na pola procesa projektovanja zaključimo da nagib u profilu nije adekvatan i da ga treba prilagoditi u vertikalnoj krivini. Tradicionalna pristup bi zahtevao izradu nove projektne i konstrukcijske dokumentacije što bi moglo prouzrokovati vremensko kašnjenje realizacije projekta. BIM omogućava da podešavanjem profila svi povezani elementi automatski budu ažurirani što projektantu omogućava trenutni uvid u nastale promene uključujući i promene u količini materijala. Ovakav pristup projektovanju omogućava mnogo više alternativnih projektnih rešenja. Takođe kao deo projektovanja, građevinski inženjeri mogu sprovoditi simulacije i analize i na osnovu njih optimizovati projekat u pogledu pristupa izgradnji, održivosti, sigurnosti na putu i tome slično. Kao finalni produkt BIM-a sva projektna dokumentacija i crteži u 2D ravni mogu biti kreirani direktno iz informacionog modela objekta. Takođe kao finalni produkt može poslužiti i sam model obogaćen svim informacijama o površinama i zapreminama, redoslednu gradnje, kao model za upoređenje sa izgrađenim delovima pa čak i za poslovanje i održavanje tokom eksploatacije. [5]



Slika 3. Potreban napor kroz različite faze životnog ciklusa za tipične puteve ([http://cenews.com/article/6098/what\\_does\\_bim\\_mean\\_for\\_civil\\_engineers](http://cenews.com/article/6098/what_does_bim_mean_for_civil_engineers))

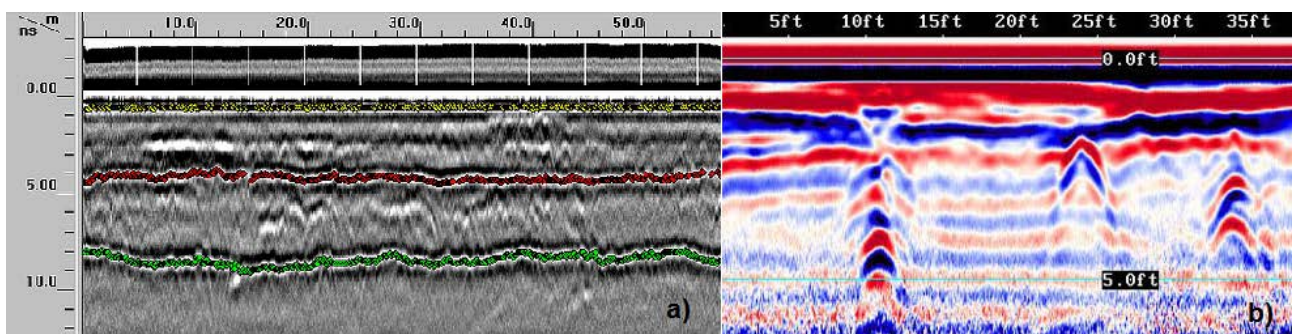
### 3.1. Pravljenje BIM-a postojećih objekata (LiDAR i georadar)

S obzirom na značaj i prednosti informacionog modela objekta postavlja se pitanje mogućnosti modeliranja postojeće saobraćajne infrastrukture i stvaranje BIM-a. Na bazi podataka prikupljenih nekim savremenim tehnologijama moguće je kreirati veoma precizan digitalni model koji se može obogaćivati informacijama i na taj način kreirati BIM. Jedna od tehnologija koja može pomoći u ovom procesu jeste lasersko skeniranje (LiDAR). Kao produkt primene ove tehnologije dobja se oblak tačaka na osnovu kog je moguće kreirati georeferencirani digitalni model terena i saobraćajnice. U zavisnosti od vrste uređaja i načina snimanja zavisi i prostorna rezolucija oblaka tačaka. Mobilno (MLS) i avionsko (ALS) lasersko skeniranje je vrlo pogodno za snimanje koridora i saobraćajnica svih vrsta. Velika prilagodljivost ovih tehnika prikupljanja prostornih informacija omogućava kreiranje oblaka tačaka veoma visoke prostorne rezolucije (nekoliko desetina hiljada tačaka po kvadratnom metru).



**Slika 4.** Oblak tačaka saobraćajnice (GeoGIS Konsultanti, Beograd 2015)

Dok nam lasersko skeniranje omogućava kreiranje površinskog modela, georadar nam omogućava da zavirimo ispod površine i prikupimo značajne informacije. Tehnologija se zasniva na emitovanju i prostiranju elektromagnetnog talasa, određene frekvencije, kroz zemljište i njegove refleksije i registrovanja. Kao produkt snimanja dobija se radargram na kom se mogu uočiti prelazi iz optički ređe u optički gušću sredinu i obrnuto, što omogućava registrovanje cevi, kablova i ostalih objekata podzemne infrastrukture kao i debljine slojeva na putevima. Na bazi ovih podataka moguće je kreirati BIM postojeće saobraćajne infrastrukture.



**Slika 4.** a) Radargram sa označenom granicom između različitih slojeva puta, b) Radargram sa detektovanim cevima (hiperbola)

( a. <http://www.siscophils.com/#!gpr-road-assessment/zoom/mainPage/imagecjs>)

( b. [http://www.geotechlocating.com/services\\_gpr.php](http://www.geotechlocating.com/services_gpr.php))

#### 4. Prednosti i beneficije BIM

Najveće prednost BIM projektovanja puteva i autoputeva jeste kvalitetniji projekat i povećana efikasnost i produktivnost. Iz razloga što su projekat i građevinska dokumentacija dinamički povezani, vreme potrebno za kreiranje alternativnih rešenja, izmene projekta i konstrukcijske dokumentacije je znatno umanjeno. Poseban značaja ovoga ogleda se u mogućnosti planiranja dopremanje materijala što skraćuje vreme realizacije projekta i gradnju po predvidljivijem rasporedu. Pored efikasnosti i produktivnosti informacioni model objekta omogućava optimizaciju na bazi vizualizacije, simulacije i raznih analiza u sklopu projekta. Time se znatno redukuju potencijalni problema gradnje pre nego što do njih dođe i na taj način štedi novac koji bi bio potrošen na eventualne parnice. [5]

##### 4.1. Primeri u svetu

###### Autoput Gdańsk – Toruń, Poljska

Izgradnja autouta Gdańsk – Toruń u dužini od 152 km je jedna od najvažnijih saobraćajnica u Poljskoj i projekat je od strateškog i ekonomskog značaja. Tokom izgradnje korišćene su nove ideje i tehnologije da bi ispunile zahtevne potrebe gradilišta. Izazov ovog projekta bio je u potrebi za izvršenjem 33 000 000 m<sup>3</sup> zemljanih radova, 434 000 m<sup>3</sup> betonskih radova i 2 900 000 tona asfaltnih radova. Zbog velikog obima projekta veliku ulogu je igrala i preciznost radova. Za projektovanje je korišćen alat za 3D vizualizaciju što je omogućilo da klijent ima bolje razumevanje projekta pre izgradnje. 3D model je korišćen za optimizaciju zemljanih radova, privremenu tehnološku infrastrukturu i simulacije na gradilištu. Upotreba GNSS sistema za navođenje 60 različitih mašina doprinela je izvršenje zemljanih radova sa tačnošću  $\pm 2\text{cm}$  a asfaltnih radova sa tačnošću  $\pm 5\text{mm}$ . Upotreba savremenih tehnologija doprinela je da prve dve deonice u dužiniod 90 km budu završene više od godinu dana pre roka. [9]



**Slika 5.** Autoput Gdańsk – Toruń, Poljskan ([http://group.skanska.com/globalassets/about-us/building-information-modeling/benefits-of-bim/skanska\\_bim\\_building\\_quality.pdf](http://group.skanska.com/globalassets/about-us/building-information-modeling/benefits-of-bim/skanska_bim_building_quality.pdf))

###### Most Crusell's, Helsinki, Finska

Prednosti izrade BIM mosta postale su jasne čim se počelo sa projektovanjem. Automatka sinhronizacija svih podataka nastalih usled izmene projekta obezbedila je brzu dostupnost ažurnih informacija na gradilištu. 3D model omogućio je lakšu logističku podršku tokom izgradnje. Pored toga rešavanje problem, komunikacija i planiranje radova bilo je brže i lakše. Takođe nadziranje čeličnih radova je bilo pouzdanije jer je 3D model omogućio pažljivije planiranje radova. Sastanci vezani za projekat i tok izgradnje su trajali kraće jer je bilo lakše objasniti trenutne probleme pregledavanjem modela. 4D simulacija obezbedila je da klijent ima uvid u to kako će most biti izgrađen, da osigura da obe strane imaju isto razumevanje o tome šta treba da bude izgrađeno. Istovremeno je omogućila bolje razumevanje gradnje po fazama kako bi izgradnja bila završena na vreme. Model je takođe korišćen za prefabriikaciju armature a lasersko skeniranje je omogućilo



uvid u to kako je armatura postavljena unutar betonske konstrukcije pre izlivanja betona. Sve ovo doprinelo je kvalitetnoj realizaciji projekta. [9]



**Slika 6.** Most Crussell's, Helsinki, Finska ([http://group.skanska.com/globalassets/about-us/building-information-modeling/benefits-of-bim/skanska\\_bim\\_building\\_quality.pdf](http://group.skanska.com/globalassets/about-us/building-information-modeling/benefits-of-bim/skanska_bim_building_quality.pdf))

## 5. Zaključak

Usvajanjem BIM projektovanja svaki detalj može biti pažljivo planiran, izgrađen i analiziran unapred, da bi se umajili rizici. Mostovi, tuneli, autoputevi mogu biti izgrađeni na mudar način upotrebom BIM alata za projektovanje. Savremeno modeliranje predstavlja sponu od projekta, kroz planiranje gradnje do navođenja građevinskih mašina na gradilištu. [9]

Iz razolga što projektanti dizajniraju spram zamisli na osnovu pribavljenih činjenica, a ne spram izvodljivosti pogrešna interpretacija projekta nakon početka radova može dovesti do zastoja i promena redosleda u gradnji i probijanju rokova. [9]

Najveća prednost BIM-a jeste pouzdaniji prenos informacija između različitih projektnih timova, ali i projektanata i izvođača, odnosno, po završetku projekta, pristup pouzdanim informacijama za one koji održavaju objekat. [3]

Dakle BIM je integrisani proces zasnovan na koordinisanim, pouzdanim informacijama o projektu, od dizajna kroz različite faze tokom izgradnje i u eksploataciji. [5]

## Zahvale – Arial, Font 10, podebljano

Ovaj rad je rezultat istraživanja na istraživačkom projektu Departmana za građevinarstvo i geodeziju (DGG) Fakulteta Tehničkih Nauka u Novom Sadu za 2016. godinu: „UNAPREĐENJE NASTAVNOG PROCESA I ISTRAŽIVANJA NOVIH TEHNOLOGIJA U GRAĐEVINSKOM INŽENJERSTVU“.

## Literatura – Arial, Font 10, podebljano

- [1] Salman Azhar, Abid Nadeem, Johnny Y. N. Mok, Brian H., Y. Leung (2008) „Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction Projects“, First International Conference on Construction in Developing Countries, “Advancing and Integrating Construction Education, Research & Practice”, Pakistan, Karachi
- [2] <http://autodesk.osa.rs/proizvodi/arhitektura-i-gradjevinarstvo>
- [3] Build magazin br 15, Septembar 2010.  
<http://www.buildmagazin.com/index2.aspx?fld=tekstovi&ime=bm1502.htm>
- [4] <http://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi/2099/820/perspektive-razvoja-gradjevinske-industrije-u-2012-godini>

- [5] [http://cenews.com/article/6098/what\\_does\\_bim\\_mean\\_for\\_civil\\_engineers](http://cenews.com/article/6098/what_does_bim_mean_for_civil_engineers)
- [6] <http://acronymonline.org/bim-isnt-buildings-means-public-sector-highway-design/>
- [7] <http://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim>
- [8] <http://codebim.com/resources/history-of-building-information-modelling/>
- [9] [http://group.skanska.com/globalassets/about-us/building-information-modeling/benefits-of-bim/skanska\\_bim\\_building\\_quality.pdf](http://group.skanska.com/globalassets/about-us/building-information-modeling/benefits-of-bim/skanska_bim_building_quality.pdf)

**Abstract:**

*Road Design represents a demanding process that takes place in phases during which should be made good decisions based on real information and facts based on numbers. Modern tools such as BIM technology represent the future for all types of design in the construction industry because of its comprehensiveness. BIM allows design with a three-dimensional space visualization, careful planning and monitoring work process of the project through all stages and thus offers the possibility of complete control of complex site.*

**Ključne reči:** *BIM, Designing*

## STUDIJE OPRAVDANOSTI SPECIFIČNIH PROJEKATA

- primer slučaja Studija opravdanosti obilaznice Bugojna -

**dr Draženko Glavić, dipl.inž.saob.**

Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, drazen@via-vita.org.rs

**Milan Tešanović, dipl.inž.saob.**

Institut za građevinarstvo "IG" d.o.o. Banja Luka

**dr Nebojša Knežević, dipl.inž.tehnoł.**

Institut za građevinarstvo "IG" d.o.o. Banja Luka

**Rezime:** Često se prilikom vrednovanja projekta u putnom inženjerstvu postavljaju zahtevi za vrednovanje specifičnih projekata. Specifični projekti su najčešće komplikovani mrežni modeli, obilaznice, petlje, raskrsnice (kružne, T ili krstaste), tuneli, mostovi, vijadukti, naplatne rampe i sl. U takvim slučajevima nije moguća direktna primena standardnih metodologija i softvera, već je potrebno postojeću metodologiju prilagoditi specifičnosti problema. U ovom radu je kroz primer slučaja, dat prikaz vrednovanja specifičnog projekta obilaznice, u konkretnom slučaju radi se o obilaznici Bugojna.

**Ključne reči:** Obilaznica, Studija opravdanosti, CBA, RUC, VOC, TTC.

## FEASIBILITY STUDIES OF SPECIFIC PROJECTS

- The case of Bugojno Bypass Feasibility Study -

**Draženko Glavic, Ph.D., TE.**

University of Belgrade, FTTE, drazen@via-vita.org.rs

**Milan Tešanović, B.Sc.TE.**

Civil Engineering Institute "IG" Ltd. Banja Luka

**Nebojša Knežević, Ph.D., Technolgy Eng.**

Civil Engineering Institute "IG" Ltd. Banja Luka

**Summary:** Often in evaluating of projects in road engineering, enegeniers meets with the evaluation of specific projects. Specific projects are usually complicated network models, bypasses, interchanges, intersections (circular, cross-shaped or T), tunnels, bridges, viaducts, toll booths etc. In such cases it is not possible application of standard methodologies and softwares. Instead it is necessary to adjust the existing methodology for solving specificity problems. In this paper, through a case example, a specific evaluation of the bypass is presented, in particular case, the bypass of Bugojno.

**Keywords:** Bypass, Feasibility study, CBA, RUC, VOC, TTC.

### 1. UVOD

Prilikom vrednovanja obilaznica naselja i gradova naručilac i obrađivač projekta prave često iz nepoznavanja navedene problematike greške. Naručilac često ne napiše adekvatan projektni zadatak. Dok konsultant trudeći se da ispuni stavke takvog projektnog zadatka, kao rešenje vidi primenu raznih, često nepotrebnih anketiranja i istraživanja I-C matrica koje se odnose na celu državu, region pa i na EU, a problem se odnosi najčešće npr. na prolazak M ili R puta kroz naselje ili grad. Često se zahteva i primena najčešće neadekvatnih softvera za ovu vrstu problema, i to u principu u saobraćajnom delu VISSIM i VISUM. Navedeni softveri su planerska alatka za rešavanje mrežnih problema raspodele saobraćajnih tokova i kao takvi se primenjuju za tu vrstu problema. Nakon unošenja I-C matrica i podataka o mreži saobraćajnica i ostalih podataka navedeni softveri najčešće daju nelogične rezultate. Na kraju se primena navedenih softvera svodi na direktno korigovanje neverovatnih rezultata, najčešće kroz upravljanje impedansama i ograničenjima da bi se dobio tzv. "željen rezultat". Primena navedenih softvera u većini slučajeva daje neverovatne rezultate, pa je u stručnoj javnosti poznato da pomoću npr. VISUM-a moguće dokazati sve i dobiti bilo koje željeno opterećenje ili tzv. "željen rezultat" kod modelovanja saobraćajnih opterećenja.

Osnovni povod izgradnje obilaznica kao i njihova svrha je izmeštanje teškog tranzitnog saobraćaja iz centra grada, odnosno obilaznice se prave u funkciji izmeštanja tranzitnih tokova sa gradskih saobraćajnica i generalno, sa područja grada. Problem kod vrednovanja obilaznica se svodi na I-C matricu koja će pokazati procentualno učešće tranzitnih, I-C i lokalnih kretanja. Princip vrednovanja obilaznica je da se sav tranzit i deo I-C kretanja premesti na obilaznicu. Efekti navedene preraspodele su novi uslovi kretanja za tranzitne tokove, kao i poboljšanje uslova kretanja za preostale saobraćajne tokove na staroj tranzitnoj saobraćajnici kroz grad. Ovi efekti se kasnije kvantifikuju kroz ekonomsko vrednovanje ili cost-benefit analizu.

Navedeni specifični problem vrednovanja je prikazan kroz primer slučaja obilaznice Bugojna. Vrednovanje obilaznice Bugojna rešeno izradom adekvatnog modela-algoritma uz korišćenje adekvatnih softvera kao alata u radu pri svakoj pojedinačnoj fazi projekta.

## **2. OPŠTE O PROJEKTU**

Ciljevi izgradnje obilaznice Bugojna ogledaju se, pre svega, u otklanjanju ispoljenih osnovnih problema saobraćaja u postojećem stanju. Ovi problemi će se otkloniti preusmeravanjem tranzitnih i delimično I-C i lokalnih tokova sa postojeće saobraćajnice koja prolazi kroz centar grada na obilaznicu Bugojna. Premeštanjem tranzitnih tokova stvoriće se potpuno novi uslovi sa visokim nivoom usluge-NU za tokove na obilaznici. Takođe će se u određenoj meri poboljšati uslovi saobraćaja za lokalne i početno završne tokove, koji će ostati na postojećoj, sada rasterećenoj saobraćajnici nakon izgradnje obilaznice. Prelaskom tranzitnog saobraćaja na obilaznicu Bugojna poboljšaće se uslovi u saobraćaju, a istovremeno će se smanjiti buka i aero zagađenje, kao i broj saobraćajnih nezgoda na sveukupnoj gradskoj mreži a posebno na postojećem putu.

Opšta karakteristika postojeće saobraćajne mreže na predmetnom području grada Bugojna je da ne postoji adekvatna saobraćajnica u gradu koja bi mogla da prihvati tranzitna kretanja, već se ista odvijaju kroz centar Bugojna i tako doprinose povećanom vremenu putovanja kroz grad, povećanju vremenskih gubitaka i smanjenju eksploatacionih brzina, kao i smanjenju bezbednosti odnosno povećanju broja saobraćajnih nezgoda prouzrokovanih konfliktom vozilo-pešak. Prolazak teških teretnih vozila kroz najuži centar Bugojna dodatno povećava negativno dejstvo tranzitnog saobraćaja kroz povećanu buku, vibracije kao i aeroxagađenje.

Pošto sav saobraćaj u postojećem stanju prolazi glavnom saobraćajnicom kroz centar grada, u saobraćajnim špicevima dolazi do zagušenja, nepotrebnog prolaska tranzitnih tokova kroz centralne gradske zone, smanjenje bezbednosti pešaka čije je kretanje veoma intenzivno u centralnoj zoni grada. Ovakvo stanje uslovalo je preplitanje gradskih-lokalnih, početno-završnih kao i tranzitnih kretanja i pešačkih tokova, koji svi imaju različite zahteve za ostvarenjem transportne usluge.

Rešenje ovako nezadovoljavajućeg stanja je izgradnja obilaznice koja bi preuzela na sebe celokupan tranzitni saobraćaj i delimično početno-završna i lokalna kretanja i na taj način rasteretila gradsko područje Bugojna i znatno poboljšala uslove u saobraćaju na teritoriji celog grada.

### **2.1 Osnovni zadaci studije opravdanosti**

Osnovni zadaci Studije opravdanosti izgradnje obilaznice Bugojna su:

1. Da pruži sve relevantne informacije o postojećoj mreži gradskih saobraćajnica;
2. Da pruži podatke o projektovanoj obilaznici;
3. Da pruži relevantne podatke o dostignutim i prognoziranim saobraćajnim tokovima;
4. Da pruži podatke o raspodeli saobraćajnih tokova na obilaznicu Bugojna i postojeću saobraćajnicu kroz Bugojno;
5. Da pruži odgovor da li je postojeća gradska saobraćajnica sposobna da udovolji prognozirane saobraćajne tokove i do kada, posmatrano sa kvantitativnog (kapaciteta) i sa kvalitativnog (Nivoa Usluge) aspekta;
6. Da utvrdi ekonomske troškove upotrebe (eksploatacije) tzv. mreže bez investicija i tzv. mreže sa investicijom;
7. Da utvrdi očekivane ekonomske koristi eksploataciji mreže sa investicijom u obilaznicu Bugojna;
8. Da analizira pojavu novostvorenog saobraćaja kao i uticaj obilaznice na društveno-ekonomski razvoj Bugojna;

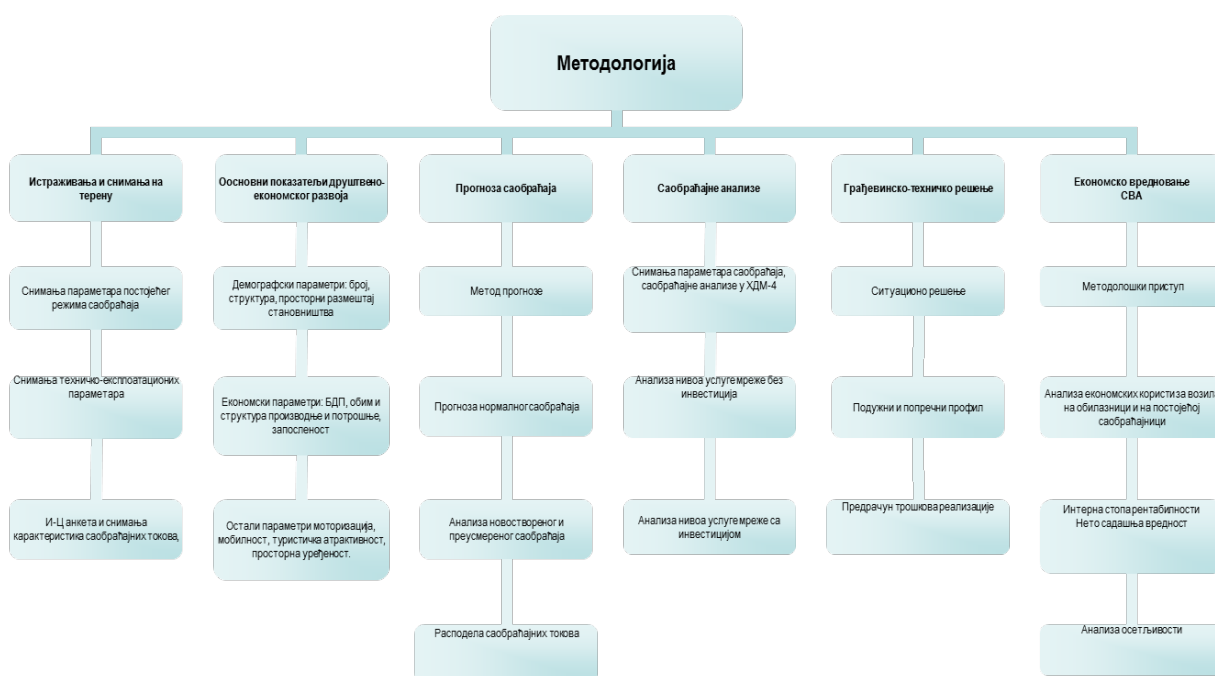
9. Da pruži ocenu o ekonomskoj opravdanosti ulaganja u realizaciju obilaznice Bugojna, sa društveno-ekonomskog aspekta.

### 3. PRIMENJENA METODOLOGIJA U REŠAVANJU SPECIFIČNOG PROBLEMA VREDNOVANJA OBILAZNICA

Društveno-ekonomska ocena projekta se zasniva na analizi troškova i koristi od direktnih efekata izgradnje obilaznice, sa opšte društvenog aspekta. To podrazumeva identifikaciju, kvantifikaciju i novčanu valorizaciju promena koje prouzrokuje izgradnja obilaznice. Slika 1. prikazuje metodologiju primenjenu u vrednovanju.

Indirektni efekti izgradnje obilaznice, kao što su: uticaj na ubrzani razvoj grada, smanjenje emisije štetnih gasova, smanjenje buke i dr., se ne uključuju u analizu troškova i koristi, dok je uticaj obilaznice na ubrzani razvoj grada delimično kvantifikovan kroz pojavu novostvorenog saobraćaja.

Konačni rezultati analize su iskazani internom stopom rentabilnosti-ISR (Internal Rate of Return) i neto sadašnjom vrednosti projekta-NSV (Net Present Value).



Slika 1. Metodologija vrednovanja (Izvor: autori rada)

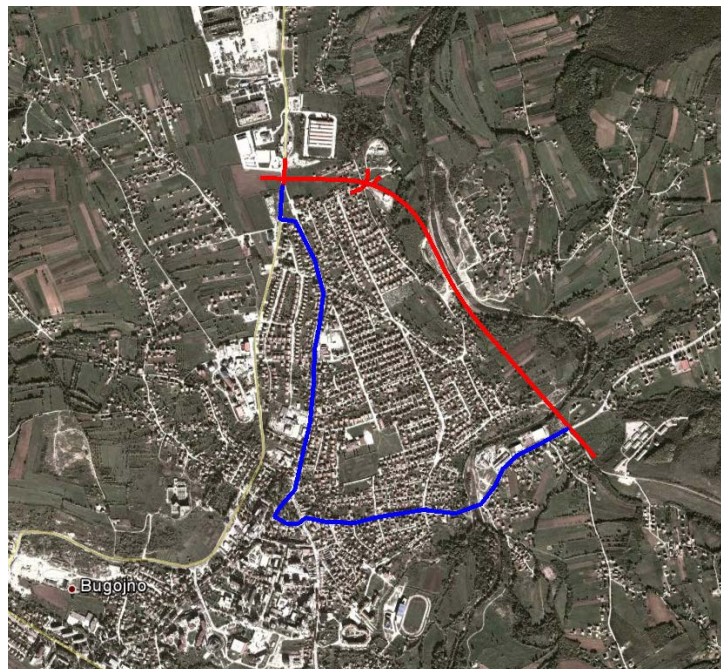
#### 3.1. Osnovni podaci o projektnom rešenju obilaznice

Osnovni podaci u projektu su prikazani kroz:

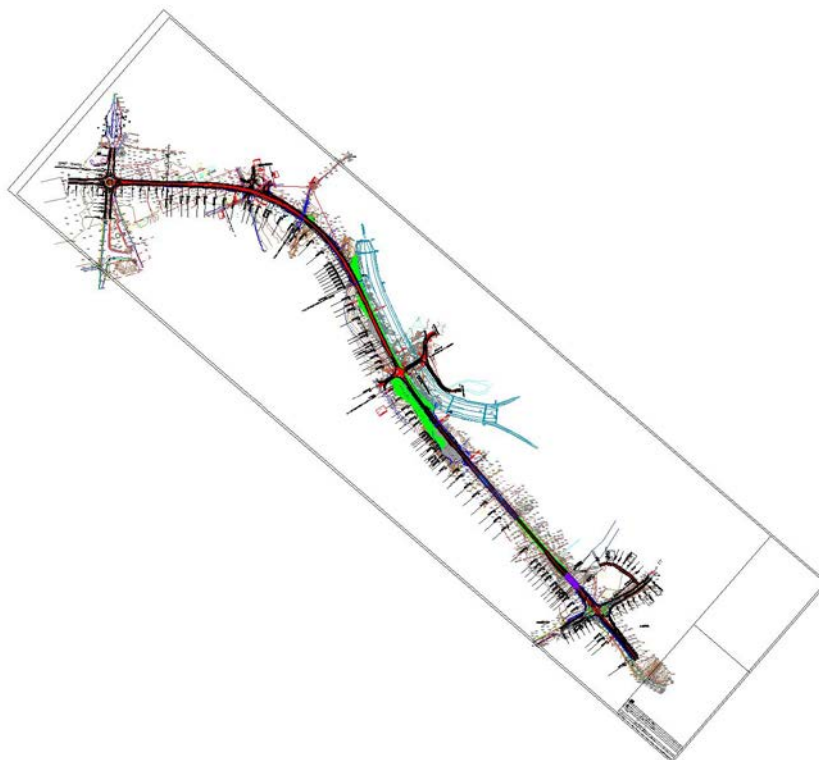
- Situaciono rešenje;
- Podužni profil obilaznice Bugojna;
- Poprečni profil obilaznice Bugojna;
- Predračun troškova realizacije;
- Inicijalni planerski period izgradnje.



### 3.1.1. Situaciono rešenje

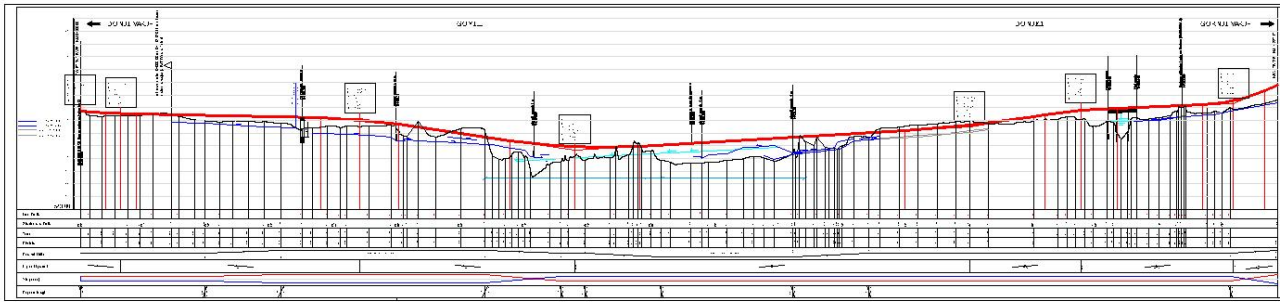


Slika 2. Postojeći prolaz kroz Bugojno (plava linija) i obilaznica (crvena linija), (Izvor: autori rada)



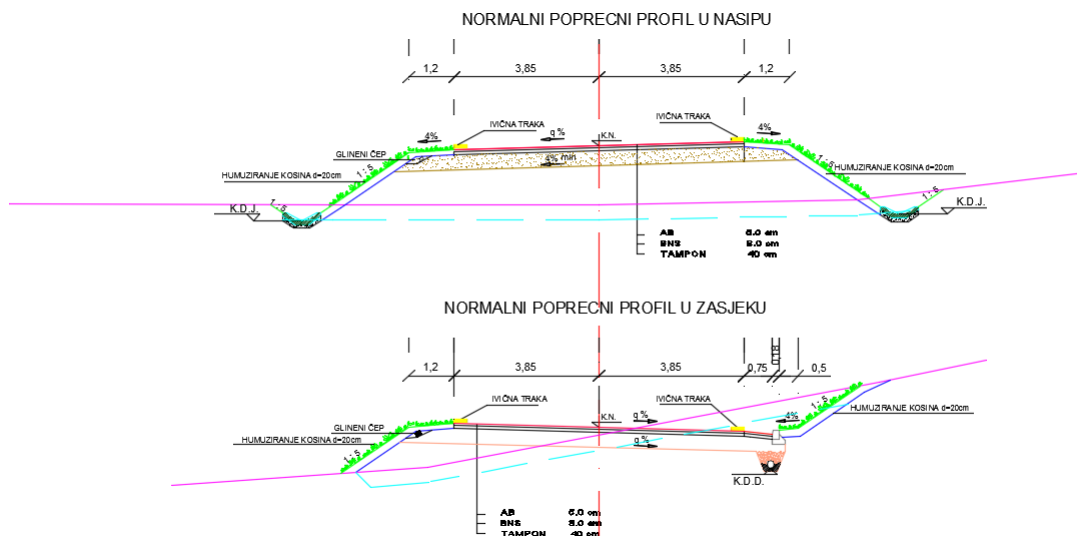
Slika 3. Situaciono rešenje obilaznice (Izvor: Idejno rešenje)

### 3.1.2. Podužni profil



Slika 4. Podužni profil obilaznice Bugojna (Izvor: Idejno rešenje)

### 3.1.3. Poprečni profil



Slika 5. Poprečni profil obilaznice Bugojna (Izvor: Idejno rešenje)

### 3.3. Predračun troškova realizacije

Glavni projekat obilaznice Bugojna urađen je prema projektnom zadatku.

Ukupni predračun (bez troškova kružnog raskršća, saobraćajne signalizacije i odvodnje) iznosi

Trasa - građevinski dio	2.440.790,42	KM
Trasa - odvodnja	15.502,82	KM
Priključak klaonici	35.937,48	KM
Raskršće broj 3	37.621,08	KM
Raskršće broj 4	100.092,78	KM
Poljski put	40.933,81	KM
Objekti	2.035.000,00	KM

<b>Ukupno (bez kružnog raskršća i saobraćajne signalizacije)</b>	<b>4705878,39</b>	<b>KM</b>
+10 % nepredviđeni troškovi	470587,84	KM
<b>Ukupno sa nepredviđenim troškovima</b>		
(bez kružnog raskršća i saobraćajne signalizacije i odvodnje)	5176466,23	KM

### 3.4. Inicijalni planerski period

- Planirani period izgradnje obilaznice je 2015. godina.
- Period 20-to godišnje eksploatacije je od 2016. do 2035. godine.



#### 4. ANALIZA I PROGNOZA SAOBRAĆAJNIH TOKOVA

##### 4.1. Dostignuti saobraćajni tokovi

Veličina saobraćajnih tokova na postojećem putu M-16 na prolasku kroz Bugojno u baznoj utvrđena je na osnovu dva izvora podataka i to:

- 1) Kontrolnog brojanja saobraćajnih tokova .
- 2) Publikacija Javnog preduzeća Brojanje saobraćaja na magistralnim cestama Federacije BiH u 2012. godini (JP Ceste Federacije BiH, 2013.)

##### 4.2. Prognoza saobraćaja

Da bi se pristupilo prognozi saobraćajnih tokova analizirani su sledeći socio-ekonomski parametri, koji imaju uticaj na rast saobraćajnih tokova:

- faktori demografskog razvoja (broj, struktura i prostorni razmeštaj stanovništva),
- ekonomski parametri (BDP, stepen motorizacije, obim i struktura proizvodnje i potrošnje, zaposlenost, turistička atraktivnost, prostorna uređenost, mobilnost stanovništva, geotransportni položaj i uloga područja u širem okruženju, tržišna i pravna stabilnost, razvijenost saobraćajne infrastrukture i pojedinih saobraćajnih grana i drugo).

Osnovni obrazac za prognozu očekivanog saobraćaja po osnovu normalnog rasta relevantnih socio-ekonomskih faktora metodom prosečnog faktora rasta korišćen u studiji glasi:

$$PGDS_{BUD_{ij}} = PGDS_{BAZ_j} \cdot F_{ij}$$

gde je:

$PGDS_{BUD_{ij}}$  - prognozirana veličina prosečnog dnevnog saobraćaja osnovne vrste vozila (j) u (i)-toj godini na postojećem putu,

$PGDS_{BAZ_j}$  - dostignuta veličina prosečnog dnevnog saobraćaja osnovne vrste vozila (j) u baznoj godini na postojećem putu,

i - prognozna godina,

$F_{ij}$  - prosečni-jedinstveni socio-ekonomski faktori rasta relevantni za rast saobraćajnih tokova po osnovnim vrstama vozila (j) u (i)-toj godini na mreži postojećih puteva

##### 4.3. Merodavna stopa porasta saobraćaja

Na osnovu analize trenda, analize socio ekonomskih parametara, regresione analize, analize koeficijenta elastičnosti BDP, motorizacije i PGDS, kao i analize dosada korišćenih stopa u relevantnim studijama, uključujući i uticaj svetske ekonomske krize stope rasta su:

**Tabela 1.** Prognozirane stope porasta saobraćaja [%]

prognozirana stopa porasta	Vremenski interval				
	2010-2015.	2015-2020.	2020-2025.	2025-2030.	2030-2035.
BDP	5,6	5,6	5,3	4,9	4,4
putnički saobraćaj	3,6	3,6	3,4	3,2	2,9
teretni saobraćaj	4,0	4,0	3,8	3,5	3,2

Primenom navedenih stopa rasta saobraćajnih tokova, kao i podataka dobijenih brojanjem saobraćajnih tokova, dobijena je sledeća prognoza saobraćajnih tokova.

**Tabela 2.** Prognoza saobraćajnih tokova na putu M-16 ne prolazku kroz Bugojno

godina	PGDS voz/dan						
	PA	BUS	LTV	STV	TTV	AV	ukupno
2016	4.083	16	104	92	4.295	2016	4.083
2035	7.507	30	204	181	7.922	2035	7.507

#### 4.4. Raspodela prognoziranog saobraćaja na mrežu sa investicijom

Na osnovu prognoziranih veličine ukupnog saobraćaja na mreži bez investicija odnosno na postojećem putu M-16, na osnovu I-C matrice, na osnovu podataka ankete i kontrolnog brojanja, kao i na osnovu opštih zakonitosti o učešću tranzitnog saobraćaja u ukupnom saobraćaju na ulivno izlivnim putevima u grad, s obzirom na veličinu grada, definisana je veličina prognoziranog tranzitnog saobraćaja.

**Tabela 3.** Veličine saobraćajnih tokova na obilaznici

godina	PGDS voz/dan						
	PA	BUS	LTV	STV	TTV	AV	ukupno
2016	2.139	9	54	48	2.251	2016	2.139
2035	3.934	16	107	95	4.151	2035	3.934

#### 4.5. Prognoza očekivanog tzv. novostvorenog saobraćaja

Za prognozu novostvorenog saobraćaja korišćena je teorija ekonomskog viška. Rezultati analize su prikazani u tabeli 4.

**Tabela 4.** Veličine očekivanog tzv. novostvorenog saobraćaja

PGDS <sub>nov</sub> (vozila/dan)	
2016	2035
632	1173

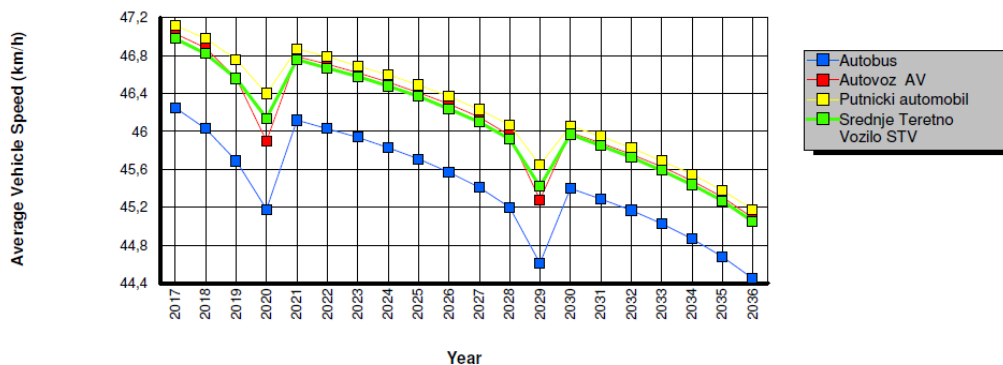
## 5. SAOBRAĆAJNE ANALIZE

Ključni parametri za Cost Benefit Analizu-CBA su efekti izmeštanja tranzitnog saobraćaja na obilaznicu i rasterećenje postojeće saobraćajnice kroz Bugojno. Neophodni ulazni podaci za Cost Benefit Analizu-CBA koje je potrebno utvrditi saobraćajnim analizama su: brzine, vremenski gubici, broj zaustavljanja, prosečno čekanje u redu, dužina reda i dr. Navedeni parametri nivoa usluge su dobijeni primenom HCS-2000 i HDM-4 programa, kao i snimanjima na terenu.

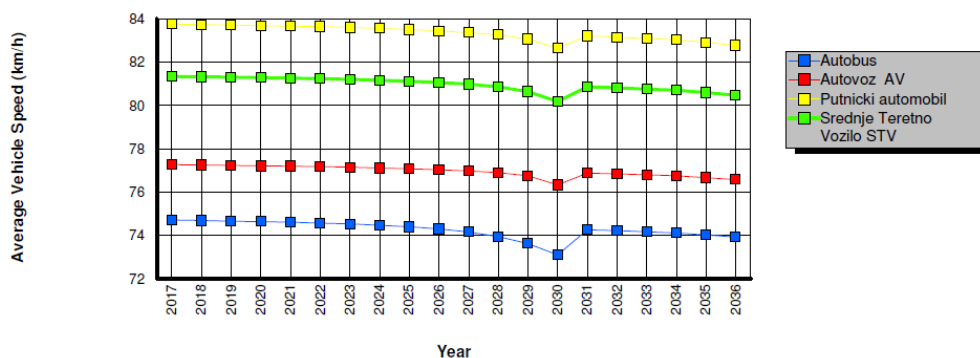
Na postojećoj mreži gradskih saobraćajnica dozvoljena prosečna brzina je 40-50 km/h. Praktično ostvariva prosečna eksploataciona brzina kretanja vozila je niža od dozvoljene, što je i utvrđeno snimanjima vremena putovanja, brzina i vremenskih gubitaka na terenu, kao i dobijeno računski (slika 6).

Nakon izgradnje obilaznice dolazi do poboljšanja uslova na postojećoj saobraćajnici usled rasterećenja iste.

Tranzitni tokovi i deo I-C tokova koji su prešli na obilazni put imaju visok nivo usluge (slika 7).



Slika 6. Nivo usluge meren eksploatacionom brzinom vozila na postojećoj saobraćajnici u mreži bez investicija



Slika 7. Nivo usluge meren eksploatacionom brzinom vozila na obilaznici u mreži sa investicijom

Sledeće slike ilustruju uslove u saobraćaju utvrđene prilikom snimanja vremena putovanja, brzina i vremenskih gubitaka na terenu.

## 6. EKONOMSKO VREDNOVANJE PROJEKTA

Ekonomsko vrednovanje projekta predstavlja analizu ekonomskih troškova upotrebe (eksploatacije) relevantnih mreža (bez investicije (MBI) i sa investicijom (MSI), odnosno u konkretnom slučaju mreže bez i sa obilaznicom u inicijalnom planskom periodu.

Na osnovu analiziranih troškova upotrebe relevantnih mreža dobijaju se ekonomske koristi realizacije projekta obilaznice.

Ekonomske koristi od projekta obilaznice, zajedno sa ekonomskim troškovima realizacije u COST-BENEFIT analizi, daju odgovore po pitanju ekonomske opravdanosti projekta obilaznice sa društveno-ekonomskog aspekta preko parametara EISR (ekonomska interna stopa rentabilnosti) i ENSV (ekonomska neto sadašnja vrednost).

Specifično kod studija opravdanosti obilaznica, troškovi odnosno koristi su analizirani kroz dve komponente (scenarija):

- ◆ **Primarna komponenta:** Koristi za vozila koja su sa izgradnjom obilaznice prešla sa postojeće saobraćajnice na obilaznicu.
- ◆ **Sekundarna komponenta:** Koristi nastale poboljšanjem uslova u saobraćaju za tokove koji su ostali na postojećoj saobraćajnici.

## 6.1. Metodološki pristup

Primenjena je metodologija društveno-ekonomskog vrednovanja zasnovana na analizi troškova i koristi koje korisnici imaju kod opcija sa i bez realizovanog projekta obilaznice. Osnovni elementi korišćeni u ovoj Cost-Benefit analizi su:

- ekonomski troškovi realizacije projekta,
- troškovi vremena putovanja,
  - po osnovu kretanja vozila
  - po osnovu cikličnih promena brzina i vremenskih zastoja,
- ekonomski troškovi saobraćajnih nezgoda,
- ekonomski troškovi održavanja obilaznice.

Nakon utvrđivanja navedenih kategorija troškova, vrši se izračunavanje toka ekonomskih troškova i ekonomskih koristi unutar perioda vrednovanja projekta, pri čemu se troškovi odnose na ekonomske troškove realizacije projekta, a koristi na uštede kao razlika između opcija sa i bez realizovanog projekta obilaznice.

## 6.2. Primenjen metod proračuna

Za proračun troškova eksploatacije motornih vozila u uslovima kretanja, na razmatranim mrežama (MBI i MSI) je primenjen model HDM-4. Tipovi osnovnih vrsta vozila i reprezentativnih marki su korišćeni iz modela HDM-4, s tim što su osnovni eksploatacioni i ekonomski parametri (cene) prilagođeni domaćim uslovima.

Za proračun troškova vremena putovanja, saobraćajnih nezgoda u 20-to godišnjem periodu na razmatranim mrežama (MBI i MSI) je primenjen razvijena aplikacija na bazi Excel programske platforme.

Proračun očekivanih direktnih ekonomskih koristi je urađen na bazi razlika u troškovima upotrebe tzv. MBI i MSI u 20-to godišnjem inicijalnom periodu eksploatacije.

Pokazatelji EIRR i ENSV su podvrgnuti i testu osetljivosti, s obzirom na moguća odstupanja u ostvarenju očekivanih ekonomskih troškova za izgradnju obilaznice i ekonomskih koristi.

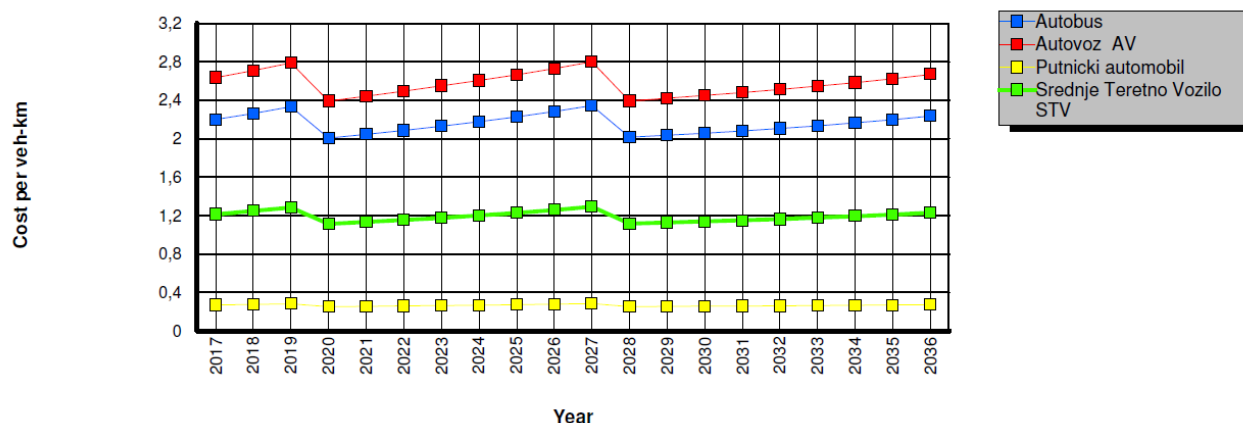
Ocena opravdanosti izgradnje obilaznice sa društveno-ekonomskog aspekta je utvrđena poređenjem vrednosti EIRR sa  $OCK=6-8\%$  i poređenjem vrednosti ENSV sa nulom.

Primena modela HDM-4 je korišćena za utvrđivanje VOC. Da bi se dobile vrednosti VOC po godinama i po kategorijama vozila neophodno je bilo primeniti program u tu svrhu i napraviti navedene scenarije u okviru samog softvera i kao osnovno uneti sve podatke vezane za tehničko-eksploatacione karakteristike puta, saobraćaj, vozni park, i dr.

Softver HDM-4 ima mogućnost štampe velikog broja izveštaja, a za potrebe ovog rada prikazuju se karakteristične slike iz izveštaja korišćena u Cost Benefit analizi i to grafik promena vrednosti VOC u planerskom periodu.

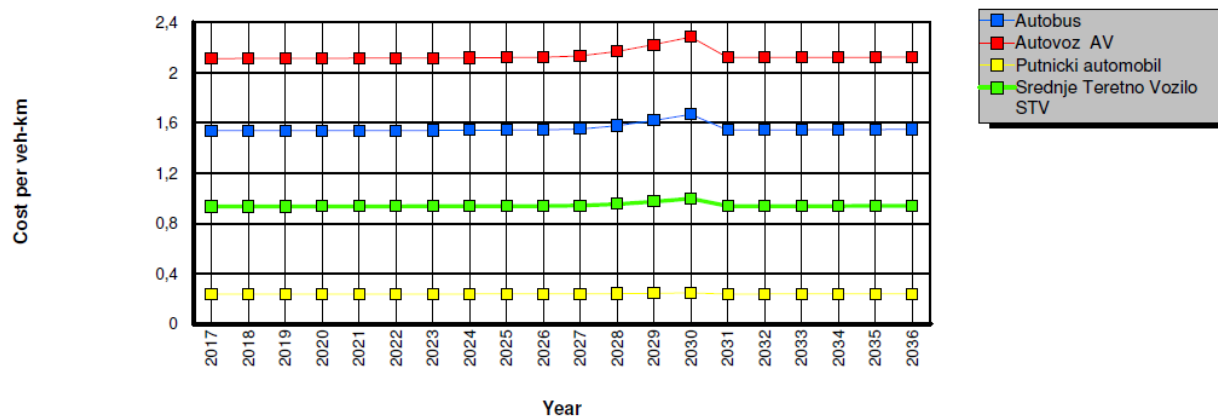
Vrednosti VOC su korišćene za proračun i V-0-to-0-V troškova koji postoje na prolasku kroz centar Bugojna. Treba napomenuti da model HDM-4 nema mogućnost analize troškova prouzrokovanih vremenskim gubicima i zastojima tipa V-0-to-0-V i pogrešna primena navedenog softvera bi vodila netačnim rezultatima ekonomskog vrednovanja.

### Annual Average Vehicle Operating Cost per veh-km



Slika 8. VOC na postojećoj saobraćajnici u mreži bez investicija

### Annual Average Vehicle Operating Cost per veh-km



Slika 9. VOC na obilaznici u mreži sa investicijom

### 6.3. Ekonomsko vrednovanje

Osnovni cilj ekonomskog vrednovanja je da pruži odgovor na pitanje: postoji li zadovoljavajuća ekonomska opravdanost za ulaganje novčanih sredstava u realizaciju projekta obilaznice ?

U ekonomskom vrednovanju su primenjeni sledeći osnovni pokazatelji:

- ekonomska interna stopa rentabilnosti (EIRR);
- ekonomska neto sadašnja vrednost (ENSV).

Proračunom je utvrđena sledeća vrednost EIRR:

- EIRR=17,26%

Proračunom je utvrđena sledeća vrednost ENSV:

- ENPV=1.916.948BAM

#### 6.4. Analiza osetljivosti

Pošto su karakteristike projekta takve da su odstupanja mogućih koristi mala i za potrebe analize osetljivosti usvojena je vrednost 10%, dok je sa odstupanjima troškova građenja primenjena sledeći raspon vrednosti i to +10% i -20%. Ovakva odstupanja troškova realizacije projekta su usvojena iz razlog što su vrednosti troškova iz predmera i predračuna deo Idejnog rešenja, te su moguća velika odstupanja s obzorom na nizak nivo projektne dokumentacije. Analizom rezultata testa osetljivosti zaključeno je da je Idejno rešenje obilaznice Bugojna ekonomski opravdan. Izdvojicemo dva karakteristična slučaja iz testa osetljivosti

### 7. ZAKLJUČCI

#### Zaključci studije koja je korišćena kao Case study

- Dobijeni rezultati u navedenoj studiji su pokazali apsolutnu opravdanost sa saobraćajnog aspekta.
- Ulaganje u izgradnju obilaznice Bugojna sa ekonomskog aspekta je opravdano jer je EISR znatno veće od OCK (6%-8%).

#### Zaključci ovog rada

- Kreativni pristup kroz analizu svakog individualnog slučaja vrednovanja putnih objekata posebno kroz izradu, algoritma, modela vrednovanja, scenarija prognoze koji su prilagođeni pojedinačnim zahtevima vrednovanja je jedini način rešavanja navedenih analiza.
- Ne postoji nijedan softver namenjen vrednovanju obilaznica gradova.
- Trenutno dostupna literatura koja se može koristiti pri vrednovanju obilaznica gradova je razvijena od strane Lj. Kuzovića [12].
- Direktna primena "Pravilnika o sadržaju i načinu izrade Studije opravdanosti i Studije opravdanosti za izgradnju objekata" je neprimenjiva u izradama Studija opravdanosti putnih objekata, a pogotovo specifičnih putnih objekata kao što obilaznica grada.
- Naručioc studija opravdanosti bi zbog specifičnosti problema trebalo angažovati stručne pojedince i institucije koje bi u skladu sa analizom kompleksnosti problema definisale način vrednovanja obilaznica.
- Konsultant u nedostatku pravog projektnog zadatka često vrše pre obimna anketiranja i istraživanja I-C matrica koja se odnose na celu državu, region, pa i na EU, a problem se odnosi najčešće npr. na prolazak M ili R puta kroz naselje ili grad.
- Najčešće se zahteva i primena softvera VISSIM i VISUM. Navedeni softveri su planerske alatke za rešavanje mrežnih problema raspodele saobraćajnih tokova, i kao takvi se primenjivi samo u slučajevima obilaznica velikih gradova, što je redak slučaj u vrednovanju, jer u 90% slučajeva se radi o obilaznicama manjih gradova ili naselja.
- Osnovni povod izgradnje obilaznica kao i njihova svrha je izmeštanje teškog tranzitnog saobraćaja iz najčešće centra grada. Odnosno, obilaznice se prave u funkciji izmeštanja tranzitnih tokova i delimično I-C tokova sa gradskih saobraćajnica i generalno sa područja grada.
- Vrednovanja obilaznica se svodi na I-C matricu koja će pokazati procentualno učešće tranzitnih, I-C i lokalnih kretanja koji će koristiti obilaznicu. Odnosno, princip vrednovanja obilaznica je da se sav tranzit i deo I-C kretanja premesti na obilaznicu.
- Efekti navedene preraspodele su novi uslovi kretanja za tranzitne tokove na obilaznici, kao i poboljšanje uslova kretanja za preostale saobraćajne tokove na staroj tranzitnoj saobraćajnici kroz grad. Ovi efekti se kvantifikuju kroz ekonomsko vrednovanje u COST-BENEFIT analizi.
- Prilikom vrednovanja obilaznica posebnu pažnju treba posvetiti analizi novostvorenog saobraćaja
- Osim direktnim koristima koje su prikazane u ovom primeru pažnju treba posvetiti analizi **indirektnih efekta** prouzrokovanim izgradnjom obilaznice kao što su ubrzani ekonomski razvoj grada, otvaranje novih tržišnih centara, otvaranje robno transportnih centara, stovarišta i raznih drugih poslovnih objekata u zoni obilaznice. Ovi indirektni efekti mogu imati značajnu ulogu u vrednovanju.

## Literatura

- [1] Kuzović, L., Topolnik D., Glavić, D.,. (2010). Induced Traffic and its Treatment in the Evaluation of Motorway Projects. *Promet – Traffic&Transportation*, Vol. 22, 2010, No. 6, 459-465.
- [2] (2012). Idejno rešenje obilaznice Bugojna. IG Banja Luka.
- [3] Kuzović, L., Glavić, D. (2003). Novoklasični postupak analize praktičnog kapaciteta osnovnih odseka autoputeva i dvotračnih puteva. *Put i saobraćaj*, 49(1), 24-30.
- [4] Kuzović, L., Glavić, D. (2005). Kritički osvrt na maksimalne veličine toka i gustine toka na traci osnovnih segmenata autoputa preporučene u priručniku Highway Capacity Manual 2000. *Put i saobraćaj*, 52(2), 4-19.
- [5] Glavić, D. (2012). Vrednovanje specifičnih projekata - primer studija opravdanosti denivelisane raskrsnice Pančevački most. *Put i saobraćaj*, 58(3), 29-37.
- [6] HDM-4: (2000) The highway development and management series. The University of Birmingham
- [7] EC DG REGIONAL POLICY (2002): "Guide to cost-benefit analysis of investment projects"
- [8] HEATCO - Developing harmonised European approaches for transport costing and project assessment. (2006): Deliverable 5 Proposal for Harmonised Guidelines
- [9] World Bank (2005) Transport Notes: A Framework for the Economic Evaluation of Transport Projects
- [10] Manual Cost Benefit Analysis - Republic of Serbia, by NEA Transport research and training and ECORYS Research and Consulting
- [11] "A Set of Guidelines for socio-economic cost-benefit analysis of transport infrastructure project appraisal" New York and Geneva, 2003.
- [12] Kuzović, Lj. (1997) Utvrđivanje potreba i opravdanosti izdvajanja tranzitnog saobraćaja sa gradskih arterija izgradnjom obilaznica. Beograd: Saobraćajni fakult
- [13] Kuzović, L.T. (1994) Vrednovanje u upravljanju razvojem i eksploatacijom putne mreže. Beograd: Saobraćajni fakultet

# KVALITATIVNA ANALIZA RIZIKA SA MOGUĆIM UTICAJEM NA FINANSIJSKU, EKONOMSKU, DRUŠTVENU I EKOLOŠKU ODRŽIVOST PROJEKTA – STUDIJA SLUČAJA IZGRADNJE AUTO-PUTA E-80, NIŠ - DIMITROVGRAD

Marija Petrović<sup>1</sup>, Nevena Simić<sup>1</sup>, Miljan Mikić<sup>1,2</sup>, Branislav Ivković<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Katedra za Upravljanje projektima u građevinarstvu, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

**Rezime:** Istraživanja pokazuju da je i pored značaja koji veliki infrastrukturni investicioni projekti imaju, njihova realizacija veoma često neuspešna, kako u pogledu neispunjenja tradicionalnih kriterijuma uspeha projekata (troškovi, vreme, kvalitet), tako i u pogledu negativnih efekata projekata na ekonomsko, društveno i ekološko okruženje. Kao glavni razlozi za to navode se rizici koji proističu iz specifičnosti ovakvih projekata. U ovom radu je, kroz studiju slučaja izgradnje deonice auto-puta E-80, Niš – Dimitrovgrad, prikazan mogući pristup za kvalitativnu analizu rizika u fazi formiranja koncepcije projekta. Primena kvalitativne analize rizika omogućava pravovremenu identifikaciju, rangiranje i sistematičan prikaz potencijalnih pretnji po ostvarenje pojedinih ciljeva projekta, te predlog mera za otklanjanje ili umanjeње pretnji. Prikazanu metodologiju moguće je koristiti u budućim preinvesticionim analizama infrastrukturnih objekata.

**Ključne reči:** upravljanje rizicima, analiza rizika, održivost, investicioni projekat, izgradnja auto-puta

**Abstract:** Previous research shows that, despite the importance of large infrastructure projects, their implementation is often unsuccessful, both in terms of failure to meet the traditional project success criteria (cost, time, quality), as well as in terms of the adverse economic, social and environmental effects that the projects can create. Risks that arise from specific characteristics of this type of projects are identified as the main cause of deviations from their planned performance. This paper presents a possible approach for qualitative risk analysis in the project conception phase, applied on a case study of a motorway project E-80, section Niš-Dimitrovgrad. The application of qualitative risk analysis enables the timely identification, ranking and systematic overview of potential threats for the achievement of specific project objectives and the proposal of measures for the elimination or reduction of threats. The studied methodology can be used in future pre-investment analyses of infrastructure facilities.

**Keywords:** risk management, risk analysis, sustainability, investment project, motorway construction

## 1. UVOD

Investicioni projekat u građevinarstvu se definiše kao kompleksan tehničko-tehnološki, organizacioni, pravni, ekonomski i finansijski poduhvat koji se sastoji od skupa koordinisanih i kontrolisanih aktivnosti sa jasno definisanim početkom i krajem, čiji je cilj izgradnja, rekonstrukcija, modifikacija i/ili opremanje objekta ili objekata koji su potrebni investitoru. Kompleksnost je, kao karakteristika projekta i okruženja u kome se projekat realizuje, naročito izražena kod velikih infrastrukturnih investicionih projekata.

Ovi projekti predstavljaju motore razvoja svakog društva i države. S obzirom na potencijalne dugoročne ekonomske, društvene i ekološke efekte koje veliki infrastrukturni projekti mogu proizvesti, proces njihovog pokretanja, planiranja i realizacije je uvek praćen značajnom pažnjom celokupnog društva.

Prethodna istraživanja pokazuju da je i pored značaja koji kapitalni infrastrukturni projekti imaju, njihova realizacija veoma često neuspešna, i to kako u pogledu neispunjenja tradicionalnih kriterijuma uspeha projekata (troškovi, vreme, kvalitet), tako i u pogledu negativnih ekonomskih efekata projekata i negativnih efekata projekata na društveno i ekološko okruženje. Ova tri aspekta uticaja na okruženja projekta (ekonomski, društveni i ekološki uticaji) čine tri aspekta održivosti i primene principa održivog razvoja na konkretnom projektu. Kao glavni razlozi za odstupanja od planiranih performansi realizovanih kapitalnih infrastrukturnih projekata u literaturi se navode rizici koji proističu iz specifičnosti ovakvih projekata. Kapitalni infrastrukturni projekti su u odnosu na građevinske projekte manje investicione vrednosti jesu investiciono zahtevniji, značajno kompleksniji, prisutna je veća neizvesnost, veći broj učesnika, dugotrajniji su, i njihovi potencijalni efekti na ekonomiju, društvo i okolinu su veći, dalekosežniji i privlače više pažnje javnosti.

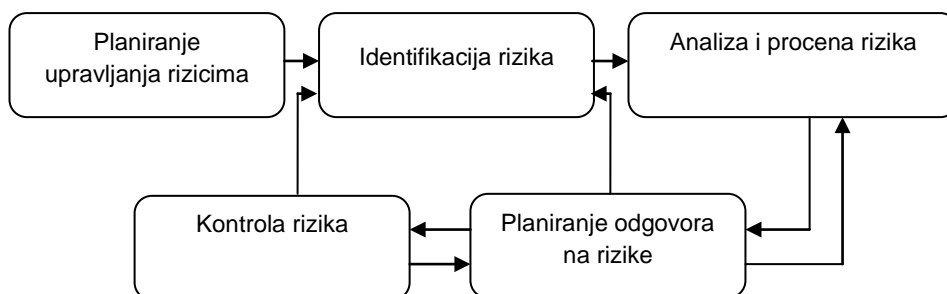
Prethodna istraživanja takođe otkrivaju da za sada ne postoji jedinstvena metodologija za procenu rizika u vezi sa izgradnjom infrastrukturnih objekata u ranim fazama realizacije (pre početka izvođenja radova).

<sup>2</sup> Autor zadužen za korespondenciju: mmikic@grf.bg.ac.rs



## 2. TEORIJSKA OSNOVA – PROCENA RIZIKA NA INVESTICIONIM PROJEKTIMA U GRAĐEVINARSTVU

Američki Institut za upravljanje projektima u svom vodiču PMBOK (*Guide to Project Management Body Of Knowledge*) [1], rizik definiše kao neizvestan događaj ili stanje koje, ukoliko nastane, može imati pozitivan ili negativan efekat na bar jedan od ciljeva projekta.



Slika 1: Šema procesa u okviru upravljanja rizicima na projektu  
Source: (modifikovano iz [2])

### 2.1 Kvalitativna analiza rizika

Kvalitativna analiza rizika je jedan od najvažnijih koraka u upravljanju rizicima. Cilj analize je da se subjektivno proceni verovatnoća pojave i posledice za svaki identifikovani rizik i da se formiraju liste prioriteta za konsultaciju sa menadžmentom i dalju akciju [3]

Da bi se obavila kvalitativna analiza i formirale rang liste koje ukazuju na prioritete rizike, neophodno je da se usvoji sistem ocenjivanja rizika. Skale 1-5 ili 1-10 se preporučuju za praktičnu primenu. Ponekad može biti korisno da se razdvoje skale za vremenske i troškovne posledice i da se dodaju skale za posledice u kvalitetu radova, oceni sigurnosti tokom izvođenja i posledice po okolinu.

Rizici se rangiraju prema oceni rizika koja se dobija množenjem verovatnoće pojave i kvantifikovanog obima posledice rizika. Dobijene vrednosti se zatim sortiraju kako bi se proučio njihov relativni značaj za projekat.

Kvalitativna analiza rizika			
Analiza verovatnoća	Analiza uticaja	Značaj rizika	Lista prioriteta rizika

Slika 2: Elementi kvalitativne analize rizika

### 2.2 Planiranje odgovora na rizike

Na osnovu kvalitativne i kvantitativne analize, aktivnosti koje prati veliki rizik treba prebaciti u fazu planiranja odgovora na rizike. Svaki odgovor na rizik treba da bude povezan sa članom tima koji je zadužen za njegovo sprovođenje.

Rizici koji ne nastaju unutar projekta mogu biti van dohvata projekt menadžera. Takve rizike treba identifikovati i kvalifikovati, ako je moguće i razrešiti uz pomoć menadžmenta firme. Pri realizaciji velikih projekata posebno je važno da se koordiniraju tzv. programski rizici, kod kojih rezultati jednog projekta mogu da utiču na ciljeve i rezultate drugih projekata.

Preporučljivo je da se uzmu u obzir sledeća tri tipa akcija kojima se može uticati na projektne rizike:

- izvršiti preventivnu akciju (eliminirati rizik ili osigurati mogućnost) pre nego što se rizik dogodi;
- aktivirati unapred pripremljeni plan (*contingency plan*), za slučaj da se rizik dogodi;
- aktivirati rezervni plan (*fallback plan*) za slučaj da se prethodne mere pokažu neefikasne.

U praktičnom proaktivnom upravljanju projektima preporučuje se primena preventivnih mera, koje treba da budu troškovno i vremenski efikasne (troškovi prevencije ne smeju da prevaziđu finansijske posledice potencijalnog rizika) [4]. U principu, povoljno je i efikasno ukoliko se jednim odgovorom može uticati na više projektnih rizika.

Za pozitivne rizike (mogućnosti) postoje slične strategije odgovora na rizik, ali one podstiču iskorišćenje (umesto izbegavanja), intenziviranje (umesto umanjenja) i princip podele koristi (slično kao transfer rizika). Plan odgovora na rizike može da uključi opis okidača (*triggers*), ranih znakova upozorenja koji upozoravaju vlasnike rizika i projekt menadžere da treba implementirati neki od planova za odbranu od rizika.

Manje prioritetni rizici, koji nisu uključeni u planiranje odgovora na rizike, mogu biti zabeleženi i ponovo razmotreni u kasnijem toku realizacije projekta. Planiranje odgovora na rizik može da inicira izmene u planu realizacije projekta u pogledu obima posla, troškova, vremena, potrebne radne snage, komunikacija, sistema nabavki i kvaliteta.

### 2.3 Održivost i rizik

Projekte koji kao svoje ciljeve osim tradicionalnih (troškovi, vreme, kvalitet) imaju i održivost (umanjenja negativnog uticaja ili pozitivan uticaj projekta na okolinu i društvo) takođe karakterišu rizici i neizvesnost.

Čak i pre uvođenja principa održivosti u građevinarstvo, tvrdilo se da je [5]:

„Jedan aspekt budućnosti očigledan: svi novi građevinski projekti biće realizovani u sve kompleksnijem tehničko-tehnološkom, ekonomskom, političkom i društvenom okruženju”.

Savremeno okruženje potvrđuje da je proces pripreme, projektovanja, izgradnje i održavanja održivih objekata kompleksniji i da zahteva intenzivniju interakciju učesnika na projektu u odnosu na projekte sa tradicionalnim ciljevima [6]. Upravo se za učesnike na projektu kaže da su najveći izvor neizvesnosti kroz sve faze životnog ciklusa projekta [7] i da su (učesnici) često nedovoljno upoznati sa kompleksnim procesima i aktivnostima potrebnim za uspešnu realizaciju održivih objekata [8].

Kako bi se proces praktične primene principa održivosti na projektima intenzivirao i ubrzao, [9] predlažu da bi trebalo slediti primer uvođenja upravljanja rizicima na projekte. Oni ističu da upravljanje održivošću kao i upravljanje rizicima zahteva formalna pravila i da obe oblasti u velikoj meri analiziraju bitne društveno-ekonomske aspekte projekta. Autori zaključuju da, ukoliko su procedure upravljanja rizicima uvedene kao obavezne kod velikih projekata, procedure za upravljanje održivošću bi takođe trebalo da budu integrisane u osnovne procese na projektu, umesto što se tretiraju kao dodatni zahtevi ili ograničenja.

Kolaborativna priroda projekta je od ključnog značaja za uspeh održivih projekata [8]. Ona se ogleda u potrebi da usko specijalizovani članovi tima neprekidno i efikasno komuniciraju, što, s druge strane, podiže troškove i povećava neizvesnost. Kada se pitanja i zahtevi održivosti dodaju na tradicionalno kompleksnu praksu izgradnje, projekt menadžeri bivaju okruženi većom neizvesnošću [9]. Znanje i stavovi menadžera ne kreiraju niti eliminišu neizvesnost, ali performanse projekata mogu biti značajno ugrožene njome [10].

Neophodno je istaći još jedan aspekt rizika u vezi sa održivošću na projektima. S obzirom da se od strane različitih organizacija i regulatornih tela dosta pažnje i sredstava ulaže u razvoj i primenu metoda i alata za realizaciju održivih projekata u građevinarstvu, bilo bi očekivano da se održivi ciljevi projekata realizuju efikasnije od tradicionalnih ciljeva. Istraživanja, međutim, pokazuju suprotno. Problem neispunjenja planiranih ciljeva prisutan je kako u pogledu tradicionalnih, tako i u pogledu održivih ciljeva projekata [11] i [12].

## 3. STUDIJA SLUČAJA IZGRADNJE AUTO-PUTA E-80, NIŠ– DIMITROVGRAD

### 3.1 Osnovni podaci o projektu

Kao studija slučaja u ovom istraživanju odabran je projekat izgradnje auto-puta E-80, Niš (Prosek) – Dimitrovgrad (granica Bugarske). Ovaj auto-put je deo kraka V koridora 10, jednog od najvažnijih panevropskih saobraćajnih koridora koji prolazi kroz Srbiju i povezuje Austriju, Mađarsku, Sloveniju, Hrvatsku, Srbiju, Bugarsku, Makedoniju i Grčku.

Dužina trase auto-puta E-80 Niš (Prosek) – Dimitrovgrad (granica Bugarske) je 86,85km. Od objekata na trasi postoje 70 mostova, 5 tunela, 39 zidova i 5 denivelisanih raskrsnica.

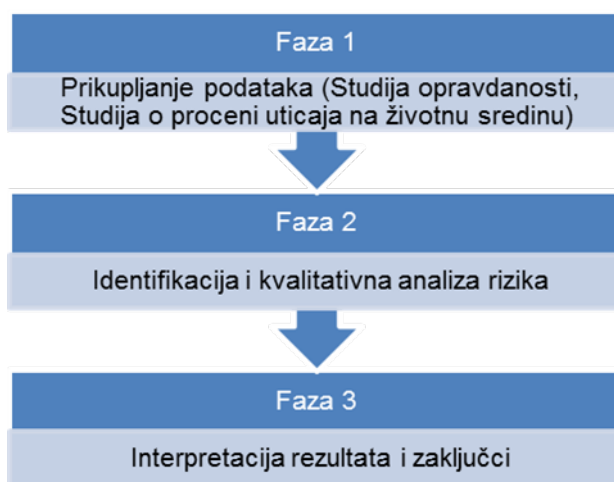
Planirana vrednost troškova izgradnje auto-puta E80 Niš - Dimitrovgrad (bez troškova izrade projektno-tehničke dokumentacije i bez troškova eksproprijacije) iznosi oko 570 miliona evra. U finansiranju projekta učestvuju međunarodne finansijske institucije, i to: Evropska investiciona banka (EIB), Evropska banka za obnovu i razvoj (EBRD), Svetska banka (WB).

Planirani rok završetka radova na izgradnji auto-puta E80 Niš – Dimitrovgrad u trenutku analize bio je 31.12.2015. godine.

Osnovni tehnički podaci o trasi i geometrijskom poprečnom profilu, dostupni su u studiji opravdanosti za predmetni projekat [12].

### 3.2 Metodologija istraživanja

Metodologija istraživanja prikazana je na slici 3. Sastoji se najpre iz prikupljanja relevantnih podataka. Analizirani su podaci iz studije opravdanosti za predmetni projekat [12], i iz studija o proceni uticaja na životnu sredinu ([13]; [14]; [15].; [16]).



**Slika 3:** Metodologija istraživanja

Studija o proceni uticaja, odnosno „EIA studija“ (EIA – *Environmental Impact Assessment*) predstavlja dokument kojim se analizira i ocenjuje kvalitet činilaca životne sredine i njihova osetljivost na određenom prostoru, međusobni uticaji postojećih i planiranih aktivnosti, neposredni i posredni štetni uticaji projekta na činioce životne sredine i mere i uslovi za sprečavanje, smanjenje i otklanjanje štetnih uticaja na životnu sredinu i zdravlje ljudi [17]. Ovu studiju naručuje nosilac projekta na isti način kao što naručuje izradu projektne dokumentacije.

Procedura za izradu studije o proceni uticaja je takođe definisana Zakonom o proceni uticaja na životnu sredinu. Za potrebe studije opravdanosti potrebno je uraditi sažet prikaz studije o proceni uticaja, sagledavanje studije u svetlu konkretnog projekta i donošenje ocene o „ekološkoj podobnosti“ projekta.

U ovom istraživanju, analiza svih prikupljenih podataka za predmetni projekat (studija opravdanosti, studije o proceni uticaja na životnu sredinu) vršena je sa ciljem identifikacije rizika u okviru sledećih kategorija:

- Finansijski rizici;
- Rizici sa mogućim posledicama po održivost projekta, u okviru čega je vršena identifikacija:
  - Ekonomskih rizika;
  - Društvenih rizika;
  - Ekoloških rizika.

Studije o proceni uticaja na životnu sredinu za predmetni projekat, analizirane su u cilju detaljnog sagledavanja najznačajnijih ekoloških rizika.

Prilikom sagledavanja podataka iz predmetne studije opravdanosti, uočeno je da, u okviru primenjenog pristupa za analizu opravdanosti i uticaja projekta, nije primenjena kvantitativna niti kvalitativna analiza rizika. S obzirom na to da, kako je ranije rečeno, domaći zakonski okvir ne propisuje neophodnu metodologiju za analizu rizika u okviru predthodne studije opravdanosti i studije opravdanosti, ovakav nedostatak je čest i razumljiv. On, međutim, otvara prostor za predlog za unapređenje metodologije analize rizika u okviru predinvesticionih studija.

Cilj kvalitativne analize je da se subjektivno (ili na nivou tima za upravljanje projektom) proceni verovatnoća pojave i posledice za svaki identifikovani rizik i da se formiraju liste prioriternih rizika.

Da bi se obavila kvalitativna analiza, neophodno je da se usvoji sistem ocenjivanja rizika. Ovde je, za procenu verovatnoća i uticaja potencijalnih rizika usvojena skala 1-5. Razmatran je potencijalni uticaj identifikovanih rizika na finansijske performanse projekta, kao i na aspekte održivosti (ekonomski, društveni, ekološki). Analizirani su kako rizici iz perioda izgradnje, tako i potencijalni rizici u periodu eksploatacije. U postupak procene verovatnoće i mogućeg uticaja rizika bilo je uključeno troje eksperata iz odgovarajućih oblasti.

Prioritet rizika se u okviru svake kategorije određuje rangiranjem rizika prema njihovoj oceni. Da bi se dobila ocena svakog rizika potrebno je pomnožiti vrednosti procenjene verovatnoće i procenjenog mogućeg uticaja rizika. U ovom delu je izračunavanje ocene rizika vršeno zasebno za svaku od četiri kategorije mogućih uticaja.

U ovom radu prikazani su rizici najvišeg prioriteta (ocena  $\geq 20$ ), kao i rizici sa prioritetom dva ( $12 \leq \text{ocena} < 20$ ). Na osnovu dokumentacije koja je bila na raspolaganju i iskustva stručnjaka uključenih u predmetnu analizu, predložene su mere za tretman rizika najvišeg prioriteta i definisana odgovornost za sprovođenje mera.

### **3.3 Rezultati i diskusija**

U tabeli 1 prikazani su rezultati kvalitativne analize finansijskih, ekonomskih, društvenih i ekoloških rizika u fazi formiranja koncepcije (izrade studije opravdanosti) za predmetnu studiju slučaja – projekat izgradnje auto-puta E-80 Niš (Prosek) – Dimitrovgrad (granica Bugarske). Na osnovu vrednosti ocena, rizici su rangirani prema prioritetu. Predlozi odgovora na rizike su prikazani u tabeli 1.

**Tabela 1: Kvalitativna analiza rizika sa utvrđenim prioritetom rizika po kategorijama za projekat auto-puta E80 Niš - Dimitrovgrad**

Red. br.	RIZIK	KATEGORIJA RIZIKA (Finansijski, Ekonomski, Društveni, Ekološki)	VEROVATNOĆA (Skala: 5 – veoma velika – 1 – veoma mala)	UTICAJ (Skala: 5 – veoma veliki – 1 – veoma mali)	OCENA	PRIORITET
<b>FAZA IZGRADNJE</b>						
1.	Finansijski rizik domaćeg tržišta (ekonomska nestabilnost i inflacija, produženi rokovi plaćanja, nedostatak sredstava za realizaciju investicije)	FINANSIJSKI, EKONOMSKI	4	4	16	2
2.	Pravni rizik domaćeg tržišta (promena zakonske i stručne regulative, kašnjenje dozvola, odobrenja)	FINANSIJSKI, EKONOMSKI	3	4	12	2
3.	Troškovi izgradnje veći od procenjenih	FINANSIJSKI, EKONOMSKI	5	4	20	2
4.	<b>Nepredviđeni podzemni uslovi (nepoznati geotehnički, geomehanički, hidro-geološki uslovi na lokaciji/trasi, podzemne instalacije, arheološka nalazišta)</b>	<b>FINANSIJSKI, EKONOMSKI, DRUŠTVENI, EKOLOŠKI</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>20</b>	<b>1</b>
5.	Nedostaci u projektno-tehničkoj dokumentaciji (konceptualne greške, nepotpunost dokumentacije, greške i nedostaci u predmeru i predračunu i sl., što može rezultirati izmenama, naknadnim radovima, odštenim zahtevima, te produženjem roka i prekoračenjem troškova)	FINANSIJSKI, EKONOMSKI, DRUŠTVENI, EKOLOŠKI	3	4	12	2
6.	<b>Imovinsko-pravni problemi u vezi sa eksproprijacijom</b>	<b>FINANSIJSKI, EKONOMSKI, DRUŠTVENI</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>20</b>	<b>1</b>
7.	Kašnjenje završetka izgradnje	FINANSIJSKI, EKONOMSKI	4	3	12	2
8.	Problemi u vezi sa neophodnim raseljavanjem stanovništva	FINANSIJSKI, EKONOMSKI, DRUŠTVENI	4	4	16	2
9.	<b>Uticao na objekte kulturnog nasleđa</b>	<b>DRUŠTVENI</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>20</b>	<b>1</b>
10.	Negativan uticaj na faunu (usled odvijanja radova kao što su izgradnja privremenih prelaza preko reka, zemljani radovi na trasi, iskop u privremenim nalazištima materijala, deponovanje materijala)	EKOLOŠKI	3	5	15	2
11.	Zagađenje površinskih i podzemnih voda (prolivanje goriva, ulja, odlaganje otpada u blizini vodotokova i/ili u vodotokove)	EKOLOŠKI	3	4	12	2

Kvalitativna analiza rizika sa mogućim uticajem na finansijsku, ekonomsku, društvenu i ekološku održivost projekta– Studija slučaja izgradnje auto-puta E-80, Niš–Dimitrovgrad

12.	Buka i vibracije usled rada građevinskih mašina	EKOLOŠKI	4	4	16	2
13.	Negativan stav javnosti i/ili lokalnog stanovništva prema projektu	DRUŠTVENI	3	5	15	2
<b>FAZA EKSPLOATACIJE</b>						
1.	<b>Eksploatacioni troškovi (troškovi korisnika, troškovi saobraćajnih nezgoda, održavanje putne mreže) veći od procenjenih</b>	<b>FINANSIJSKI, EKONOMSKI</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>20</b>	<b>1</b>
2.	<b>Saobraćajno opterećenje manje od prognoziranog</b>	<b>FINANSIJSKI, EKONOMSKI</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>20</b>	<b>1</b>
3.	<b>Negativan uticaj na faunu (razdvajanje životnog staništa, mogućnost stradanja životinja na otvorenom auto-putu, remećenje područja kroz koje auto-put prolazi, mogući uticaji na park prirode Sićevačka klisura, povećanje nivoa buke i povišenje nivoa svih oblika zagađenja, naročito zagađenja vazduha)</b>	<b>EKOLOŠKI</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>20</b>	<b>1</b>
4.	Negativan uticaj na floru (povišenje nivoa svih oblika zagađenja, naročito zagađenja vazduha, mogući uticaj na park prirode Sićevačka klisura (zaštićeno područje izuzetnog biološkog diverziteta))	EKOLOŠKI	3	4	12	2
5.	Zagađenje površinskih i podzemnih voda (nekontrolisano izlivanje, iscurivanje ili isparavanje opasnih materija koje se transportuju, uzrokovano udesom, nestručnim rukovanjem ili neispravnostima na vozilu)	EKOLOŠKI	3	5	15	2
6.	Zagađenje vazduha	EKOLOŠKI	4	4	16	2
7.	<b>Buka i vibracije</b>	<b>EKOLOŠKI</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>20</b>	<b>1</b>
8.	Potencijalni indirektni društveno-ekonomski uticaji projekta (naročito uticaj na migracije, urbani i ruralni razvoj)	EKONOMSKI, DRUŠTVENI	4	4	16	2
9.	Prekogranični efekti	EKONOMSKI, DRUŠTVENI, EKOLOŠKI	3	5	15	2

**Tabela 2: Predlog mera za odgovor na rizike najvišeg prioriteta**

Red. br.	RIZICI SA NAJVIŠIM PRIORITETOM	KATEGORIJA RIZIKA	PREDLOG ODGOVORA (MERA ZA TRETMAN)	ODGOVORAN ZA PRIMENU MERE
<b>FAZA IZGRADNJE</b>				
1.	<b>Nepredviđeni podzemni uslovi (nepoznati geotehnički, geomehanički, hidro-geološki uslovi na lokaciji/trasi, podzemne instalacije, arheološka nalazišta)</b>	FINANSIJSKI, EKONOMSKI, DRUŠTVENI, EKOLOŠKI	<p>U fazi formiranja koncepcije i projektovanja, predvideti i obezbediti neophodne resurse (ljudske, materijalne i vreme) za detaljno istraživanje geotehničkih, geoloških, hidroloških uslova na predmetnoj trasi. Prema zakonom definisanoj proceduri identifikovati postojeće podzemne instalacije, i arheološka nalazišta.</p> <p>Izvršiti naročitu kontrolu obavljenih istražnih radova i dobijenih rezultata istraživanja podzemnih uslova na predmetnoj trasi.</p> <p>Definisati procedure postupanja i ček-liste za ubrzano rešavanje problema u slučaju nailaska na neidentifikovane podzemne instalacije ili objekte kulturnog nasleđa.</p> <p>Procenu vrednosti detaljnih istražnih radova i kontrole obavljenih istraživanja i dobijenih rezultata uključiti u budžet projekta.</p> <p>Razmotriti opciju da se preostali rizici nepredviđenih podzemnih uslova (nakon prethodno sprovedenih koraka), u fazi građenja, prenesu na izvođače radova, uz razmatranje ugovorne cene i modela kojim će biti obuhvaćena adekvatna nadoknada za preuzimanje rizika.</p>	INVESTITOR, PROJEKTANT
2.	<b>Imovinsko-pravni problemi u vezi sa eksproprijacijom</b>	FINANSIJSKI, EKONOMSKI, DRUŠTVENI	<p>U okviru tima investitora, na početku realizacije projekta, isplanirati i obezbediti adekvatne resurse (naročito finansijske) za rad na planiranju i sprovođenju postupka eksproprijacije.</p> <p>Definisati, razraditi i kontrolisati dinamički plan eksproprijacije uz identifikaciju ključnih zona i parcela, kao i parcela sa potencijalnim imovinsko-pravnim problemima.</p> <p>Obezbediti efikasnu komunikaciju sa državnim organima i lokalnim zajednicama.</p> <p>Za praćenje progressa u procesu eksproprijacije, između ostalog, koristiti grafičke prikaze (situacione planove na katastarskoj podlozi, karte eksproprijacije).</p>	INVESTITOR
3.	<b>Uticaj na objekte kulturnog nasleđa</b>	DRUŠTVENI	<p>U pogledu ovog rizika, razmatran je potencijalni uticaj projekta na identifikovano i neidentifikovano kulturno nasleđe.</p> <p>Oba aspekta mogućeg uticaja projekta i potencijalnih rizika analizirani su u Izveštaju o zaštiti životne sredine za predmetni atuoport (Javno preduzeće Putevi Srbije, 2009), kao i u Studijama o proceni uticaja na životnu sredinu za pojedinačne deonice auto-puta.</p> <p>U pomenutim dokumentima se navodi da:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Su informacije o kulturnoj imovini evidentirane na osnovu podataka Zavoda za zaštitu spomenika kulture (ZZSK) iz Beograda i Zavoda za zaštitu spomenika kulture iz Niša;</li> <li>• Je trasiranje naknadno zaobišlo zakonom zaštićene lokalitete, ali da su 44 kulturna dobra, koja zahtevaju dalja istraživanja tokom faza izrade glavnog projekta kako bi se utvrdilo da li su ona ugrožena projektom, bila evidentirana u području generalnog projekta;</li> <li>• Prema Zakonu o kulturnom nasledju, ukoliko se nadje na neki nov, neregistrovan lokalitet u toku građenja (tzv. „slučajni nalazi“), investitor i izvođač moraju da omoguće i obezbede arheološku intervenciju. Ovo podrazumeva momentalan prekid svih radova i informisanje nadležnog Zavoda za zaštitu spomenika kulture o tom otkriću;</li> <li>• Je neophodno angažovanje povremenog arheološkog nadzora tokom faze građenja i da to mora biti osigurano u Planu upravljanja životnom sredinom;</li> <li>• Je u slučaju identifikacije novih arheoloških nalazišta investitor u obavezi da obezbedi finansijska sredstva za sve nameravane istražne radove – sondažna arheološka istraživanja, povremeni arheološki nadzor, zaštitne arheološke intervencije, itd;</li> <li>• Se ne očekuje da će ijedan zakonom zaštićen arheološki lokalitet biti direktno pogodjen izvođenjem</li> </ul>	INVESTITOR, PROJEKTANT, IZVOĐAČ

			<p>radova, ali da se nekoliko značajnih arheoloških dobara nalazi u blizini trase i ona zahtevaju dalje istraživanje lokaliteta. Rezerve za ovo su obezbeđene u budžetu za Plan upravljanja životnom sredinom;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Planovi upravljanja životnom sredinom specifični za datu lokaciju treba da obuhvate specifične mere radi zaštite svih lokaliteta ili dobara za koje se identifikuje da im pretila buka ili vibracije ili drugi indirektni rizici;</li> <li>• Če značajan deo materijala koji je potreban za izgradnju auto-puta poticati od materijala iskopanog iz tunela, ali će biti potrebni i dodatni izvori nekih vrsta materijala. Očekuje se da će one poticati uglavnom iz kamenoloma sa dozvolom za rad, ali je predviđeno otvaranje i lokalizovanih pozajmišta. Ističe se da je po završetku radova, potrebno je da se, na osnovu konkretnih projekata za povratak u pređašnje stanje, regulišu sva pozajmišta, deponije i površine za skladištenje, kako bi se sprečilo dalje degradiranje zemljišta i popravio ukupni vizuelni efekat;</li> <li>• Se nakon završetka izgradnje, uz primenu predviđenih mera zaštite i istraživanja, u periodu eksploatacije ne očekuju negativni efekti na objekte kulturnog nasleđa, već će izgrađeni auto-put omogućiti bolju prisutpačnost lokacijama.</li> </ul>	
<b>FAZA EKSPLOATACIJE</b>				
1.	<b>Eksploatacioni troškovi (troškovi korisnika, troškovi saobraćajnih nezgoda, održavanje putne mreže) veći od procenjenih</b>	FINANSIJSKI, EKONOMSKI	<p>U fazi formiranja koncepcije u okviru prethodne studije opravdanosti i studije opravdanosti izvršiti analizu alternativnih projektno-tehničkih rešenja uzimajući u obzir eksploatacione troškove kao jedan od kriterijuma (troškovi za celokupni životni ciklus umesto samo troškovi izgradnje). U istoj fazi, prilikom modeliranja finansiranja projekta, razmotriti različite opcije za finansiranje direktnih eksploatacionih troškova. Isplanirati i obezbediti resurse za adekvatnu procenu indirektnih eksploatacionih troškova. U okviru procene rizika u fazi formiranja koncepcije u analizi osetljivosti i analizi scenarija, za izabrano projektno-tehničko rešenje, analizirati uticaj različitog nivoa povećanja eksploatacionih troškova na izlazne pokazatelje uspešnosti projekta. U kvantitativnoj analizi rizika razmotriti uticaj potencijalno većih eksploatacionih troškova na izlazne pokazatelje uspešnosti projekta. Procenu eksploatacionih troškova vršiti bez „optimističnog stava (<i>optimistic bias</i>)”. U fazi projektovanja predvideti resurse za potrebe racionalizacije projektno-tehničkog rešenja, između ostalog, i u pogledu eksploatacionih troškova. Definirati metodologiju planiranja direktnih eksploatacionih troškova i kontrole direktnih i indirektnih eksploatacionih troškova. Odrediti lica odgovorna za izradu, kontrolu i izveštavanje o ispunjenju takvog plana.</p>	INVESTITOR, PROJEKTANT, OPERATER
2.	<b>Saobraćajno opterećenje manje od prognozirano</b>	FINANSIJSKI, EKONOMSKI	<p>Isplanirati i obezbediti resurse za adekvatnu procenu saobraćajnog opterećenja za period eksploatacije. U fazi formiranja koncepcije u okviru prethodne studije opravdanosti i studije opravdanosti izvršiti analizu alternativnih projektno-tehničkih rešenja i potencijalnu postupnost (faznost) izgradnje uzimajući u obzir prognozirano saobraćajno opterećenje. U okviru procene rizika u fazi formiranja koncepcije u analizi osetljivosti i analizi scenarija, analizirati uticaj potencijalno većeg, a naročito manjeg saobraćajnog opterećenja u odnosu na prognozirano. U kvantitativnoj analizi rizika razmotriti kakav uticaj na izlazne pokazatelje uspešnosti projekta ima potencijalno značajno manji obim saobraćaja od prognozirano. Odabrati ugovorni model/modele za izgradnju i eksploataciju u zavisnosti od prognozirano saobraćajnog opterećenja i nivoa pouzdanosti s kojim se saobraćajno opterećenje može prognozirati. U fazi realizacije isplanirati i obezbediti adekvatne resurse za promociju projekta. U skladu sa ugovornim modelom i modelom finansiranja projekta, u fazi eksploatacije predvideti mogućnost proaktivnog regulisanja visine tarifa za korišćenje auto-puta.</p>	INVESTITOR, OPERATER
3.	<b>Negativan uticaj na faunu (razdvajanje životnog staništa, mogućnost</b>	EKOLOŠKI	<p>U cilju sprečavanja gaženja životinja, prva mera je obaveza da se celokupna trasa auto-puta ogradi, sa finijom mrežom prema osnovi linije ograde. Da bi se uticaji na važne ekološke lokalitete i životinjske vrste sveli na minimum, potrebno je, projektno-tehničkim</p>	INVESTITOR, IZVOĐAČ, OPERATER



	<p><b>stradanja životinja na otvorenom auto-putu, remećenje područja kroz koje auto-put prolazi, mogući uticaji na park prirode Sićevačka klisura, povećanje nivoa buke i povišenje nivoa svih oblika zagađenja, naročito zagađenja vazduha)</b></p>		<p>rešenjem, predvideti izgradnju prolaza za male i velike životinje, preko/iznad (tzv. zeleni mostovi) ili ispod auto-puta (cevi, propusti), zavisno od potreba i karakteristika zemljišta.</p> <p>U razmatranoj dokumentaciji navodi se da je, na osnovu informacija dobijenih od Zavoda za zaštitu prirode, u pogledu potrebe za održavanjem povezanosti životinjskih staništa, izgradnja propusta i cevi ispod auto-puta trebalo da bude dovoljna mera za omogućavanje mesta prelaza. Detaljno istraživanja lokaliteta i definisanje mesta prelaza potrebno je izvršiti u toku izrade glavnog projekta.</p> <p>Sićevačka klisura je zaštićeno područje izuzetnog biološkog diverziteta i stanište je više endemskih, reliktnih i retkih vrsta biljaka i životinja. Ona je izuzetan primer pojave i interakcije geoloških, geomorfoloških i hidroloških fenomena, i predeo izuzetnih odlika prirodne lepote. Park prirode Sićevačka klisura pokriva delove područja opština Niš i Bela Palanka, sa ukupnom površinom od 7.746ha, od čega se 5.559ha nalazi u opštini Niš, a 2.187ha u opštini Bela Palanka. Ovo područje je podeljeno na dva dela - Leskov vrh (severni) i Oblik (južni). Klisura je prosečena kroz Kunovica plato, između južnih padina planina Svrlijig i Suve Planine.</p> <p>Trasa auto-puta ovog Projekta ne prati postojeći put kroz ovaj Park prirode, već ide južnim pravcem izvan ovog parka, tako da leva (severna) ivica zone puta leži vrlo blizu južnoj granici parka. Pored Sićevačke klisure, tu je i Jelašnica klisura u blizini područja studije, koja je registrovana kao specijalni rezervat prirode i kroz koju će ići predmetni auto-put, uglavnom prateći postojeći put.</p> <p>U sagledanoj dokumentaciji zaključuje se da, na osnovu preduzetih snimanja lokacija i komunikacije sa Zavodom za zaštitu prirode, nijedan zakonom zaštićen lokalitet neće trpeti negativan uticaj na floru i faunu od projekta. Auto-put će proći duž granice Parka prirode Sićevačka klisura, ali će za razliku od sadašnjeg puta zaobići Park prirode, umesto da prolazi kroz njega. Auto-put će proći kroz Jelasnica klisuru, ali će pratiti trasu postojećeg puta umesto da se probija novi teren.</p> <p>Nadgledanje uticaja projekta na životnu sredinu počinje u toku faze građenja i nastavlja se u toku namenskog funkcionisanja auto-puta. Plan za upravljanje zaštitom životne sredine daje osnovne parametre koji se moraju pratiti kako bi se efikasno implementirale i odredile mere ublažavanja za uočene negativne posledice eksploatacije projekta na životnu sredinu.</p>	
4.	<p><b>Buka i vibracije</b></p>	<p>EKOLOŠKI</p>	<p>Trenutno stanje u pogledu buke od saobraćaja na predviđenoj trasi predmetnog auto-puta karakteriše saobraćajna aktivnost na magistralnom putu M-1.12 i železničkoj pruzi Niš – Dimitrovgrad. Pretpostavlja se da će planirani auto-put postati dominantni izvor buke u datom području. U cilju analize i procene nivoa buke, potrebno je u fazi projektovanja izvršiti modeliranje predviđenih nivoa buke za razne scenarije i konfiguracije trase.</p> <p>Zatim je neophodno predložiti mere za umanjenje uticaja buke i vibracija tokom eksploatacije. Procenjuje se da će one uključiti više od 7km barijera za smanjenje buke duž saobraćajne površine i predvideti ugradnju opreme za smanjenje buke, kao što su zamena vrata i prozora ili zaklona u pogodjenim zajednicama. Merenja nivoa buke u toku funkcionisanja auto-puta trebalo bi da se odvijaju u vremenskim intervalima od po jedne godine kao i u slučaju pritužbi lokalnog stanovništva.</p>	<p>INVESTITOR, IZVOĐAČ, OPERATER</p>

Kao što se može videti u tabeli 1, rizici najvišeg prioriteta (sa najvišim ocenama) u fazi izgradnje jesu:

- Nepredviđeni podzemni uslovi (nepoznati geotehnički, geomehanički, hidro-geološki uslovi na lokaciji/trasi, podzemne instalacije, arheološka nalazišta);
- Imovinsko-pravni problemi u vezi sa eksproprijacijom;
- Uticaj na objekte kulturnog nasleđa.

U fazi eksploatacije, rizici najvišeg piroriteta jesu sledeći:

- Eksploatacioni troškovi (troškovi korisnika, troškovi saobraćajnih nezgoda, održavanje putne mreže) veći od procenjenih;
- Saobraćajno opterećenje manje od prognozirano;
- Negativan uticaj na faunu (razdvajanje životnog staništa, mogućnost stradanja životinja na otvorenom auto-putu, remećenje područja kroz koje auto-put prolazi, mogući uticaji na park prirode Sićevačka klisura, povećanje nivoa buke i povišenje nivoa svih oblika zagađenja, naročito zagađenja vazduha)
- Buka i vibracije.

U tabeli 2 su dati predlozi odgovora na rizike prvog prioriteta, kao i odgovornost za primenu navedenih odgovora.

Kao što se može videti, primenom postupka kvalitativne analize rizika se na relativno jednostavan način mogu identifikovati i oceniti najznačajniji rizici u pogledu pojedinih ciljeva projekta, kroz faze izgradnje i eksploatacije. Za najznačajnije rizike, neophodno je zatim definisati predloge mogućih mera za tretman rizika i odrediti ko će od učesnika na projektu biti odgovoran za primenu tih mera.

Sprovođenje ovakve analize, slično kao i kod kvantitativne analize rizika, zahteva angažovanje multidisciplinarnog tima u kome je, osim učešća inženjera, neophodno učešće eksperata iz oblasti ekonomije, sociologije i ekologije.

#### **4. ZAKLJUČAK**

Kroz prikazanu studiju slučaja u ovom radu je pokazano da se primenom kvalitativne analize rizika mogu pravovremeno i na relativno jednostavan način identifikovati, oceniti i sistematično prikazati potencijalne pretnje po ostvarenje pojedinih ciljeva projekta, te predložiti mere za otklanjanje ili umanjeње pretnji.

Primena predloženog pristupa može biti od velike koristi donosiocima odluka u ranoj fazi realizacije velikih infrastrukturnih projekata i to smislu:

- Ukazivanja na kritične aspekte projekta i društvenog, ekonomskog i ekološkog okruženja projekta;
- Pružanja podloge za bolju pripremu realizacije projekta;
- Omogućavanja pravovremenog sagledavanja potencijalnih dalekosežnih efekata projekata u fazi eksploatacije.

Međutim, iako je faza formiranja koncepcije veoma bitna za uspeh projekta, „bavljenje“ rizicima je neophodno nastaviti tokom daljeg toka realizacije projekta kroz proces kontrole rizika i izveštavanja koji se nastavlja na procese identifikacije i analize rizika, i čija je primena apsolutno neophodna svim učesnicima u projektu, a naročito investitoru (nosiocu projekta), kako performanse projekta ne bi značajno odstupile od planiranih.

## Literatura

- [1] PMI, 2013. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*. 5th ed. Pennsylvania USA: Project Management Institute.
- [2] PMI, 2008. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*. 4th ed. Pennsylvania USA: Project Management Institute.
- [3] Mikic, M., 2015. Upravljanje rizicima pri izgradnji kapitalnih infrastrukturnih objekata u cilju poboljšanja njihove održivosti - doktorska disertacija. Beograd: Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu.
- [4] Popović, Ž., 2009. *Odštetni zahtevi u građevinarstvu*. Beograd: Građevinska knjiga.
- [5] Williams, T., 1995. A classified bibliography of recent research relating to project risk management. *European Journal of Operational Research*, 85(1), p. 18–38.
- [6] Lapinski, A. R., Horman, M. J. i Riley, D. R., 2006. Lean processes for sustainable project delivery. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(10), pp. 1083–1091.
- [7] Ward, S. i Chapman, C., 2008. Stakeholders and uncertainty management in projects. *Construction Management and Economics*, 26(6), pp. 563-577.
- [8] Klotz, L. i Horman, M., 2010. Counterfactual Analysis of Sustainable Project Delivery Processes. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(5), p. 595–605.
- [9] Demaid, A. i Quintas, P., 2006. Knowledge across cultures in the construction industry: sustainability, innovation and design. *Technovation*, Volume 26, p. 603–610.
- [10] Perminova, O., Gustafsson, M. i Wikstrom, K., 2008. Defining Uncertainty in Projects – A New Perspective. *International Journal of Project Management*, 26(1), pp. 73-79.
- [11] Flyvbjerg, B., Bruzelius, N. i Rothengatter, W., 2003. *Megaprojects and Risk: An Anatomy of Ambition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [12] Oates, D. i Sullivan, K. T., 2012. Postoccupancy Energy Consumption Survey of Arizona's LEED New Construction Population. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(6), pp. 742-750.
- [13] Institut za puteve a.d., 2010.b *Idejni projekat auto-puta E – 80 Niš (Prosek) – Dimitrovgrad (granica Bugarske), Studija opravdanosti*. Beograd
- [14] Institut za puteve a.d., 2009. *Idejni projekat auto-puta E – 80 Niš (Prosek) – Dimitrovgrad (granica Bugarske), sektor 1 Prosek – Crvena Reka, Studija o proceni uticaja na životnu sredinu*. Beograd
- [15] Institut za puteve a.d., 2010.a *Idejni projekat auto-puta E – 80 Niš (Prosek) – Dimitrovgrad (granica Bugarske), sektor 2 i 3 Crvena reka – Pirot, Studija o proceni uticaja na životnu sredinu*. Beograd
- [16] Saobraćajni institut CIP d.o.o, 2009. *Idejni projekat auto-puta E – 80 Niš (Prosek) – Dimitrovgrad (granica Bugarske), Deonica: Pirot (istok)-Dimitrovgrad (granica Bugarske), poddeonica Pirot (istok)-Dimitrovgrad, Studija o proceni uticaja na životnu sredinu*. Beograd
- [17] Institut za puteve a.d., 2005. *Idejni projekat auto-puta E – 80 Niš (Prosek) – Dimitrovgrad (granica Bugarske), Severna obilaznica Dimitrovgrada – sektor 5, Studija o proceni uticaja na životnu sredinu*. Beograd
- [18] Zakon o proceni uticaja na životnu sredinu, 2009. Vlada Republike Srbije, Beograd: Službeni glasnik Republike Srbije br. 135/2004 i 36/2009.

# KRITIČKA ANALIZA POSTOJEĆIH METODA SIMULACIJE KRETANJA VOZILA PRI PROJEKTOVANJU POVRŠINSKIH RASKRSNICA

**Asis. Vladan Ilić<sup>1</sup>, master inž.građ**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/1, [vilic@grf.bg.ac.rs](mailto:vilic@grf.bg.ac.rs)

**V. prof. dr Dejan Gavran, dipl.građ.inž.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/1, [gavran@eunet.rs](mailto:gavran@eunet.rs)

**Doc. dr Sanja Fric, dipl.građ.inž.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/1, [sfric@grf.bg.ac.rs](mailto:sfric@grf.bg.ac.rs)

**Asis. Filip Trpčevski, master inž. građ.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/1, [ftprcevski@grf.bg.ac.rs](mailto:ftprcevski@grf.bg.ac.rs)

**Asis. Stefan Vranjevac, master inž. građ.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/1, [svranjevac@grf.bg.ac.rs](mailto:svranjevac@grf.bg.ac.rs)

**Rezime:** *Pravilno projektovanje i izbor odgovarajućih elemenata geometrije situacionog plana površinskih raskrsnica nemoguće je bez konstruisanja krivih minimalne prohodnosti za izabrane tipove vozila. Od rezultata dobijenih nakon provere minimalne prohodnosti vozila zavisi položaj ivičnih linija duž vrhova srednjih razdelnih ostrva, a posredno i veličina trougaonih ostrva, odnosno, ukupna površina koju zauzima površinska raskrsnica. Razvojem računarske tehnike i masovnom primenom CAD tehnologije u projektovanju saobraćajne infrastrukture znatno je tehnološki unapređeno izvođenje simulacija kretanja za vozila različitih dimenzija. Svi dostupni softverski alati za simulacije kretanja zasnovani su na analitičkim metodama koje koriste uprošćene kinematičke modele drumskih vozila. Uprkos intenzivnom razvoju novih softvera, dobijene krive tragova točkova ne odgovaraju uvek realnim krivama prohodnosti vozila. Upravo zbog toga, u ovom radu prikazana je kritička analiza tačnosti postojećih softvera za proveru prohodnosti i simulaciju kretanja vozila s aspekta njihovog uticaja na oblikovanje i dimenzionisanje ključnih elemenata projektne geometrije u situacionom planu površinske raskrsnice.*

**Ključne reči:** *granične krive prohodnosti, offtracking, dužina krute baze, skretni ugao, radijus zaokreta.*

## ANALYSIS OF EXISTING METHODS FOR VEHICLE MOVEMENT SIMULATION IN AT GRADE INTERSECTION DESIGN

**Summary:** *Correct design solution of an at grade intersection, as well as proper selection of its geometrical elements, is based on the critical vehicle trajectories. These trajectories have profound influence on the median peaks, and indirectly on the size of triangular isles. Widespread use of CAD technology in road design led to the integration of vehicle movement simulation into the at grade intersection design. Majority of software tools for vehicle movement simulation are based on simple kinematics models. Despite the advances in this field, resulting vehicle trajectories do not always match with the real ones. This paper deals with the accuracy of the existing software solutions for vehicle movement simulation in the broader context of at grade intersection design.*

**Key words:** *critical vehicle swept-path, offtracking, vehicle datum length, turning angle, turning radius.*

---

<sup>1</sup> Vladan Ilić: [vilic@grf.bg.ac.rs](mailto:vilic@grf.bg.ac.rs)

## 1. UVOD

Još od sredine 1930-ih građevinski inženjeri - projektanti puteva uočili su da se prilikom projektovanja raskrsnica moraju uzeti u obzir dimenzije realnih vozila u saobraćaju i njihove karakteristike kako bi tačno definisali i uskladili sve elemente situacionog plana raskrsnice. Prvi zvanični dokumenti i standardi za projektovanje koji uzimaju u obzir krive tragova vozila kao jedan od graničnih parametara za projektovanje raskrsnica datiraju još iz 1940. god. [1]. Razvojem saobraćaja i automobilske industrije menjale su se i karakteristike osnovnih tipova vozila na putevima. Generalno, zbog potreba privrede za vozilima većeg kapaciteta i gabarita, konstruisala su se sve duža i šira vozila, počevši od putničkih automobila, autobusa, kamiona i drugih teških teretnih vozila, što je iziskivalo i prilagođavanje standarda za projektovanje i, uopšte, čitave putne infrastrukture novonastalim zahtevima. Od kraja 1950-ih pojavljuje se čitav niz pravilnika i propisa za projektovanje puteva u SAD i Kanadi u kojima su prikazane krive minimalne prohodnosti za najčešćih 5 kategorija vozila i za skretne uglove od  $90^\circ$  i  $180^\circ$  [2,3,4].

U narednoj fazi razvoja, već od sredine 1970-ih, za kontrolu graničnih uslova prohodnosti na površinskim raskrsnicama počinju da se koriste šablone za konstrukciju krivih minimalne prohodnosti. Velike lične zasluge za razvoj ovog koncepta ima američki inženjer Jack E. Leisch [5,6]. Naglim razvojem saobraćajne mreže u većini velikih gradova u razvijenim zemaljama sveta tokom 1960-ih i 1970-ih godina 20. veka, inženjeri su veoma brzo uočili ograničenja vezana za primenu raznih vrsta šablona za konstrukciju minimalnih krivih prohodnosti za različite vrste vozila. Veliki nedostatak primene pomenute tehnike ogleda se pre svega u sporosti kontrole graničnih uslova prohodnosti i nemogućnosti preciznog određivanja mesta gde se postiže najveće rastojanje između trajektorija spoljašnjeg prednjeg i najisturenijeg (unutrašnjeg) zadnjeg točka izabranog vozila. Drugim rečima, inženjeri nisu imali ni sredstva ni analitički aparat koji bi im omogućio da precizno sračunaju tačan položaj vozila u kome se postiže najveća širina između graničnih trajektorija vozila. Rešenje ovog problema ujedno daje i odgovor na pitanje gde je zapravo položaj vodećeg vozila u kojem se postiže najveće rastojanje centra zadnje osovine poslednjeg priključnog vozila (ako ih ima, a ako ih nema onda samo centra zadnje osovine samostalnog vozila) od planirane putanje kretanja. U literaturi na engleskom jeziku ovaj problem je najčešće poznat pod nazivom "Maximum Offtracking Problem".

Najzastupljenija metoda proračuna maksimalne vrednosti Offtracking - a je Western Highway Institute formula ili na engl. "WHI Offtracking Formula" [7]. Detaljno objašnjenje ove metode proračuna sa uglednim primerima predstavio je u svom radu Heald L. K. [8]. Najveći nedostatak ove metode je nemogućnost proračuna tačne vrednosti Offtracking - a za uobičajene skretne uglove kakvi se javljaju na većini standardnih trokrakih ili četvorokrakih površinskih raskrsnica (od  $60^\circ$  do  $120^\circ$ ). Naime, WHI Offtracking formula daje približno tačne rezultate samo za skretne uglove veće od  $180^\circ$ , što ima veoma limitiranu primenu u realnoj projektantskoj praksi. Konstantna i maksimalna vrednost Offtracking - a postižu se za beskonačno velik skretni ugao (u praksi je to ugao veći od  $270^\circ$ ) i u tim uslovima trenutni centri rotacije vučnog vozila, kao i svih priključnih vozila, jesu identični. Takav položaj, odnosno takva vrsta kretanja vozila, u literaturi se najčešće naziva "Steady-state Offtracking".

Woodrooffe i aut. [9] prvi su u svojoj studiji predstavili kompletan analitički postupak za proračun Offtracking - a u svakoj tački putanje kretanja vozila, uključujući i proračun karakterističnog položaja vozila u kojem se postiže maksimalna vrednost Offtracking - a. Njihov postupak je podrazumevao da se putanja koju prati centar prednje upravljačke osovine vozila sastoji od ulazne tangente ili pravca, kružnog luka određenog radijusa i izlazne tangente. Jednostavnije rečeno, putanje kojima se kreću vozila su, u cilju pojednostavljenja proračuna, predstavljene kao proste kružne krivine sa ulaznim i izlaznim tangentnim pravcima. Uprkos tome što je ovaj postupak prvi ponudio analitički proračun Offtracking - a za razne vrste i dimenzije vozila u zatvorenom obliku, tačnost s kojom je bio određen položaj vozila sa maksimalnom vrednošću Offtracking - a, iako na strani sigurnosti nije bila dovoljna za izradu iole prihvatljivog i racionalnog građevinskog rešenja situacionog plana raskrsnice.

Razvojem računarske tehnike početkom 1980-ih godina i njenom sve širom primenom u projektovanju puteva stvorile su se nove mogućnosti za bržu konstrukciju krivih minimalne prohodnosti i efikasniji proračun vrednosti Offtracking - a. Veliki broj istraživanja iz ove oblasti sproveden je na Saobraćajnom institutu Univerziteta u Mičigenu (University of Michigan Transportation Research Institute - UMTRI). Među istraživačima sa navedenog instituta, naročito se ističe rad Sayers-a [10,11] koji je razvio novu analitičku metodu za konstrukciju krive minimalne prohodnosti i proračun Offtracking - a za proizvoljno vozilo (ili kombinaciju vučnog i različitih priključnih vozila), i proizvoljnu veličinu skretnog ugla i radijusa kružne putanje kretanja. Takođe, njegov algoritam, prvobitno razvijen za proračun i iscrtavanje krive tragova izabranog vozila na drugoj generaciji PC računara u SAD (Apple II computer), kasnije je dodatno unapređen u

kompjuterski program AUTOSIM, napisan u Fortran - u, za simulaciju kretanja vozila duž putanje proizvoljne geometrije [12]. Algoritam na kome je baziran ovaj program za simulaciju podrazumevao je numeričku integraciju većeg broja diferencijalnih jednačina sa različitim parametrima vozila, koje je predstavljeno u vidu vučnog voza sa četiri imaginarne krute baze. Numeričko rešavanje složenih diferencijalnih jednačina bila je najveća mana ovog algoritma, što je dodatno otežavalo i usporavalo njegovu primenu.

Kontrola minimalne prohodnosti vozila i proračun Offtracking - a prilikom projektovanja površinskih raskrsnica posebno su detaljno razmatrani u zemljama poput Kanade, Australije i SAD, gde se tradicionalno najveći deo transporta robe i tereta odvija drumskim saobraćajem, odnosno teškim teretnim vozilima i vučnim vozovima. Zato se i najveći broj ranih verzija kompjuterskih programa za proračun i iscrtavanje krivih tragova na PC računarima, kao što su Truck Offtracking Model (TOM) [13], VEHICLE/PATH [14] i PathTracker [15], prvi put razvio i počeo intenzivnije primenjivati u praksi upravo u tim zemljama.

Wang i Linnett [16] razvili su poseban kinematički model kretanja samostalnog vozila ili kompozicije različitih vozila koristeći diferencijalne jednačine prvog reda. Njihov model potvrđuje tačnost WHI Offtracking formule i ima analitičko rešenje za slučaj kretanja samostalnog vozila (bez prikolice) pod uslovom da je putanja koju prati vozilo kružna krivina ili prava linija (izlazna tangenta). Međutim, u slučaju kamiona sa poluprikolicom ili vučnog voza, tačan položaj priključnih vozila može se odrediti samo numeričkim rešavanjem diferencijalnih jednačina prvog reda pojedinačno za svako od priključnih vozila. Ovaj rad je posebno značajan zato što je u njemu dokazano da mala brzina kretanja vozila na površinskim raskrscima nema gotovo nikakav uticaj na proračun vrednosti Offtracking - a, a samim tim ni na oblik krive prohodnosti. Ova pretpostavka je kasnije matematički još jednom potvrđena i u radu Prince-a i Dubois-a [17], što nedvosmisleno pokazuje da se projektovanje situacionog plana površinske raskrsnice može tretirati samo kao geometrijski problem, eliminišući dinamiku vozila kao dodatnu komponentu pri analizama minimalne prohodnosti vozila.

Najveći broj matematičkih proračuna i simulacionih modela koji su razvijeni za proračun Offtracking - a, zasnovan je na tzv. "Bicycle Offtracking model-u", koji podrazumeva da su svi neupravljivi točkovi vozila kruto povezani za neupravljačke osovine i predstavljeni kao jedan "ekvivalentni točak" smešten u težištu položaja realnih točkova. Rukovodeći se ovim principom, poluprikolice sa višestrukim osovinama na kraju šasijske modeliraju se kao jedna kruta baza čvrsto spojena sa jednom ekvivalentnom osovinom smeštenom u geometrijski centar višestrukih osovine. Koristeći ova pojednostavljena moguće je izvesti analitičke izraze za određivanje položaja vozila ili kompozicije vozila u bilo kojoj tački putanje kretanja, što je pokazano na konkretnom primeru u radu Choi-a i aut. [18].

Analize prohodnosti vozila predstavljaju nezaobilaznu fazu projektne razrade ne samo pri projektovanju raskrsnica za drumsku vozila, već i pri geometrijskom oblikovanju proširenja rulnih staza aerodroma u krivini, ili njihovom ukrštanju. Zbog toga zahtevi minimalne prohodnosti moraju biti strogo zadovoljeni i prilikom projektovanja sistema rulnih i poletno sletnih staza na aerodromima. Da bi se pomenuti zahtevi ispunili, specijalizovana agencija Ujedinjenih nacija za organizaciju civilnog saobraćaja ICAO, kroz formiranje internacionalnih standarda za projektovanje aerodroma (Aerodrome Design Manual) [19], naručila je izradu originalnog analitičkog modela za simulaciju kretanja aviona kroz krivinu određenog radijusa. Tačnost ovog modela je više puta dokazana, pa se može usvojiti kao opšte prihvaćen koncept za analitički proračun položaja samostalnog vozila (aviona) tokom prolaska kroz prostu kružnu krivinu.

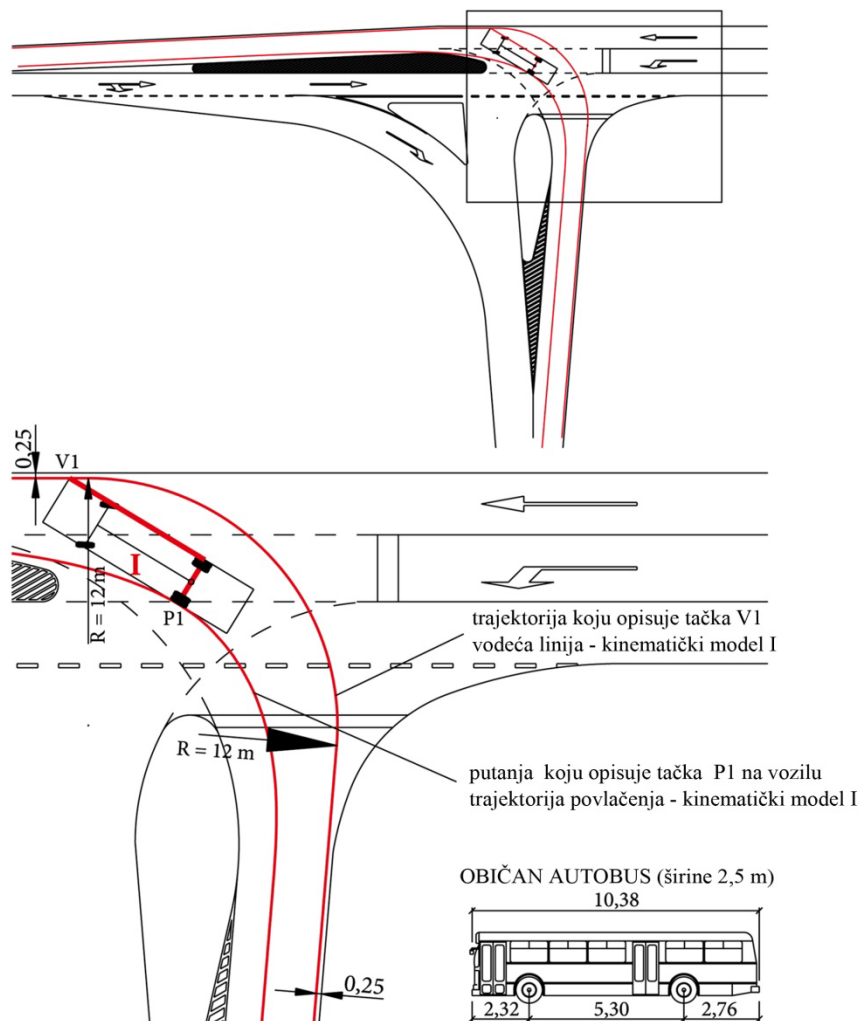
Veoma rano inženjeri su uočili da se unutrašnja kontura krive minimalne prohodnosti može aproksimirati pomoću složene geometrijske forme, najčešće sastavljene od niza kružnih krivina. Originalno rešenje za ovaj problem prvo su ponudili nemački inženjeri Krenz i Osterloch [20], koji su krivu tragova najisturenijeg (unutrašnjeg) zadnjeg točka vozila aproksimirali sa složenom geometrijskom formom u vidu trocentrične krivine. Zbog relativno jednostavnih formula, kojima se definišu elementi trocentrične krivine [21], ona se i danas najčešće primenjuje za aproksimaciju krive tragova najisturenijih unutrašnjih točkova vozila pri manevrima levih i desnih skretanja na površinskim raskrscima.

Početkom 1990-ih, sa brzim razvojem kompjuterski podržanog projektovanja (Computer-Aided-Drafting and Design (CADD)), postalo je evidentno da će u budućnosti projektovanje saobraćajne infrastrukture najvećim delom biti oslonjeno na kompjuterske programe koji koriste AutoCAD ili Microstation platformu. U tom periodu nastala su i tri najpopularnija softvera za simulaciju kretanja vozila i kontrolu prohodnosti (AutoTRACK, AutoPATH i AutoTURN) koja su mogla biti instalirana na platformi PC računara. U poslednjoj deceniji primetna je jasna tendencija da se projektovanje površinskih raskrsnica što više automatizuje i po mogućnosti parametrizuje, kako bi se što brže došlo do zadovoljavajućeg projektog rešenja situacionog plana. Najveću automatizaciju i razvoj ovog koncepta "parametarskog projektovanja" raskrsnice trenutno nude softverska rešenja NEXUS, STRATIS, CARD/1, MXROAD i AutoCAD Civil 3D.

## 2. IZBOR KINEMATIČKOG MODELA VOZILA

Prilikom analize geometrije kretanja u krivinama malih radijusa ( $R < 20\text{m}$ ) određene pretpostavke, odnosno, pojednostavljena su usvojena vezano za uticaj osobina upravljačkog mehanizma i ponašanje pneumatika vozila izloženih uticajima poprečnih sila. Prilikom definisanja kinematičkog modela, dobro poznavanje kinematike kretanja vozila je neophodno, kako uvođenje neophodnih pretpostavki i uprošćena ne bi negativno uticalo na tačnost rezultata dobijenih simulacijom kretanja vozila. Kretanje vozila u modelima se opisuje kao pomeranje krutog tela na ravni, a sve geometrijske relacije i horizontalni položaj vozila definisani su na osnovu trajektorija koje opisuju dve tačke na krutom telu.

U krivinama malih radijusa, kakve se obično javljaju pri oblikovanju saobraćajnih površina na površinskim raskrsnicama, brzina vožnje je mala ( $V \leq 15\text{km/h}$ ) kao i vrednost centrifugalne sile, pa su i bočne sile koje uzrokuju proklizavanje takođe male. Zato se može usvojiti da su točkovi nedeformabilni, tj. kruto vezani za osovine, i da se slobodno rotiraju bez proklizavanja pneumatika. Kinematički model vozila I (**Slika 1**) simulira ponašanje vozila u realnim saobraćajnim uslovima kada vozač najisturenijom tačkom sa desne strane prednjeg prepusta vozila prati postavljenu vodeću liniju pri levom skretanju, dok je trajektorija povlačenja definisana putanjom zadnjeg levog najisturenijeg točka.

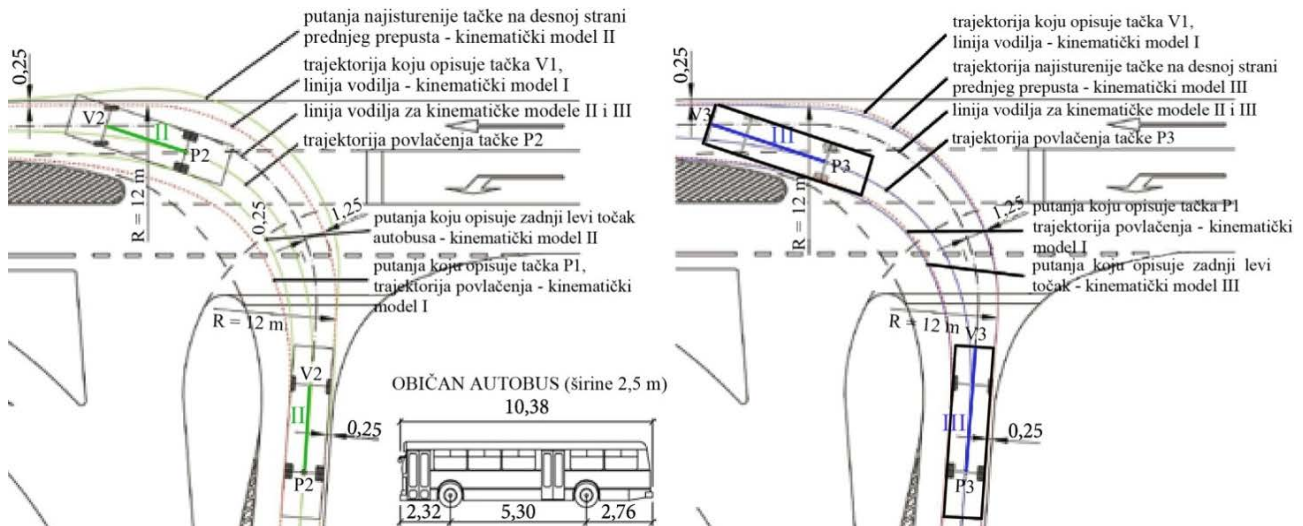


**Slika 1.** Definisane trajektorije kretanja najisturenijih tačaka vozila - kinematički model I [22]

Dok neke metode za iscrtavanje krivih prohodnosti koriste upravo ovaj kinematički model kretanja vozila [22], većina drugih metoda, npr. austrijski standardi i smernice za projektovanje raskrsnica (RVS 3.41 and RVS 3.42), kao i metode primenjene u specijalizovanim softverima za iscrtavanje krivih tragova vozila (AutoTurn [23], Autodesk Vehicle Tracking [24], CARD/1 [25], RIB - Stratis [26], CGS Autopath [27] i GCM [28]), koriste kinematički model definisan u podužnoj osovini vozila. U slučaju kada je kinematički model vozila postavljen duž osovine vozila, tačka koja prati vodeću liniju V najčešće se nalazi na sredini prednje osovine, dok je tačka P koja opisuje trajektoriju povlačenja smeštena u sredini zadnje osovine, kao što je i prikazano na

kinematičkom modelu II (**Slika 2**). Pri analizi uticaja izbora kinematičkog modela na širinu površine koju obuhvataju krive prohodnosti vozila mogu se izdvojiti tri vrste kinematičkih modela:

- 1) **Kinematički model I** koji najviše odgovara realnim uslovima vožnje u saobraćajnom toku (**Slika 1**);
- 2) **Kinematički model II** gde vodeću liniju prati tačka V na sredini prednje osovine, a tačka P se nalazi na sredini zadnje osovine (**Slika 2**);
- 3) **Kinematički model III** čija kruta baza prati liniju vodilju sa tačkom V smeštenom na sredini prednjeg branika vozila, dok se tačka P čije pomeranje generiše trajektoriju povlačenja nalazi na sredini zadnje osovine, isto kao kod kinematičkog modela II (**Slika 2**).



**Slika 2.** Definisane trajektorije kretanja najisturenijih tačaka vozila - kinematički modeli II i III [22]

Za kinematički model I linija vodilja je oblikovana kao kružna krivina radijusa 12m. Treba naglasiti da je izlazni pravac ove vodilje pomeren za zaštitno rastojanje od 0,25m u odnosu na ivičnjak trotoara (**Slika 1**). Linija vodilja za kinematičke modele II i III takođe je oblikovana kao prosta kružna krivina sa ulaznim i izlaznim pravcem, odnosno, tako da je samo paralelno smaknuta za 1,25m ka unutrašnjosti krivine u odnosu na liniju vodilju definisanu za kinematički model I (**Slika 2**). Ovo paralelno pomeranje linije vodilje za kinematičke modele II i III zapravo omogućava međusobno poređenje tri različita kinematička modela za slučaj kretanja vozila duž putanje sastavljene samo od proste kružne krivine i tangentnih pravaca. Jednostavnije rečeno, vozilo koje je predstavljeno kinematičkim modelom II, prednjim desnim točkom prati liniju vodilju kinematičkog modela I, dok istu liniju vodilju u slučaju kinematičkog modela III prati najisturenija desna tačka na prednjem prepustu vozila. Iako prema nekim istraživanjima [22] kinematički model I ima izvesne prednosti u odnosu na kinematičke modele II i III, njegova praktična primena za kontrolu uslova prohodnosti prilikom projektovanja površinskih raskrsnica nije toliko zastupljena.

Trajektorije povlačenja se dobijaju primenom različitih proračunskih metoda i "offtracking modela" za simulaciju kretanja vozila. Ako se uzme u obzir da u geometrijskom smislu linija vodilja, paralelno pomereni za polovinu širine vozila na spoljnu stranu (za kinematičke modele II i III), zapravo predstavlja trajektoriju najisturenije spoljne tačke na vozilu, na oblikovanje elemenata u situacionom planu površinskih raskrsnica dominantno utiče geometrija trajektorije povlačenja. Površina omeđena "offset-ovanom" linijom vodiljom i trajektorijom povlačenja najisturenije unutrašnje tačke vozila predstavlja neophodan prostor, odnosno, širinu vozne trake za skretanje vozila, koji mora biti oslobođen od svih prepreka, uz obezbeđenje dodatnog zaštitnog rastojanja duž ovih graničnih trajektorija najisturenijih tačaka vozila. Pre izvođenja simulacija kretanja, radi kontrole prohodnosti vozila za različite manevre skretanja, a sve u cilju preciznog oblikovanja elemenata u situacionom planu površinske raskrsnice, veoma je važno tačno definisati položaj krute baze na kinematičkom modelu vozila kao i referentnu tačku kojom će usvojena kruta baza pratiti zadanu geometriju linije vodilje.

### 3. MEĐUSOBNO POREĐENJE NAJZASTUPLJENIJIH SOFTVERSKIH PAKETA ZA SIMULACIJU KRETANJA VOZILA

Ogroman napredak kompjuterske tehnike i opšteprihvaćena CADD platforma kao osnova za modeliranje svih objekata putne infrastrukture doveli su do razvoja i masovne upotrebe većeg broja specijalizovanih



softvera za simulaciju kretanja vozila. Generalno, svi softverski paketi koji će biti pomenuti u ovom radu, sadrže unapred usvojena pojednostavljena realnih kinematičkih modela kretanja vozila, jer bez njih ne bi bilo moguće kreirati iole primenjive matematičke modele koji čine osnovu pomenutih softverskih rešenja. Ova pojednostavljena se u prvom redu odnose na eliminisanje uticaja trenja između pneumatika i kolovoza, odnosno, eliminiše se potencijalno klizanje ili zanošenje vozila usled proklizavanja točkova. Drugo uprošćenje se odnosi na činjenicu da se deformacije pneumatika vozila ne uzimaju u obzir, a sva vozila za koja se izvode simulacije kretanja, osim sopstvene težine, ne nose nikakvo opterećenje.

U primeru koji je prikazan u radu testirana su 4 najzastupljenija softverska rešenja za simulaciju kretanja vozila koja se trenutno primenjuju u Srbiji i to: AutoTurn, Vehicle Tracking - Autodesk, Autopath-CGS plus, i GCM - Gavran Civil Modeller. Kao ogledno vozilo izabran je tegljač sa poluprikolicom, tj. šleper iz nemačkih standarda za merodavna vozila [29] pri projektovanju puteva. Sve dimenzije kamiona, uključujući i maksimalne vrednosti ugla zakretanja i vremena potrebnog za okretanje (motanje) volana između graničnih položaja upravljačkih točkova date su na **Slikama 3 i 4**.

Za izabrano vozilo iscrtnane su granične krive prohodnosti za 8 različitih konfiguracija geometrije vodeće putanje. Izabran je **kinematički model II** tako da je kruta baza postavljena po osovini vozila, a zadanu putanju kretanja prati sredina prednje osovine tegljača. Prvo je simulirano kretanje šlepera duž prostih kružnih krivina radijusa  $R = 12,5\text{m}$  sa skretnim uglovima od  $90^\circ$  i  $180^\circ$  između tangentskih pravaca (**Slika 3**). Potom su za iste oblike putanja kretanja između kružnih lukova i tangentskih pravaca ubačene prelaznice, odnosno, konstruisane su proste putne krivine sa odnosom susednih elemenata  $A:R:A = 1:1:1$ . Na identičan način definisane su i vodeće putanje za kružne i proste putne krivine radijusa  $R = 15,0\text{m}$  za iste vrednosti skretnih uglova (**Slika 4**). Potrebne širine saobraćajne trake za bezbedan manevar vozila, odnosno rastojanja između graničnih krivih prohodnosti, merena su na svakom od 9 poprečnih preseka postavljenih upravno na iscrtnane putanje kretanja (**Slika 3 i 4**).

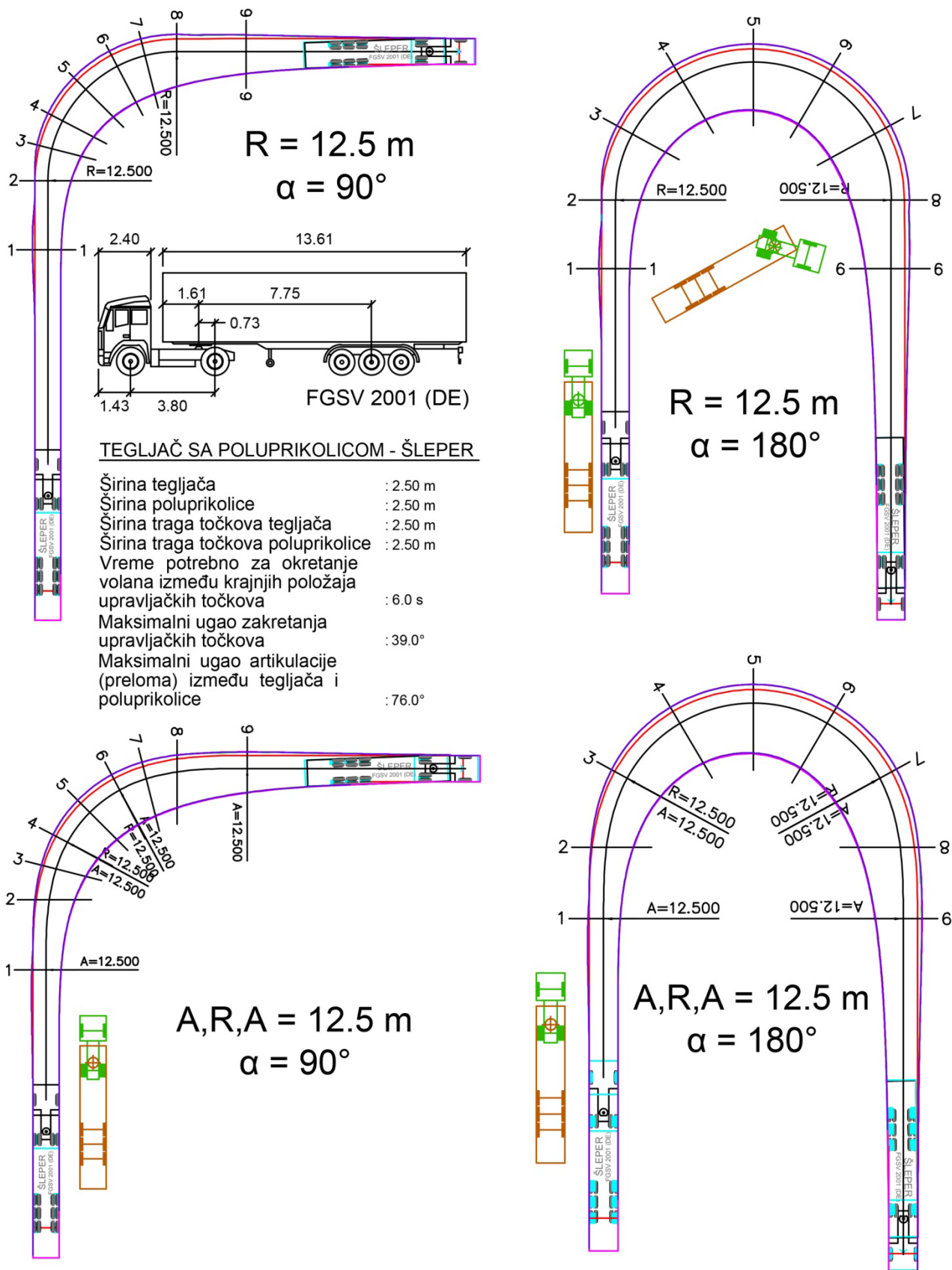
#### 4. ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA NAKON ZAVRŠETKA SVIH SIMULACIJA

Merenja su obavljena redom za sve izvedene simulacije kretanja, posebno za svaki od testiranih softvera i za sve konfiguracije elemenata geometrije vodećih putanja. Rezultati merenja sortirani su po poprečnim presecima i prikazani u **Tabeli 1**. Detaljnijom analizom rezultata merenja u prikazanoj tabeli može se videti da se najveća odstupanja u širini saobraćajne trake ograničene krivama prohodnosti javljaju na mestu poprečnih preseka 6 i 7 (reda veličine od 88mm do 96mm), kada vozilo počinje da se ispravlja posle izlaska iz kružne krivine, odnosno, na mestu gde se završava druga prelazna krivina i počinje izlazni pravac. Maksimalne razlike u širini saobraćajne trake izmerene su pri manevrima skretanja za  $180^\circ$  za vodeće putanje oblikovane bilo pomoću kružne ili proste putne krivine radijusa  $R = 12,5\text{m}$ . Za veće vrednosti radijusa  $R = 15,0\text{m}$  ove razlike se očekivano smanjuju. Generalno, ako se uzmu u obzir sve izmerene širine na svim presecima za izvedene manevre skretanja, razlike u širinama saobraćajnih traka dobijene posle primene testiranih softverskih paketa nisu velike (maksimalne razlike su do 10cm). Međutim, analizom svih merenih vrednosti u **Tabeli 1**, može se zapaziti da se najmanja rastojanja između graničnih trajektorija dobijaju za simulaciju sa domaćim softverskim paketom GCM-om, nešto veće širine za simulaciju sa Vehicle Tracking-om, dok se najveće širine pri skoro svim manevrima dobijaju posle simulacije sa Autopath-om. Važno je napomenuti da je prilikom simulacije kretanja šlepera sa GCM-om usvojen korak simulacije od 25cm, dok je u ostalim testiranim softverima brzina vožnje kamiona usvojena kao 10km/h. Kada su po istim putanjama ponovo izvedene simulacije sa većom brzinom kretanja šlepera u softverima AutoTurn, Vehicle Tracking i Autopath izmerene su nešto manje širine saobraćajnih traka. U korisničkim uputstvima pomenutih softvera nije jasno objašnjeno na koji način brzina simulacije utiče na granične trajektorije vožnje.

Interesantno je uvideti da se na presecima na početku i kraju krivina (1,2,9), pri simulaciji vožnje duž putanja bez prelaznih krivina za skretne uglove od  $90^\circ$ , dobijaju manja rastojanja između graničnih trajektorija nego za simulaciju kretanja duž putanja sa prelaznicama. Ove razlike idu maksimalno do 30cm, kako za krivinu sa  $R = 12,5\text{m}$  tako i za  $R = 15,0\text{m}$ . Na presecima 4,5,6 u srednjem delu krivine situacija je obrnuta, tj. izmerena rastojanja za simulacije kretanja vozila duž putanja bez prelaznica su veća nego rastojanja za simulacije duž putanja sa prelaznicama. Za skretne uglove od  $180^\circ$  i veće vrednosti radijusa  $R = 15,0\text{m}$  razlike u širinama saobraćajnih traka po presecima u sredinama krivina se smanjuju.

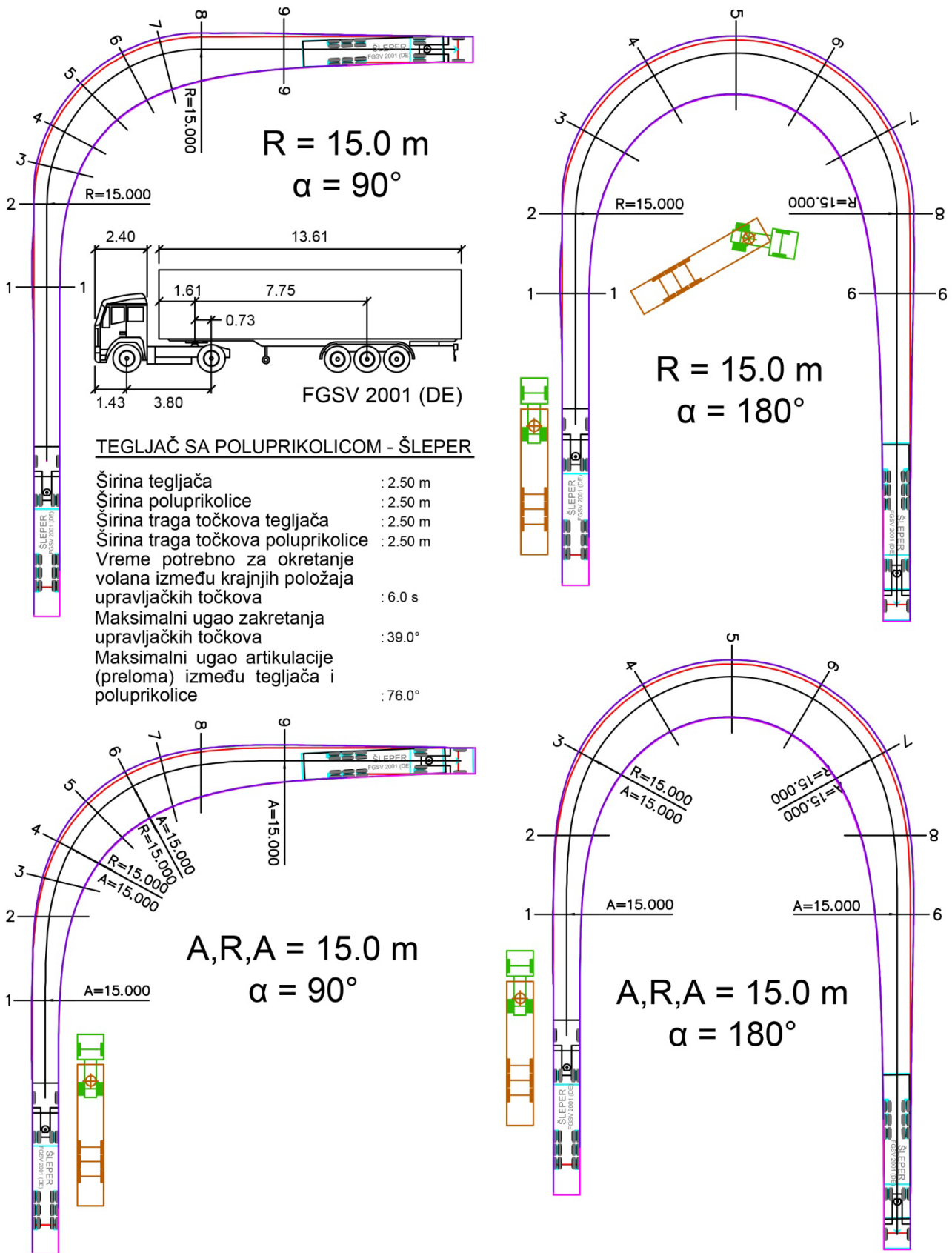
Ubacivanje prelaznih krivina oblika klotoida između kružnih krivina i tangentskih pravaca pri formiranju vodeće putanje nije značajnije uticalo na maksimalna rastojanja između graničnih trajektorija vožnje, tj. na maksimalne veličine "Offtracking-a". Kao što je već rečeno najveća razlika između širina saobraćajne trake za simulacije pri kretanju duž putanja sa i bez prelaznica iznosi do 30cm, dok su vrednosti  $\Delta R_1$  i  $\Delta R_2$  za putanje

sa konfiguracijom elemenata geometrije A,R,A = 12,5m i A,R,A = 15,0m redom 0,53m i 0,63m, što znači da su maksimalne razlike izmerenih širina sa i bez prelaznica manje od veličine odmaka kružnice  $\Delta R$ .



Slika 3. Merenje rastojanja između graničnih krivih prohodnosti dobijenih pri manevru skretanja šlepera po vodećoj putanji oblika kružne i proste putne krivine ( $R = A = 12,5m$ , skretni uglovi  $\alpha = 90^\circ$  i  $\alpha = 180^\circ$ )

Upotreba prelaznih krivina najviše utiče na intenzitet promene ugla zakretanja upravljačkih točkova tegljača pri izvođenju manevra skretanja kao što se može videti na dijagramu na **Slici 5**. Sa dijagrama se odmah

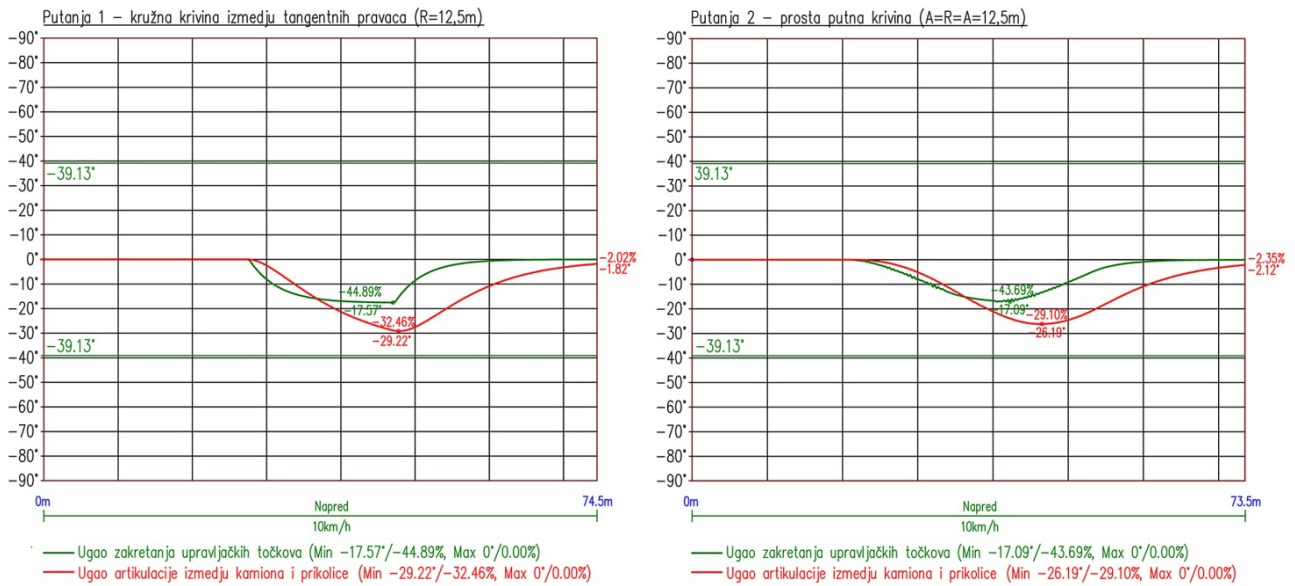


**Slika 4.** Merenje rastojanja između graničnih krivih prohodnosti dobijenih pri manevru skretanja šlepera po vodećoj putanji oblika kružne i proste putne krivine ( $R = A = 15,0m$ , skretni uglovi  $\alpha = 90^\circ$  i  $\alpha = 180^\circ$ )

primećuje da se brzina promene ugla zakretanja upravljačkih točkova mnogo blaže menja kada se tegljač kreće duž vodeće putanje oblika proste putne krivine sa prelaznicama. Takođe, brzina promene ugla artikulacije između tegljača i poluprikolice je ravnomernija pri kretanju po vodećoj liniji sa prelaznim krivinama. Do sličnih zaključaka su došli i inženjeri sa Tajvana posle izvođenja eksperimenta na realnom poligonu i merenja rastojanja minimalnih krivih prohodnosti od zadatih putanja kretanja vozila [30].

**Tabela 1.** Širine saobraćajne trake u [m] merene između graničnih krivih prohodnosti u označenim presecima

Preseci	Naziv testiranog softvera	Elementi geometrije linije vodilje koju prati referentna tačka krute baze							
		R = 12,5 $\theta = 90^\circ$	A,R,A = 12,5 $\theta = 90^\circ$	R = 12,5 $\theta = 180^\circ$	A,R,A = 12,5 $\theta = 180^\circ$	R = 15,0 $\theta = 90^\circ$	A,R,A = 15,0 $\theta = 90^\circ$	R = 15,0 $\theta = 180^\circ$	A,R,A = 15,0 $\theta = 180^\circ$
1	AutoTurn	2.765	2.782	2.799	2.783	2.679	2.693	2.701	2.692
	Veh. Trac.	2.788	2.799	2.810	2.797	2.688	2.705	2.710	2.706
	Autopath	2.772	2.783	2.792	2.783	2.675	2.691	2.700	2.691
	GCM	2.786	2.796	2.809	2.797	2.686	2.705	2.710	2.705
2	AutoTurn	3.534	3.827	3.534	3.691	3.333	3.617	3.334	3.497
	Veh. Trac.	3.511	3.806	3.514	3.673	3.321	3.597	3.321	3.486
	Autopath	3.551	3.847	3.545	3.709	3.339	3.628	3.342	3.511
	GCM	3.512	3.804	3.512	3.673	3.316	3.598	3.316	3.485
3	AutoTurn	4.431	4.386	5.015	4.867	4.179	4.101	4.705	4.559
	Veh. Trac.	4.411	4.362	4.993	4.846	4.156	4.087	4.687	4.539
	Autopath	4.456	4.417	5.052	4.899	4.190	4.125	4.739	4.590
	GCM	4.406	4.360	4.989	4.841	4.154	4.083	4.686	4.537
4	AutoTurn	4.990	4.873	5.701	5.637	4.682	4.571	5.240	5.193
	Veh. Trac.	4.959	4.848	5.665	5.609	4.663	4.547	5.211	5.162
	Autopath	5.007	4.905	5.734	5.674	4.705	4.600	5.260	5.219
	GCM	4.956	4.847	5.663	5.603	4.659	4.544	5.209	5.159
5	AutoTurn	5.436	5.291	6.025	5.996	5.057	4.949	5.447	5.434
	Veh. Trac.	5.411	5.265	5.995	5.959	5.029	4.925	5.416	5.398
	Autopath	5.457	5.317	6.070	6.026	5.086	4.979	5.490	5.461
	GCM	5.407	5.263	5.986	5.958	5.026	4.922	5.416	5.396
6	AutoTurn	5.614	5.422	6.204	6.178	5.232	5.059	5.543	5.539
	Veh. Trac.	5.593	5.388	6.155	6.134	5.203	5.027	5.506	5.495
	Autopath	5.649	5.445	6.249	6.226	5.254	5.088	5.571	5.564
	GCM	5.591	5.386	6.153	6.130	5.202	5.025	5.502	5.493
7	AutoTurn	5.516	5.302	6.179	6.026	5.142	4.929	5.555	5.422
	Veh. Trac.	5.487	5.272	6.151	5.992	5.118	4.893	5.510	5.382
	Autopath	5.542	5.325	6.225	6.077	5.160	4.954	5.581	5.458
	GCM	5.482	5.269	6.144	5.989	5.112	4.892	5.511	5.380
8	AutoTurn	5.071	5.031	5.390	5.268	4.676	4.637	4.819	4.706
	Veh. Trac.	5.045	5.001	5.360	5.230	4.651	4.606	4.796	4.683
	Autopath	5.091	5.057	5.419	5.300	4.697	4.655	4.845	4.747
	GCM	5.041	4.999	5.356	5.230	4.650	4.604	4.794	4.683
9	AutoTurn	3.741	3.868	3.978	4.041	3.432	3.546	3.554	3.651
	Veh. Trac.	3.746	3.861	3.996	4.052	3.426	3.560	3.565	3.642
	Autopath	3.784	3.903	4.041	4.099	3.457	3.595	3.603	3.683
	GCM	3.745	3.861	3.993	4.049	3.425	3.559	3.565	3.642



**Slika 5.** Brzina promene ugla zakretanja upravljačkih točkova tegljača i ugla artikulacije (preloma) između tegljača i poluprikolice pri kretanju šlepera po putanji oblika kružne i proste putne krivine

Za razliku od Autopath-a i Vehicle Tracking-a koji koriste sličnu matematičku osnovu za simulaciju kretanja vozila baziranu na već pomenutom "Bicycle Offtracking Model-u", AutoTurn koristi algoritme za nelinearno programiranje (na engl. NPL - nonlinear programming algorithms) za dobijanje inverznih kinematičkih veličina pri rešavanju problema određivanja položaja vozila. Krajni cilj rada NPL algoritma jeste određivanje svih prelomnih uglova između vučnog i drugih priključnih vozila, zatim određivanje krajnjeg položaja najisturenijih tačaka poslednjeg priključnog vozila i njegovu orijentaciju. Konkretno, kada se centar prednje upravljačke osovine pomeri iz početne ka nekoj drugoj tački na putanji kretanja, računaju se prelomni uglovi između tegljača i poluprikolice ili kamiona i prikolice, koji su koherentni sa smerom napredovanja vodećeg vozila. Domaći softver GCM koristi dobro poznati Halterov postupak [28] kao osnovu za određivanje položaja vozila pri svakom novom pomeranju duž proizvoljne putanje kretanja. Za razliku od AutoTURN-a, GCM nudi mogućnost da se posle završetka simulacije kretanja vozila na računaru pomoću komande GCMDRIVEPATH [28] automatski iscrta putanja bilo koje tačke na vozilu pri izvođenju zadatog manevra.

## 5. METODE MERENJA REALNIH KRIVIH PROHODNOSTI VOZILA NA POLIGONU

Jedini verodostojan vid provere tačnosti rada svih komercijalnih softvera za simulaciju kretanja vozila jeste poređenje minimalnih kriva prohodnosti dobijenih pomoću simulacije na računaru sa realnim trajektorijama najisturenijih tačaka na vozilu snimljenih prilikom izvođenja različitih manevara na ravnom poligonu. Trenutno postoje dve različite tehnologije za precizno merenje prostora koji obuhvataju krive prohodnosti vozila pri izvođenju realnih manevara: tehnologije ili sistemi koji koriste vozila opremljena specijalnim uređajima za detektovanje njihovog položaja, i sistemi koji ne zahtevaju nikakve unapred instalirane instrumente u vozilu.

Najčešće korišćen i najefikasniji metod za eksperimentalno određivanje minimalnih krivih prohodnosti vozila je pomoću malih rezervoara sa vodom ili drugom tečnošću postavljenih na mestima najisturenijih tačaka na karoseriji. Naime, na početku izvođenja manevra odvrnu se slavine ili ventili na rezervoarima i pusti se da tečnost polako curi direktno na suhu površinu kolovoza poligona. Posle se klasičnim geodetskim metodama u odnosu na neku poznatu georeferenciranu (fiksnu) tačku (i/ili tačke) brzo snime sve koordinate duž mokrog traga koji je nastao curenjem tečnosti na poligonu.

Najtačnije metode za preciznu rekonstrukciju položaja graničnih trajektorija vozila su pomoću GPS prijemnika (antena) postavljenih na vozilo, ili korišćenjem naprednih tehnika za procesiranje fotografija ili video snimaka oglednog vozila u specijalnim softverima za 3D obradu video formata. GPS antene koje se postavljaju na vozilo u pokretu najčešće se u literaturi nazivaju "GPS roverima", dok se fiksna prijemna GPS stanica u odnosu na koju se mere koordinate pokretnih antena najčešće zove "GPS master" [31]. Pri dosadašnjim terenskim merenjima trajektorija vozila sa GPS opremom kao najveći nedostatak isticao se problem fiksiranja antena za karoseriju vozila tokom eksperimenta. Kako bi se obezbedila zadovoljavajuća tačnost merenja, GPS antene su praktično morale biti kruto pričvršćene za karoseriju, uz uslov da se posle završetka jedne serije merenja mogu jednostavno skinuti i brzo postaviti na sledeće ogledno vozilo.

## 6. ZAKLJUČAK

Definisanje graničnih trajektorija vozila predstavlja nezaobilazan korak u analizama prohodnosti prilikom izrade situacionih planova svih tipova površinskih raskrsnica. Naglim razvojem računarske tehnike i kompjuterskih programa za modeliranje objekata saobraćajne infrastrukture u CAD okruženju nastao je čitav niz softverskih alata za simulaciju kretanja različitih tipova drumskih vozila i aviona (na manevarskim površinama aerodroma). Da bi matematički aparat na kome su zasnovani softveri za simulaciju mogao biti praktično primenjen, neophodno je bilo definisati uprošćene kinematičke modele za samostalno vozilo i različite kombinacije vučnog i raznih priključnih vozila. U ovom radu predstavljena su tri najčešće korišćena kinematička modela vozila, prikazane su njihove krute baze kao i referentne tačke na tim krutim bazama koje prate zadate linije vodilje. Jasno definisanje položaja krute baze u kinematičkom modelu i bazne tačke na vozilu, koja će verno slediti geometriju vodeće putanje, veoma je važno kako bi se dobile krive minimalne prohodnosti koje se najbolje poklapaju sa realnim trajektorijama najisturenijih tačaka vozila.

Veći deo rada posvećen je uporednoj analizi trenutno najpopularnijih softvera za simulaciju kretanja vozila u projektantskoj praksi u Srbiji. Ukupno su izvedene 32 simulacije kretanja šlepera za 8 različitih konfiguracija geometrije vodećih putanja sa i bez prelaznih krivina. Na 9 karakterističnih preseka izmerena su rastojanja između minimalnih kriva prohodnosti za sve izvedene simulacije, posle čega su ova rastojanja međusobno upoređena. Najuža rastojanja između minimalnih krivih prohodnosti dobijaju se posle simulacije kretanja šlepera sa softverskim paketom GCM, a zatim, redom, sa Vehicle Tracking-om, AutoTurn-om i Autopath-om. Zaključeno je, posle poređenja izmerenih širina saobraćajnih traka, da se rastojanja minimalnih krivih prohodnosti veoma malo razlikuju za različita softverska rešenja, reda veličine maksimalno do 10cm, što ne predstavlja veliko odstupanje, ako se ima u vidu da duž svih graničnih trajektorija treba obezbediti dodatna zaština rastojanja od min 25cm. Međutim, pri definisanju ulaznih parametara za simulacije sa softverima AutoTurn, Vehicle Tracking i Autopath, ostaje otvoreno pitanje kako zadana brzina kretanja šlepera utiče na posmatrane širine saobraćajnih traka za određene manevre skretanja.

Takođe, pokazano je da upotreba prelaznih krivina oblika klotoide prilikom formiranja geometrije vodećih putanja bitno ne utiče na maksimalnu veličinu "Offtracking-a", ako se uzmu u obzir dimenzije kružnog odmaka  $\Delta R$  od tangentnih pravaca. Primenom prelaznica ublažava se brzina promene ugla zakretanja upravljačkih točkova šlepera, što omogućava vozačima lakše manevrisanje na početku i na kraju proste putne krivine, u odnosu na vodeće putanje sastavljene samo od kružnih krivina i ulaznih i izlaznih pravaca.

Verifikacija valjanosti i pouzdanosti bilo kojeg softverskog rešenja za simulaciju kretanja vozila ogleda se isključivo u međusobnom poređenju realno snimljenih krivih prohodnosti tokom kretanja vozila na poligonu sa krivama dobijenim simulacijom na računaru. Iako su ovakvi testovi skupi i zahtevaju sofisticiranu pripremu, jedino oni mogu dati validnu ocenu kvaliteta nekog softvera i matematičkog modela koji je u njemu primenjen.

### Literatura

- [1] AASHO (1940). *A Policy on Highway Types*. American Association of State Highway Officials, Washington, D.C., USA.
- [2] AASHO (1954). *A Policy on Geometric Design of Rural Highways*. American Association of State Highway Officials, Washington, D.C., USA.
- [3] AASHO (1973). *A Policy on Design of Urban Highways and Arterial Streets*. American Association of State Highway Officials, Washington, D.C., USA.
- [4] CGRA (1967). *Design Standard for Canadian Roads*. Canadian Good Roads Association (now Transportation Association of Canada), Ottawa, Ontario, Canada.
- [5] Leisch, E.J., et al. (1977). *Turning Vehicle Templates: A Transportation Design Aid*. Institute of Transportation Engineers. Washington D.C., USA.
- [6] Leisch, E.J., et al. (1987). *Turning Vehicle Templates: A Transportation Design Aid, Metric*. Institute of Transportation Engineers. Washington D.C., USA.
- [7] WHI (1970). *Offtracking Characteristics of Trucks and Truck Combinations*. Research Committee Report. 3, Western Highway Institute, San Bruno, California, USA.
- [8] Heald, L. K. (1986). Use of the WHI Offtracking Formula. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C., No. 1052: 45 - 53.
- [9] Woodroffe, J.H.F., Morisset, I.E., Smith, C.A.M. (1983). *A Generalized Mathematical Solution for*

- Transient Offtracking of Single Vehicles and Truck Combinations*. Division of Mechanical Engineering, Report No. 22878, National Research Council of Canada, Ottawa, Ontario.
- [10] Sayers, M.W. (1986). Vehicle Offtracking Models. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C., No. 1052: 53 - 62.
- [11] Sayers, M.W. (1990). *Symbolic Computer Methods to Automatically Formulate Vehicle Simulation Codes*. Ph.D. dissertation, The University of Michigan, USA.
- [12] Sayers, M.W. (1991). Exact Equations for Tractrix Curves Associated with Vehicle Offtracking. *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, Taylor&Francis Group, 20 (3): 297 - 308.
- [13] Division of Transportation Planning. (1985). *Truck Offtracking Model (TOM)*. Program Documentation and User's Guide, California Department of Transportation - Caltrans, USA.
- [14] Department of Transport and Main Roads. (1988). *VEHICLE/PATH*. Operating procedures, Users Instructions and Installation Guide, Queensland Government, Australia.
- [15] Garlick, G.S., Kanga, D.N., Miller, G.G. (1993). Vehicle Offtracking: A Globally Stable Solution. *ITE Journal*, Institute of Transportation Engineers, 63(3): 17 - 21.
- [16] Wang, Y., Linnett, J.A. (1995). Vehicle Kinematics and Its Application to Highway Design. *ASCE Journal of Transportation Engineering*, 121(1): 63 - 74.
- [17] Prince, G.E., Dubois, S.P. (2009). Mathematical Models for Motion of the Rear Ends of Vehicles. *Mathematical and Computer Modelling*, 49(9-10): 2049 - 2060.
- [18] Choi, J., Baek, J., Lee, S., Kang, W. (2001). Offtracking Model on Horizontal Curve Sections. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 3, No. 1: 341 - 353. (on-line) available at: <http://easts.info/on-line/proceedings/vol3no1/> (22.02.2016)
- [19] ICAO (2005). *Aerodrome Design Manual - Part 2: Taxiways, Aprons and Holding Bays* (4th edition). International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada.
- [20] Krenz, A., Osterloch, H. (1964). *Die Bordsteinführung an Straßenkreuzung und Knotenpunkten - Taschenbuch für Entwurf und Absteckung*. Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin, Deutschland.
- [21] Osterloh, H. (1991). *Straßenplanung mit Klothoiden und Schleppkurven - Einrechnung von Trasse und Gradienten*. Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin, Deutschland.
- [22] Dragčević, V., Korlaet, Ž., Stančerić, I. (2008). Methods for Setting Road Vehicle Movement Trajectories. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 3(2): 57 - 64.
- [23] Transoft Solutions (2016). *AutoTURN*. User's Guide, Richmond, British Columbia, Canada. (on-line) available at: <http://www.transoftsolutions.com/autoturn> (16.02.2016)
- [24] AUTODESK (2016). *VEHICLE TRACKING*. Integrated Swept Path Analysis Software, Product Brochure, San Rafael, CA., USA. (on-line) available at: <http://www.autodesk.com/products/vehicle-tracking/overview> (17.02.2016)
- [25] CARD/1 (2016). *Swept Turning Path*. Swept Turning Path Calculation Software, Product Brochure, Hamburg, Germany. (on-line) available at: <http://www.card-1.com/en/download/download/> (11.03.2016)
- [26] RIB-STRATIS (2016). *Design Alignment Module*. Road Planning, Design of Intersections, Tractrix calculation, Product Brochure, RIB Software AG, Stuttgart, Germany. (on-line) available at: <http://www.rib-software.com/en/main/rib-solutions/rib-stratis/design-alignment.html> (12.03.2016)
- [27] CGS plus (2016). *Plateia - Autopath*. Professional Vehicle Swept Path Analysis Software, Product Brochure, CGS plus d.o.o., Ljubljana, Slovenia. (on-line) available at: <http://www.cgsplus.com/Software/Plateia.aspx> (14.03.2016)
- [28] Gavran, D. (2013). *User Manual - GCM++*. Gavran Civil Modeller, Belgrade, Serbia. (on-line) available at: <http://www.gcm-gavran.com/index.htm> (23.02.2016)
- [29] FGSV (2001). *Bemessungsfahrzeuge und Schleppkurven zur Überprüfung der Befahrbarkeit von Verkehrsflächen* (FGSV-Nr. 287). Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen, Köln, Deutschland. (on-line) available at: [http://www.fgsv-verlag.de/catalog/product\\_info.php?cPath=21\\_40&products\\_id=412](http://www.fgsv-verlag.de/catalog/product_info.php?cPath=21_40&products_id=412) (22.03.2016)
- [30] Cheng, J.F., Huang, H.C. (2011). Effects of Roadway Geometric Features on Low-Speed Turning Maneuvers of Large vehicles. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 4(6): 373 - 383.
- [31] Pecchini, D., Giuliani, F. (2013). Experimental Test of an Articulated Lorry Swept Path. *ASCE Journal of Transportation Engineering*, 139(12): 1174 - 1183.

# NOVE ŽELEZNIČKE PRUGE NA PODRUČJU TRSTA I KOPRA

## NEW RAILWAYS IN THE TRIESTE-KOPER AREA

**MARKO JELENC, univ.dipl.inž.grad.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> PNZ svetovanje projektiranje d.o.o., Ljubljana, Slovenija

**Rezime:** Predviđeno je uređenje železničke ose Lion - Trst - Divača (Koper) - Ljubljana - Budimpešta - mađarsko-ukrajinska granica, koja predstavlja istočnu polovinu Mediteranskog koridora, kao što je to odredila Evropska komisija u Novoj politici EU za saobraćajnu infrastrukturu od 17.10.2013. godine. Evropska komisija je kao dva ključna železnička projekta na Mediteranskom koridoru istakla vezu između Liona i Torina te deonicu Venecija - Ljubljana. Deo navedene deonice predstavlja i prekogranična deonica Trst – Divača između Italije i Slovenije, koja je razdeljena na italijanski i slovenački deo, a za koju je 2014. godine u preduzeću PNZ d.o.o. iz Ljubljane bio izrađen idejni projekat. U članku je predstavljeni razvoj projektnih rešenja, polazne tačke projektiranja kao i tehnička rešenja iz ovog projekta.

Železnička infrastruktura, koja je predmet pomenutog idejnog projekta, sastavljena je od četiri dela od kojih prvi predstavlja osnovni tok Mediteranskog koridora, a ostala tri obezbeđuju vezu ove deonice na postojeću infrastrukturu kod Divače. Dakle, prvi deo je pruga visokog kapaciteta sa dva koloseka za mešani (putnički i teretni) saobraćaj u dužini od 10,9 km. Drugi deo predstavlja zapadni deo železničkog čvorišta Divača, koji će omogućiti priključivanje vozova iz luke Koper na osnovnu trasu (priključni i odvojni kolosek za smer prema Italiji u ukupnoj dužini od 4,2 km). Treći deo je prezentacija glavne železničke pruge br. 50 Ljubljana – Sežana - državna granica sa Italijom u dužini od 1.224 m. Četvrti deo je prezentacija spojnog luka Koper-Sežana u dužini od 394 m. Na trasi je više objekata od kojih je najveći međudržavni tunel Lanaro / Volnik dužine 15.084 m (slovenački deo 3.825 m). Za planirana uređenja izrađena je i 3D vizualizacija u svrhu prezentacije projekta široj javnosti.

Pomenuta deonica predstavlja prvu deonicu železničke pruge visokog kapaciteta za brzine do 250 km/h u Sloveniji. Kod planiranja je u obzir uzeto celokupno rešenje čvorišta Divača, koje omogućava potpuno priključivanje teretnog saobraćaja iz luke Koper po železničkoj pruzi Koper-Divača (postojeći prvi i planirani drugi kolosek) na novu železničku prugu Venecija-Ljubljana.

Osim idejnog projekta, u članku je predstavljen i širi konceptualni okvir mogućeg razvoja železničke infrastrukture na području Trsta i Kopra kao i u smeru prema Ljubljani.

**Ključne reči:** brza železnička pruga, Mediteranski koridor, prekogranična deonica Trst – Divača, idejni projekat.

**Abstract:** The railway axis Lyon - Trieste - Divača (Koper) - Ljubljana - Budapest - border between Hungary and Ukraine which presents the eastern half of the Mediterranean Corridor as determined by the European Commission with the New EU Transport Infrastructure Policy of 17 October 2013 is to be established. The European Commission highlighted two key railway projects in the Mediterranean Corridor, namely the connection between Lyon and Torino and the railway link Venice - Ljubljana, part of which is also the cross-border section Trieste - Divača between Italy and Slovenia, divided into Italian and Slovenian parts. For the Slovenian part, the company PNZ d.o.o. from Ljubljana created a pilot project in 2014. The article presents the development of project solutions, starting points for design, and technical solutions of the project.

The railway infrastructure, which is the object of this pilot project, consists of four parts: the first one concerns the basic outline of the Mediterranean Corridor, and the other three provide connection of this section to the existing railway infrastructure in the area of Divača. The first part features a high-function double track for mixed traffic (passenger and freight transport) in the length of 10.9 km. The second part includes the west part of the railway node of Divača enabling connection of trains from the Port of Koper to the basic route (connecting and splitting tracks in the direction towards Italy in the total length of 4.2 km). The third part features a presentation of the main railway line No. 50 Ljubljana - Sežana - state border with Italy in the length of 1,224 m. The fourth part presents the 394 m long connecting axis Koper - Sežana. There are many facilities on the route, the biggest of which is the cross-border tunnel Lanaro/Volnik with length of 15,084 m (length of the Slovenian part 3,825 m). Furthermore, a 3D visualisation of the planned arrangements has been prepared in order to present the project to the general public.

This link represents the first part of a high-function railway line enabling speeds up to 250 km/h in Slovenia. During the design phase, a new comprehensive settlement of the hub of Divača has been considered, which enables a complete connection of freight traffic from the Port of Koper along the railway line Koper - Divača (the first existing track and the planned second track) to the new railway line Venice - Ljubljana.

Besides the pilot project, the article presents also a broader conceptual framework of the possible development of railway infrastructure in the area of Trieste and Koper and in the direction of Ljubljana.

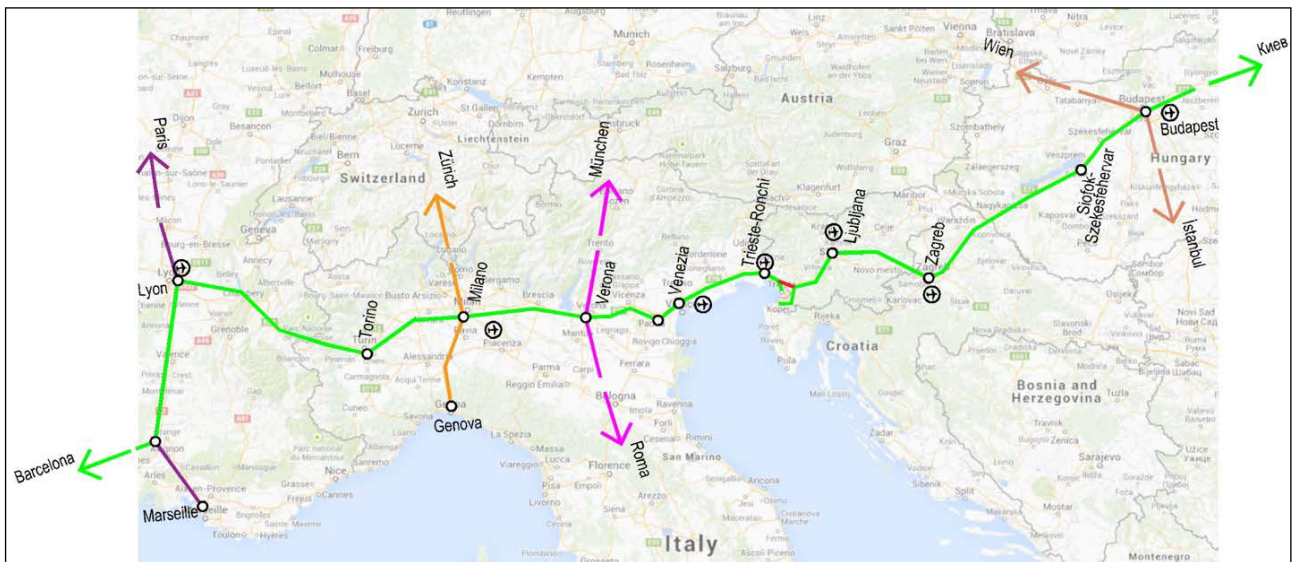
**Key words:** Mediterranean Corridor, high speed rail, Trieste, Koper, Divača, preliminary design

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: [marko.jelenc@pnz.si](mailto:marko.jelenc@pnz.si)



## 1. UVOD

Predviđeno je uređenje železničke ose Lyon-Trst-Divača (Kopar)-Ljubljana-Budimpešta- mađarsko-ukrajinske granice koja predstavlja istočnu polovinu Mediteranskog koridora koji je definisan od strane Evropske komisije u Novoj politici EU za saobraćajnu infrastrukturu od 17.10.2013. godine i koji povezuje Iberijsko poluostrvo sa mađarsko-ukrajinskom granicom. Koridor se proteže duž sredozemne obale Španije i Francuske, prelazi preko Alpa prema istoku preko severne Italije i sa jadranske obale skreće kroz Sloveniju i Hrvatsku prema Mađarskoj. Evropska komisija je kao dva ključna železnička projekta u ovom koridoru ispostavila vezu između Liona i Torina te deonicu Venecija–Ljubljana. Deo pomenutog je i prekogranična deonica Trst–Divača (na slici 1 označeno crvenom bojom).



Slika 1. Mediteranski koridor između Liona i Budimpešte te prekogranična deonica Trst-Divača (crveno)

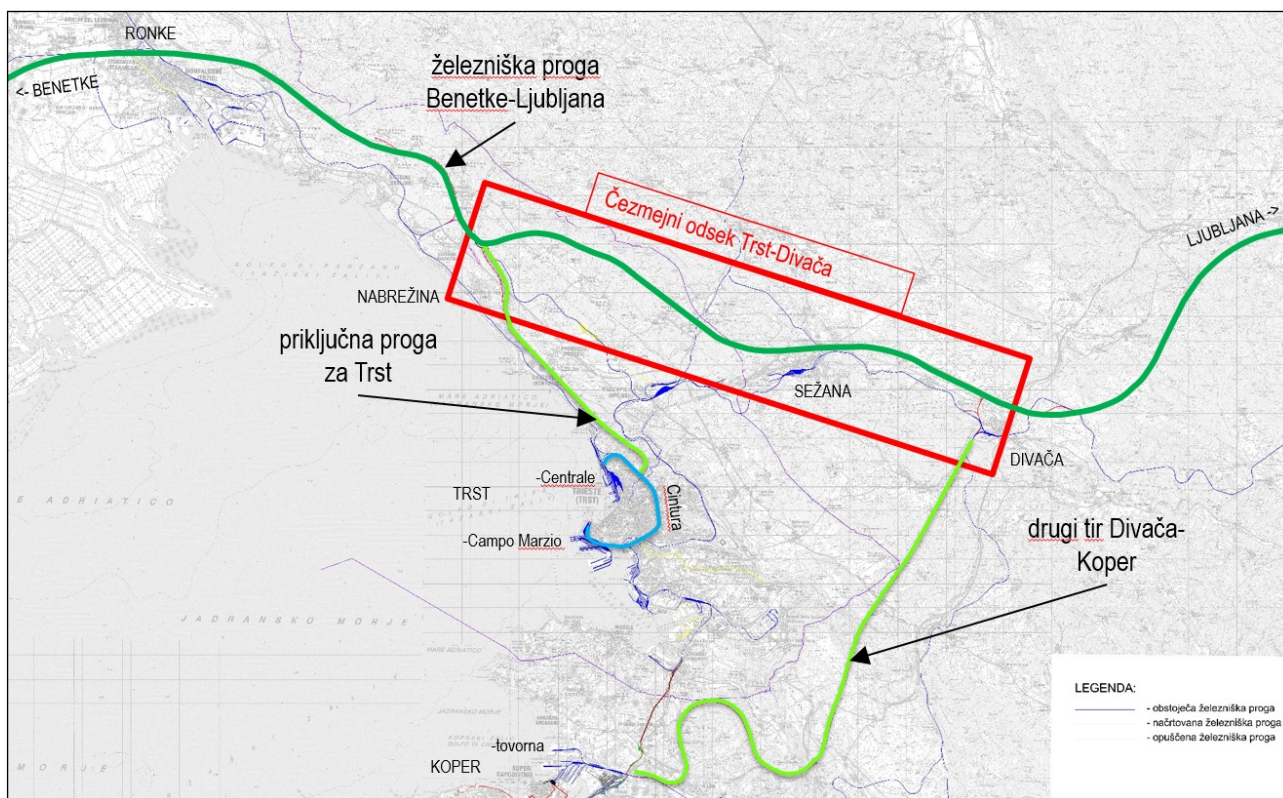
## 2. NOVA ŽELEZNIČKA PRUGA TRST-DIVAČA

Tok prekogranične deonice nove železničke pruge (NŽP) Trst-Divača izabran je kao najpovoljniji sa prostornog i ekološkog aspekta u saradnji italijanskih i slovenačkih stručnjaka i potvrđen na 6. sednici Slovenačko-italijanske međuvladine komisije za ovu železničku vezu dana 03.07.2012. godine.

Deonica se proteže između Aurisina u Italiji gde je predviđen priključak za Trst i Divaču u Sloveniji gde je predviđen priključak za Kopar. Italijanski deo deonice dugačak je dobrih 12 km i proteže se uglavnom u tunelu. Naime, pruga već kod Nabrežine odmah nakon priključka povezujuće pruge za Trst prelazi u tunel Lanaro/Volnik koji je dugačak dobrih 15 km. Od toga je slovenački deo tunela dugačak 3825 m. Slovenački deo deonice je dugačak 10,9 km i proteže se pretežno po površini uporedo sa autoputem A3 Gabrk-Fernetiči.

Na kraju je određen oblik povezivanja na postojeću železničku mrežu kod Divače, i to tako da je uzet u obzir dugoročni koncept čvorišta Divača kao dodirna tačka postojećih (konvencionalna železnička pruga Ljubljana-Sežana i prvi kolosek Divača-Kopar) i planiranih železničkih pruga (brza železnička pruga Venecija-Ljubljana i drugi kolosek Divača-Kopar).

U februaru 2015. godine, prema narudžbi Ministarstva za infrastrukturu Republike Slovenije i sufinansiranjem Fonda za razvoj transevropske saobraćajne mreže TEN-T Evropske unije, u preduzeću PNZ, d.o.o. iz Ljubljane, pod brojem projekta 12-1479, izrađen je idejni koncept pod naslovom „Nova železnička pruga Trst – Divača (slovenački deo deonice)“ [1].



Slika 2. Povezujuće pruge na Mediteranski koridor na području Trsta i Kopra

## 2.1. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE

Tehničke karakteristike su usklađivane sa planerima italijanskog dela prekogranične deonice Trst-Divača. Projektne brzine na NŽP su 250km/h za putničke vozove i 100 km/ za teretne vozove ter 70 km/h, odnosno 80 km/h na povezujućim kolosecima na postojeću železničku prugu. Razmak koloseka je 4,20 m ili više (zbog razmaka obe cevi tunela Lanaro/Volnik i potreba ugrađivanja dvostrukih veza koloseka). Najveće dozvoljeno osovinsko opterećenje je 25 t odnosno 8,8 t/m.

Tok trase NŽP Trst-Divača počinje račvanjem od nove pruge Ronchi–Trieste u blizini naselja Aurisina u Italiji. Trasa prelazi državnu granicu oko 1,6 km severozapadno od posojećega graničnog prelaza Fernetiči.

Na ovoj tački NŽP Trst-Divača se proteže u krivinu duboku pod površinom u tunelu Lanaro/Volnik koji je najveći objekat na njoj. Ukupna dužina tunela na slovenačkoj i italijanskoj strani iznosi 14.996 m. Nazivna dužina slovenačkog dela tunela je 3.825 m. Planiran je sa dve jednokolosečne cevi. Obe cevi su povezane sa poprečnom gredom na svakih 500 m.

Trasa NŽP se sa tunelom podzemno ukršta sa autoputem A3 Gabrk-Fernetiči, regionalnom železničkom prugom Jesenice-Sežana i regionalnim putem R1-204 Šempeter-Sežana.

Trasa NŽP zatim istočno od Sežane prelazi iz tunela i zatim se proteže prema istoku po površini, prelazi regionalni put R2-445 Senožeče – Fernetiči i u nastavku se proteže južno od autoputa A3 Divača – Sežana – Fernetiči.

Pre naselja Žirje prelazi u dubok ukop, zatim počinje 260,5 m dug pokriven ukop kojim se štiti naselje Žirje od uticaja železničkog saobraćaja. Pokriveni ukop se nastavlja u usek ispod brda Gabričje. Iza useka se NŽP, koja se dovde protezala uporedo sa autoputem na razdaljini 20 m i više, odmakne od njega prema jugu kako bi izbegla odmorište Povir na autoputu.

Na području između Gorenja kod Divače i Divače predviđeno je priključivanje van nivoa sa dva koloseka na postojeću železničku prugu br. 50 Ljubljana-Sežana-d.m.. Oba povezujuća koloseka van nivoa omogućuju kasniji nastavak NŽP u pravcu prema Ljubljani.

Predviđena je ugradnja šina sistema 60 E u neprekidno zavareni kolosek (NZT). Prilikom ugradnje treba uzeti u obzir odredbe TSI INF HS. Ugradiće se betonski pragovi dužine od 2,60 m. Razmak između osovina pragova biće 60 cm. Pragovi moraju udovoljavati odredbama TSI INF HS i SIST ENV 13803-1: 2010. S obzirom na to da u Sloveniji nema propisa za železničke pruge za brzine od 250 km/h, minimalna debljina grede šine na NŽP, u skladu sa nemačkim smernicama za velike brzine (Ril 820.2010), iznosi 35 cm. Predviđena je ugradnja 19 standardnih skretnica sistema 60 E i 8 završetaka koloseka, pri čemu su dva (na kraju trase koja će se, kako je predviđeno, nastavljati prema Ljubljani) privremena.

Na području koloseka povezivanja na postojeću železničku infrastrukturu prilagođene su dimenzije elemenata gornjeg stroja, a istovremeno su korišćeni određeni dodatni uređaji (uređaj za mazanje šina, uređaj za povećanje bočnog otpora rešetke šine).

U usecima su uzdužni kanali široki barem 40 cm i duboki barem 1,0 m ispod grede šine. Širina kanala u dubokim usecima iz bezbednosnih razloga iznosi 3,0 m. Voda se zatim odvaja u upijajuće jame koje se prvenstveno nameštaju u postojeće kraške vrtače, odnosno zone krasa gde je visok koeficijent poniranja. Predviđeno je 23 upijajućih jama.

Iz bezbednosnih razloga u slučaju nesreće, planirani su pristupi do NŽP barem na svakih 1000 m u skladu sa nemačkim propisima koji propisuju zahteve za planiranje železničke infrastrukture u slučaju požara ili druge nesreće.

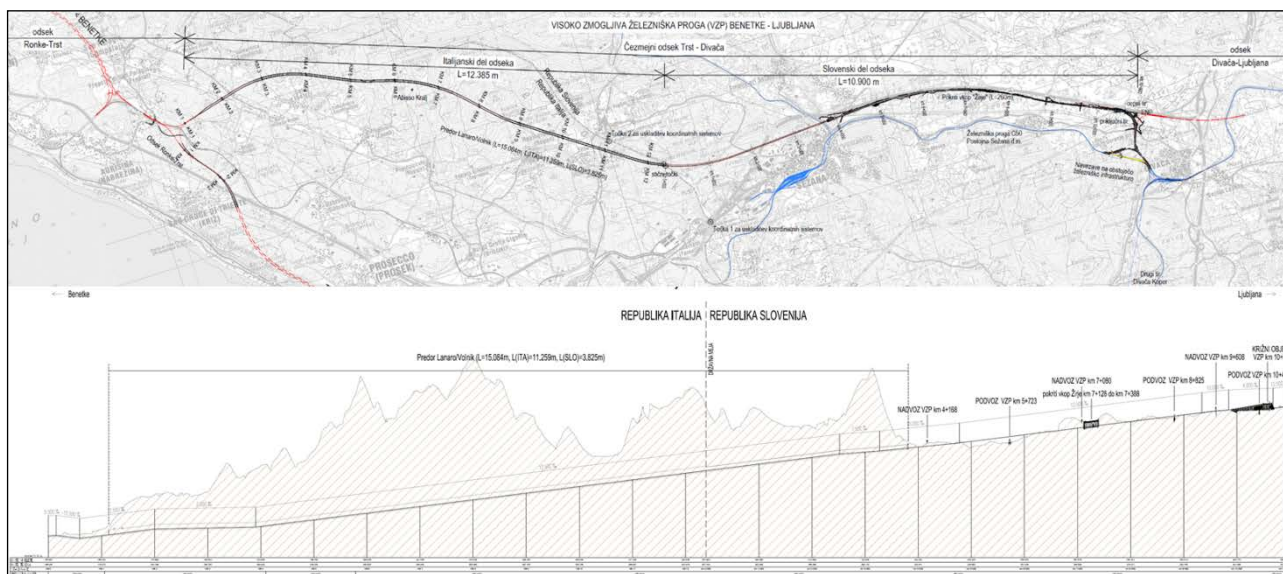
Iz ekoloških razloga u oblasti između istočnog portala tunela Lanaro/Volnik i zapadnim portalom tunela pokrivenoga ukopa Žirje, projektovana je žičana sigurnosna ograda koja sprečava gaženje životinja.

Zbog NŽP potrebno je deviirati 24 postojećih puteva različitih kategorija u ukupnoj dužini od 7,75 km. Zbog ukrštavanja NŽP sa putevima i otepnim kolosekom, a radi zaštite naselja od negativnih uticaja, predviđeno je 10 konstrukcijskih objekata: 5 podvožnjaka, 3 nadvožnjaka, 1 pokriveni ukop dužine 260,5 m (kod naselja Žirje) te objekt na raskrsnici dužine 165,0 m (ukrštanje otepnog koloseka sa NŽP u pravcu prema Ljubljani).

Za zaštitu okoline od buke, predviđeno je više ograda za zaštitu od buke i nasipa kao i ugradnja apsorpcijskih obloga na portalima tunela Lanaro/Volnik i pokrivenog ukopa Žirje.

Zbog gradnje NŽP i s njom povezane infrastrukture treba na odgovarajući način zaštititi ili preurediti vode privredne javne infrastrukture (elektroenergetski vodovi, telekomunikacioni vodovi, vodovodi, kanalizacioni vodovi, planirani gasovod M6 Ajdovščina-Lucija) i srušiti dva stambena objekta.

Na trasi NŽP treba izvesti sve stabilne uređaje električne vuče. Odabran je sistem elektrovuče 2 x 25 kV, AC, a na povezujućim kolosecima postojeći sistem 3 kV DC vuče.



Slika 3. Situacija i uzdužni profil prekogranične deonice NŽP Trst-Divača Ukoso

Sistem telekomunikacija na NŽP koncipiran je na način da je kompatibilan s postojećim TK sistemima na Slovenačkim železnicama, pri čemu će biti ispunjeni i zahtevi interoperabilnosti.

NŽP se izvede kao pruga sa dva koloseka za mešani saobraćaj uz mogućnost obostranog saobraćaja na oba koloseka. Ključni zahtev je implementacija transevropskog sistema ERTMS/ETCS (European Rail Traffic Management System / European Train Control System) za vođenje, upravljanje i signalizaciju saobraćaja.

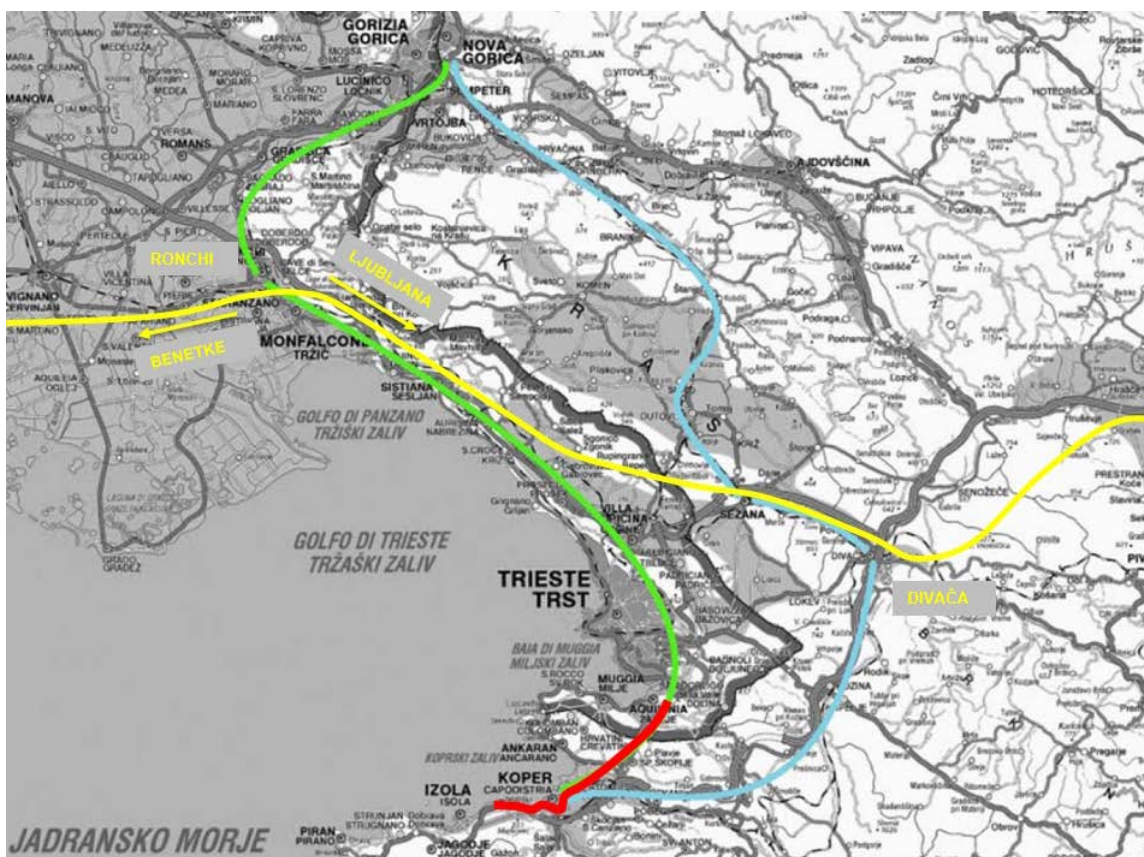
Postavljanje tako važne saobraćajnice u okolinu mora biti usklađeno sa interesima šire zajednice, a isto tako i sa interesima lokalnih stanovnika i vlasnika zemljišta koji će biti najviše pogođeni prilikom postavljanja takve saobraćajnice u okolinu. U cilju bolje prezentacije planiranih uređenja navedene deonice, izrađena je i vizualizacija.

### 3. NOVE ŽELEZNIČKE VEZE NA PODRUČJU TRSTA

U 2014. godini bio je završen projekat ADRIA-A koji je uključen u operativni program prekogranične saradnje između Italije i Slovenije. Područje projekta obuhvatalo je italijanske provincije od Ferrare do Trsta i zapadnu Sloveniju.

Jedan od glavnih ciljeva projekta ADRIA-A bilo je uspostavljanje nedostajućih veza između obe države i konkretno uspostavljanje tržaškog železničkog obruča (slika 4) koji se proteže između Nove Gorice i Kopra po dvema stranama, i to:

1. istočni deo obruča: od Nove Gorice po postojećim prugama kroz Štanjel, Sežanu, Divaču do Kopra te
2. zapadni deo obruča: od Nove Gorice kroz Goricu do Ronchijev, gde je predviđen intermodalni putnički logistički centar koji napaja Videm, obe Gorice, Trst, Istru (populacija preko 1 miliona) i koji spaja: međunarodni aerodrom Ronchi, stanicu na lokalnim železničkim prugama, stanicu na brznoj železničkoj pruzi Venecija-Ljubljana i autobusku stanicu. Od ovog logističkog centra se zapadni deo obruča nastavlja prema Trstu i dalje do Kopra. A tu nedostaje veza između Aquiliniom i Koprom. To je prekogranična deonica lake železnice Trst-Kopar.



Slika 4. Tržaški železnički obruč (plavo i zeleno), brza pruga Venecija-Ljubljana (žuto) i nedostajuća veza između Trstom in Koprom (rdeče)

U oktobru 2014. godine, prema narudžbi Ministarstva infrastrukture Republike Slovenije i sufinansiranjem Europske unije iz Programa prekogranične saradnje Slovenija-Italija iz sredstava Evropskog fonda za regionalni razvoj, u preduzeću PNZ, d.o.o iz Ljubljane, pod brojem projekta 12-1500, izrađen je idejni koncept i studija izvodljivosti sa naslovom „Laka železnica Trst – Kopar“ [2].

Trasu delimo na tri jedinice:

1. Novogradnja od granice do Bertoka u dužini od 4,75 km neposredno uz HC Srmin-Škofije
2. Postojeća infrastruktura između Bertoka i Kopar-putnička u dužini od 2,55 km
3. Tramvajski gradski tok do granice sa opštinom Izola u dužini od 5,75 km.

Po Tržaškom železničkom obruču predviđen je tramvajski voz koji omogućava kako vožnju po gradskim tramvajskim šinama (R25) tako i vožnju po konvencionalnim železničkim prugama s većom brzinom. (100 km/h)

#### 4. ZAKLJUČAK

U članku su predstavljene deonice nove železničke pruge Trst-Divača i moguć razvoj železničke infrastrukture na području Trsta i Kopra. Deonica Trst-Divača predstavlja deo brze pruge Venecija-Ljubljana kojeg je Evropska komisija ispostavila kao jedan od dva ključna železnička projekta na Mediteranskom koridoru (pored veze Lyon-Torino) evropske TEN-T mreže. S aspekta šireg područja Trsta i Kopra, predstavljen je tržaški železnički obruč čije uspostavljanje predstavlja jedan od glavnih ciljeva projekta ADRIA-A.

U slučaju izgradnje brze pruge Venecija-Ljubljana, osim povećanih kapaciteta za teretni saobraćaj, bile bi značajne i vremenske uštede u putničkom saobraćaju: vreme putovanja bi se smanjilo na manje od 1/3 vremena putovanja vozom i na ½ vremena putovanja putničkim vozilom.

Nažalost, u poslednje vreme je zabeleženo da u narednim desetlećima (od 2030. godine ili čak 2050. godine) neće biti dovoljno saobraćaja da bi izgradnja pruge bila opravdana. Prema stanovištu autora ovog teksta, za stvaranje jedinstvenog evropskog privrednog, kulturnog, socijalnog okruženja i održivog razvoja, takve projekte bi trebalo realizovati i ići u korak sa ostalim prekomorskim okruženjima u Aziji, Americi i Africi.

Osim Mediteranskog, potrebno je uspostaviti još jedan dodatni koridor: osim devet koje je definisala Evropska komisija u oktobru 2013. godine u „Novoj politici za saobraćajnu infrastrukturu“, trebalo bi ponovo uspostaviti koridor iz Salzburga preko Ljubljane, Zagreba, Beograda, Skoplja do Soluna. To je bivši X. koridor kojeg ne predviđa pomenuti dokument Evropske komisije. Za ponovno uspostavljanje ovog koridora biće potrebno mnogo napora.

#### Literatura

- [1] PNZ, d. o. o., železnički koridor: Lyon-Trst-Divača (Kopar)-Ljubljana-Budimpešta-mađarsko-ukrajinska granica; železnička pruga: Venecija-Ljubljana; Nova železnička pruga Trst – Divača (slovenački dio deonice), Idejni projekat, Ljubljana, 2015. godine.
- [2] PNZ, d. o. o., Laka železnica Trst – Kopar, Studija izvodljivosti (Idejni koncept), Ljubljana, 2014. godine.

# SPECIFIČNOSTI U PROJEKTOVANJU DENIVELISANIH RASKRSNICA U SEVERNOJ AMERICI

Svetozar Majstorović<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hatch, Kanada, [svetozar.majstorovic@hatch.ca](mailto:svetozar.majstorovic@hatch.ca)

**Rezime:** U ovom radu biće predstavljene neke specifičnosti u projektovanju denivelisanih raskrsnica u Severnoj Americi, kako u pogledu njihove konfiguracije, tako i u pogledu geometrije izlivno/ulivnih traka i rampi i saobraćajne bezbednosti. Takođe, biće dat osvrt na trendove u projektovanju i izgradnji putne infrastrukture primenom Building Information Modeling (BIM) procesa.

**Ključne reči:** denivelisana raskrsnice, izlivno/ulivne trake, rampe, saobraćajna bezbednost, BIM

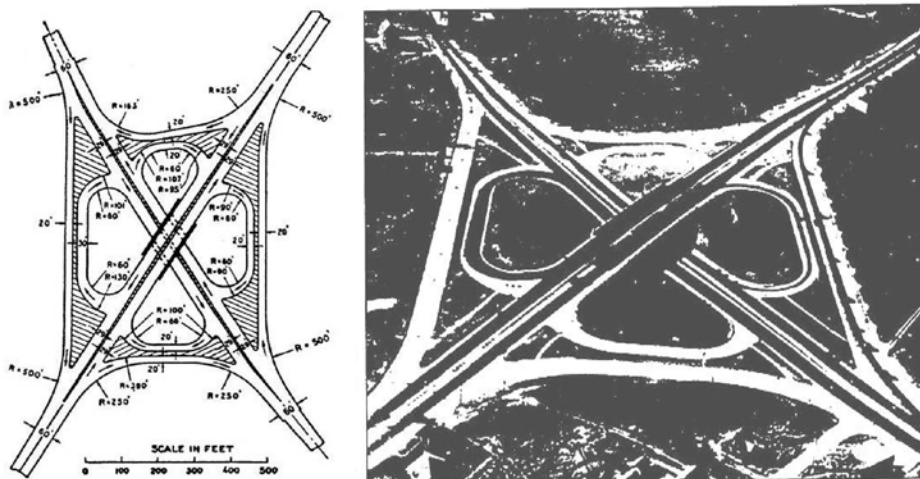
## SPECIFICS IN DESIGN OF NORTH AMERICAN'S INTERCHANGES

**Resume:** In this paper an overview of specifics in design of North American's interchanges, their configuration, design of exits and entrances, and traffic safety will be given. Also, presented will be new trends in road design and construction utilizing process known as Building Information Modeling (BIM).

**Key words:** interchanges, exits and entrances, ramps, traffic safety, BIM

### 1. UVOD

Potreba za obezbeđivanjem efikasnog i bezbednog kretanja motornih vozila na ukrštajima putnih pravaca sa velikim saobraćajnim opterećenjem dovela je do rešenja danas poznatog kao denivelisana raskrsnica. Patent prve takve raskrsnice sa kontrolisanim pristupom glavnom putnom pravcu - autoputu - ostvaren je u SAD 1912 godine. Denivelisana raskrsnica tipa "detelina" otvorena je za saobraćaj u Woodbridge, New Jersey tek 1928 (**Slika 1**). U kanadskoj provinciji Ontario, sa izgradnjom prvog autoputa - Queen Elisabeth Way (deonica Niagara Falls - Toronto) - u 1937 je otvorena prva denivelisana raskrsnica tipa "detelina". Te godine u SAD izgrađena je i otvorena za saobraćaj prva deonica Pennsylvania Turnpike i na deonici prvi put primenjena denivelisana raskrsnica tipa "truba". Prva denivelisana raskrsnica sa četvorokrakim ukrštajem tipa "romb" izgrađena je 1941 na Pasadena Freeway u reonu Los Angeles. Primena ovaj tip raskrsnice postala je veoma rasprostranjena u Severnoj Americi, naročito u urbanim sredinama gde je raspoloživ prostor bio ograničen. Svi osnovni tipovi danas poznatih raskrsnica ("truba", "romb", "pola-deteline", "detelina" i sve raskrsnice na ukrštajima autoputnih pravaca sa direktnim i poludirektnim rampama) bili su projektovani i izgrađeni do sredine 50-tih godina. (Lit. 8)



**Slika 1.** SAD patentni crtež (1912) i izvedena raskrsnica tipa "detelina", Woodbridge, NJ (1928)  
(Izvor: Lit. 8)

U evropskim zemaljama filozofija projektovanja stavljala je težište na oblikovinu geometrije ukrasnih pravaca sa putnim pravcima projektovanim za velike brzine i primenom prelaznih krivina oblika klotide kako bi se

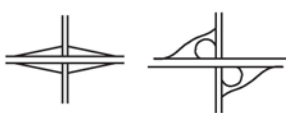

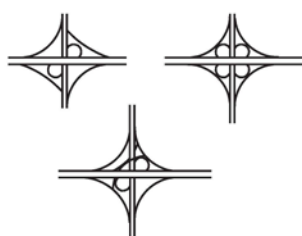
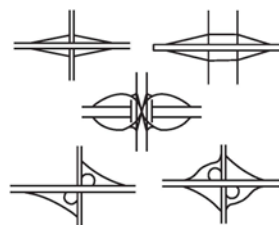


<sup>1</sup> [svetozar.majstorovic@hatch.ca](mailto:svetozar.majstorovic@hatch.ca)

zadovoljili estetski i zahtevi vizualnog uklapanja u fizičko okruženje. To je u nekim slučajevima imalo za posledicu nezadovoljavajući nivo usluge i povećan broj saobraćajnih nezgoda. Suprotno tome, kao rezultat iskustva i istraživanja koja su pokazala da se najveći deo saobraćajnih nezgoda događa u reonu denivelisanih raskrsnica, u Severnoj Americi 50-tih i 60-tih godina važnost je pridavana konfiguraciji denivelisanih raskrsnica, geometriji izlivno/ulivnih traka i rampi. (Lit. 7)

Do kraja 80-tih, sa stanovišta nivoa usluge i bezbednosti saobraćaja, projektovane su i izgrađene 'efikasnije' denivelisane raskrsnice, a one postojeće (do tada izgrađene) modifikovane su i unapređene.

## 2. TIPIČNE KONFIGURACIJE DENIVELISANIH RASKRSNICA

U osnovi, konfiguracije denivelisanih raskrsnica identične su u Evropi i Severnoj Americi. Izbor oblika raskrsnice uglavnom se vrši na osnovu funkcionalne klasifikacije ukrasnih pravaca, saobraćajnog opterećenja, raspoloživog putnog prostora i cene. Klasifikacija na osnovu vrste ukrasnih pravaca i okruženje u kome se raskrsnica nalazi (vangradski ili gradski prostor) prikazana je na **Slici 2**.

KARAKTERISTIČNI TIPOVI	VANGRADSKJE	MEĐUGRADSKJE	GRADSKJE
PRISTUPNI PUTEVI ILI ULICE	 <p>- A -</p>		 <p>- B -</p>
SABIRNI, VEZNI IЛИ DALJINSKI PUTEVI	 <p>- C -</p>		 <p>- D -</p>
AUTOPUTEVI	 <p>- E -</p>		 <p>- F -</p>

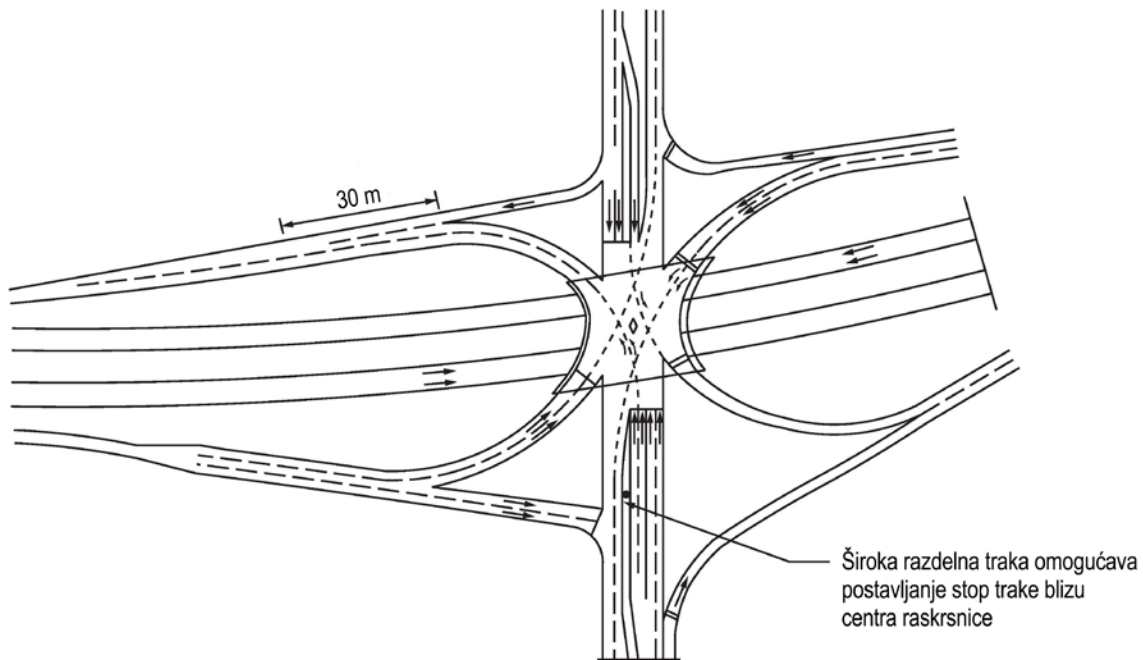
**Slika 2.** Osnovni tipovi denivelisanih raskrsnica  
(Izvor: Lit. 1)

### 2.1. 'Servisne raskrsnice'

'Servisnim raskrsnicama' nazivaju se one primenjene na mestima ukrštaja vangradskih ili gradskih puteva visokog i nižeg reda, uključujući tu i puteve sa odvojenim smerovima.

U SAD najzastupljeniji oblike 'servisne raskrsnice' je "romb" (61%)(Lit. 2); na mestima ukrštaja gde je prostor veoma ograničen, uglavnom urbanim sredinama, ove denivelisanje raskrsnice projektuju se sa samo jednom površinskom raskrsnicom na sredini mosta (tzv. 'Single-point Diamond')(Slika 3). Sa saobraćajnog stanovišta, prednost primene ovih raskrsnica leži u činjenici da vozila koja skreću levo prolaze jedna drugom

sa leve strane bez presecanja putanji dok su desna skretanja uglavnom bez zaustavljanja. To za rezultat ima poboljšani nivo usluge (takođe, broj faza rada semafora smanjen je sa četiri na tri operacije). (Lit. 1)



**Slika 3.** Raskrsnica tipa "romb" sa jednom površinskom raskrsnicom, tzv. 'Single-point Diamond' (Izvor: Lit. 1)

Nedostatak primene ovog tipa raskrsnice je visoka cena konstrukcije; tipična širina mosta sa jednim rasponom je 65 m, a za most sa tri raspona 120 m (most sa dva raspona nije izvodljiv zato što bi centralni stub bio u sukobu sa saobraćajem). (Lit. 1)

Denivelisane raskrsnice tipa "detelina" postepeno se izbacuju iz upotrebe iz razloga nebezbednosti (visok broj saobraćajnih nezgoda) i značajne potrebe za prostorom. Tamo gde se još uvek u primeni, u cilju smanjenja broja saobraćajnih nezgoda usled manevrisanja na mestima preplitanja jednostranih izlivo/ulivnih traka, na ovim raskrsnicama, uz trake za kontinualnu vožnju projektuju se dodatne trake za prikupljanje odnosno distribuciju saobraćaja. (Lit. 7)

## 2.2. 'Sistemske raskrsnice'

'Sistemske raskrsnice' projektuju se na mestima ukrštaja dva autoputna pravca. Tokom vremena 'sistemske raskrsnice' evoluirale su od raskrsnica tipa "detelina" do raskrsnica sa jednim izlazom i bez preplitanja saobraćaja između indirektnih rampi. Tipično su projektovane kao raskrsnice sa direktnim rampama ili direktnim rampama uz primenu jedne, dve ili tri indirektnih rampe. Karakteristično za ove raskrsnice je ukrštanje na tri ili više nivoa.

## 2.3. Novi tipovi raskrsnica

U poslednje vreme raskrsnice tipa "romb" (ili "polu-romb") sa kružnim raskrsnicama na mestu ukrštanja rampi sa sporednim pravcima našle su veoma široku primenu u Kanadi i SAD. Iako ne omogućavaju poboljšanje nivoa usluge i nisu pogodne da budu primenjene na ukršnim pravcima sa velikim PGDS, kružne raskrsnice obezbeđuju slobodan protok saobraćaja i eliminišu potrebu za posebnim trakama za skretanja (samim tim i širine mostovske konstrukcije). Za saobraćaj motornih vozila, bezbednost kružnih raskrsnica nedvosmisleno je potvrđena kroz praksu.





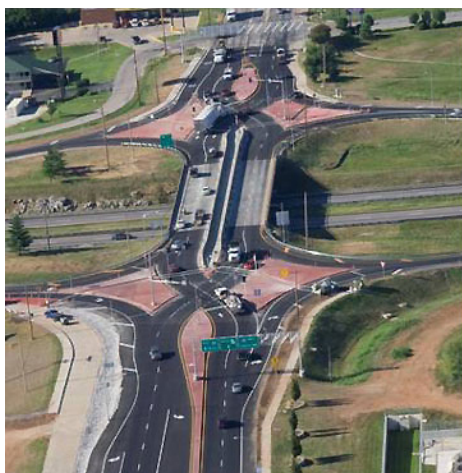
**Slika 4.** *McTavish Interchange, Canada*  
(Izvor: British Columbia Ministry of Transportation)



**Slika 5.** *Rt. Hon. Herb Gray Parkway, Canada*  
(Izvor: Hatch, Canada)

Raskrsnice tipa 'Double Crossing Diamond' (DCD) ili 'Diverging Diamond Interchange' (DDI), razvijene u Francuskoj pre 15-ak godina, u poslednje vreme nailaze na sve veću primenu i u Severnoj Americi (prva izgrađena prikazana je na **Slici 6**). Do sada je projektovano i/ili izvedeno oko 60 ovakvih raskrsnica, najveći deo u SAD.

Od raskrsnica tipa "romb" DCD se razlikuje po načinu na koji su kanalisana leva skretanja i saobraćaj glavnim pravcem između površinskih raskrsnica koje po pravilu moraju biti izvedene sa svetlosnom signalizacijom. Leva skretanja u raskrsnicama tipa DCD su organizovana tako da neme potrebe za posebnom fazom rada semafora. Između raskrsnica vozila koja produžavaju pravo se kanališu levo što omogućava vozilima koja skreću levo prema/od rampi da to učine bez zaustavljanja.



**Slika 6.** *Interchange at I-44 and Route 13 in Springfield, USA*  
(Izvor: Missouri DOT)



**Slika 7.** *'Double Crossing Diamond' (DCD)*  
(Izvor: <http://www.charlottestories.com>)

Saobraćane simulacije pokazale su da je na pravcima sa visokim PGDS, vremenski gubici saobraćaja u traci za leva skretanja, u poređenju sa raskrsnicama tipa "romb", umanjeni za 15-60%; u isto vreme vremenski gubici u traci za prolazni saobraćaj povećani su za 10-30%. Na raskrsnicama sa relativno niskim PGDS, nivo usluge je približno isti onom na denivelisanim raskrsnicama tipa "romb". Takođe, zbog činjenice da DCD ima samo 14 konfliktnih tačaka (u poređenju sa 26 konfliktnih tačaka na raskrsnicama tipa "romb"), te da su skretanja u jednosmerne rampe eliminisana, za pretpostaviti je da je nivo bezbednosti saobraćaja na raskrsnicama tipa DCD veći. (Lit. 3)

Situacije u kojima su DCD raskrsnice poželjnije su: (1) raskrsnice sa velikim brojem levih skretanja; (2) mali ili neizbalansiran prolazni saobraćaj; (3) raskrsnice sa srednjim ili velikim brojem levih skretanja iz pravca izlaznih rampi; i (4) na lokacijama gde je širina mostovske konstrukcije ograničena.

### 3. OBLIKOVANJE IZLIVNO/ULIVNIH TRAKA I RAMPI

Principi koji moraju biti zadovoljeni prilikom projektovanja izliva i uliva na denivelisanim raskrsnicama na Severno američkom kontinentu ne razlikuje se od onih u ostatku sveta. Prama *Lit. 7*, a sa ciljem da se u što većoj meri pojednostavi zahtevana angažovanost vozača, sledeći principi moraju biti ispunjeni:

- Ostvaren je kontinuitet saobraćajnog toka;
- Izlivi i ulivi projektovani su na desnoj strani;
- Izlivi su ostvareni pre ukrštanja sa sporednim putem;
- Ostvarena je ravnoteža traka na mestu izliva/uliva;
- Ostvareno je adekvatno rastojanje između uzastopnih rampi;
- Vertikalna signalizacija za navigaciju je pregledna, jednostavna i jednoobrazna.

#### 3.1. Kontinuitet saobraćajnog toka

Obezbeđivanje kontinuiteta saobraćajnog toka omogućava vozačima na prilazu račvanju da, ukoliko nemaju nameru da izađu sa autoputa, budu pozicionirani tako da ostanu na glavnom pravcu (vozač koji produžava dalje ostaje levo, vozač koji skreće se prestrojava desno). Važno je obezbediti da je izlazni saobraćaj pravilno pozicioniran i da je u pogledu saobraćajne usluge sličan onom na glavnom pravcu.

#### 3.2. Izlivi i ulivi projektovani na desnoj strani

Na osnovu dugogodišnjeg iskustva i putem istraživanja dokazano je prednost uliva i izliva projektovanih na desnoj strani (između ostalog, broj saobraćajnih nezgoda takođe je manji kod ovakvih konfiguracija). Izlivi i ulivi na levoj strani za posledice imaju: (1) preplitanje saobraćaja; (2) umanjenu preglednost; (3) značajnu razliku u brzinama vozila (brzina u levoj traci je najveća); i (4) ne ispunjavanje očekivanja vozača u smislu strane puta na kojoj se nalazi izlaz, odnosno ulaz.

#### 3.3. Izlivi pre ukrštanja sa sporednim putem

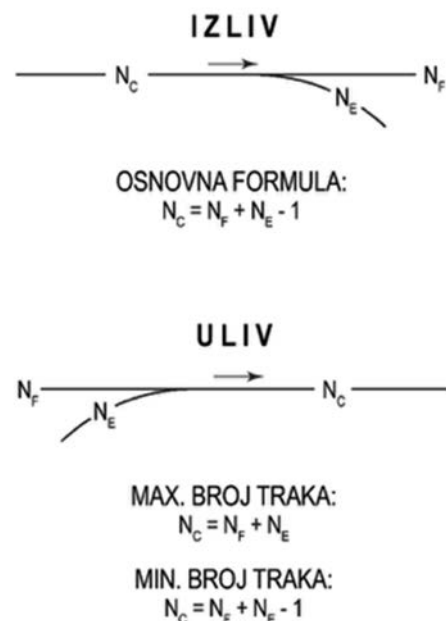
Projektovanje izliva pre ukrštanja sa sporednim putem pojednostavljuje zahtevanu angažovanosti vozača jer omogućava pravovremene donošenje odluke o pravcu kretanja i obezbeđuje preglednost izlazne rampe (ovo, naravno, pod uslovom da je sporedni pravac prelazi preko autoputa). Ravnomernost saobraćajne usluge, takođe, može biti ispunjena jedino zadovoljavanjem ovog kriterijuma. (*Lit. 6*)

#### 3.4. Ostvarena ravnoteža traka na mestu izliva/uliva

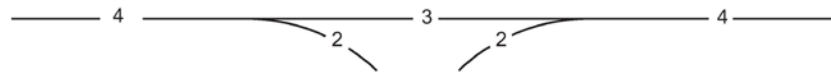
Iako analize kapaciteta mogu pokazati potrebu za skokovitom promenom broja traka na mestu izliva/uliva, za obezbeđivanje ravnomernost saobraćaja neophodno je ostvariti tzv. ravnotežu traka. Ravnoteža traka računa se prema formulama datim na **Slici 8**.

Prema formuli, na mestu izliva broj traka na glavnom pravcu pre izliva ( $N_C$ ) treba da je za jedan manji od ukupnog broja traka posle izliva ( $N_F$ ) i broja traka na rampi ( $N_E$ ) (obično je ukinuta traka, traka za usporavanje). Slično tome, na mestu uliva broj traka na glavnom pravcu posle uliva ( $N_C$ ) treba da je jednak ili za jedan manji od ukupnog broja traka pre uliva ( $N_F$ ) i broja traka na rampi ( $N_E$ ).

Pošto ostvarenje ravnoteže traka podrazumeva ukidanje jedne trake na mestu izliva dok osnovni broj traka ostaje nepromenjen, moglo bi se zaključiti postojanje suprotnosti između dva kriterijuma. Ipak, to nije slučaj sve dok ukinuta traka nije, u stvari, dodatna traka za usporenje/ubrzanje (osnovni broj traka ili traka za kontinualnu vožnju održavan je duž celog autoputnog pravca).

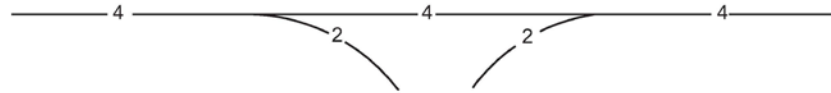


**Slika 8.** Ravnoteža traka na mestu izliva/uliva  
(Izvor: *Lit. 6*)



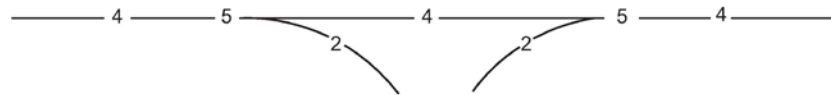
Ravnoteža broja traka ali nepoštovanje osnovnog broja traka

– A –



Neravnoteža broja traka ali poštovanje osnovnog broja traka

– B –



Poštovanje ravnoteže broja traka i osnovnog broj traka

– C –

**Slika 9.** Koordinacija ravnoteže broja traka i osnovnog broja traka  
(Izvor: Lit. 6)

### 3.4. Rastojanje između uzastopnih rampi

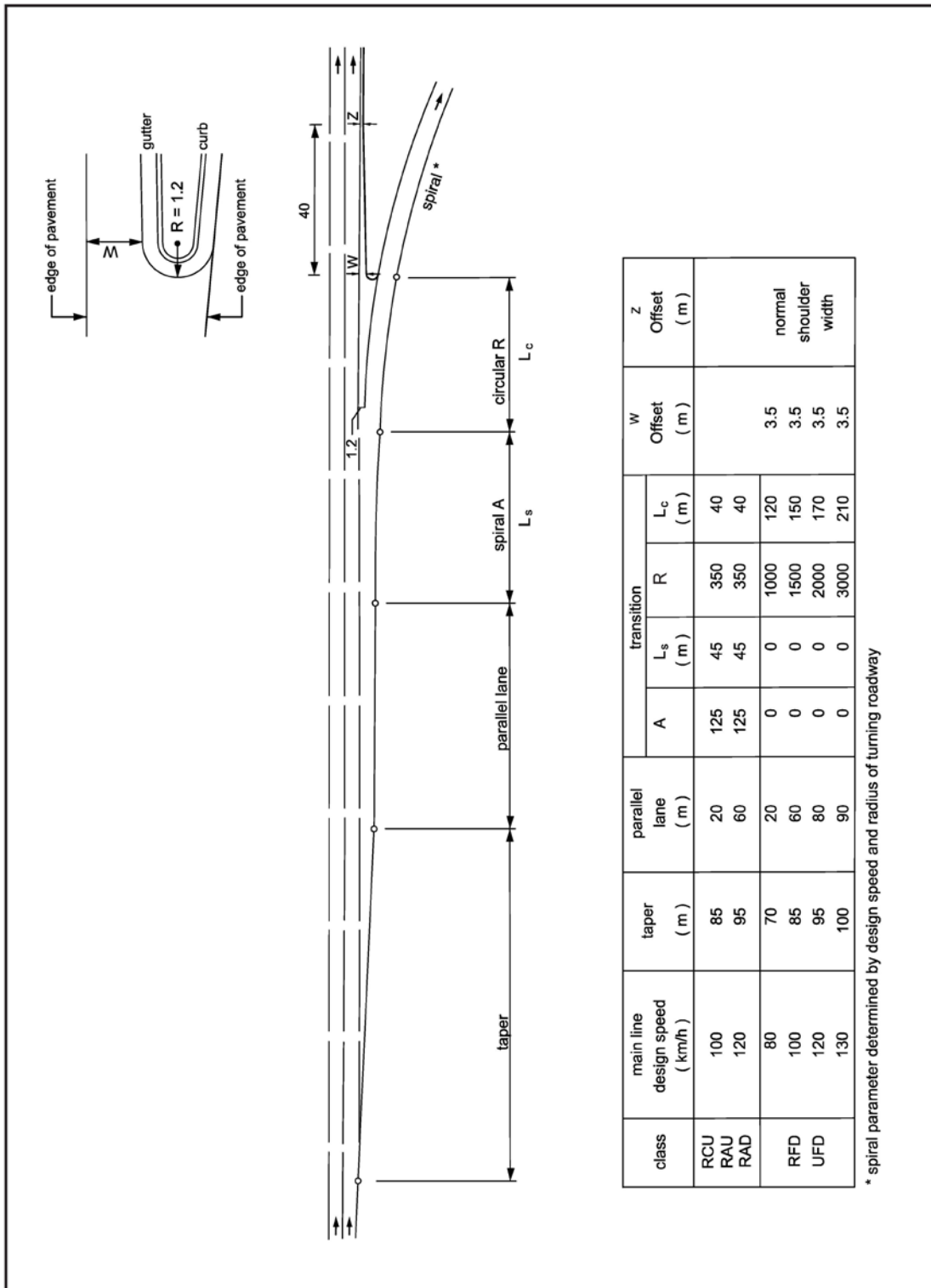
Iskustveno je pokazano da u urbanim sredinama rastojanje između denivelisanih raskrsnica ne bi trebalo da je manje od 1,5 km; u vangradskim uslovima denivelisane raskrsnice treba da su udaljene ne manje od 3,0 km. U najvećem broju slučajeva ova rastojanja omogućavaju dovoljne dužine preplitanja i rastojanja između vertikalne signalizacije za navigaciju tako da je psiho-fizičko opterećenje vozača u prihvatljivim granicama.

Autoput	DP, VP, SP ili PP	Autoput	DP, VP, SP ili PP	Sistemska raskrsnica	Servisna raskrsnica	Sistemska ili servisna raskrsnica Autoput	Sistemska ili servisna raskrsnica Autoput		
						DP/GP/SP/PP	DP/GP/SP/PP		
<b>L = Najmanje rastojanje između fizičkih granica rampi</b>									
300 m	240 m	150 m	120 m	240 m	180 m	600 m	480 m	480 m	300 m

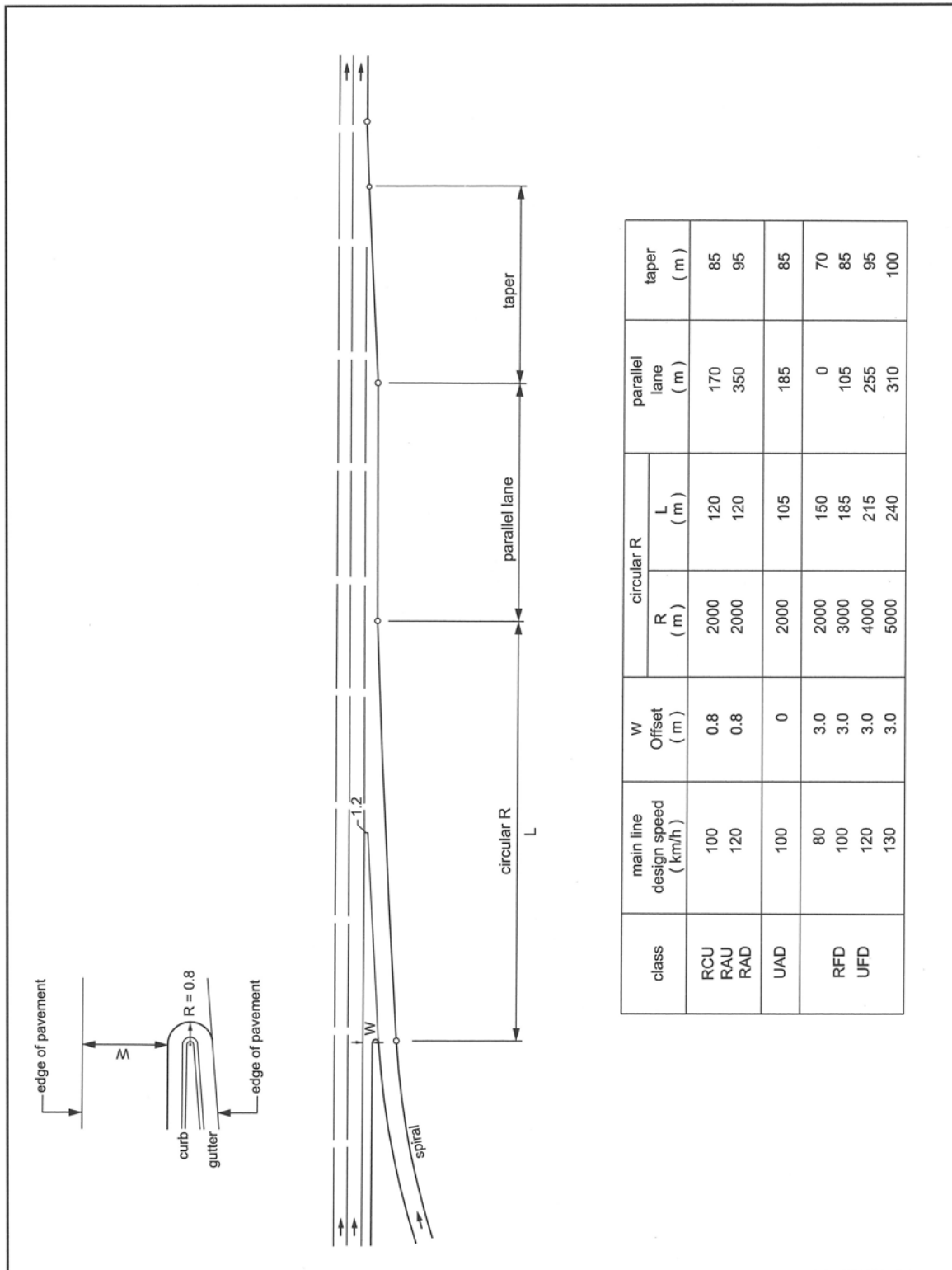
**Slika 10.** Najmanjih odstojanja između fizičkih granica rampi  
(Izvor: Lit. 1)

Vrednosti date na **Slici 10** treba da budu proverene i potvrđene saobraćajnim analizama.

U Severnoj Americi (generalno) oblikovanje izliva i uliva izvodi tzv. "klinastim" i "paralelnim" izlivno/ulivnim trakama. U provinciji *Ontario* poželjno je, gde god to prostor dozvoljava, izlive i ulive izvesti "paralelnim" trakama. Tipična geometrija ovih traka prikazana je na **Slikama 11 i 12**.



**Slika 11.** Geometrija ulivnih traka (jednotračna rampa)  
 RAU - Rural Arterial Undivided; RCU - Rural Collector Undivided;  
 RAD - Rural Arterial Divided; RFD - Rural Freeway Divided;  
 UFD - Urban Freeway Divided  
 (Izvor: Lit. 4)



**Slika 12.** Geometrija izlivnih traka (jednotračna rampa)  
 RAU - Rural Arterial Undivided; RCU - Rural Collector Undivided;  
 RAD - Rural Arterial Divided; RFD - Rural Freeway Divided;  
 UFD - Urban Freeway Divided  
 (Izvor: Lit. 4)

#### 4. SAOBRAĆAJNA BEZBEDNOST DENIVELISANIH RASKRSNICA

Ostvarivanje zadovoljavajuće saobraćajne bezbednosti denivelisanih raskrsnica jedan je od bitnih kriterijuma u projektovanju puteva. U ranim fazama projekta, prilikom razmatranja varijantnih rešenja raskrsnica, neophodno je obezbediti numeričke pokazatelje bezbednosti (najčešće očekivani, kumulativni broj saobraćajnih nezgoda u toku projektnog perioda). Vrednovanje bezbednosti denivelisanih raskrsnica uglavnom se obavlja na nivou elementa projektne geometrije (npr. uticaj dužina izlivno/ulivnih traka, radijusa horizontalnih krivina, širina bankina, itd.). Nakon izračunavanja kumulativne vrednosti broja nezgoda za svaku od raskrsnica isti se pretvara u monetarnu vrednost - izražava kroz neto sadašnju vrednost troškova, odnos dobit-troškovi, ili kao razlika u odnosu dobit-troškovi (tzv. *'incremental benefit-cost'*).

Za predviđanje broja saobraćajnih nezgoda danas se u Severnoj Americi uglavnom koristi procedura predstavljena u publikaciji *'Highway Safety Manual'* (Lit. 5). Za elemente denivelisanih raskrsnica sa poznatim saobraćajnim opterećenjem, očekivan broj saobraćajnih nezgoda izračunava se u 18-o stepenom postupku.

Osnovni očekivani broj saobraćajnih nezgoda (tj. učestalost) na rampama izračunava se prema:

$$N_{\text{spf, rps, x, mv, z}} = L_r * \exp(a + b * \ln(c * \text{PGDS}_r) + d * (c * \text{PGDS}_r)) \quad (\text{Lit. 5})$$

gde je:

$N_{\text{spf, rps, x, mv, z}}$  = očekivani broj saobraćajnih nezgoda segmenta rampe (osnovni uslovi),  
poprečnog preseka  $x$  ( $x=n*EN$ :  $n$ =br. traka na ulivnoj rampi;  $x=n*EX$ :  $n$ =br. traka na izlivnoj rampi), i posledice saobraćajnih nezgoda  $z$  ( $z=fi$ : smrtni ishod ili povreda; pdo: materijalna šteta) [nezgoda/god]

$L_r$  = dužina segmenta rampe [mi]

$\text{PGDS}_r$  = prosečan godišnji saobraćaj na segmentu rampe [vozila/dan]

$a, b, d$  = regresioni koeficijenti

$c$  = PGDS koeficijent

Koeficijenti osnovne funkcije performansi bezbednosti (FPB) i inverzna vrednost disperzionog parametra  $K$  dati su u **Tabeli 1**.

**Tabela 1.** Koeficijenti osnovne funkcije performansi bezbednosti (FPB)  
(Izvor: Lit. 5)

Posledice nezgoda (z)	Vrsta okruženja	Poprečni presek (x)	Koeficijenti FPB				Inverzna vrednost disperzionog parametra $K_{\text{rps, x, mv, z}}$ ( $\text{mi}^{-1}$ )
			a	b	c	d	
Smrtni ishod i povreda (fi)	Vangradsko	Jednotračni ulaz (1EN)	-5,226	0,524	0,001	0,0699	14,6
		Jednotračni izlaz (1EX)	-6,692	0,524	0,001	0,0699	14,6
	Gradsko	Jednotračni ulaz (1EN)	-3,505	0,524	0,001	0,0699	14,6
		Jednotračni izlaz (1EX)	-4,971	0,524	0,001	0,0699	14,6
		Dvotračni ulaz (2EN)	-3,023	0,524	0,001	0,0699	14,6
		Dvotračni izlaz (2EX)	-4,489	0,524	0,001	0,0699	14,6
Materijalna šteta (pdo)	Vangradsko	Jednotračni ulaz (1EN)	-3,819	1,256	0,001	0,00	12,7
		Jednotračni izlaz (1EX)	-4,851	1,256	0,001	0,00	12,7
	Gradsko	Jednotračni ulaz (1EN)	-3,819	1,256	0,001	0,00	12,7
		Jednotračni izlaz (1EX)	-4,851	1,256	0,001	0,00	12,7
		Dvotračni ulaz (2EN)	-2,983	1,256	0,001	0,00	12,7
		Dvotračni izlaz (2EX)	-4,015	1,256	0,001	0,00	12,7

Vrednosti modifikacionih faktora saobraćajnih nezgoda za neke od geometrijskih karakteristika rampi dati su u **Tabeli 2.**

**Tabela 2.** Modifikacioni faktori saobraćajnih nezgoda (MFSN)  
(Izvor: Lit. 5)

Tretman	Vrsta raskrsnice	Saobraćajno opterećenje	Posledice saobraćajnih nezgoda	MFSN	Standardna greška
Denivelisana raskrsnica sa ukrasnim pravcem iznad autoputa	Nenaznačeno	Nenaznačeno	Sve tipovi u reonu denivelisane raskrsnice	0,96*	0,10
- Polazni uslovi: denivelisana raskrsnica tipa 'romb', 'truba', ili 'detelina' sa ukrasnim pravcem ispod nioa autoputa					
Produžavanje trake za usporenje za 100 ft	Nenaznačeno	Nenaznačeno	Svi tipovi	0,93*	0,06
- Polazni uslovi: postojeća traka za usporenje nije kraća od 690 ft					
Umesto dve u zoni preplitanja promena samo jednu traku	Nenaznačeno	Nenaznačeno	Svi tipovi	0,68*	0,04
- Polazni uslovi: u zoni preplitanja moraju se promeniti dve trake					

\* Ukoliko je vrednost MFSN manja od 1, naznačeni tretman utiče na smanjanje broja nezgoda u odnosu na polazne uslove

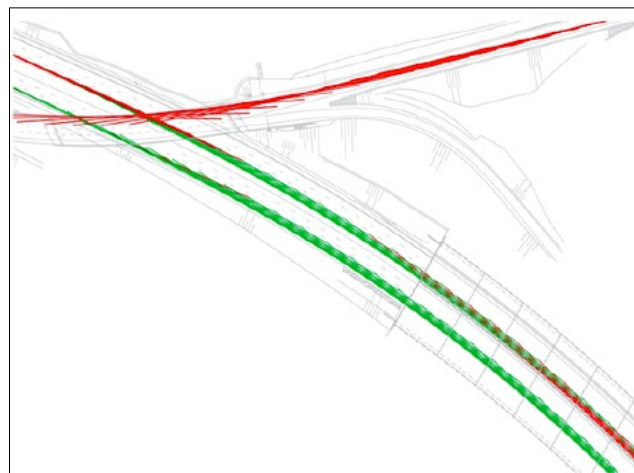
U *Lit. 5* takođe su date jednačine za izračunavanje MFSN usled uticaja radijusa horizontalnih krivina, širina rampi, širina bankina (desne i leve), zaštitnih ograda (desne i leve), izlivno/ulivnih traka, dužina traka za preplitanje, dužina rampi, kao i elemenata površinskih raskrsnica na kojima se rampe završavaju ili počinju.

## 5. PRIMENA PROCESA 'BUILDING INFORMATION MODELING'

Korišćenje procesa poznatog kao '*Building Information Modeling*' (BIM) našlo je svoju primenu u putnom inženjerstvu. 'Pametnim elementima' modela puta i denivelisanih raskrsnica, projektovanim u realnom prostoru ('*georeferenced*'), dodeljuju se tzv. '*metadata*' koja za većinu od modeliranih elemenata sadrži podatke o osobinama građevinskog materijala, specifikacije za izgradnju, tipične detalje, jedinične cene, itd. U toku projektovanja glavni model raskrsnice koristi za različite vrste analiza (npr. provera preglednost puta, saobraćajnih profila, odvodnjavanje, i prostornog 'sukoba' sa elementima drugih objekta), proveru izvodljivosti i simulaciju gradnje (4D), cene objekta i plana plaćanja (5D), ili za korišćenje i upravljanje prirodnim i održivim oblicima energije (6D). Ovako kreiran model denivelisane raskrsnice, uključujući tu i modele ostalih građevinskih objekata kao što su konstrukcije, vodovodne i kanizacione cevi, osvetljenje, itd. stavljaju se na raspolaganje izvođačima u digitalnom obliku ('*paperless design*'), a kasnije, nakon što su modeli dopunjeni tako da odražavaju izgrađeno stanje, i vlasniku objekta za njegovo upravljanje (7D).



**Slika 13.** Model denivelisane raskrsnice  
(Izvor: Autor)



**Slika 14.** Provera zaustavne preglednosti  
(Izvor: Autor)



## 6. ZAKLJUČAK

U radu su predstavljene neke specifičnosti u projektovanju denivelisanih raskrsnica u Severnoj Americi, dat osvrt na nove oblike raskrsnica, oblikovanje izlivno/ulivnih traka, saobraćajnu bezbednost, kao i trendove u projektovanju i izgradnji putne infrastrukture primenom procesa '*Building Information Modeling*'. Za očekivati je da će u budućnosti eventualne promene polaznih kriterijuma za dizajn biti zasnovane na trenutnim istraživanjima koja se sprovode u cilju poboljšanja saobraćajne usluge i nivoa bezbednosti denivelisanih raskrsnica. U tom smislu, takođe, biće interesatno videti na koji će način primena tehnologija automatskog upravljanja vozilom kao i primena tzv. 'pametnih sistema za upravljanja saobraćajem' uticati na propise za projektovanje puteva, odnosno denivelisanih raskrsnica.

### Literatura

- [1] A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2011. AASHTO, USA
- [2] Bonneson, J. et al., Review and Evaluation of Interchange Ramp Design Considerations for Facilities without Frontage Roads, 2003. FHWA Report No. FHWA/TX-04/4538-1, USA
- [3] Double Crossover Diamond Interchange, 2009. FHWA Publication No. FHWA-HRT-09/054, USA
- [4] Geometric Design Guide for Canadian Roads (including errata), 1999. TAC-ATC, Canada
- [5] Highway Safety Manual, 2010 and 2014 Supplement. AASHTO, USA
- [6] Leisch, J. P. et al., Freeway and Interchange - Geometric Design Handbook, 2005. ITE, USA
- [7] Leisch, J. P., Comparison of Worldwide Practice in Interchange Design, available at [onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec003/ch27.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec003/ch27.pdf) (25.03.2016)
- [8] Leisch, J. P. and Morall, J., Evaluation of Interchange Design in North America, Paper Prepared for the 2014 Conference of TAC/ATC in Montreal, Canada
- [9] Underwood, J., Handbook of Research on Building Information Modeling and Construction Informatics: Concepts and Technologies, 2009. IGI Global, USA

# NEW TECHNOLOGIES IN ROAD PAVEMENT DESIGN – INCREASE OF THE SERVICE LIFE

Loretta Venturini<sup>1</sup>, Sergio Carrara<sup>2</sup>, Lorenzo Sangalli<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ITERCHIMICA Technical Manager; <sup>2</sup>ITERCHIMICA Area Manager; <sup>3</sup>ITERCHIMICA Sales Engineer

**Abstract:** In the past, infrastructure designers used to rely merely on their experience when choosing the materials to be used, in construction technologies and in road pavement structures, sometimes considered as minor elements of the overall structure. Due to the economic and technological evolution through last decades, this approach is clearly not beneficial anymore. Aiming at a balance between low construction costs and high durability, it is important to obtain an optimized road structure by predicting the exact evolution of the main road instabilities, such as cracks and permanent deformations. To do this, it is necessary to create a model of the layer system that is as realistic as possible, considering the environmental and loading conditions that affect it, as well as the materials it is made of. Assessing the mechanical properties of the materials is definitely essential to choose the layers design thickness and to guarantee an appropriate service life for the road pavement.

The ever-growing use of chemical products in the field of the materials technology led to the development of innovative technologies based on the interaction between bitumen and chemical elements, in order to improve the construction resistance and, above all, its durability.

The aim of this paper is to describe the characteristics of particular chemical additives, such as thermoplastic polymeric compounds, specifically studied in Iterchimica's Laboratories with the intent of creating bituminous mixtures for high durability road pavements. In particular, the paper shows how it is possible to intervene during the design phase with these additives, added to the bituminous mixtures in the production phase, increasing the service life of the road pavement.

At last, a specific highway structure design is presented, from the traffic and weather conditions analysis to the choice of materials characteristics. This case history suggests how to intervene during the design phase and presents two sustainable opportunities to the infrastructures designers: reduction in layers thickness at service life parity or increasing in service life for any given thickness with a consequent reduction in maintenance costs. In both cases, advantages in terms of resources saving are evident.

**Keywords:** Structural Design, Preservation, Polymers, Sustainability, Life Cycle, Perpetual Pavements

## 1. INTRODUCTION

Based on the modern building technologies and materials, a road structure projected and built following as well as possible the new current building techniques, can last more than 50 years avoiding significant structural reconstructions, with only a periodic surficial renovation [1] [2] [3] [4] [5].

Recently almost all road pavements are designed to get a design life from 20 to 30 years. This choice permits to saving initial construction, without the need of maintenance involving the deep layers. However, there are many technological solutions, provided in technical standards, which offer the designer a wide range of possibility in terms of materials:

- The use of additives to increase the asphalt performance, reducing in asphalt production and laying costs, reducing in environmental impact;
- The use of RAP (reclaimed asphalt pavement).

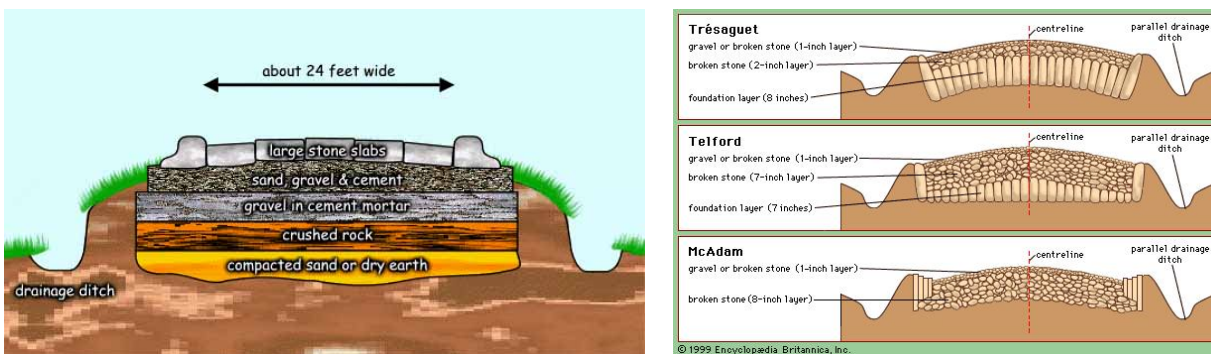
During the design phase, these aspects are almost never evaluated and designers prefer to choose something consolidated as well as modified bitumen trying to avoid the main road pavement damages, such as fatigue cracking, thermal cracking, and rutting.

## 2. PAVEMENT DESIGN EVOLUTION

Since the birth of the first paved roads, the designers understood that a pavement was to consist of a series of layers overlapped with different thickness and materials. This structure has to guarantee a safe and comfortable users transit for a certain period of time and in different weather conditions, with any additional functions and features to be defined according to the needs of the collectivity. Since ancient Rome Empire, the engineers, following this principle, built roads that we can still admire to this day without significant damages.

From the Roman period onward, the evolution of road construction techniques it has also considerably slowed, if not stop, throughout the medieval and modern times. Only in recent century with the oil advent, the means of transport motorization and the huge economic development, the pavements made of surface layers in asphalt concrete have taken over. Studies in the pavement field and research investments made it possible to deepen the knowledge of this material and informatics development of recent decades have led to a design evolution and to predictive methodologies, but not as rapid as in other sectors. Currently,

pavement design has developed dividing into different methodological approaches: empirical-experimental, semi-empirical, and mechanistic-empirical (starting from a structure rational analysis) [6] or a combination of those ones [7].



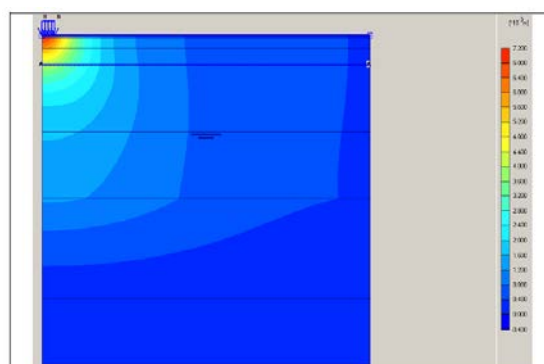
**Figure 1.** From Roman to Macadam Road [8]

Empirical design consider the relations between the performance observations, traffic levels, layer thickness and an indicator that represents the material quality, such as a structural coefficient. This method derives from surveys conducted on experimental sections correlating deformations or decays measured on site with the imposed load conditions (weight and number of axles), layers thickness, materials and substrates characteristics. Results are presented as abacuses, tables and equations interpolating the experimental data and can be used in the design phase. The empirical method is the one proposed by AASHTO [9] that, since the 60s, has developed an analytical expression that interprets a remarkable series of experimental measurements. The expression has been recently ('93) updated by introducing some important changes that make it more "rational" and innovative with the introduction of the resilient modulus to characterize the substrate and, above all, the concept of "reliability".

Semi-empirical methods come from simplified theoretical analysis that introduce parameters and corrective coefficients to obtain the maximum correspondence between the theoretical model and the measured data. Among them, it is reminiscent of the CBR method, of Goldbeck and Index group.

These concepts were improved and developed with field experiences that have led designers to use a design methodology able to control both the resistance to fatigue cracking and the rutting resistance with mechanistic-empirical methods.

Among the rational methods [10] [11] [12] [13], the most used are the Elastic Multilayer method and more recently the Finite Element Method (FEM). The first uses a series of simplifying assumptions, to deduce some simple solvable equations iteratively. In FE method renunciation of absolute precision results outside finite element, however there are no restrictions when analyzing any load configuration, materials, constraints, etc.



**Figure 2.** Finite Element Method (FEM) for pavement

The new type of mechanistic empirical approach provides a rational analysis that contemplates an analytic modeling, analyzing the pavement structure reaction in terms of stress, strain and displacements. The pavement response is used to estimate the loads capacity, which lead to cracking failure for an assigned condition of thicknesses, loading and material properties.

The first approach was based on empirical concepts whose premise was the deteriorations of structural origin could be avoided if the responses of the pavement, in terms of stresses, strains and deflections, could be kept below the thresholds of values for which the deteriorations were manifested. For a given material quality level, the required thickness of road pavements increase with increase in traffic. However, it can also reach a point beyond in which the pavement thickness is more than adequate, even for heavier loads, and each further thickness increase does not involve any additional structural improvement but add an unnecessary construction and environmental cost [14].

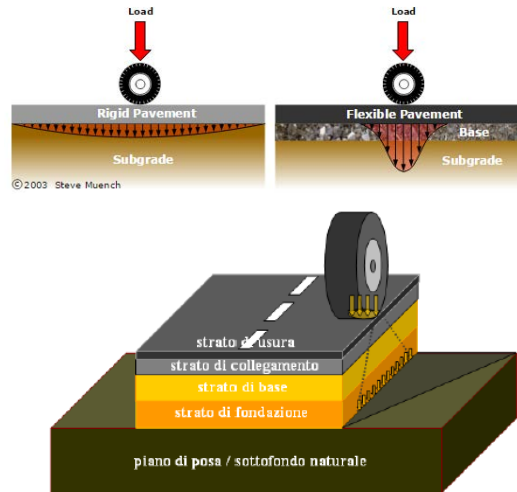


Figure 3. Rigid and flexible pavement load distribution

### 3. CURRENT ITALIAN PAVEMENT DESIGN METHOD

The more commonly pavement design method used in Italy consists of three phases:

1. Pre-design based on road pavement catalogue (Modello di Catalogo delle pavimentazioni Italiane) [15]. This is a handbook prepared by the National Research Council (CNR) based on AASHTO Guide empirical design method and on the assumption of material specific characteristics. The catalogue offers to the engineer a list of pavement structure in function of various parameters as commercial vehicles traffic and minimum substrate resilient modulus.

N. TSR Modulo resiliente del sottofondo	AUTOSTRADE EXTRAURBANE					
	Numero di passaggi di veicoli commerciali					
400.000	1.500.000	4.000.000	10.000.000	25.000.000	45.000.000	
150 N/mm <sup>2</sup>	TRAFFICO NON PREVISTO PER IL TIPO DI STRADA					
90 N/mm <sup>2</sup>	TRAFFICO NON PREVISTO PER IL TIPO DI STRADA					
30 N/mm <sup>2</sup>	TRAFFICO NON PREVISTO PER IL TIPO DI STRADA		SOTTOFONDO NON ADEGUATO AL TIPO ED ENTITA' DEL TRAFFICO (PREVEDERE BONIFICA)			

Figure 4. Example of "Catalogo delle Pavimentazioni Italiane"

The catalogue data sheets corresponding to each structure are identified by an alphanumeric code consists of a number from 1 to 8, with which is indicated the type of road (extra-urban highway, urban highway, motorway, local road, etc.), and an alphabetic part indicating the structure type (CF=flexible, SR=semi-rigid, rigid RG=unarmed and RC= rigid continuous reinforcement). Each data sheets, depending on the category of the substrate and of the traffic class, shows the thicknesses and the materials constituting the various layers of the pavement.

2. *Verification of the chosen structure*: the most commonly used methods for flexible or semi-rigid structures are C.B.R. method and AASHTO method (AASHTO design guide for pavement structure). In particular, by the latter method it can be calculated the number of standard axles (that representing the traffic load) that the pavement it is able to withstand before decaying to an unacceptable functionality level, by an empirical design equation.

Observations from the AASHTO Road Test established correlations between the following four main factors for flexible pavements:

- Soil condition as quantified by the subgrade resilient modulus ( $M_R$ );
- Traffic as quantified by equivalent single axle loads (ESALs);
- Change in pavement condition as quantified by the change in pavement serviceability index ( $\Delta PSI$ );
- Pavement structure as quantified by a structural number (SN).

The soil resilient modulus describes the inherent ability of the soil to carry load and can be measured in the laboratory through triaxial resilient modulus testing or in the field through falling weight deflectometer (FWD) testing. Generally, lower  $M_R$  values will require more pavement thickness to carry the given traffic. The soil modulus during the AASHTO road test was approximately 3,000 psi, and care should be taken when using the AASHTO empirical method to be sure  $M_R$  values obtained through modern means are adjusted to reflect test conditions. For example, AASHTO recommends dividing the soil modulus obtained through FWD testing by three before using in the empirical design equation. It is also important to emphasize that there was only one soil type used during the AASHTO Road Test. However, there were seasonal fluctuations in the soil modulus from which empirical correlations between soil modulus and pavement condition were developed, they are strictly limited to that soil type. The AASHTO Road Test featured various test loops that were constructed of asphalt concrete thicknesses ranging from 1 to 6 inches and trafficked with different axle types and load levels. The researchers noted an approximate fourth-power relationship between the amount of pavement damage and the load level applied to the pavement section. This relationship was the central idea in the equivalent single axle load (ESAL), which was selected to be an 18,000-lb (about 8,2 t) single axle with dual tires.

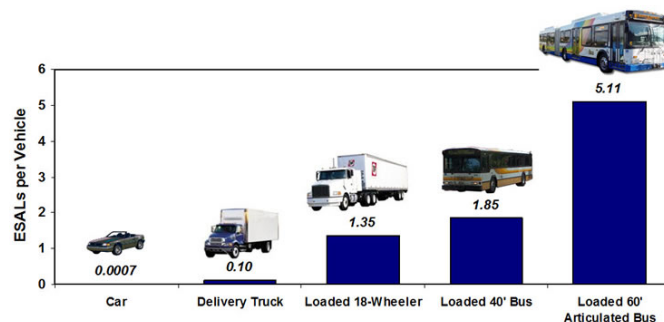


Figure 5. Some Typical Load Equivalency Factors [16]

3) *Pavement final check*: modelling of the traffic load and the road structure according to the multilayer elastic theory, considering the weather conditions, the transit speed and type of vehicles. Usually different software is used to evaluate tensions, deformations and displacements within the pavement. With this information, it is possible to control tension and compression limits verifying that:

- transit of the heavier vehicles does not exceed the bituminous mixtures compressive strength in the surface layers where it manifests a compression state, with a certain margin of safety; typical limit value is 0.80 MPa;
- transit of the heavier vehicles does not exceed the bituminous mixtures tensile strength where it manifests a tensile state (typically at the bitumen bonded layers, with a safety margin; a typical limit value is 0.50 MPa.
- the surface maximum deflection is below the reference limit value (typically assumed equal to 0.1 cm).

However, tensions at the substrate top are evaluated and allowable tension is determined by Kerkhoven and Dormon expression, according to which the maximum stress vertical admitted to the substrate is tied to the number of load repetitions and to the substrate module by the formula:

$$\sigma = \frac{0.006 \cdot E_0}{1 + 0.7 \cdot \log N}$$

Moreover, it can be evaluated the specific vertical deformation at the substrate top in order to determine the number of load repetitions possible in the same by means of the experimental relations;

- the tensional value in cement bound layer and the admissible following experimental formula:

$$\sigma_N = \sigma_R \cdot (1 - K \cdot \log N)$$

Considering  $K = 0.05$  and  $\sigma_R$ , that is the breaking strength, equal to 0.35 MPa;

Furthermore, evaluation and development prediction of fatigue and rutting phenomena, using mechanistic-empirical methods.

Over the past decades many criteria have been developed to assess and predict the evolution of fatigue cracks. In Italy, at the discretion of the designer, the most commonly used methods are:

- Autostrade per l'Italia criteria (Italian Highways manager),
- Asphalt Institute criteria;
- Shell criteria;
- Transport Research Laboratory criteria;
- Minnesota criteria.

Those criteria are expressed according to the following formula:

$$N_f = f_1 \cdot (\varepsilon_t)^{-f_2} \cdot (E)^{-f_3}$$

They do not take into account the specific mixture characteristics. What “Catalogo Italiano delle pavimentazioni” suggests to use is the “Verstraeten and Marchionna” method determining the number of cycles that cause the limit state to the reconstruction of the pavement road [17].

With this empirical-rational method, the problem is divided into two distinct phases:

- Trigger phase: determine the number of equivalent standard axles cycles that generate the trigger of cracking at the base of the bound layers, through the formulation of Verstraeten that is correlated to the maximum tensile strain in bitumen bonded layers, bitumen and air voids contents;
- Propagation phase: it determines the number of equivalent standard axles cycles required to do propagate the crack on the surface, up to the spread on 10% of the surface area, by the formulation of Marchionna that depends on Average Modulus of bituminous mixtures layers, their thickness and the stress value at the bottom of bitumen bonded layers.



**Figure 6.** Rutting deformation and fatigue cracks

Rutting is caused by the plastic or permanent vertical deformation in the HMA, unbound base/subbase layers, and subgrade/foundation soil. For the MEPDG, rutting is predicted by calculating incrementally the plastic vertical strain accumulated in each pavement layer due to applied axle loading. In other words, rutting is the sum of all plastic vertical strain at the mid-depth of each pavement layer within the pavement structure, accumulated over a given analysis period. The rate of pavement layer plastic deformation could vary

significantly over a given time increment since the pavement layer properties change with temperature (summer versus winter months) and moisture (wet versus dry) and applied traffic could be very different.

The MEPDG model for calculating total rutting is based on the universal “strain hardening” relationship developed from data obtained from repeated load permanent deformation tri-axial tests of both HMA mixtures and unbound aggregate materials and subgrade soils in the laboratory. The laboratory-derived relationship was then calibrated to match field measured rut depth.

For all HMA mixtures types, the MEPDG field calibrated form of the laboratory-derived relationship from repeated load permanent deformation tests

The field-calibrated mathematical equation used to calculate plastic vertical deformation within all unbound pavement sublayers and the foundation or embankment soil is different from the other one.

#### **4. NEW TECHNOLOGIES WITH POLYMER COMPOUNDS ADDED IN THE ASPHALT PRODUCTION PROCESS**

All the people who works in asphalt field knows that polymers can improve the mixture performance giving some useful characteristic to the bitumen and, therefore to the mixture, some characteristics that the normal bitumen do not have, increasing the viscosity at high temperature and giving elasticity at low temperature [18]. However, the common way to have this improvement is by using polymer modified bitumen produced in plant. This involve in some problems like the storage of modified binder for asphalt production plants and high investments in a range of storage tanks for various PMB products. High-energy costs for hot storage of modified bitumen are avoided or significantly reduced. In some laboratories it was studied a polymeric compound of selected polymers made of flexible granules which, when added to the asphalt mix, increases the pavement strength, the fatigue resistance, the resistance to rutting and stripping and allows to obtain high resilient modulus.



**Figure 7.** *Example Polymeric Compound added directly in the mixer*

This performances are verifiable with laboratory standard test. The improved stiffness of the additivated asphalt and its reduced temperature susceptibility, make it an advantageous component of bituminous base and binder courses. The higher modulus reached by polymeric compound asphalt gives it an improved capacity to distribute loads. This, in turn, will result in lower stresses on the unbound layers of the pavement and a lower tensile strain in the asphalt materials, resulting in a longer life for the road structure. The increase in modulus can also be used to reduce the thickness of an additives modified pavement. The need for designing and constructing asphalt pavements that perform satisfactorily under extremes of climate and traffic can be met by modifying traditionally produced paving grade HMA with polymers. The selection and dosage of polymers, and the production of modified HMA requires expertise and a superior Polymer compound. For many international highway and airport projects, pre-blended PMB is often not easily available or the preferred technology. The only sound alternative is the production with a mobile dosing units that are set up adjacent to the asphalt hot mix plant to feed a polymeric compound.

In addition, the bitumen modification made using a mill and an appropriate plant can have some unexpected performances variation. For many years, the most used solution to modify an asphalt mix has been the use of PMB, modified bitumen using a high shear mill considering it can give some improvement to the asphalt mix: better resistance at the aging effect; better resistance under low temperature; better adhesion with aggregates; better fatigue resistance and low rutting deformation. This choice significantly helps to increase the cost savings for future maintenance. However, modified bitumen not always has the declared performance. Hard modified bitumen produced in refinery is not exhaustive, because significant differences can be found between a production and the next one, or when compared with the technical data declared.

We do not overlook the fact that in the asphalt plant different type of bitumen are usually mixed in the same tanks.

## 5. CASE HISTORY: ITALIAN HIGHWAY PAVEMENT DESIGN

This paragraph reports an example of Italian Highway pavement design comparing two solutions: the first one with traditional asphalt mixtures and the second one with high performance asphalt mixture modified with the polymeric compound.

Traffic, climatic condition and pavement are referred to a typical area in the south of Italy.

Mechanical performance of each pavement layer have been analyzed comparing different results due to the rutting and the fatigue effect.

The different analysis steps adopted are:

- Traffic analysis;
- Climatic analysis;
- Layers thickness;
- Mechanical performance of each layer (Stiffness Modulus and Poisson coefficient); it is important to point out that these parameters are function of temperature and frequency load;
- Stress-strain behavior;
- Fatigue and rutting analysis.

### 5.1. Traffic Analysis

This is the first and fundamental step, because the pre-design choices and the subsequent verification depend on it, in order to save resource. The pavement sizing is strictly related to the expected traffic loads. In this specific case, knowing the average daily traffic in reference to year 2016 and using a different growth rate value per each year, it is possible to predict the traffic referred to 2035 (the chosen design life is equal to 20 years).

**Table 1. Traffic analysis data**

n.	Year	Traffic	Growth rate
1	2016	17.497	1,013
2	2017	17.707	1,012
3	2018	17.919	1,012
4	2019	18.134	1,012
5	2020	18.334	1,011
6	2021	18.536	1,011
7	2022	18.740	1,011
8	2023	18.946	1,011
9	2024	19.135	1,010
10	2025	19.326	1,010
11	2026	19.520	1,010
12	2027	19.695	1,009
13	2028	19.873	1,009
14	2029	20.052	1,009
15	2030	20.232	1,009
16	2031	20.394	1,008
17	2032	20.557	1,008
18	2033	20.721	1,008
19	2034	20.866	1,007
20	2035	21.013	1,007

Considering the following parameter is possible to calculate the number of commercial vehicles:

- $\rho_c$ : percentage of commercial vehicle;
- $\rho_{sm}$ : percentage of vehicles in function of traffic direction;
- $\rho_{lane}$ : percentage of vehicles per each lane.

Using the appropriate equivalence parameters, the total number of 120 kN standard axle has been determined:  $5.44 \cdot 10^6$  ESAL<sub>120kN</sub>.



## 5.2. Climatic conditions

Considering the highway placement and the temperature of the last 30 years, the average monthly temperature has been determined.

In order to consider different asphalt mixtures behavior, the year has been divided in three different seasons, which the relative average temperature:

**Table 2. Average Temperatures for each period**

Period	Month	Temperature
Cold	Jan - Feb - Mar - Dec	11.4 °C
Warm	Apr - Nov - May - Oct	16.6 °C
Hot	Jun - Jul - Aug - Sep	24.0 °C

Verifications have been carried out considering each different period.

## 5.3. Layers Thickness

Here below the table the structure chosen in the first pre-design phase:

**Table 3. Original pavement structure**

Layer and constituent material	Thickness [m]
Wearing course of bituminous mixture	0,05
Binder course of bituminous mixture	0,07
Base course of bituminous mixture	0,10
Base course of cement-bound granular material	0,20
Sub-base of unbound granular material	0,25
<b>Total</b>	<b>0,67</b>

The option to improve the pavement performance characteristics has been evaluated after checking, as shown in the following paragraphs, that the pavement pre-design presented a premature rutting problem. It has been also verified that it is possible to increase performance while reducing the wearing course thickness (1 cm). The road pavement structure proposed was, therefore:

**Table 4. Proposed pavement structure**

Layer	Thickness [m]
Wearing course of bituminous mixture with polymeric compound	0,04
Binder course of bituminous mixture with polymeric compound	0,07
Base course of bituminous mixture	0,10
Base course of Cement-bound granular material	0,20
Sub-base of unbound granular material	0,25
<b>Total</b>	<b>0,67</b>

## 5.4. Mechanical performances

To determine the bituminous mixtures mechanical properties has been previously calculated:

1. Design temperatures: Marchionna theory has been used to know the temperature in function of the layer's depth (midpoint):

$$T(z) = (1,467 + 0,043 \cdot z) + (1,362 - 0,005 \cdot z) \cdot T_{air}$$

Where "z" is the layer average depth and "T<sub>air</sub>" the environmental temperature.

2. Design load frequency: D'Apuzzo theory has been used to know the load frequency, depending on vehicle speed.

$$f[Hz] = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 10^{0.5 \cdot (2 \cdot a + h)} \cdot \frac{0.18927}{V^{0.94}}}$$

Knowing this parameter it is possible to determine the stiffness modulus for each environmental condition and asphalt mixture follow to different ways: experimental data or predictive method.

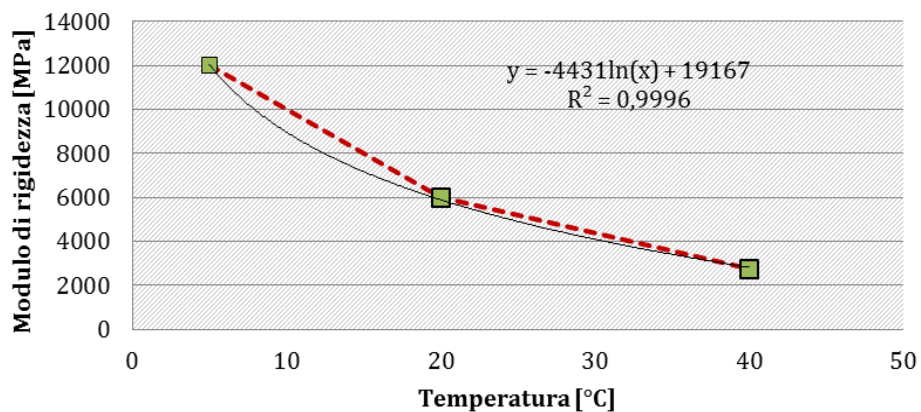
Regarding the traditional mixtures (wearing, binder and base courses of the original pavement design and base course of the proposed improved pavement), it has been chosen to use the predictive Asphalt Institute method (Witczak and Fonseca, 1995 Maryland University) in the absence of sufficient laboratory data [19]. In this method is important to use the characteristic of the grading curve and the viscosity of the bitumen. The viscosity of the bitumen may be calculate in different ways, in this case we have used:

1. “Mirza and Witczak theory”: We have determined the value of A and VTS using the penetration class of the bitumen;
2. “ASTM”: We have determine the viscosity using the rheological parameter of the bitumen characterized by the following penetration 50/70.

Using the average value, it has been obtained the stiffness modulus of each traditional bituminous mixtures layer.

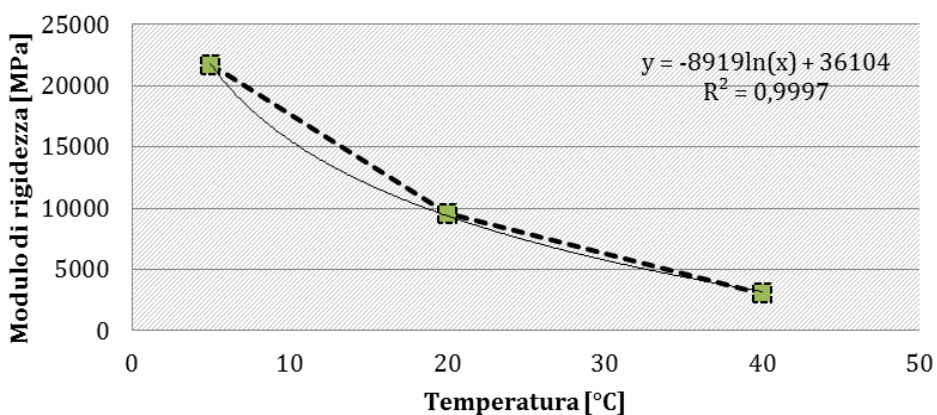
Regarding the additive mixtures (wearing and binder course with polymeric compound), the data come from the database of Iterchimica Laboratory, carried out in laboratories around the world. Stiffness Modulus values were assumed according with tests on similar mixtures (in terms of bitumen and aggregates). These results allowed the determination of temperature-stiffness correlation curves resulting from a certain loading frequency (the assumed one with D’Apuzzo theory) and for both mixture. From these curves, it was possible to derive the stiffness value for each climatic periods.

**Wearing course – high additive content (about 5% on bitumen weight)**



**Figure 8.** Average temperature-stiffness correlation curve for wearing course additivated mixtures

**Binder course – high additive content (about 6% on bitumen weight)**



**Figure 9.** Average temperature-stiffness correlation curve for binder course additivated mixtures

The cement-bound layer stiffness modulus has been taken according to literature and, considering the worst case, considering a completely cracked layer. Regarding the granular foundation, it has assumed an average

value obtained from Ferrari-Giannini formula such a value that correlates to the substrate resilient modulus (determined with on-site tests).  
 Poisson's coefficient ratio has been hypothesized based on typical values from literature.

**Table 5. Stiffness Modulus and Poisson coefficient – original pavement**

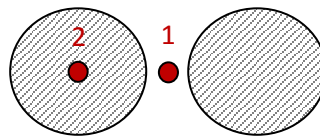
Type of material - Original Pavement Design	Stiffness Modulus [MPa]			Poisson coefficient [ν]
	Cold	Warm	Hot	
Wearing course of bituminous mixture	4.650	3.100	2.050	0,35
Binder course of bituminous mixture	4.700	3.150	2.050	0,35
Base course of bituminous mixture	4.750	3.200	2.100	0,35
Base course of Cement-bound granular material	1.500	1.500	1.500	0,25
Sub-base of unbound granular material	250	250	250	0,40
Soil (sub-base)	100	100	100	0,40

**Table 6. Stiffness Modulus and Poisson coefficient proposed pavement**

Type of material - Improved Pavement Design	Stiffness Modulus [MPa]			Poisson coefficient [ν]
	Cold	Warm	Hot	
Wearing course of bituminous mixture with polymeric compound	6.500	5.000	3.500	0,35
Binder course of bituminous mixture with polymeric compound	10.500	7.500	4.000	0,35
Base course of bituminous mixture	4.750	3.200	2.100	0,35
Base course of Cement-bound granular material	1500	1500	1500	0,25
Sub-base of unbound granular material	250	250	250	0,40
Soil (sub-base)	100	100	100	0,40

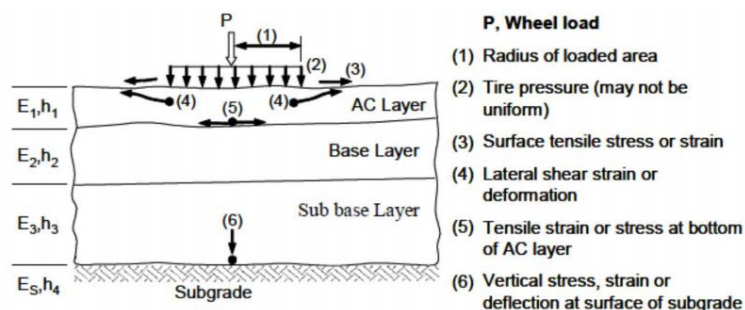
**5.5. Stress-strain behaviour and final verification**

Using Bisar software the pavement has been considered as an elastic multilayer, obtaining stress, strain and displacement value in each remarkable point.  
 Considering a twinned axle load with a tire pressure of 7.5 kPa, the contact area has been considered as two circular areas side by side as shown in the following figure:



**Figure 10. Pneumatic contact areas**

Using two different circle areas it is possible to represent the real condition of the contact point. Stress and the strain values have been determined in two different points (see fig. 3), in order to consider the worst case.



**Figure 11. Example of load strain with Bisar Analysis**

First of all, according to Bisar software results, comparative verifications on the stress-strain status were conducted between the two solutions with the following results:

**Table 7. Stress-strain verification - Original Pavement Design**

Description	Verification	Cold	Warm	Hot	Limit
Bituminous Base layer	$\sigma_h < R_{t,i}$ - Base	0.33	0.19	0.07	< 0.50 MPa
Cement-bound layer	$\sigma_v < R_c = 3,5$ MPa - Summit	0.16	0.18	0.21	< 3.5 MPa
	$\sigma_h < R_{t,i}$ - Base	0.17	0.19	0.20	< 0.26 MPa
Granular base layer	$\sigma_v < 0,2$ MPa - Summit	0.04	0.04	0.05	< 0.20 MPa
Sub-base	$\sigma_v < (0,006 \cdot E) \cdot (1+0,7 \cdot \log(N_{120kN}))$ - Summit	0.017	0.019	0.021	< 0.11 MPa

**Table 8. Stress-strain verification - Improved Pavement Design**

Description	Verification	Cold	Warm	Hot	Limit
Bituminous Base layer	$\sigma_h < R_{t,i}$ - Base	0.35	0.21	0.09	< 0.50 MPa
Cement-bound layer	$\sigma_v < R_c = 3,5$ MPa - Summit	0.14	0.17	0.20	< 3.5 MPa
	$\sigma_h < R_{t,i}$ - Base	0.16	0.18	0.20	< 0.26 MPa
Granular base layer	$\sigma_v < 0,2$ MPa - Summit	0.04	0.04	0.05	< 0.20 MPa
Sub-base	$\sigma_v < (0,006 \cdot E) \cdot (1+0,7 \cdot \log(N_{120kN}))$ - Summit	0.016	0.018	0.016	< 0.11 MPa

Secondly, the fatigue behavior verification has been conducted, using the Verstraeten and Marchionna theory. This method is different than other methods used to understand when the pavement will be crack, because it takes in account two phases: the cracking trigger phase and the cracking propagations phase. Verstraeten provides the number of cycles after that there will be the crack ( $N^I$ ) in function of some coefficients, the strain at the base of the base course and volumetric parameters of the asphalt mixtures:

$$\text{Log}N^I = 6 + 4,7619 \left[ \text{Log} \left( \frac{\Gamma V_B}{V_B + V_V} \right) - \text{Log} \varepsilon_h \right]$$

With Marchionna formula the number of cycles after that there will be the crack spread, has been evaluated in function of an Equivalent modulus of the bituminous mixture layers, their total thickness, the tensile stress in correspondence of the base layer and some parameters:

$$N^{F10} = 1,373 \cdot e^{-1.098n} \cdot h^{(-0.152+0.476n)} \cdot [(E)^{\alpha'} \cdot (\sigma)^{\beta'} \cdot 10^{\mu'}]$$

Obviously both parameters are determined for each season considered. Shown below are the values obtained.

**Table 9. Number of vehicle that brings to fatigue cracking**

Climatic period	Fatigue behavior					
	Cold		Warm		Hot	
	Original Project	Ameliorative Proposal	Original Project	Ameliorative Proposal	Original Project	Ameliorative Proposal
Trigger phase ( $N^I$ )	$4,29 \cdot 10^6$	$3,99 \cdot 10^6$	$3,55 \cdot 10^6$	$3,12 \cdot 10^6$	$4,17 \cdot 10^6$	$3,25 \cdot 10^6$
Propagation ( $N^{F10}$ )	$1,53 \cdot 10^8$	$3,40 \cdot 10^8$	$3,59 \cdot 10^8$	$7,70 \cdot 10^8$	$3,51 \cdot 10^9$	$3,95 \cdot 10^9$
Total cycles ( $N^{Tot}$ )	$1,58 \cdot 10^8$	$3,44 \cdot 10^8$	$3,63 \cdot 10^8$	$7,73 \cdot 10^8$	$3,51 \cdot 10^9$	$3,95 \cdot 10^9$
Fatigue life incensement [%]	54%		53%		11%	

At last, the plastic damage (PD) has been calculated using NCRHP 1-37A MEPDG method. The plastic damage factor is determined summing the plastic deformation of each layer, however the accuracy of the result is due to the number of sub layer created inside the main layer.

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_v} = k_1 \cdot 10^a \cdot T^b$$

In this way is possible to see that the value of plastic deformation is in function with the level of traffic and the temperature. Use different season is important to understand the different between a traditional bituminous mixtures and additivated bituminous mixtures.

**Table 10. Predictive Rut depth**

Parameter	Suggested limit for highways	Project	Proposal
PD	1,5 cm	3,3 cm	1,5 cm
<b>Percentage reduction</b>		<b>56%</b>	

### 5.5. Comment of the results

The road pavement design with a modified asphalt wearing course using a polymeric compound shows that the stress-strain status changes and predictive models used confirm that:

- the proposal pavement has greater fatigue life for any climatic period considered;
- the generation of wheel tracking is reduced by 56% never exceed the recommended limit for a Highway.

These results are achieved by reducing wearing course thickness of 1 cm; so, it could save around 20% of bituminous mixture for the wearing course.

### 6. CONCLUSION

The pavement design methods have been developed during the last years starting from empirical analysis till new mechanical-rational procedures. The layer thicknesses chosen depend from different parameters: loads, environmental condition and raw materials used. The raw material behavior is improved thanks to the use of innovative additives and technologies. Then it's very important to consider the possibility to use innovative solutions also in the design phase. In fact, it would be necessary to have and choose the materials for the mix design, during the design phase, and to know in advance some very important input like stiffness modulus, fatigue behavior, indirect tensile strength and rutting resistance.

As it has been demonstrated in the reported example, using polymeric compounds it's possible to increase the mechanical properties of the asphalt mixtures reducing the rutting deformation and increasing the fatigue resistance at the same load and environmental condition. This improvement acts on the layer thickness and/or the life cycle of the pavement designed.

In one case we could have the same life cycle reducing the total pavement thickness; in the other case, using the same total pavement thickness, it's possible to increase the pavement life cycle.

### References

- [1] M. Moramarco, SITEB, "Perpetual Pavement Design", Rassegna del Bitume 72/12;
- [2] Perpetual pavement; Asphalt Pavement Alliance Publications;
- [3] Le pavimentazioni stradali a manutenzione zero, Paper Rassegna del Bitume;
- [4] Le pavimentazioni stradali a manutenzione zero: caratterizzazione dei materiali e criteri progettuali; Paper Inarcos;
- [5] Perpetual bituminous pavements; Transportation Research Board Circular; number 503, December, ISSN 0097-8515; 2001;
- [6] Implementation of the NCHRP 1-37A Design Guide Final Report Volume 2: Evaluation of Mechanistic-Empirical Design Procedure, W. Charles ,L. Schwartz Regis, Carvalho;
- [7] Comparative Analysis of Various Pavement Design Methods; C. R. Rica; Degree Enginyeria Civil Barcelona, Departament d'Infraestructura del Transport i del Territori, 17 de Juny de 2015;
- [8] Le pavimentazioni semiflessibili: la caratterizzazione del grouted macadam, Articolo SIIV 2006;
- [9] NCHRP Report 580: Specification criteria for simple performance test for rutting; M.W. Witczak;
- [10] Three-dimensional discrete element models for asphalt mixtures; Z. You, S. Adhikari , Q. Dai, Journal of Engineering Mechanics, vol. 134, n. 12; 2008;
- [11] Viscoelastic model for discrete element simulation of asphalt mixtures Y.Liu, Q. Dai, Z. You, Journal of Engineering Mechanics, Vol. 135, No. 4, 2009;
- [12] Micromechanical modeling of the viscoelastic behavior of asphalt mixtures using the discrete-element method; A. Abbas, E. Masad, T. Papagiannakis, International Journal of Geomechanics, vol. 7, n. 2, pp. 131–139, (2007);
- [13] Analisi sperimentale dei materiali della sovrastruttura stradale attraverso la modellazione agli elementi distinti particellari, E. Degiovanni; Università degli Studi di Parma, Facoltà di Ingegneria, Dottorato di Ricerca in Ingegneria Civile, 2009;
- [14] Sul problema della modellizzazione delle sovrastrutture stradali nell'ottica della previsione dello stato tenso-deformativo; G. Caridi, F. Praticò, Convegno nazionale SIIV, Padova, 2003;

- [15] Modello di Catalogo delle Pavimentazioni Italiane; L. Domenighini, P. Di Mascio, P. Giannattasio, C. Caliendo, B. Festa, A. Marchionna, P. Finni, E. Molinaro, G. Paoloni; C.N.R. Gruppo di lavoro Progettazione Pavimentazioni, Dicembre 1993;
- [16] HAPI Asphalt Pavement Guide;
- [17] Tesi di Laurea: Progetto di una pavimentazione stradale di tipo flessibile; P. Giannattasio, V. Nicolosi; Università degli Studi di Roma – Tor Vergata; 2011;
- [18] La progettazione integrata della manutenzione delle pavimentazioni stradali: proposta di materiali innovativi, Articolo VIATEC 2004;
- [19] Superpave - “Superpave mix design” – Asphalt Institute, Superpave Series n. 2 (SP-2), third edition Printing, 2001;
- [20] Dr. David H. Timm, P.E., Dr. Mary M. Robbins, Dr. Nam Tran, P.E., Dr. Carolina Rodezno – “NCAT Report 14-08; Recalibration procedures for the structural asphalt layer coefficient in AASHTO pavement design guide, 1993”;
- [21] Evolution of long-lasting asphalt pavement design methodology: a perspective”, International symposium on design and construction of long-lasting asphalt pavements; C.L. Monismith; Auburn University, AL; 2004;
- [22] Corpo Stradale e Pavimentazioni, P. Ferrari, F. Giannini, Milano.

## PRIMENA IVIČNJAKA NA VANGRADSKOJ I GRADSKOJ PUTNOJ MREŽI

**Asis. Filip Trpčevski<sup>1</sup>, mas.inž.građ.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [ftpcevski@grf.bg.ac.rs](mailto:ftpcevski@grf.bg.ac.rs)

**Vlado Rakočević, dipl.saob.inž.**

JP "Putevi Srbije", Bulevar kralja Aleksandra 282, Beograd, [vlado.rakocevic@putevi-srbije.rs](mailto:vlado.rakocevic@putevi-srbije.rs)

**Biljana Vuksanović, dipl.građ.inž.**

JP "Putevi Srbije", Bulevar kralja Aleksandra 282, Beograd, [biljana.vuksanovic@putevi-srbije.rs](mailto:biljana.vuksanovic@putevi-srbije.rs)

**Doc. dr Sanja Fric, dipl.građ.inž.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [sfric@grf.bg.ac.rs](mailto:sfric@grf.bg.ac.rs)

**Asis. Vladan Ilić, mas.inž.građ**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [vilic@grf.bg.ac.rs](mailto:vilic@grf.bg.ac.rs)

**Rezime:** Ugradnja ivičnjaka na putevima i njihov položaj u poprečnom profilu je nedovoljno definisan u postojećoj zakonskoj regulativi i propisima. Tip ivičnjaka na pojedinim deonicama je često prepušten slučaju, a izbor zavisi od projektantskog rešenja. Autori su u ovom radu izložili prikaz postojećih rešenja oivičenja kolovoza na putnoj mreži Srbije. U praksi se pojavljuju različita rešenja prikaza ivičnjaka u poprečnom profilu, i to sa aspekta visine ivičnjaka u odnosu na ivicu kolovoza. Neusklađenost međusobnog položaja zaštitne ograde i ivičnjaka značajno utiče na nivo bezbednosti saobraćaja. Cilj ovog rada je predlog primene različitih tipova ivičnjaka u poprečnom profilu, kao i njihov uticaj na bezbednost puta.

**Ključne reči:** granične ivičnjak, ograda, poprečni profil, bezbednost puta.

## APPLICATION OF CURBES ON RURAL AND URBAN ROAD NETWORK

**Summary:** Curb installation on roads and their position in cross section are insufficiently defined in existing legislation and regulations. Type of the curb on particular road sections is often randomly chosen, and the choice is dependent upon design solution. In this paper authors have presented the overview of existing design solutions for curbs laying on the Serbian road network. In practice, from the aspect of curb height in relation to pavement edge, there are different design solutions for displaying of curbs in cross-section. Misalignment in mutual positioning of protective fences and curbs significantly affects on traffic safety. The objective of this paper is to recommend the application of various curb types in cross-section, as well as their impact on road safety.

**Key words:** curbe, fence, cross section, road safety

---

<sup>1</sup> Filip Trpčevski: [ftpcevski@grf.bg.ac.rs](mailto:ftpcevski@grf.bg.ac.rs)

## 1. UVOD

Ivičnjak je konstruktivni elemenat koji ima svrhu da oiviči saobraćajne površine sa odgovarajućom kolovoznom konstrukcijom, razdvoji ih od površina druge namene i da stabilizuje, odn. onemogući urušavanje ivica kolovozne konstrukcije. Takođe, ivičnjaci se ugrađuju sa namenom površinskog odvodnjavanja kolovoza. Izbor tipa ivičnjaka prema različitim uslovima na saobraćajnicama i njihovoj nameni, nije definisan u zakonskoj regulativi. Kao posledica takvog stanja, projektovanje ovog elementa u okviru poprečnog profila puta, u potpunosti je prepušten nasleđenoj praksi iz prethodnog perioda i izboru projektantskog rešenja na osnovu iskustva.

Stiče se utisak da se izboru tipa ivičnjaka u pojedinim projektnim rešenjima pristupa u zavisnosti od ponude elemenata „betonske galanterije“ na tržištu. Postojeći propisi nisu u dovoljnoj meri definisali primenu određene visine ivičnjaka iznad kolovoza u datim uslovima. Takođe, nije definisan poprečni presek ivičnjaka, pa je u praksi zavladao potpuna „raznovrsnost“ pri izboru dimenzije ivičnjaka, njegovog oblika, kao i vrste materijala i boje. Dilema oko primene tzv. „zakošenog ivičnjaka“ je dovela do najrazličitijih rešenja, pri čemu za ovu vrstu ivičnjaka nije utvrđen kriterijum za primenu, pa je postao deo poprečnih profila i gradskih i vangradskih saobraćajnica. Takođe, ovaj tip ivičnjaka je veoma često prisutan na saobraćajnim površinama namenjenim pešacima, mada postoji određeni nivo opasnosti pri pešačkim komunikacijama.

Definisanje poprečnog profila na deonicama puta na kojima je potrebno primeniti sisteme za zadržavanje vozila iz bezbednosnih razloga, u projektantskim rešenjima i dalje može biti različit, jer u propisima nisu u potpunosti utvrđeni položaj i međusobni uticaj ivičnjaka i zaštitne ograde. Zbog toga se u tehničkoj dokumentaciji i na terenu pojavljuju različita rešenja za iste tipske slučajeve, što je posledica različitih stručnih procena projektanata. Razlog za postojanje različitih rešenja je između ostalog i nepostojanje odgovarajućeg pravilnika o projektovanju gradskih saobraćajnica. Više faktora utiče na izbor predloženog rešenja, pri čemu izbor tipa ivičnjaka, a zatim i izbor tipa zaštitne ograde, njihov položaj i međusobni uticaj, zavisi od ranga predmetne saobraćajnice, širine poprečnog profila, projektne brzine i saobraćajnog opterećenja.

## 2. OVIČENJA KOLOVOZA NA VANGRADSKIM PUTEVIMA

### 2.1 Analiza postojećeg stanja

U prethodnom periodu ivičnjak je, iako tipičan elemenat poprečnog profila gradskih saobraćajnica, našao mesto i primenu u izgradnji vangradskih puteva Republike Srbije. Naime, tzv. „zakošeni ivičnjaci“ 20/24cm, kao i ostali tipovi ivičnjaka različiti po preseku, dimenzijama i sastavu, prisutni su u poprečnom profilu puta u funkciji površinskog odvodnjavanja.

Jedan od problema na vangradskim deonicama su izvedena rešenja sa ivičnjacima visine 12cm iznad ivice kolovoza. Takva rešenja predstavljaju smetnju i potencijalnu opasnost zbog mogućnosti pojave nestabilnosti i prevrtanja, odn. tzv. „katapultiranja vozila“ preko ograde (**Slika 1**).



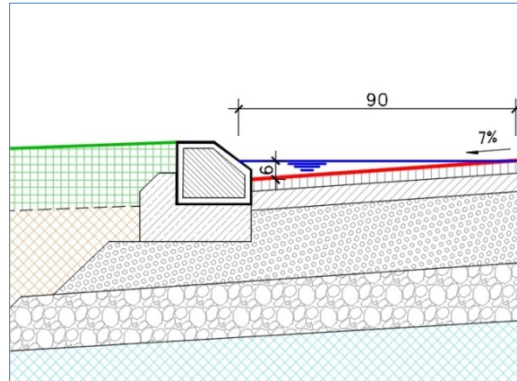
**Slika 1.** Most preko Tise sa ivičnjakom visine 12cm iznad ivice kolovoza

Takođe, ivičnjaci visine 12cm iznad ivice kolovoza, mogu na određenim deonicama puta i u posebnim eksploatacionim uslovima, da doprinesu zadržavanju vode na većoj širini vozne saobraćajne trake nego što je propisima dozvoljeno. Ova pojava se odražava na nivo opšte bezbednosti saobraćaja na takvim deonicama puta (**Slika 2**).

Pod navedenim uslovima na otvorenoj putnoj deonici, postavlja se pitanje svrshodnosti ugradnje ivičnjaka visine  $h > 7\text{cm}$  iznad ivice kolovoza. Pri maksimalnom poprečnom nagibu od 7%, dozvoljeno je da



zadržavanje vode na kolovozu može da bude najviše do 1/3 širine saobraćajne trake. Širina zauzeća direktno zavisi od visine ivičnjaka. Pri sprovođenju hidrotehničkih proračuna za potrebe odvodnjavanja kolovoza, visina zadržane vode uz ivičnjak ne sme da bude iznad 6cm. Na Slici 2. vidimo da pri nagibu kolovoza od 7%, i pri visini vodenog filma uz ivičnjak od 6cm, zauzeće na kolovozu iznosi 0,9m. Pri nagibu kolovoza od 2.5% zauzeće na kolovozu je oko 2,5m. Zbog toga se i nameće zaključak da primena ivičnjaka visine preko 7cm iznad ivice kolovoza često nema opravdanja sa stanovišta odvodnjavanja, a istovremeno predstavlja dodatni problem sa aspekta uticaja izvedenih rešenja na bezbednost saobraćaja.



**Slika 2.** Vodeni film koji se javlja na kolovozu

Može se konstatovati da je poslednjih godina ostvaren primetan napredak u primeni rešenja ovičenja kolovoza na mostovima. U propisima je jasno definisano kada se i pod kojim uslovima koriste ivičnjaci visine manje od 7cm ili iznad navedene visine, što je u direktnoj korelaciji sa brzinom vozila na toj deonici puta (**Slika 3**).



**Slika 3.** Primer dobro urađene rekonstrukcije (pre i posle radova)

Osnovni uslov koji mora biti ispunjen kako bi put bio bezbedan za vožnju jeste da vozilo prilikom udara u zaštitnu ogradu ne sme probiti, preskočiti, prevrnuti se, ili se podvući pod ogradu. Veliki doprinos u tome ima visina ivičnjaka i njegov položaj u poprečnom profilu puta. U prilog tome svedoči velika zastupljenost u literaturi, kao i u propisima Švajcarske, Nemačke, Slovenije i drugih država [1], [2].



**Slika 4, 5.** Primer iz Švajcarske i Slovenije

Na primeru iz Švajcarske vidimo rešenje sa zaštitnom ogradom na mostu gde je primenjen ivičnjak visine 7cm iznad ivice kolovoza, a štitnik zaštitne ograde se nalazi na 0,5m od ivice saobraćajnog profila (**Slika 4**) [3], [4]. Na primeru iz Slovenije vidimo da je primenjen ivičnjak visine 12cm, ali se štitnik zaštitne ograde nalazi iznad ivičnjaka (**Slika 5**) [5].

## 2.2 Položaj i uzajamni odnos zaštitne ograde i ivičnjaka

Izrada projektne dokumentacije predstavlja najvažniju fazu u procesu izbora sistema za zadržavanje vozila. Prilikom usvajanja normalnog poprečnog profila na mostu na vangradskoj deonici, neophodno je predvideti odgovarajuću zaštitnu ogradu. Samo na putevima gde je brzina manja od 50km/h, može se primeniti rešenje sa visokim ivičnjacima (15-20cm) bez zaštitne ograde. Pri koncipiranju rešenja mora postojati saradnja između građevinskog i saobraćajnog inženjera kako bi projektno rešenje bilo kompatibilno. Položaj zaštitne ograde u poprečnom profilu direktno zavisi od projektovanog rešenja ivičnjaka.

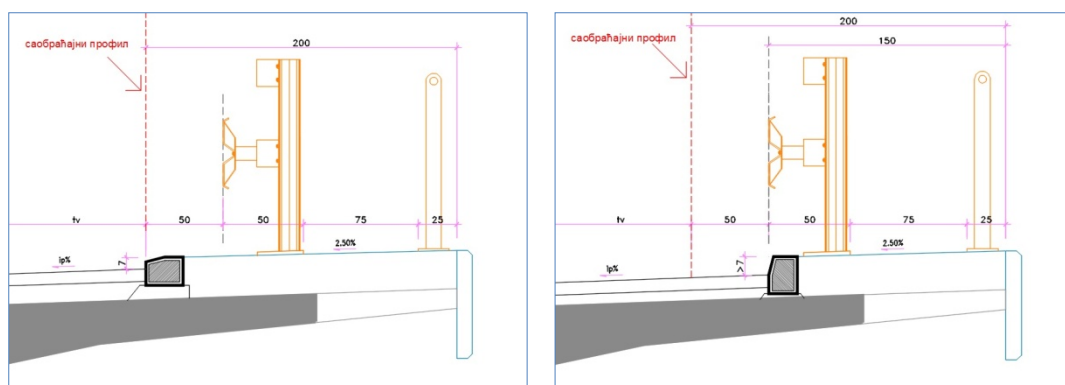
U uslovima kada je potrebno ugraditi elemente zaštitne ograde na slobodnoj deonici, opšti slučaj podrazumeva poprečni profil sa bankinom uz kolovoz. Štitnik ograde udaljen je od ivice kolovoza 0,50m. Ako se na deonici puta ugradi ivičnjak visine  $h > 7\text{cm}$  iznad ivice kolovoza, uz zadržavanje zaštitne ograde na bankini pod prethodno navedenim uslovima, to znači da postoji nekritički pristup pri projektovanju i izgradnji puteva, jer ovakav međusobni položaj ivičnjaka i zaštitne ograde utiče na promenu uslova pod kojima se prenosi energija vozila pri udaru u zaštitnu ogradu, što zavisi od naletne brzine vozila pri prelasku preko ivičnjaka. Pri velikim brzinama koje važe na vangradskim deonicama (preko 50km/h), mogući su efekti "katapultiranja vozila", što direktno utiče na mogućnosti ispravnog načina delovanja zaštitne ograde.

Opšti princip međusobnih uticaja zaštitne ograde i ivičnjaka podrazumeva da je štitnik zaštitne ograde u novoprojektovanom stanju uvek udaljen 0,50m od linije saobraćajnog profila.

## 2.3 Predlog rešenja u Srbiji

Kako bi se ostvarila celishodna i racionalna sistematizacija svih tipova ivičnjaka, potrebno je detaljno analizirati sve karakteristične poprečne profile, za sve planirane i predvidive slučajeve. Pri tome je potrebno uzeti u obzir sve karakteristike saobraćajnih površina koje ivičnjak razdvaja u datom slučaju, kolovoznu konstrukciju, namenu saobraćajnih površina i brzinu merodavnih vozila.

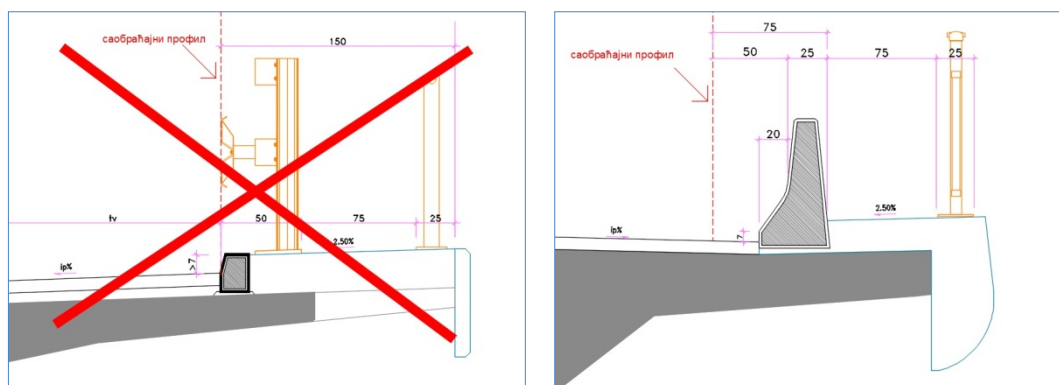
Visina ivičnjaka iznad ivice kolovoza zavisi od eksploatacionih karakteristika saobraćaja. U skladu sa tim, dati su primeri oivičenja kolovoza na mostovima u slučajevima prisustva sistema za zadržavanje vozila (**Slika 6** i **Slika 7**).



**Slika 6, 7. Oivičenje na mostovima [6]**

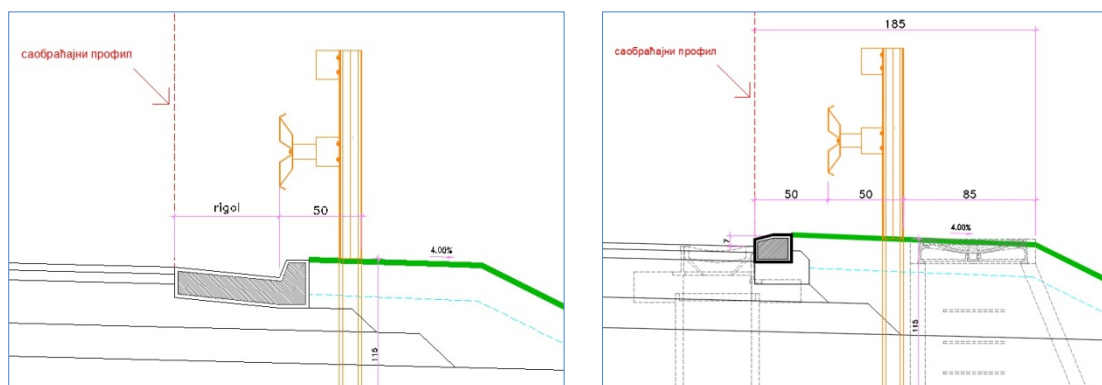
Posebno se naglašava da je preporuka upotreba ivičnjaka visine 7cm iznad kolovoza i zaštitne ograde koja se nalazi na 0,5m od ivice saobraćajnog profila. Ukoliko postoji potreba za upotrebom ivičnjaka koji su viši od 7cm štitnik ograde mora biti projektovan iznad ivičnjaka, ali uz zadržavanje uslova da je minimalno rastojanje ograde od saobraćajnog profila 0,5m [7,8]. Čest je slučaj da se zbog neusaglašenosti projektog rešenja mosta, odnosno širine servisne staze i primenjene zaštitne ograde, u projektima usvaja iznuđeno rešenje koje je prikazano na Slici 8 [9]. U ovakvom rešenju je zanemarena potreba minimalnog rastojanja od štitnika zaštitne ograde do ivice saobraćajnog profila. To je protivno svim pravilima struke, kao i vazećem pravilniku

za projektovanje vangradskih puteva [10]. Ako već postoji potreba za upotrebom ivičnjaka visine preko 7cm, jedno od rešenja može biti i primena rigola u poprečnom profilu.



**Slika 8, 9.** Ovičenje na mostovima, primer sa zaštitnom ogradom „New Jersey”

Jedan od načina da se napravi smanjenje širine koja je potrebna za zaštitnu ogradu, jeste primena betonske ograde tipa „New Jersey”. Širina koju ovaj tip ograde zahteva je 0,75m, za razliku od zaštitne čelične ograde koja zahteva širinu od 1m (**Slika 9**).



**Slika 10, 11.** Slobodna deonica autoputa

Na Slici 11. dat je primer ugradnje ivičnjaka pored bankine. Akcenat je na prikazanom slučaju sa šahtom u sklopu bankine. Vidi se da je potrebna širina bankine min 1,85m. Preporuka je da se na mostovskim deonicama vangradskog puta koristi ivičnjak visine 7cm. To je pravilo koje bi trebalo da važi na celoj vangradskoj putnoj mreži, uključujući i tunnelske deonice. Na slobodnoj deonici autoputa trebalo bi koristiti rigol u poprečnom profilu puta (**Slika 11**), ili ako iz nekog razloga postoji potreba za upotrebom ivičnjaka njegova visina bi trebalo da iznosi 7cm (**Slika 10**).

Takođe se posebno naglašava potreba definisanja svih slučajeva kada visina ivičnjaka iznad ivice kolovoza iznosi 6cm, a to su ovičenja prelaznih konstrukcija i razdelnih saobraćajnih površina koje razdvajaju suprotne smerove vožnje.

### 3. OVIČENJA KOLOVOZA I DRUGIH SAOBRAĆAJNIH POVRŠINA U NASELJU

#### 3.1 Analiza postojećeg stanja

Kako primena određenog tipa ivičnjaka na saobraćajnicama u naselju nije precizno definisana u tehničkoj regulativi, izbor je često slučajan u odnosu na tumačenje projektanta na konkretnoj lokaciji, a najčešće se rešenje preuzima na osnovu pozitivne prethodne prakse. To istovremeno može da podrazumeva i izbor prema stanju na tržištu i stavu investitora. Ovaj problem je najviše izražen u gradovima, gde možemo naći najraznovrsnija rešenja koja odstupaju od uobičajne prakse u drugim državama.

Posebno značajna činjenica je nekontrolisana primena tzv. „zakošenog ivičnjaka” (tip ivičnjaka koji je precrtan na Slici 22), koji u nekim situacijama predstavlja čak i faktor opasnosti. Ugradnjom ovog tipa ivičnjaka se naglašeno doprinosi korišćenju trotoara od strane motornih vozila, zbog čega se u potpunosti dovodi u pitanje opravdanost primene ovog tipa ivičnjaka. Takođe, zakošena strana ovog tipa ivičnjaka predstavlja izrazito veliki stepen opasnosti za pešačku komunikaciju pod određenim uslovima, pre svega u vlažnim uslovima i uslovima snežnih padavina (Slika 12 i 13).



**Slika 12, 13.** Primeri sa „zakošenim ivičnjakom”

Pomenuti problemi često utiču na formiranje neadekvatnih projektantskih rešenja. Na Slici 14. prikazano je rešenje sa udvojenim ivičnjakom koji nesumnjivo predstavlja bočnu smetnju i utiče na bezbednost saobraćaja. Dobar primer da ni rešenje sa visokim ivičnjakom od 20cm neće zaustaviti bahate vozače, prikazan je na Slici 15. gde su ugrađeni zaštitni stubići. Nesumnjivo je potrebno problem nepropisnog parkiranja rešavati kroz kaznenu politiku, ali projektant treba da bira takvo rešenje koje neće ni da pospešuje nepropisno parkiranje, ali ni da predstavlja opasnost na putu.



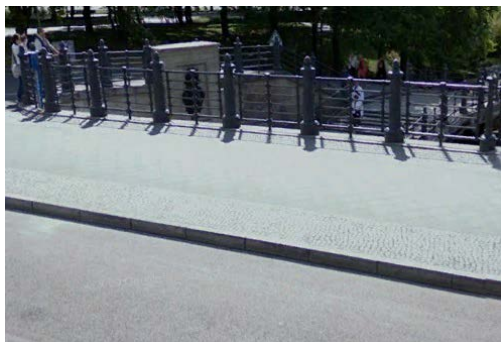
**Slika 14, 15.** Primeri sa ivičnjacima višim od 15cm

Pravila koja važe za odnos između ivičnjaka i zaštitne ograde na vangradskim deonicama, važe i u gradu. Primer prikazan na Slici 16. je neadekvatno primenjena zaštitna ograda, kao i visina ivičnjaka. Na slici 17. vidimo dobar primer neusaglašenosti sveukupnog projektog rešenja. Širina razdelnog ostrva koju je projektovao građevinski inženjer, vrsta zaštitne ograde koju je predvideo saobraćajni inženjer, kao i vrsta ulične rasvete koju je projektovao elektro inženjer nisu međusobno usaglašeni. U okviru razdelnog ostrva je ugrađen ivičnjak visine 12cm, koji dodatno utiče na smanjenje nivoa bezbednosti saobraćaja.



**Slika 16, 17.** Plavi most u Beogradu, i saobraćajnica Zemun - Borča

U mnogim državama navedeni primeri ilustruju probleme kojima se pridodaje velika pažnja. Učeći se na sopstvenim greškama i usvajajući pozitivna iskustva drugih, mogu se realizovati mnogo kvalitetnija projektanska rešenja, uz povećanje bezbednosti na putevima. Neka iskustva iz drugih država su prikazana na sledećim slikama.



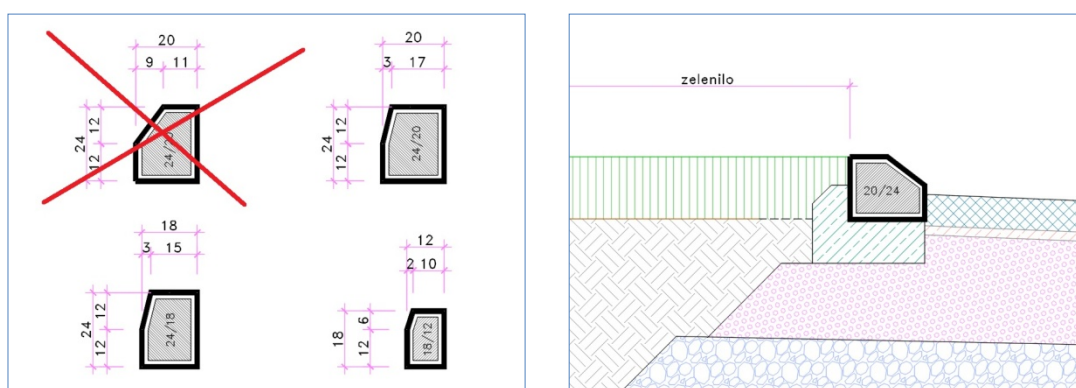
Slika 18, 19. Primeri ovičenja na mostovima u gradu sa visokim ivičnjakom – 15cm (Nemačka)



Slika 20, 21. Primeri ovičenja uz zelene površine sa upuštenim ivičnjakom – 6cm (Švajcarska)

### 3.2 Tip ivičnjaka na gradskim saobraćajnicama

Kao što je već pomenuto, značaj primene različitih oblika ivičnjaka dolazi do izražaja na gradskim saobraćajnicama. U primeni bi trebalo težiti izbacivanju „zakošenog ivičnjaka“, odn. težiti sistematičnoj upotrebi odgovarajućih tipova ivičnjaka u zavisnosti od konkretnog položaja u poprečnom profilu.

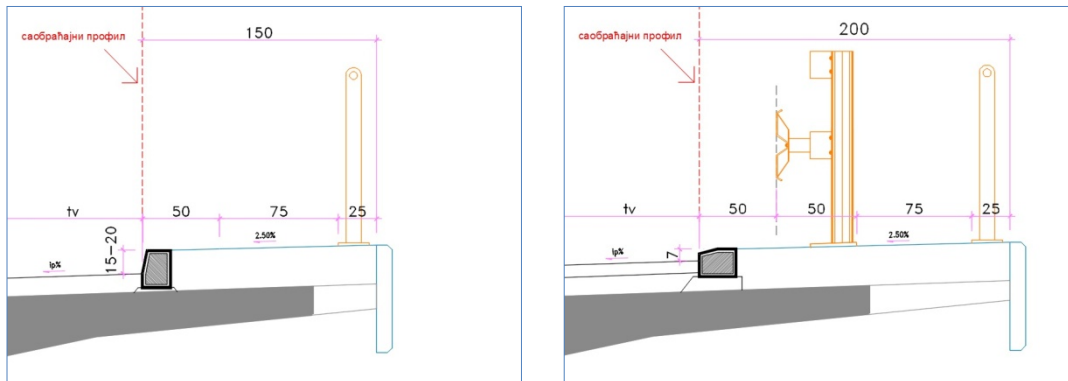


Slika 22, 23. Tipovi ivičnjaka koje bi trebalo upotrebljavati na gradskim saobraćajnicama [11]

Kod primarnih gradskih saobraćajnica gde se trotoar nalazi uz kolovoz treba primeniti ivičnjak tipa 24/20, a kod sabirnih ulica ivičnjak tipa 24/18. Takođe, kod parkinga treba primenjivati ivičnjak tipa 24/18. Visina ivičnjaka i kod poprečnog, i kod podužnog parkiranja treba da bude 12cm na kontaktu parkinga i trotoara [12]. Ta visina obezbeđuje da neće doći do oštećenja branika, ali neće ni omogućiti parkiranje na trotoaru. Jedini primer racionalne upotrebe „zakošenog ivičnjaka“ može se zadržati na mestima gde postoji zelena površina uz kolovoz (Slika 23).

### 3.3 Predlog rešenja u Srbiji

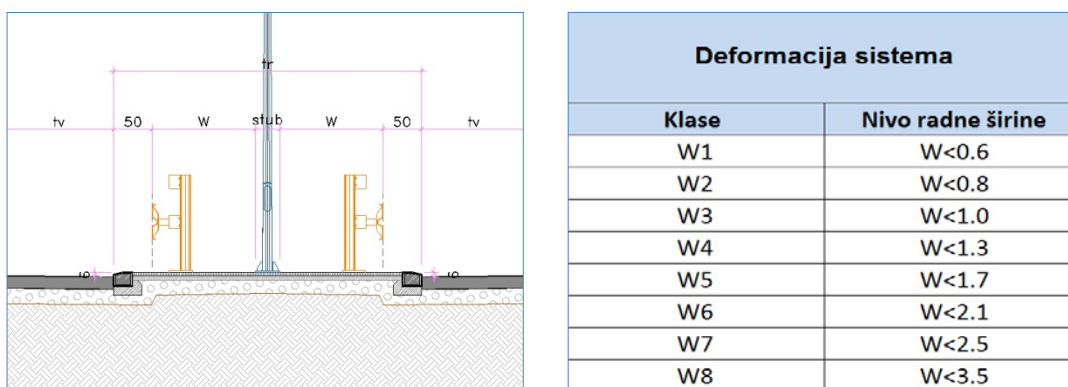
U zavisnosti od saobraćajnih površina koje ivičnjak razdvaja, kolovozne konstrukcije, namene saobraćajnih površina i brzina merodavnih vozila treba izabrati najbolje rešenje u poprečnom profilu gradske saobraćajnice.



Slika 24, 25. Oivičenje na mostovima

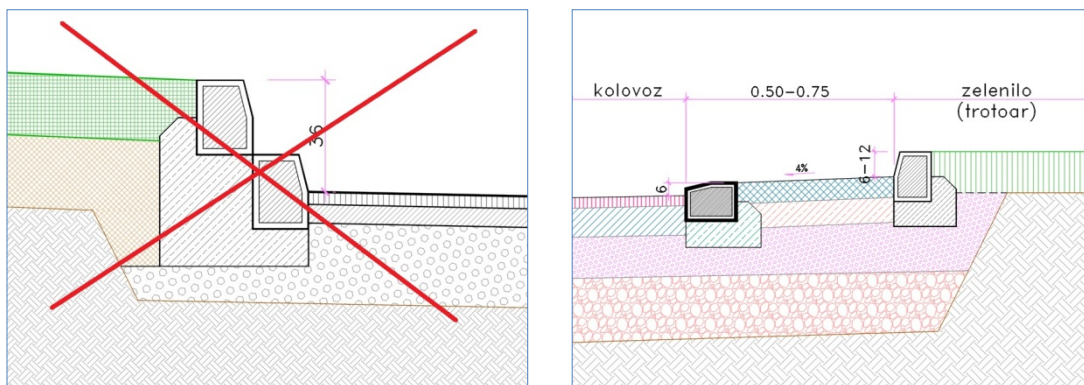
U gradu je najbolje primenjivati rešenje sa visokim ivičnjakom (15 - 20cm) na mostovima (Slika 24). Za brzine manje od 50km/h to je najbolje rešenje koje ne zahteva upotrebu zaštitne ograde. Treba voditi računa da kada se radi o pešačkom mostu sa visokim ivičnjakom treba predvideti najmanje širinu staze od 2,25m. (dva modula za pešake od 0,75m, širina potrebna za smeštanje gelender ograde od 0,25m, i zaštitno odstojanje od kolovoza u širini od 0,5m. Pri formiranju rešenja veliki problemi nastaju ako se u poprečnom profilu staze nalazi i stub javnog osvetljenja. U tom slučaju širina staze ne bi trebalo da bude manja od 3m.

Ukoliko je reč o gradskoj magistrali ili gradskom autoputu, treba primeniti rešenje kao na vangradskim deonicama sa ivičnjakom od 7cm i zaštitnom ogradom na mostu (Slika 25). Ako je reč o poprečnom profilu mosta sa zaštitnom ogradom, a još dodatno iza ograde treba smestiti stub javnog osvetljenja, treba posebno voditi računa o radnoj širini zaštitne ograde (Slika 27) [13]. Radna širina ograde predstavlja veličinu deformacije sistema, i ona mora biti oslobođena svih fizičkih prepreka. Pri dimenzionisanju širine staze na mostu moraju se uzeti u obzir svi ovi uslovi. Ovaj problem je u gradu još izraženiji kod razdelnog ostrva gradskog autoputa ili gradske magistrale. Pri dimenzionisanju širine razdelne trake isto treba voditi računa o radnoj širini ograde, s čime su građevinski inženjeri nedovoljno upoznati, i treba primeniti visinu ivičnjaka od 6cm (Slika 26).



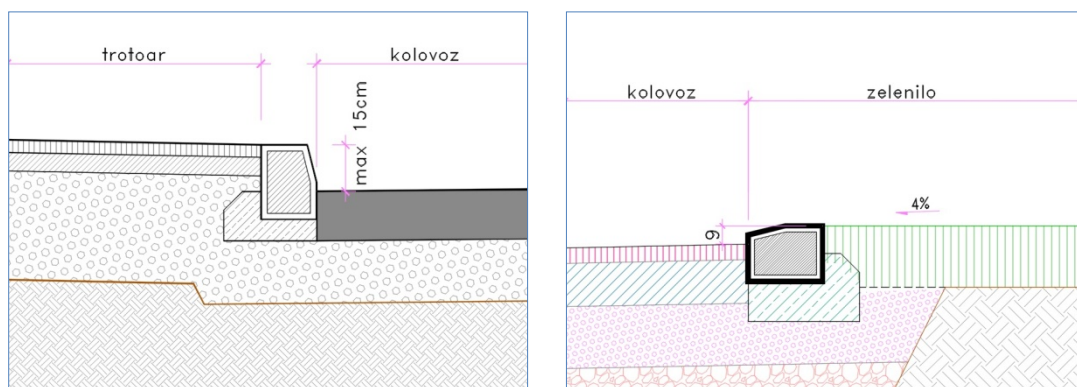
Slika 26, 27. Razdelno ostrvo, radna širina zaštitne ograde

Udvojeni ivičnjak (Slika 28), koji je postao u poslednje vreme zastupljen na gradskim saobraćajnicama, predstavlja bočnu smetnju. Prilikom zaustavljanja vozila uz taj ivičnjak nije moguće otvoriti vrata. U slučaju saobraćajne nezgode ili neke havarije na vozilu to može predstavljati veliku opasnost. Ukoliko je denivelacija terena takva da je potrebno primeniti veći ivičnjak od 15 cm, najbolje rešenje predstavlja prelazni kolovoz širine od 0,5 do 0,75m (Slika 29).



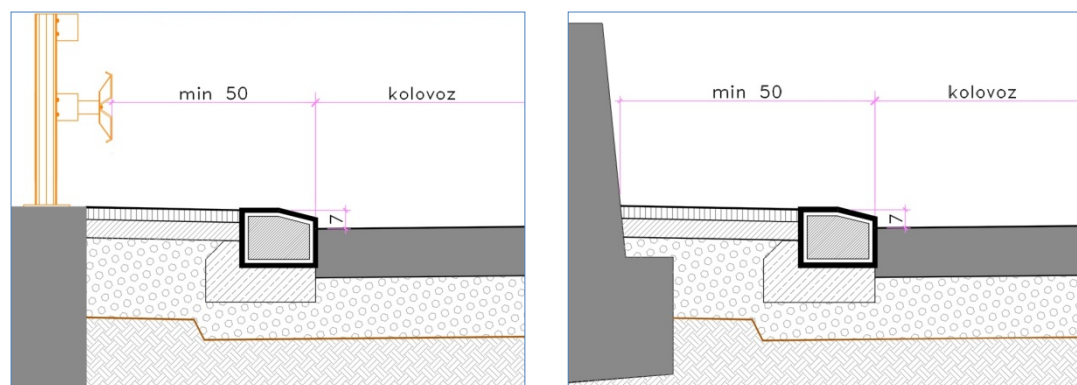
**Slika 28, 29.** Udvojeni ivičnjak, prelazni kolovoz

Osim na mostovima gde je dozvoljena upotreba visokog ivičnjaka (do 20cm), na svim ostalim mestima u gradu, umesto zaštitne ograde treba projektovati ivičnjak do 15cm (**Slika 30**). Ukoliko se trotoar nalazi uz kolovoz, visina ivičnjaka treba da bude od 12 do 15cm. Svaki viši ivičnjak od 15cm predstavlja bočnu smetnju i ne treba ga primenjivati [14]. Na kontaktu kolovoza i zelene površine treba primenjivati upušteni ivičnjak visine 6cm (**Slika 31**). Ako je razdelno ostrvo veće širine od 3m treba primeniti ivičnjak visine 6cm, ako je ta širina manja treba primeniti ivičnjak visine 12 cm [15,16].



**Slika 30, 31.** Detalji ovičenja na kontaktu kolovoza i trotoara, kao i zelene površine

Čest slučaj u gradu, zbog nedostatka prostora, je poprečni profil sa potpornim zidom. Tu se preporučuje upotreba ivičnjaka visine 7cm, uz poštovanje minimalne udaljenosti od saobraćajnog profila (0,5m) (**Slika 32 i 33**).



**Slika 32, 33.** Detalji ovičenja u zoni potpornog zida

#### 4. ZAKLJUČAK

Primena ivičnjaka na vangradskoj i gradskoj putnoj mreži mora dobiti regulativne okvire. Sve dok se ne definišu jasne zakonske odredbe o izboru tipa ivičnjaka, projektna rešenja će se formirati na osnovu subjektivnog projektantskog stava. To ne znači da se može unapred odrediti „najbolje rešenje“ za sve tipske slučajeve, ali se svakako može pristupiti grupisanju određenih tipova ivičnjaka za različite slučajeve, uzimajući u obzir namenu saobraćajnih površina, vrstu kolovoznog zastora, zastupljenost učesnika u saobraćaju i njihovu podelu na motorizovane i nemotorizovane učesnike.

Pri definisanju poprečnog profila na otvorenim deonicama puteva, izbor tipa ivičnjaka mora biti sproveden u zavisnosti od njegove namene. U slučajevima kada je izbor ivičnjaka deo rešenja odvodnjavanja kolovoza, tada je potrebno dimenzije ivičnjaka prilagoditi elementima iz proračuna. U praksi je često nekritički primenljiv poprečni profil sa gradskih saobraćajnica sličnih elemenata.

U uslovima kada se predviđa ugradnja sistema za zadržavanje vozila na putevima, poprečni profil treba dimenzionisati tako da širina bankine predviđi konstruktivnu širinu zaštitne ograde. Eventualna ugradnja ivičnjaka u takvom poprečnom profilu, ne može se sprovesti jednostavnim dodavanjem ivičnjaka na prethodno definisan poprečni profil, već takvo rešenje mora uzeti u obzir sve međusobne uticaje ivičnjaka i zaštitne ograde, jer njihovo uzajamno dejstvo ima direktan uticaj na ostvareni nivo bezbednosti saobraćaja. U tom smislu, izbor tipa ivičnjaka za date uslove, ima odlučujući uticaj na kvalitet projektovanog rešenja.

Na vangradskim deonicama na mostu preporučuje se upotreba ivičnjaka visine 7cm iznad kolovoza, i zaštitne ograde koja se nalazi na 0,5m od ivice saobraćajnog profila. Takođe, u tunelskoj deonici treba primeniti ivičnjak visine 7cm. Na slobodnim deonicama preporučuje se upotreba rigola u poprečnom profilu puta. Ako je potrebna upotreba zaštitne ograde njen štitnik se nalazi iznad ivičnjaka u sklopu rigola. Ako se koristi ivičnjak umesto rigola mora se poštovati minimalna udaljenost od saobraćajnog profila koja iznosi 0,5m. Takođe, ako se koristi ivičnjak u razdelnoj traci autoputa širina ivične trake mora biti minimalno 1,0m, zbog pojave vodenog filma na kolovozu.

Na gradskim saobraćajnicama je potrebno primeniti rešenja koja ne obuhvataju primenu „zakošenih ivičnjaka“, osim na mestima gde se odvajaju saobraćajne površine od zelenih površina. Ugradnja ove vrste ivičnjaka u dugogodišnjoj praksi, doprinela je nenamenskom korišćenju pešačkih površina od strane motornih vozila, mada je u zakonskoj regulativi precizno definisana namena korišćenja površina za kretanje pešaka.

Na mostovima u gradu treba primenjivati visoki ivičnjak (15-20cm), bez zaštitne ograde. Ako je iz razloga dodatne bezbednosti potrebno postavljanje zaštitne ograde, važe sva pravila kao i na vangradskoj deonici. Ako je reč o poprečnom profilu mosta sa zaštitnom ogradom, a još dodatno iza ograde treba smestiti stub javnog osvetljenja i pešačku stazu, treba posebno voditi računa o radnoj širini zaštitne ograde. Ivičnjak van mosta u gradu koji je viši od 15cm predstavlja bočnu smetnju i ne treba ga primenjivati. Ako je zbog denivelacije terena potreban ivičnjak viši od 15cm, treba projektovati prelazni kolovoz. Na kontaktu kolovoza i zelene površine treba primenjivati upušteni ivičnjak visine 6cm. Ako je razdelno ostrvo širine veće od 3m treba primeniti ivičnjak visine 6cm, a ako je navedena širina manja treba primeniti ivičnjak visine 12 cm.

Zbog svega navedenog, donošenje pravilnika ili odgovarajućeg tehničkog uputstva u kojima bi se regulisala ova problematika, predstavlja prioritetan zadatak.

#### Literatura

- [1] FGSV (2006). *RASt-Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen*. [FGSV-Nr. 200]. (Nemački standard). Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen, Köln, Deutschland. 136p. (on-line) available at: [http://www.fgsv-verlag.de/catalog/index.php?cPath=21\\_40&sort=1a&page=1](http://www.fgsv-verlag.de/catalog/index.php?cPath=21_40&sort=1a&page=1) (22.03.2016)
- [2] FGSV (2012). *RAL-Richtlinien für die Anlage von Landstraßen*. [FGSV-Nr. 201]. (Nemački standard). Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen, Köln, Deutschland. 136p. (on-line) available at: [http://www.fgsv-verlag.de/catalog/index.php?cPath=21\\_40&sort=1a&page=1](http://www.fgsv-verlag.de/catalog/index.php?cPath=21_40&sort=1a&page=1) (22.03.2016)
- [3] SN-640212. (2013). *Entwurf des Strassenraums-Gestaltungselemente, Teil D-Querschnitt*. (Švajcarski standard) VSS-Schweizerischer Verband der Strassen-und Verkehrsfachleute. Zürich, die Schweiz. 37s. (on-line) available at: [http://www.vss.ch/de/topnavigation/search/?tx\\_solr\[filter\]\[0\]=facet\\_172\\_string\\_M%3AAktiv](http://www.vss.ch/de/topnavigation/search/?tx_solr[filter][0]=facet_172_string_M%3AAktiv) (20.03.2016)



- [4] SN-640567-6-D. (2014). *Rückhaltesysteme an Strassen-Teil 6: Fussgängerrückhaltesysteme - Brückengeländer*. (Švajcarski standard) VSS-Schweizerischer Verband der Strassen-und Verkehrsfachleute. Zürich, die Schweiz. 52s. (on-line) available at: [http://www.vss.ch/de/topnavigation/search/?tx\\_solrfilter\[0\]=facet\\_172\\_stringM%3AAktiv](http://www.vss.ch/de/topnavigation/search/?tx_solrfilter[0]=facet_172_stringM%3AAktiv) (20.03.2016)
- [5] SODOC. (1997) *Smernice, oprema in detajli za objekte na cestah. (Tehničke specifikacije za javne ceste)*. Poglavlje 3 - Ivični venci, ivičnjaci i staze za objekte na putevima, Poglavlje 4 - ograde na putnim objektima. Ministarstvo saobraćaja i veza, Ljubljana, Republika Slovenija.
- [6] JP "Putevi Srbije". (2013). *Tehničko uputstvo BS-04. Primena sistema za zadržavanje vozila na državnim putevima Republike Srbije*.
- [7] Rakočević, V. (2006). *Zaštitna čelična ograda i ivičnjak u poprečnom profilu saobraćajnice. Savetovanje o tehnikama regulisanja saobraćaja, Sombor*.
- [8] Aćimović, M., Rakočević, V. (2007). *Projektovanje zaštitne čelične ograde u tehničkoj dokumentaciji*. Naučno-stručni skup: "Bezbednost saobraćaja u planiranju i projektovanju puteva", Palić, Subotica.
- [9] Rakočević, V., Đoković, T. (2010). *Smernice najbolje prakse u projektovanju autoputeva. Međunarodno savetovanje o tehnikama regulisanja saobraćaja, Subotica*.
- [10] JP "Putevi Srbije". (2011). *Pravilnik o uslovima koje sa aspekta bezbednosti saobraćaja moraju da ispunjavaju putni objekti i drugi elementi javnog puta*. Službeni glasnik Republike Srbije br. 50/2011, Beograd, Srbija.
- [11] Maletin, M. (2009). *Gradske saobraćajnice*. Orion art, Beograd, Srbija. str. 333-344.
- [12] SN-640481A. (2008). *Abschlüsse für Verkehrsflächen; Qualität, Form und Ausführung*. (Švajcarski standard) VSS-Schweizerischer Verband der Strassen-und Verkehrsfachleute. Zürich, die Schweiz. 16s. (on-line) available at: [http://www.vss.ch/topnavigation/search/?tx\\_solrfilter\[0\]=facet\\_172\\_stringM%3AAktiv](http://www.vss.ch/topnavigation/search/?tx_solrfilter[0]=facet_172_stringM%3AAktiv) (25.03.2016)
- [13] SRPS EN 1317. *Sistemi za zadržavanje vozila na putevima*.
- [14] Maletin, M., Anđus, V., Katanić, J. (2010). *Tehnička uputstva za projektovanje deonice primarne gradske putne mreže (PGS-PM/07)*. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Institut za saobraćajnice i geotehniku, Beograd., Srbija.
- [15] Maletin, M., Anđus, V., Katanić, J. (2010). *Tehnička uputstva za projektovanje lokalne gradske putne mreže (PGS-LM/08)*. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Institut za saobraćajnice i geotehniku, Beograd, Srbija.
- [16] Spacek, P. (2008). *Entwurf von Strassen - Grundzüge*. Teil II: Strassenquerschnitt. Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme-IVT, Eidgenössische Technische Hochschule-ETH, Zürich, die Schweiz.

# EKONOMSKA PROCJENA PUTNIH PROJEKATA

**Prof. dr Jasmina Četković<sup>1</sup>, Prof. dr Miloš Knežević<sup>2</sup>, Prof. dr Slobodan Lakić<sup>3</sup>,  
Mr Miloš Žarković<sup>4</sup>, Jelena Vuksanović<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Ekonomski fakultet Podgorica, Univerzitet Crne Gore, Montenegro, [jasmina@ac.me](mailto:jasmina@ac.me)

<sup>2</sup>Građevinski fakultet Podgorica, Univerzitet Crne Gore, Montenegro, [knezevicmilos@hotmail.com](mailto:knezevicmilos@hotmail.com)

<sup>3</sup>Ekonomski fakultet Podgorica, Univerzitet Crne Gore, Montenegro, [sasalakic@mail.com](mailto:sasalakic@mail.com)

<sup>4</sup>Erste Banka AD Podgorica, Montenegro, [milos.zarkovic87@gmail.com](mailto:milos.zarkovic87@gmail.com)

<sup>5</sup>Ekonomski institut, a.d. Beograd, Kralja Milana 16, Serbia, [jelena.vuksanovic@ecinst.org.rs](mailto:jelena.vuksanovic@ecinst.org.rs)

**Rezime:** Osnovni cilj procjene investiranja u puteve je odabir projekata sa visokim ekonomskim dobitima. Predmet procjene investiranja u puteve nije odluka da li da se ulaže u puteve ili u razvoj neke druge infrastrukture, već da se odredi kolike treba da budu investicije i koji ekonomski prihodi (dobiti) mogu da se očekuju.

**Ključne riječi:** putni projekti, procjena projekata, metode ekonomske procjene, ekonomske analize

## 1. METODOLOGIJA EKONOMSKE OCENE PUTNIH PROJEKATA

Proces razvoja drumskog saobraćaja koji se ostvaruje kroz investicionu aktivnost, uglavnom ima karakter modernizacije ili izgradnje, sa naglaskom na rekonstrukciji i kompletiranju postojećih objekata saobraćajne infrastrukture, a da osnovna karakteristika ovakvih zahvata jeste da se u tom procesu koriste i postojeći i dodatni činioци proizvodnje saobraćajnih usluga, pa su postignuti efekti nakon modernizacije rezultat i jednih i drugih činilaca. Zbog toga je potrebno izdvojeno identifikovati i meriti efekte dodatnih investicija, jer se jedino tako može sprovesti analiza i ocena prihvatljivosti projekta.

Efekti dodatnih investicionih ulaganja u procesu rekonstrukcije i izgradnje drumske infrastrukture se mogu izolovati tako što se analiza usmerava ka paralelnom posmatranju (1) stanja BEZ PROJEKTA i (2) stanja SA PROJEKTOM. Stanje BEZ PROJEKTA je očekivana evolucija rezultata (efekata, učinaka) samo postojećih činilaca proizvodnje saobraćajnih usluga, odnosno postojeće infrastrukture, bez dodatnih ulaganja investicionog karaktera, a stanje SA PROJEKTOM je očekivana evolucija rezultata postojećih i dodatnih činilaca proizvodnje saobraćajnih usluga nakon investicionog zahvata, odnosno realizacije investicionog projekta. Razlika između ova dva stanja je rezultat dodatnih investicija.

Operativni postupak koji se primenjuje u postupku analize i ocene opravdanosti investicionih ulaganja u projekte izgradnje i modernizacije drumske infrastrukture sastoji se od (1) analize pod pretpostavkom da investicionih ulaganja u projekat koji je predmet ocene neće biti (analiza stanja BEZ PROJEKTA), (2) analize pod pretpostavkom da će se potrebna investiciona ulaganja u predmetni projekat realizovati (analiza stanja SA PROJEKTOM) i (3) ocene doprinosa investicionih ulaganja (razlika između stanja SA i BEZ PROJEKTA).

## 2. OSNOVNE TROŠKOVNE KOMPONENTE

Ekonomska ocjena modela investiranja u puteve je zasnovana na cjelokupnoj procjeni: tokova troškova izgradnje puta, troškova održavanja puta i troškova korisnika puta. Tok troškova obično započinje u posmatranoj polaznoj godini koja može biti prva godina izgradnje, prva godina puštanja u saobraćaj ili jednostavno tekuća kalendarska godina. Broj godina za koje se računaju troškovi zavisi od posmatranog perioda analiziranja.

### 2.1. Troškovi izgradnje puta

Troškovi izgradnje novog puta se sastoje od sume troškova pripreme, zemljanih radova, kolovozne konstrukcije, izgradnje mostova, drenaže i nadvožnjaka. U pripremu spada uklanjanje vegetacije sa

trase, uklanjanja i odbacivanja gornjeg sloja zemljišta. Troškovi zemljanih radova zavise od reljefa terena i geometrijskih veličina puta i sadrže troškove iskopavanja, prevoza materijala i ravnjanja. Troškovi kolovozne konstrukcije zavise od broja, debljine i tipa slojeva kolovozne konstrukcije, a sadrže i troškove izgradnje bankina i ivičnjaka.

Troškovi izgradnje mostova i odgovarajućih drenažnih sistema mogu da imaju veliki udio u troškovima izgradnje puta. Izgradnja puta se obično sastoji i od postavljanja privremenih kampova i transporta opreme, materijala i ljudstva do gradilišta. Troškovi ovih aktivnosti zajedno sa zaradama izvođača radova i konsultantskim honorarima su obično grupisani u ostale troškove, koji se mogu predstaviti kao fiksni troškovi po kilometru ili kao procenat od ukupnih troškova izgradnje. Na kraju analiziranog perioda može da se odredi stepen iskorišćenja, koji pokazuje procenat ukupnih troškova utrošenih na trajnu strukturu kao što su nasipi, useci, mostovi i drenaže.

## 2.2. Troškovi održavanja puteva

Na osnovu programa održavanja, predviđene su dve vrste održavanja. Jedno, koje bi mogli nazvati *rutinskim* i koje obuhvata redovni obilazak, praćenje stanja puta (kolovoza, znakova, opreme, objekata,...) i otklanjanje eventualnih nedostataka. Ovako definisano održavanje, koje je u okviru programa sastoji se od:

- Krpljenja rupa;
- Zalivanja pukotina;
- Radova na putu (ne podrazumeva radove na kolovozu).

Druga vrsta održavanja je periodično i vrši se kada stanje puta postane nezadovoljavajuće prema postavljenim kriterijumima. U konkretnom slučaju Projekta X, koji će biti prezentiran na kraju, postoji samo jedan kriterijum i to je neravnost kolovoza. Kada neravnost pređe granicu od 7 IRI-ja obavlja se presvlačenje kolovoza (na celoj deonici) novim slojem asfalta debljine 40 mm, uz prethodnu popravku kolovoza i ostalih elemenata puta.

## 2.3. Troškovi korisnika puta

Troškovi korisnika puta se mogu definisati kao troškovi nastali od korišćenja vozila i od javnog prevoza. Postoji četiri tipa troškova korisnika puta i povezani su sa korišćenjem vozila, vremenom putovanja, nezgodama i neudobnošću putovanja. Posljednja dva troška je teško novčano odrediti, iako se troškovi nezgoda mogu ocijeniti na nekoliko načina pod uslovom da su određeni iznosi (na primjer, cijenu dijelova za vozilo i popravke) i za poginula i povređena lica. Nedostatak prihvatljivih metoda za određivanje troškova nezgoda i neudobnosti u zemljama u razvoju je glavni razlog što ove dvije komponente troškova korisnika puta nisu uključene u postojeće modele procjene investiranja u puteve u zemljama u razvoju.

### 2.3.1. Troškovi eksploatacije vozila

**Troškovi eksploatacije vozila** su kombinacija troškova goriva, ulja, pneumatika, rada i delova za održavanje, amortizacije... koji su različiti za različite tipove vozila i uslove eksploatacije. Ovi troškovi se mogu predstaviti u odgovarajućim fizičkim jednicama (lit, kg, km ...), ili kao utrošeni novac za (na primer) 1000 kilometara pređenog puta, odnosno časova rada. Faktori koji utiču na troškove mogu se podeliti u nekoliko velikih grupa:

- Karakteristike vozila, obuhvataju fizičke i eksploatacione karakteristike vozila, kao na naprimer težina, nosivost, snaga motora, snaga sistema za kočenje, konstruktivne karakteristike oslanjanja, ...;
- Karakteristike puta, obuhvataju geometriju puta, karakteristike i stanje površine kolovoza (širina puta, usponi, krivine, ravnost, oštećenja na kolovozu...);
- Regionalni faktori, koji obuhvataju odgovarajuće ekonomske, socijalne, tehnološke i institucionalne karakteristike regiona, na primer ograničenja brzina, cene goriva, cene novih vozila, cene delova i radne snage, osposobljenost vozača, itd.

Svi ovi faktori su međusobno na neki način povezani. Među njima najuticajni su oni iz grupe *karakteristike puta*, koji utiču na brzinu kretanja, ubrzanja i usporenja i angažovanu snagu motora. Od angažovane snage, opterećenja vozila, promene brzine kretanja i stanja površine kolovoza, zavise potrošnja goriva, guma i rezervnih delova, odnosno potrošnja ulja i emisija štetnih gasova u okolinu.

### 2.3.2. Troškovi vremena putovanja

Postoje različita mišljenja o tome da li i u kojim slučajevima **troškove vremena putovanja** treba uključiti u analizu direktnih ekonomskih koristi ili eventualne uštede posmatratati kao dopunske benefite korisnika u slučaju realizacije projekta. Ova dileme se odnose na zemlje u razvoju gde je procenat poslovnih putovanja mali, a vrednost sata putnika rastegljiva. Opredeljenje Autora je da se troškovi putnika na posmatranoj mreži (pre i posle izgradnje puta) uključe u utvrđivanje direktnih ekonomskih koristi izgradnje predmetnog puta. Za to je potrebno prikupiti odgovarajuće podatke o prosečnim brzinama, dužinama putovanja, prosečnom broju putnika u vozilima, razlozima njihovog putovanja i ceni časa provedenog na putu za pojedine kategorije putnika.

### 2.3.3. Troškovi saobraćajnih nezgoda

Procenjuje se da **troškovi saobraćajnih nezgoda** prevazilaze 1% bruto nacionalnog dohotka zemlje. Smanjenje broja nezgoda i njihovih obima i "težine" mora biti jedan od priritetnih ciljeva prilikom unapređenja putne mreže. Pored toga bezbednost saobraćaja se, zbog svoje složenosti i neizvesnosti, veoma često isključuju iz studija ove vrste. U nastanak saobraćajne nezgode obično utiče više faktora simultano koje nije lako razdvojiti. Radi se o slučajnim događajima koji su na sreću, s obzirom na posledice retki.

Program HDM omogućava da se troškovi saobraćajnih nezgoda uključe u analize i to korišćenje ugrađenih ili posebno definisanih tabličnih podataka o broju nezgoda. Ovo daje mogućnost da se troškovi saobraćajnih nezgoda uključe u ukupne troškove korišćenja puta i podrazumeva da se za svaku investicionu opciju posebno sračunavaju i ovi troškovi.

## 2.4. Postupak proračuna troškova upotrebe razmatranih mreža

Proračuni troškova upotrebe razmatranih mreža Projekta X su napravljeni uz pomoć programa HDM-4 (Ver 1.3). U proračun su ušli troškovi korisnika puta na razmatranim mrežama, troškovi održavanja razmatranih mreža i troškovi izgradnje puta X.

Troškovi su proračunavani za tri alternative, odnosno upotrebe tri različite mreže puteva u 20-to godišnjem inicijalnom planskom periodu eksploatacije.

Model troškova korisnika puta ugrađen u HDM polazi od pretpostavke da postoji čvrsta veza između troškova i sila koje vozilo savlađuje pri kretanju. Otpori kretanju se sastoje od otpora vazduha, otpora kotrljanju, otpora pri savlađivanju nagibna, sila koje sa javljaju pri skretanju i otpora inercije. Od intenziteta i promenljivosti ovih otpora zavisi angažovana snaga motora, a kao posledice i potrošnja goriva i pneumatika, potrošnja ulja i štetna emisija u atmosferu. Veća angažovana snaga motora, češća ubrzanja i usporenja i više brzine kretanja utiču na intenzivnije trošenje delova i češće intervencije u održavanju.

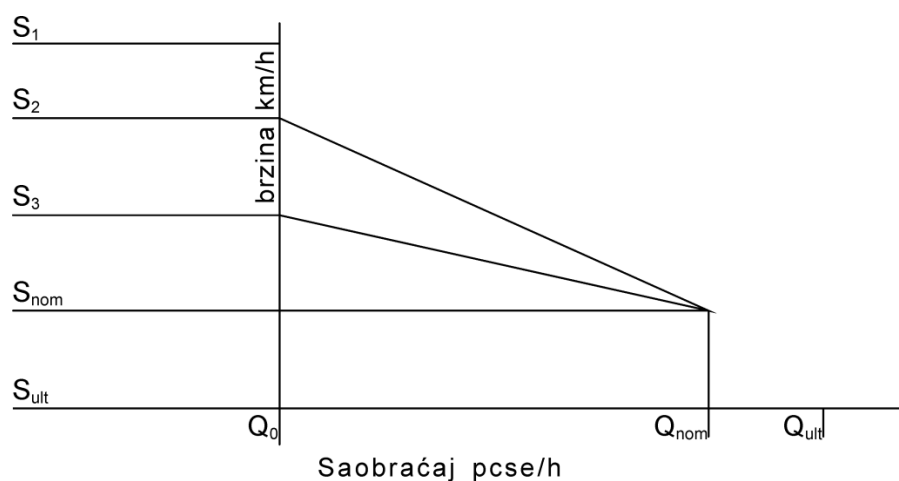
U projektima ovakve vrste koristi, koje bi se ostvarile većom brzinom, odnosno kraćim vremenom putovanja zauzimaju važno mesto. Brzina takođe utiče na potrošnju goriva, pneumatika i delova. Prema tome predviđanje brzina je važan deo analize i za taj deo posla korisćen je takođe program HDM. U saobraćajnoj terminologiji postoje brzine a ovde se pod ovim pojmom podrazumeva brzina slobodnog toka. To znači da model predpostavlja, dok uslovi saobraćaja to dozvoljavaju, da se svako od reprezentativnih vozila na putu kreće nekom brzinom na koju ostala vozila nemaju većeg uticaj. Na ovu brzinu vozila utiče veliki broj faktora od kojih su oni najvažniji prikazani na slici ?. Na prvo mesto treba staviti uslove puta. Tu se misli na geometrijske karakteristike puta (širina, vidljivost, nagibi i krivine) i stanje kolovoza (ravnost, oštećenja). Većina ovih faktora je nepromenjiva/malo promenjiva sa vremenom ali neki, kao što su vidljivost i ravnost se mogu menjati u zavisnosti od saobraćaja, klimatskih uslova i održavanja.



Slika 1. Faktori koji utiču na brzinu vozila

Sledeći faktor je vozač koji je može značajno uticati na brzinu kretanje vozila, ali na i čije ponašanje je teško modelirati. Utiču i karakteristike vozila (snaga motora, opterećenje, gabariti...).

Važan i najviše promenljiv faktor je obim saobraćaja koji se menja u toku dana, nedelje i različit je od meseca do meseca ali sa stalnim trendom porasta što tokom vremena može značajno uticati na brzinu kretanja. Kada obim saobraćaj poraste preko neke vrednosti  $Q_0$  (koja je različita za puteve različitih karakteristika) brzine svih vozila u saobraćajnim toku počinju da opadaju dok ne dostignu neku zadatu zajedničku minimalnu vrednost  $S_{nom}$  pri obimu saobraćaja  $Q_{nom}$ . Brzina  $S_{nom}$  je jednaka brzini najsporijeg vozila na putu. Ukoliko se obim saobraćaj i dalje povećava brzina će se smanjivati dok ne dostigne vrednost  $S_{ult}$  pri obimu saobraćaja  $Q_{ult}$ , nakon čega saobraćaj postaje nemoguć.



Slika 2. HDM model promene brzine u funkciji saobraćaja

Postupak počinje definisanjem ulaznih podataka za sve razmatrane varijante, a koji se odnose na:

- Referentna vozila;
- Referentnu mrežu puteva;
- Finansijske podatke.
- Saobraćaj u polaznoj godini na referentnoj mreži;

Sve ove podatke bilo je potrebno prikupiti, obraditi, prilagoditi i onda uneti u program, što je osnova za ocenu opravdanosti projekta.

## 2.5. Ocena opravdanosti projekta

Ekonomska ocena projekta se vrši primenom i statičkih i dinamičkih pokazatelja opravdanosti investicije. Analiza je urađena utvrđivanjem sledećih osnovih pokazatelja efikasnosti:

- Neto sadašnja vrednost (NPV);
- Interna stopa rentabiliteta (IRR);
- Odnos koristi i troškova (BCR)
- Stopa povraćaja investicije (ROI);
- Period povraćaja investicije (PP).

U dinamičkoj oceni utvrđuje se rentabilnost projekta. Osnovni pokazatelji u oceni efikasnosti su pokazatelji rentabilnosti projekta koji se, primenom dinamičkog pristupa, utvrđuju za čitav period projekcije.

Preduslov za dinamičku ocenu isplativosti je i utvrđivanje adekvatne diskontne stope. U skladu sa podacima izloženim u okviru radnog dokumenta br.4 „Uputstvo za metodologiju izvođenja analize isplativosti“ (eng. „*Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects*“) u cilju procene razumne diskontne stope koja reprezentuje finansijsku situaciju u zemljama kandidatima za članstvo u EU, procenili smo da diskontna stopa od 5.5% predstavlja realnu i preporučenu vrednost.

Efekti izgradnje-troškovi i koristi, koji su sagledani po godinama u ekonomskom veku od projekta, diskontovanjem pomoću izabrane diskontne stope svedeni su na zajednički imenitelj, odnosno izraženi su u sadašnjim vrednostima novčanih jedinica.

Neto sadašnja vrednost-Net Present Value, (NPV) je pokazatelj koji uvažava vremenske preferencije i predstavlja zbir neto dobiti u ekonomskom veku projekta svedenih diskontovanjem na sadašnji trenutak tj. na početak ulaganja. Metod neto sadašnje vrednosti se temelji na pretpostavci diskontovanja svih budućih prihoda i troškova na početku implementacije projekta, uz napred određenu diskontnu stopu. Projekat je prihvatljiv ako je NPV veća od nule.

Interna stopa rentabilnosti-Intern Rate of Rentability (IRR) je stopa po kojoj se NPV projekta izjednačava sa 0. Ta stopa odslikava tržišno-finansijsku efikasnost projekta. Kao kriterijum prihvatljivosti se uzima da ona treba da bude veća od diskontne stope.

Odnos koristi i troškova, Benefit/Cost Ratio (BCR) pokazuje koliko se neto koristi može postići po svakoj jedinici troškova. Računa se kao odnos diskontovanog zbira svih budućih koristi i diskontovanog zbira svih troškova. Projekat je prihvatljiv ukoliko je ovaj pokazatelj veći od 1.

Stopa povraćaja investicije-Return of Investment, (ROI) računa se tako da se ukupna dobit deli sa ukupnim ulaganjem. Ova metoda se koristi kada nije nužno iskoristiti sadašnju vrednost, dakle u slučajevima kratkoročnijih ulaganja. Prednost metode je jednostavno računanje, a nedostatak što ne uzima u obzir vremensku komponentu kod vrednovanja novčanih iznosa (kod upoređivanja novčanih iznosa iz različitih vremena ne koristi se se diskontovanje).

Period povraćaja-Payback Period (PP) je vreme potrebno da se prikupljanjem akumulacije projekta vrate uložene investicije.

### 3. Primer ekonomske ocene opravdanosti izgradnje Autoputa X

Ekonomska analiza opravdanosti projekta izgradnje putnog pravca X sprovedena je uz korišćenje **HDM-4** modela *Highway Design Management Model*, ver. 1.3). Ekonomska analiza bazirana je na sledećim postavkama:

- početna godina analize je 1. god.,
- period analize je 4+21 god.(1.–26.),
- odnos ekonomske prema finansijskoj vrednosti troškova iznosi 0,80,
- svi troškovi su izraženi u EUR-ima,
- podaci o referentnim vozilima, preuzeti su od Investitora,

- referentna mreža usklađena sa projektnim zadatkom,
- podaci o deonicama referentne mreže preuzeti su od Investitora,
- kalibracija HDM-4 modela za lokalne ,
- jedinične cene radova za izgradnju izabrane varijante puta preuzete iz Generalnog projekta,
- obim, struktura i prognoza saobraćaja u skladu prema rezultatima Saobraćajne analize i prognoze, za razmatrane varijante.

Postupak izrade ekonomske analize se sastoji od izračunavanja i poređenja očekivanih troškova i mogućih koristi u slučaju izgradnje putnog pravca X.

### 3.1. Troškovi izgradnje puta

Redni broj	Vrsta radova	Iznos (KM)	Iznos (EUR)
1	Prethodni i pripremni radovi i donji stroj	60 824 432	31099038
2	Dreniranje i odvodnjavanje	27 526 539	14 074 096
3	Gornji stroj	135 858 408	69 463 335
4	Objekti	303 208 210	155 027 896
5	Denivelisane raskrsnice	3 853 373	1 970 198
6	Izmeštanje saobraćajnica i drugih instalacija	10 078 093	5 168 242
7	Prateći sadržaji	23 657 720	12 096 000
8	Saobraćajna signalizacija i oprema	18 991 366	9 710 131
9	Eksproprijacija zemljišta	18 591 807	9 505 840
10	Investiciona vrednost	602 589 948	308 114 743
11	Nepredviđeni radovi (15%)	90 388 492	46 217 211
12	Projektovanje i nadzor (10%)	60 258 994	30 811 474
13	<b>Ukupna investiciona vrednost</b>	<b>753 237 434</b>	<b>385 143 428</b>
14	<b>Ukupna investiciona vrednost po kilometru</b>	<b>10 549 839</b>	<b>5 394 317</b>

### Dinamika ulaganja po godinama

Troškovi građenja (EUR)	2009	2010	2011	2012
<b>Finansijski</b>	96.285.857	96.285.857	96.285.857	192.571.714
<b>Ekonomski</b>	77.028.686	77.028.686	77.028.686	154.057.371

### 3.2. Troškovi održavanja puta

Proračun troškova upotrebe relevantne mreže je napravljen uz korišćenje HDM programa i to za sva tri Scenarija.

U narednoj tabeli su uporedno dati ekonomski troškovi održavanja relevantne mreže u inicijalnom 20. godišnjem periodu.

Troškovi održavanja relevantne mreže u EUR

Godina	Scenario (0)	Scenario (1)	Scenario (2)
1	315,740	315,793	315,793
2	324,860	324,897	324,897
3	527,926	527,963	527,963
4	3,934,318	3,934,351	3,934,351
5	837,357	837,410	837,410
6	1,515,367	1,553,362	1,577,267

7	847.409	1,302,042	908,948
8	1,332,584	891,541	1,337,148
9	909,507	947,840	971,586
10	2,033,765	2,071,197	970,429
11	895.571	2,598,465	2,639,685
12	3,666,584	993,907	1,706,125
13	3,793,362	3,227,614	2,255,739
14	3,748,976	1,296,993	2,241,109
15	3,455,399	4,499,210	3,064,749
16	22,994,670	23,084,495	15,407,099
17	3,164,778	5,699,145	14,364,971
18	8,063,570	5,330,337	4,170,399
19	6.578.490	10,472,599	20,982,101
20	1,435,886	7,214,007	590,607
21	409.398	2,645,926	1,265,467
22	1,569,076	9.035.894	8,481,933
23	1,923,538	422,213	528,815
24	2,629,555	671,779	698,886
25	695,031	1,855,351	10,873,864
26	4,999,990	1,061,373	1,160,263
Ukupno	<b>82,602,707</b>	<b>92,815,703</b>	<b>102,137,603</b>

### 3.3. Troškovi korisnika puta

U narednoj tabeli su dati troškovi eksploatacije, vremena putovanja putnika i troškovi saobraćajnih nezgoda za sva tri definisana scenarija.

Ekonomski troškovi korisnika puta u milionima EUR (period 1.-26.)

Scenario	Troškovi eksploatacije motornih vozila	Troškovi putovanja putnika	Troškovi saobraćajnih udesa	Ukupni troškovi korisnika puta
(0)	16131.47	3910.91	459.50	20501.88
(1)	15960.47	3652.63	387.13	20000.23
(2)	16011.02	3572.01	362.39	19945.41

Iz tabele se vidi da su troškovi korisnika puta najveći u Scenariju (0), a praktično isti u Scenariju (1) i Scenariju (2).

Tabela Očekivane direktne ekonomske koristi korisnika po osnovu smanjenja troškova održavanja mreže u EUR (period 1.-26.)

Poređenje scenarija	Troškovi održavanja mreže
(0) - (1)	-10.277.783,49
(0) - (2)	-15.772.900,43
(1) - (2)	-5.495.116,94



Tabela Očekivane direktne koristi korisnika puta u milionima EUR (period 1.-26.)

Poređenje scenarija	Očekivane direktne ekonomske koristi korisnika puta u milionima EUR			
	Eksploatacije motornih vozila	Vreme putovanja	Saobraćajni udesi	Ukupno
(0) - (1)	991,63	577,71	314,87	1.884,21
(0) - (2)	990,01	647,60	347,20	1.984,82
(1) - (2)	-1,62	69,90	32,33	100,61

Iz tabele se vidi da se izgradnjom Autoputa ostvaruju direktne ekonomske koristi u sve tri komponente troškova korisnika. One iznose 1.884,21 miliona EUR kada se uporede Scenarija (0) i (1), odnosno nešto više (1.984,82 miliona EUR), kada se uporede Scenarija (0) i (2). Kada uporedimo Scenarija (1) i (2) mala prednost je na strani scenarija (2).

### 3.4. Rezultati ekonomske analize

Na narednoj slici prikazan je rezultat ekonomske analize urađene uz korišćenje programa HDM. Analiza je sprovedena sa nediskontovanim i sa diskontovanim ulaznim podacima (diskontna stopa iznosi 5.5%). Vrednosti su date u milionima EUR.

## HDM - 4 Economic Analysis Summary

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Study Name: Prethodna studija opravdanosti autoputa

Run Date: 24-12-2005

This report shows total economic benefits using the following:

Currency: Euro (millions).

Discount rate: 10,00%.

Analysis Mode: Analysis-by-Project

Alternative: Scenario (1) vs Alternative: Scenario (0)

	Increase in Road Agency Costs			Savings in MT VOC	Savings in MT Travel Time Costs	Savings in NMT Travel & Operating Costs	Reduction in Accident Costs	Net Exogenous Benefits	Net Economic Benefits (NPV)
	Capital	Recurrent	Special						
Undiscounted	85,14	2,16	0,00	991,64	577,71	0,00	314,87	0,00	1,796,90
Discounted	298,84	0,58	0,00	214,38	139,82	0,00	81,60	0,00	136,38

Economic Internal Rate of Return (EIRR) = 13,2% (No. of solutions = 1)

Alternative: Scenario(2) vs Alternative: Scenario (0)

	Increase in Road Agency Costs			Savings in MT VOC	Savings in MT Travel Time Costs	Savings in NMT Travel & Operating Costs	Reduction in Accident Costs	Net Exogenous Benefits	Net Economic Benefits (NPV)
	Capital	Recurrent	Special						
Undiscounted	89,80	3,00	0,00	990,02	647,60	0,00	347,20	0,00	1,892,02
Discounted	299,18	0,77	0,00	176,64	154,25	0,00	91,89	0,00	122,83

Economic Internal Rate of Return (EIRR) = 12,7% (No. of solutions = 1)

Slika 3: Sinteza ekonomske analize opravdanosti izgradnje autoputa

Sa slike se vidi da bi se izgradnjom puta ostvarile značajne ekonomske koristi. Interne stope rentabiliteta je 13,2 %, ukoliko se uporede Scenario (1) i Scenario (0), odnosno 12,7 % ukoliko se uporede Scenario (2) i Scenario (0).

Nediskontovana neto sadašnja vrednost je između 1.796,9 i 1.892,02 miliona EUR. Nediskontovane uštede u troškovima korisnika su za više od 4 puta veće od nediskontovanog uloženog kapitala.

Kada se primeni diskontna stopa od 5.5%, neto sadašnja vrednost je u oba slučaja pozitivna (136,38 odnosno 122 miliona EUR).

**LITERATURA:**

- [1] Harral, C.G. and Faiz, A. (1979), The highway desing and maintenance standards model (HDM): model structure, empirical foundations and applications. PTRC Summer Annual Meeting, University of Warwick, 13-16 July 1979. Ptrc Education and Research Services, London, UK
- [2] PIARC, (1991), Methods of Selecting Road Investment, Economic and Finance Committee of PIARC, Paris, France
- [3] TRRL Overseas Unit, (1988), A Guide to Road Project Appraisal. Transport and Road Research Laboratory Overseas Road Note 5, Crowthorne UK

## МЕНАЏМЕНТ БЕЗБЕДНОШЋУ И ЗДРАВЉУ НА РАДУ ПРИЛИКОМ ПРОЈЕКТОВАЊА И ИЗВОЂЕЊА ГРАЂЕВИНСКИХ РАДОВА

**Белошевић Миодраг, дипл.менаџер**

**Заменик Директора Института за путеве ад, Београд**

Кумодрашка 257, 11010 Београд, Србија

e-mail: m.belosevic@highway.rs

**Станимировић Миролуб, проф.НО – Аутор за кореспонденцију**

**Лице за безбедност и здравље на раду**

Институт за путеве ад, Београд

Кумодрашка 257, 11010 Београд, Србија

**Резиме:** У последњих неколико године дошло је до великог напретка у законској регулативи из области безбедности и здравља на раду у нашој земљи. Најзначајнији документи из ове области су Закон о безбедности и здрављу на раду (Службени гласник РС", бр. 101/ 2005, 91/ 2015, и Уредба о безбедности и здрављу на раду на привременим и покретним градилиштима („Службени гласник РС", број 14/09, број 95/10) и Правилник о садржају елабората о уређењу градилишта. Усвајањем ових докумената, Србија је скоро у потпуности прилагодила своје законодавство законодавству Европске уније.

Уредба о безбедности и здрављу на раду на привременим и покретним градилиштима даје сасвим нови приступ организовању послова пројектовања, изградње и надзора над изградњом грађевинских објеката. У раду се приказује значај Уредбе за побољшање безбедности и здравља на раду на градилиштима, поређење са ранијим стањем и предностима Уредбе у овој области.

**Кључне речи:** безбедност и здравље, градилиште, уредба, инвеститор, пројектант, извођач

### 1. УВОД

У Европској унији, грађевинарство, као привредна грана се налази на другом месту по успешности, са годишњим обртом од преко 900 милиона Еура. Међутим, грађевинарство заузима неславно прво место по броју смртних случајева на раду (преко 1300 годишње) и више хиљада тешко повређених. У нашој земљи, последњих година је дошло до повећаног броја смртних случајева и тешких телесних повреда у овој грани привреде. Број повређених је сигурно много већи, зато што велики број радника ради на црно, па се те повреде и не пријављују надлежним органима. Као узроке оваквог стања у грађевинарству у нашој земљи можемо наћи у лошој законској регулативи из области безбедности и здравља на раду која је била до пре неколико година и стога не придржавању прописаних мера безбедности и здравља на раду од стране инвеститора, послодаваца и радника.

Велико помак на боље представља доношења Закона о безбедности и здрављу на раду ("Сл.гласник РС" бр.101/05 и 91/2015), чиме су постављене основе за побољшање услова рада на радном месту и у радној околини, а самим тим и управљање ризицима на радном месту и радној околини.

На основу овог закона Влада РС је донела Уредбу о безбедности и здрављу на раду на привременим и покретним градилиштима ("Сл.гласник РС", бр.14/2009 95/10), која је донела многе промене у области безбедности и здравља на раду у грађевинарству, у свим аспектима, почевши од фазе пројектовања, изградње и вршења надзора над изградњом објеката који подлежу под ову Уредбу. У раду ће се дати предности нове Уредбе и упоређење са ранијим законским одредбама из ове области.

### 2. ОСНОВНЕ ОДРЕДБЕ

Овом Уредбом прописују се минимални захтеви које су Инвеститор, односно заступник Инвеститора за реализацију пројекта, координатор за безбедност и здравље на раду у фази израде пројекта, координатор за безбедност и здравље на раду у фази извођења грађевинских радова, Послодавац, и друга лица дужни да испуне у обезбеђивању примене превентивних мера на привременим или покретним градилиштима, као и у објектима који се користе као радни и помоћни простор на градилиштима у којима се припремају, преправљају или обрађују грађевински материјали, грађевински производи и грађевински елементи, који се уграђују у грађевинске објекте. Овом Уредбом

уводе се у праксу неки нови појмови и нове, нешто измењене дефиниције већ постојећих појмова, у сагласју са појмовима о њиховим дефиницијама како се примењују у земљама Европске Уније.

Ова Уредба се не примењује на надземну и подземну експлоатацију руда и дубинско бушење.

**Поједини изрази који се користе у овој Уредби имају следеће значење:**

1. Привремена или покретна градилишта (у даљем тексту: градилишта), јесу сва градилишта, односно места у простору на којима се изводе радови наведени у Прегледу радова при изградњи објекта (Прилог 1);
2. Инвеститор јесте правно лице, предузетник или физичко лице за чије потребе се гради објекат, односно које финансира изградњу објекта;
3. Заступник Инвеститора за реализацију пројекта (у даљем тексту: заступник Инвеститора) јесте правно лице, предузетник или физичко лице, које је у име Инвеститора одговорно за израду пројекта и/или извођење радова и/или стручни надзор над извођењем радова;
4. Координатор за безбедност и здравље у фази израде пројекта", или краће: „координатор за припрему пројекта" је Физичко лице које инвеститор, односно заступник инвеститора одреди писменим актом да у току израде пројекта обавља послове везане за превенцију повређивања на раду. То значи да учествује у одлучивању за избор архитектонских, техничких, технолошких или организационих решења, тако што прибавља све битне информације из области безбедности и здравља на раду, израђује План превентивних мера, све у складу са законом о безбедности и здрављу на раду и адекватно врсти радова који се изводе (обавезе координатора наведене су у члану 11. Уредбе).
5. Координатор за безбедност и здравље у фази извођења грађевинских радова" - „координатор за извођење пројекта" је физичко лице које инвеститор, односно заступник инвеститора, одреди писменим актом да у току извођења радова обавља послове везане за превенцију угрожавања здравља и безбедности запослених. То су, пре свега, примена мера из Плана превентивних мера и измена или допуна Плана, и прикупљање података битних за те измене и допуне, према новонасталим променама на градилишту. Веома важна обавеза Координатора је да усаглашава рад свих послодаваца и других лица на градилишту са прописаним и планираним мерама за превенцију угрожавања здравља и безбедности радника. Послови Координатора наведени су у тачки 13. Уредбе.
6. Друго лице јесте предузетник који самостално обавља делатност и при томе радно не ангажује друга лица, односно који нема својство Послодавца у складу са прописима у области безбедности и здравља на раду или било које друго физичко лице које нема својство запосленог.

Израз - извођач радова, утврђен је прописима о планирању и изградњи

Израз - Послодавац, утврђен је Законом о безбедности и здрављу на раду.

Саставни део Уредбе су и Прилози (од 1.-5.) којима се Уредба допуњује и боље објашњава.

**Преглед радова при изградњи објекта (Прилог 1)**

1. Ископавање
2. Земљани радови
3. Грађење
4. Монтажа и демонтажа већ произведених елемената
5. Реконструкција или опремање
6. Адаптација
7. Реновирање
8. Санације
9. Демонтирање
10. Рушење
11. Инвестиционо одржавање
12. Одржавање – бојење и чишћење
13. Дренажа

У ранијем периоду у којем су важила другачија правила, постојао је један, главни, извођач радова и то је било правно лице са овлашћењем и стручном способношћу да изведе све грађевинске радове, а у

## Менаџмент безбедношћу и здрављу на раду приликом пројектовања и извођења грађевинских радова

случају потребе за увођењем још неког специјализованог предузећа за неке посебне радове, то предузеће је ангажовао главни извођач радова као свог подизвођача (склапајући са њим посебан уговор). За квалитет радова инвеститору је био одговоран главни извођач радова. По Уредби Инвеститор склапа уговоре са свим извођачима и одговоран је за спровођење мера безбедности и здравља на раду на градилишту. Због тога је било потребно увести ново лице "координатора" који ће контролисати рад и спровођење мера безбедности и здравља на раду свих извођача.

Инвеститор, односно заступник инвеститора је дужан да одреди једног или више координатора за израду пројекта и једног или више координатора за извођење радова када на градилишту изводе, или је предвиђено да ће радове изводити два или више извођача истовремено.

Извођачи радова су дужни да примењују упутства која добијају од координатора за извођење пројекта, као и да сарађује са другим извођачима у примени мера за безбедност и здравље на раду. Сви извођачи радова на градилишту морају да буду упознати са Планом превентивних мера.

На основу Уредбе највећу одговорност за спровођење мера безбедности и здравља на раду приликом извођења грађевинских радова сноси Инвеститор, односно заступник инвеститора. Његова одговорност почиње већ у фази израде пројекта. И до сада је обавеза пројектаната била да се у оквиру пројекта уради прилог о мерама безбедности и здравља на раду, али су се ти прилози радили површно и шаблонски, тако да је сав посао око примене мера безбедности и здравља на раду падао на Главног извођача.

На основу ове Уредбе Инвеститор је дужан да именује координатора за израду пројекта чији је задатак да у свим фазама припреме и израде пројекта, узима у обзир начела обезбеђивања превентивних мера, која су утврђена Законом о безбедности и здрављу на раду и то да учествује у одлучивању за избор архитектонских, техничких, технолошких или организационих решења, тако што прибавља све битне информације из области безбедности и здравља на раду, израђује План превентивних мера, све у складу са законом о безбедности и здрављу на раду и адекватно врсти радова који се изводе (обавезе координатора наведене су у члану 11. Уредбе).

Посебне мере безбедности се морају предузети приликом извођења радова при којима се појављује специфичан ризик од настанка повреда и оштећења здравља запослених (прилог 2 Уредбе):

- 1) рад при којем се јавља ризик од затрпавања земљом у ископима дубљим од 1м, као и рад на меком или мочварном терену када су запослени изложени ризику од пропадања, или рад на висини већој од 3м због могућег пада радника са те висине;
- 2) рад на којем су запослени у контакту са опасним материјама (хемијским или биолошким агенсима), или су изложени неким другим опасностима, или је рад такав да за обављање тог рада треба прописан лекарски преглед;
- 3) рад на којем су запослени изложени јонизујућем зрачењу;
- 4) рад у близини електричних вода високог напона;
- 5) рад на којем су запослени изложени ризику од потапања (дављења);
- 6) рад на бунарима, испод земље и у тунелима;
- 7) рад који се обавља уз обавезну употребу система за довод свежег или компримованог ваздуха (роњење, пескирање, и др.);
- 8) рад које обављају запослени у кесонима са ваздухом под притиском;
- 9) рад са експлозивним материјама;
- 10) рад на монтажи и демонтажи тешких монтажних склопова.

### **Овим радовима би се могли додати и:**

- 11) рад који се изводи уз активан саобраћај на путевима и железницама;
- 12) рад на претходно напрегнутим бетонским конструкцијама;
- 13) рад при бетонирању, сечењу и обради површина са машинама под високим притиском;
- 14) рад са ризичним технолошким процесом било које врсте.

### **Мере за безбедност и заштиту здравља на привременим и покретним градилиштима, према Уредби сврстане су у две групе (Прилог 4. Уредбе):**

- а. Општи захтеви за безбедан и здрав рад на градилиштима (Опште мере) и
- б. Специфични захтеви за радна места на градилиштима (Посебне мере).

Све мере морају бити предвиђене и дефинисане **Планом превентивних мера** који израђује

Координатор за безбедност и здравље на раду за пројектовање (оне мере које се морају предвидети у фази пројектовања) и Координатор за безбедност и здравље на раду за извођење, уколико их није израдио послодавац (оне мере које су оперативног карактера, односно које се односе на сам рад и технолошки поступак рада - грађења; дакле, уређење градилишта и специфичне мере за безбедан и здрав рад на градилишту).

Према Уредби, План превентивних мера треба да садржи све оне податке који утичу на безбедност и здравље радника који обављају грађевинске радове, опште и специфичне мере за безбедан рад, а специфичне мере су, за грађевинске радове, дате у посебним правилницима, на које се позива Закон о безбедности и здрављу на раду. То су:

Правилник о заштити на раду при извођењу грађевинских радова ("Сл. гласник РС", бр. 53/97), Правилник о садржају елабората о уређењу градилишта ("Сл. гласник РС", бр. 121/2012), и други правилници који дефинишу правила струке у одређеним ситуацијама, па самим тим и превентивне мере.

У случају било каквих измена у условима рада, које могу утицати на безбедност, па самим тим и на мере за безбедност, те промене се морају унети и у План превентивних мера, односно, морају се изменити или допунити и превентивне мере, и то најмање пет дана пре почетка рада у измењеним условима, тј. рад, при којем те промене утичу на безбедност радника.

### **3. ОБАВЕЗНИ ПОДАЦИ У ПЛАНУ ПРЕВЕНТИВНИХ МЕРА (Прилог 5. Уредбе):**

- ситуациони план са положајем градилишта, у односу на остале објекте у окружењу, саобраћајнице, најближе геодетске тачке и висинске коте земљишта;
- димензије грађевинске парцеле, положај објекта, регулационе и грађевинске линије и спратност;
- околни објекти и бројеви катастарских парцела, и адреса објекта;
- приказ објекта, локације радних и помоћних просторија, просторија за одмор, за пружање прве помоћи и прилази тим просторима;
- радни положај опреме за рад и манипулативни простор са линијама заштитних ограда;
- саобраћајнице и паркиралишта са простором за одржавање возила;
- складишта материјала и опасних материја;
- мрежа питке и техничке воде и отпадних вода;
- енергетски објекти и инсталације;
- организација рада и технологија извођења радова;
- фазе рада и рокови изградње и начин комуникације и координације учесника у изградњи;
- обезбеђење градилишта.

Затим следе потребне специфичне мере за заштиту на раду, према врсти радова који се изводе на градилишту, односно на објекту.

План превентивних мера и техничка документација за изградњу објекта у складу са прописима о планирању и изградњи чине основу за процену ризика од настанка повреда и оштећења здравља на радним местима и у радној околини на предметном градилишту.

Процена ризика врши се у складу са прописима у области безбедности и здрављу на раду, а начин и мере за њихово отклањање чине саставни део елабората о уређењу градилишта који израђује послодавац.

#### 4. ПРИЈАВА ГРАДИЛИШТА

**Прилог бр. 3.** је формулар за пријаву градилишта који садржи следеће податке:

- 1) Датум достављања (датум достављања мора се поклапати са датумом поштанског жига на коверти)
- 2) Назив и адреса градилишта
- 3) Подаци о инвеститору (име, адреса)
- 4) Врста градње (грађење, реконструкција, доградња, адаптација, санација, остало)
- 5) Заступник инвеститора (пословно име, име, адреса)
- 6) Координатор за безбедност и здравље на раду за израду пројекта (име, адреса)
- 7) Координатор за безбедност и здравље на раду за извођење радова (име, адреса)
- 8) Планирани датум почетка радова на градилишту
- 9) Планирано трајање радова на градилишту
- 10) Предвиђен највећи број запослених на градилишту
- 11) Планиран број послодаваца и других лица на градилишту (посебно једни и други)
- 12) Подаци о већ уговореним извођачима радова.

Према Закону о безбедности и здрављу на раду, чл. 18., "послодавац је дужан да, најмање осам дана пре почетка рада, надлежну инспекцију рада извести о почетку свога рада". У случају грађевинских радова пријаву градилишта обавља, како је дефинисано Уредбом о безбедности и здрављу на раду на привременим или покретним градилиштима, о којој је реч, инвеститор или представник инвеститора. И то је начелно тако.

Међутим, Уредбом се постављају прецизнији услови, односно, за радове наведене у "Прегледу радова при којима се појављује специфичан ризик од настанка повреда и оштећење здравља запослених" (Прилог 2. тачке од 1. - 10.), пријава градилишта мора се доставити надлежној инспекцији рада најкасније 15 дана пре почетка радова. Копија ове Пријаве мора бити постављена на видном месту на градилишту.

#### У Пријави се наводе:

- 1) Датум отпремања
- 2) Тачна адреса градилишта
- 3) Име и адреса седишта/пребивалишта инвеститора
- 4) Врста изградње (грађење, реконструкција, санација или друго)
- 5) Име и адреса заступника инвеститора (ако заступник постоји)
- 6) Име и адреса Координатора за безбедност и здравље на раду за израду пројекта
- 7) Име и адреса Координатора за здравље и безбедност на раду за извођење радова
- 8) Планирани почетак радова (датум)
- 9) Планирано трајање радова
- 10) Предвиђен највећи број запослених на градилишту
- 11) Планиран број послодаваца и других лица на градилишту (предузетника или физичких лица)
- 12) Подаци о извођачу радова
- 13) Ко пријављује градилиште (инвеститор или његов заступник), место печата и потпис онога који пријављује градилиште.

Уз Пријаву градилишта предаје се и Елаборат о уређењу градилишта са мерама за безбедност и здравље на раду.

У случају било каквих измена података наведених у Пријави (увођење новог послодавца, продужење радова и сл.) обавезно је да се Пријава ажурира и накнадно достави инспекцији рада најкасније у року од 15 дана од ажурирања, а копију ажуриране пријаве поставити на видно место на градилишту.

Координатори за безбедност и здравље на раду, и за пројектовање и за извођење, морају да испуњавају прописане услове, који су наведени у Уредби, а које су прописали Министар за рад и његово Министарство. За пројектовање - мора бити лице са дипломом четворогодишњих студија архитектуре, грађевинарства или сродних техничких наука, са положеним стручним испитом и лиценцом за обављање ових послова, а за грађење - лице са двогодишњим студијама истих научних дисциплина, и, такође, са положеним стручним испитом и лиценцом за обављање ових послова.

Стручни испит се полаже пред комисијом коју образује Министар за рад, а лиценцу издаје његово министарство, према утврђеним правилима и другим условима које мора лице да испуњава (радни стаж, радне референце).

## 5. ПРАКТИЧНА ИСКУСТВА

Пошто смо запослени у Институту за путеве ад, који се управо бави пројектовањем грађевинских објеката и Надзором (Стручни надзор, грађевински надзор, геотехничко-геомеханички надзор, лабораторијски /асфалт, бетон, камен/ надзор и др.) свакодневно можемо да пратимо учинак које су законске промене и доношење Уредбе учиниле на побољшање мера безбедности и здравља на раду приликом извођења грађевинских радова у нашој земљи:

1. Многи страни Инвеститори и Извођачи, приликом доласка на Србијанско тржиште прво праве анкету о привредним друштвима у Србији која су квалификована са становишта безбедности и здравља на раду (као и заштита Животне средине и Заштита од пожара). Са привредним друштвима која се нису квалификовала из ових области не желе уопште да сарађују. Од докумената која траже, то су:
  - Правилник о безбедности и здрављу на раду;
  - Квалификације Лица за безбедност и здравље на раду и положен стручни испит;
  - Докази о исправности средстава за рад;
  - Докази о оспособљавању радника за безбедан и здрав рад;
  - Периодични лекарски прегледи;
  - Извештај о испитивању услова рада и радне околине;
  - Оспособљеност за пружање Прве помоћи;
  - Набављена средства и опрема за личну заштиту;
  - Број повреда на раду и
  - **Акт о процени ризика, као најзначајнији документ и др.**
2. Приликом расписивања тендера, Инвеститори траже комплетну документацију о стању безбедности и здрављу на раду привредног друштва које конкурише на тендеру. То је скоро иста документација која је наведена у претходном пасусу.
3. Приликом израда пројеката, активни су Координатори за безбедност и здравље на раду за израду пројеката, који прецизирају мере безбедности и заштите и израђују одговарајуће документе.
4. На многим градилиштима се ригорозно примењују мере безбедности и здравља на раду, тако да радици морају обавезно да буду обучени из ове области, морају да носе опрему и средства личне заштите, опрема за рад мора бити исправна и мора се стално одржавати. Радници су обавезни да обаве периодичне лекарске прегледе. Сама градилишта су посебно обезбеђена од могућности повреда и угрожавања здравља.
5. Значајна је улога Координатора за безбедност и здравље на раду приликом извођења радова, који стално контролишу све учеснике у процесу рада да ли примењују мере заштите. Некада се примењују и казнене мере због непоштовања мера заштите (удаљавање са места рада, новчане казне и др.)
6. **Као примери не спровођења Закона и Уредбе можемо углавном навести приватне предузетнике у високоградњи и дивљој градњи:**
  - У пројектима не израђују Планове превентивних мера ;
  - Не израђују Акт о процени ризика;
  - Многи предузетници немају Лица за безбедност и здравље на раду;
  - Не обављају обуку за безбедан рад;
  - Не спроводе Превентивне мере безбедности и здравља на раду;
  - Радници не носе одговарајућа средства личне заштите;
  - Врше импровизацију на средствима за рад;
  - Не пријављују градилишта;
  - Запошљавају раднике на црно;
  - Не ангажују Заступнике и Координаторе за безбедност и здравље на раду и др.



## 6. ЗАКЉУЧАК

Из изнетог се може закључити да је Уредба обезбедила услове за побољшање безбедности и здравља на раду на градилиштима. Међутим, да би се то у потпуности остварило, потребно је да сви актери процеса изградње (Инвеститори, Пројектанти, Извођачи, Послодавци, Надзорни органи, Заступници, Координатори, Радници, Инспекције рада и др.) наставе да стриктно примењују и побољшавају превентивне и друге мере које су дате у Уредби и другим законским и техничким прописима.

**„Иначе процес безбедности и здравља на раду се заснива на превентиви – предузети све мере да се нешто лоше не догоди“.**

Изузетно важно је да се на свим градилиштима изради **„Акт о процени ризика на радном месту и у радној околини“**, односно да се сагледа цео процес рада и сагледају све опасности и штетности на свим радним местима, њихов утицај на живот и здравље запослених, и да се одреде мере и средства заштите.

Сам појам **РИЗИК** означава вероватноћу настанка неког догађаја (повреда, оболење) услед опасности. Уколико постоји и најмања вероватноћа настанка немилог догађаја, потребно га је озбиљно узети у обзир.

**ПРИМЕР:** Да су Јапански стручњаци који су градили нуклеарну електрану Фукушима само помислили да може доћи до тако великих цунами таласа, сигурно је не би изградили на садашњем месту, или би применили посебне мере заштите.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Уредба о безбедности и здрављу на раду на привременим и покретним градилиштима ("Сл.гласник РС", бр.14/2009, 95/10)
2. Закон о безбедности и здрављу на раду ("Сл.гласник РС" бр.101/05, 91/2015),
3. Правилник о заштити на раду при извођењу грађевинских радова ("Сл. гласник РС", бр. 53/97),
4. Правилник о садржају елабората о уређењу градилишта ("Сл. гласник РС", бр. 121/2012)

# THE SOIL-STEEL STRUCTURE IMMERSSED IN THE SOIL INTERACTION WITH THE PAVEMENT

**Czesław Machelski,**  
Professor  
Bridge and Railway Group, Technical University of Wrocław (Poland), Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, e-mail: [czeslaw.machelski@pwr.edu.pl](mailto:czeslaw.machelski@pwr.edu.pl)

**Adam Czerepak,**  
MSc Eng.  
ViaCon sp. z o.o., Przemysłowa 6, 64-130 Rydzyna (Poland) e-mail: [adam@viacon.pl](mailto:adam@viacon.pl)

**Mario Bogdan,**  
MSc Eng.  
PROTEKTA d.o.o., Ivana Šibla 9, Zagreb, HR, e-mail: [mario.bogdan@protekta.hr](mailto:mario.bogdan@protekta.hr)

## Abstract

*The paper discusses the results of interaction between a soil-steel structure immersed in the soil base and the surface of the road in traffic. Such structures are effective as structures intended for bridge use, since they are simple to make and do not require service care, which is necessary in the case of classic bridges. The aim of the article is to present the examples of computational models applied in a numerical discretization of the soil-steel structures as engineering road structures and engineering railway structures, which are constructed with the use of corrugated sheet. Despite a small size of culverts intended for transport use, very sophisticated computational models are used for the purpose of an accurate mapping. For the calculation of internal forces and displacements arising from useful loads, spatial 3D models with a very large number of elements and degrees of freedom are applied. The paper discusses simplified models allowing for an accurate mapping of the performance of a structure in the 2D geometry, which allows for a significant reduction in the computational task.*

**Keywords:** soil-steel structure, corrugated steel, culverts, 3D model.

## 1. INTRODUCTION

Soil-Steel structures are the engineering structures that also fulfil the roles of bridges, viaducts, pedestrian bridges, culverts, tunnels, subways, farm accommodation bridges or wildlife crossings over traffic routes, as shown in the examples given in fig. 1. A large group of these structures serves as municipal facilities, normally shaped as closed pipes or intended for transport purposes, e.g. for the housing of the conveyor belts. They are constructed in the form of a shell and the surrounding, specially concentrated soil. They are designed in a manner ensuring a long-lasting, beneficial interaction between essential elements of the bearing system (in a classic design), that is, the shell (supported by the foundation) and the soil backfill.



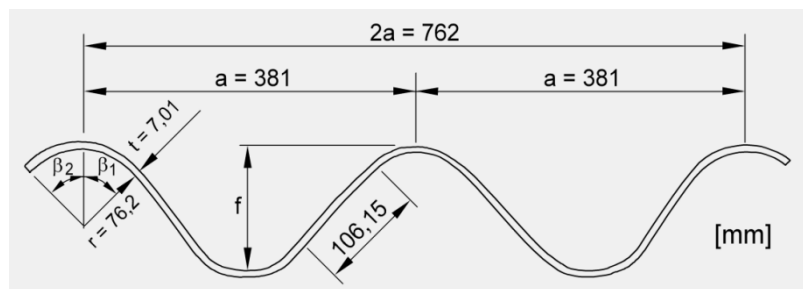
**Figure 1.** Examples of road soil-steel structures

The effect of interaction of the steel structure with the soil is observed as an apparent relief of a vulnerable shell (called bridging). The intensity of impact exerted by the soil on the bearing structure depends on the stiffness of the steel structures in relation to the backfill that surrounds it. For this reason, the soil-steel structures are divided into two principal groups: stiff and vulnerable [6, 9]. When designing vulnerable soil-steel structures, as shown in the paper, the backfill and the surface of the road are treated as essential elements of the bearing structure. The shell in the soil-steel structure fulfils two different technical functions. During backfill laying, the shell acts as a formwork that secures the space under the structure, and during the use of the finished structure, it interacts with the soil and the surface in the transfer of variable loads.

The construction phase is important for the safety of the shell, which is exposed to the greatest displacements and internal forces [2]. Hence, this situation is considered mainly in the selection of appropriate geometric parameters of the sheet [1, 7]. Fig. 2 shows an example of one of such parameters – the sheet with a high profile, marked as SC 381×140×7 (SuperCor-type sheet of dimensions: length of the wave, height of the wave, thickness of the sheet). Table 1 lists the dimensions typical of the currently-used profiles of corrugated sheets.

**Table 1.** Geometric characteristics of corrugated sheet profiles

Type of profile	Dimensions of the wave of the sheet [mm]		
	$a$	$f$	$t$
UC	500	238	-
NP	400	150	-
SC	381	140	3.5-7.1
MP	200	55	3.25-8
MP	150	50	2.75-7



**Figure 2.** Geometry of SC 380×140×7 corrugated sheet for the shell

## 2. INFLUENCE OF THE SURFACE AND THE THICKNESS OF THE SOIL SURCHARGE ON SHELL DEFLECTION

Backfill thickness in the crown, marked as  $H$ , has a significant influence on the values of internal forces and deformation of the shell. This is illustrated in the example of the research presented in [11], which analysed the influence of loading with a loader on internal forces and deflection in the shell crown depending on the thickness of the backfill layer above the crown. In the mentioned research, a loader of the following technical parameters was used as a moving load: front axle load  $P_1 = 221$  kN (with a bucket filled with excavated material), rear axle load  $P_2 = 69$  kN; axle spacing  $a_{12} = 3.40$  m, and wheel spacing on both the axles  $c = 2.20$  m. The load exerted on the front axle is more than doubled in comparison to the vehicles approved for road use.

Table 2 demonstrates selected results of measurements carried out at the structure that had been constructed specifically for research. The cross-section of the shell was a closed, drop-shaped cross-section with the height  $h = 4.55$  m and the greatest horizontal dimension  $L = 6.04$  m. The analysed structure was constructed from low-profile MP 200×55×2.93 sheet. The results gathered in the table point to similar changes in internal forces and deflections in the function of the backfill thickness  $H$ . Increasing the thickness of the backfill above the shell significantly affects the reduction in internal forces and deflections. Thus, the research on soil-steel structures and the results given in table 2 demonstrate that the stiffness of the structure of a given facility [6, 9] strongly depends on the backfill thickness above the shell crown. The above remark justifies the conclusion presented previously, which states that the soil backfill is the basic element of the

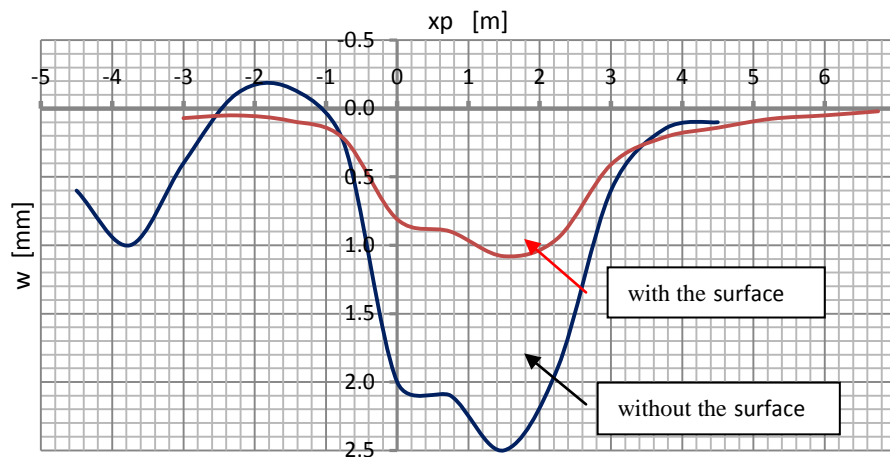
soil-steel structure. Thus, the backfill in the soil-steel structures fulfils two, seemingly contradictory roles. On the one hand, it constitutes a significant constant load that has to be carried by the shell in the construction phase, and on the other hand, it forms an elastic surrounding environment of the shell that increases many times its load-carrying capacity when service loads are at work.

**Table 2.** Influence of the thickness of the soil surcharge on internal forces and shell deflection

Thickness of the soil surcharge $H$ [m]	Internal forces		Deflection $w$ [mm]
	$M$ [kNm/m]	$N$ [kN/m]	
0.75	6.93	121.4	6.77
0.90	3.70	80.4	4.32
1.20	1.85	57.0	2.97
1.50	1.10	43.0	1.86

Road bedding and road surface are important for the load-carrying capacity of the soil-steel structure – in the classic arched bridges, they are regarded as part of the secondary elements of the structure. Paper [4] presents the results of the analysis of influence of the road surface in an experimental structure made of flat sheet with a thickness of  $t = 23$  mm. The geometry of the cross-section is a circular sector with a radius  $R = 2.75$  m, the height of the shell  $h = 1.85$  m, and the span  $L = 5.25$  m. The structure was supported by steel piles with pile spacing of 3 m. In the analysed case, the soil surcharge with a thickness of 0.75 m, surface bedding of 0.32 m and standard asphalt surface thickness of 0.09 m was formed above the shell. The structure was operated for several months as a detour bridge on an important, international transport route.

Fig. 3 provides an example of the line of deflections in the shell crown formed by a load exerted by a car moving in a quasi-static manner along the axis of the bridge [4]. On the horizontal axis,  $x_p$  represents the position of the central wheel of the vehicle with axle spacing  $a_{12} = 2.85$  m and  $a_{23} = 1.32$  m. The load exerted on the front axle of the car was  $P_1 = 50$  kN, and the load exerted on the twin rear axles was  $P_2 = P_3 = 105$  kN. In both deflection lines, there are visible effects of driving the rear wheels of the car to position located above the shell crown, with a phase shift of the axle spacing  $a_{23}$ . In the case of an intermediate construction phase, in which the surface has not been made, the effect of driving the front wheel to the position located above the shell crown is also visible. The effect of this load was reduced by driving the rear axles onto the skewback zone (support zone). Of course, positive values of deflections shown on all graphs are displacements of the shell to the bottom.

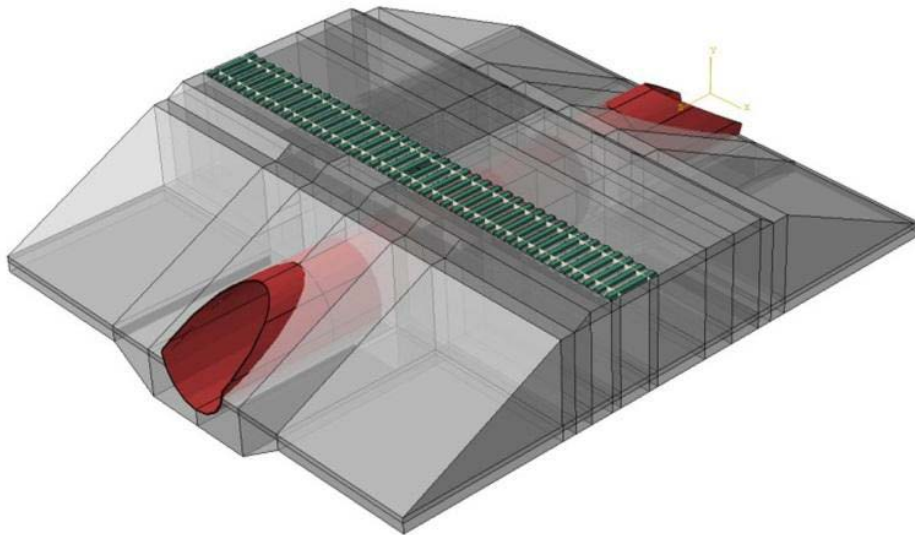


**Figure 3.** Changes in deflection in the shell crown during the passage of the vehicle

### 3. MODELS OF THE 3D STRUCTURE GEOMETRY

A universal (general) model of a soil-steel bridge structure is a spatial arrangement of the geometric characteristics of the surface and the shell immersed in the soil. If the load in the form of a group of concentrated forces is exerted on the road, as in the case of road bridges or rail-over-river bridges, it is necessary to represent the structure in a three-dimensional (3D) space. In order to reduce the size of the task, the soil base is limited to the zone interacting with the shell, as shown in fig. 4. The scope of this area is diverse – it depends on the load to be analysed, that is, on a static or dynamic system. The area of the structure is very large though, if it comes to obtaining correct results.

Fig. 4 presents an example of a discretization of the railway soil-steel culvert with a small span, which is used in construction of the transport infrastructure. In the model of the structure, its structure was mapped with consideration of the active part of the soil backfill and the railroad surface. To create the model in the 3D space, 61 000 elements with 275 000 degrees of freedom were used. Thus, the computational task was vast [10]. The paper presents the possibilities for the simplification of the 3D spatial models as well as the applicability of their simplified equivalents in the 2D space. In order to perform the calculations of such models, the general Finite Element Method (FEM) systems are also used [5].



**Figure 4.** Example of a shell immersed in the soil as a model of a railway structure [10]

For the discretization of the soil backfill, as shown in fig. 5, volumetric elements are adopted as an orthotropic continuum with the Young's module  $E_z$ ,  $E_x$  and  $E_y$  and a uniform Poisson's ratio  $\nu = 0.20$ . In the case of the road carriageway, an isotropic continuum defined by the modulus  $E$  and  $\nu$  appropriate for the material of the surface are applied. Numerous studies on structures subject to static useful load have demonstrated a sufficient effectiveness of the physical features of elements adopted to be linear and elastic [3, 5].

In the case of corrugated sheets, three of their models are applied. Mapping of the actual shape of a sheet with a thickness of  $t$  and isotropic physical characteristics, as in the case of steel, is the most complex [3, 10]. In such a model, it is important to ensure a significant number of nodes (and elements) for the mapping of curvature of the wave of the sheet and the circumferential shape of the shell with a radius of  $R$ , as shown in fig. 5b. It is easier to map the geometry of the corrugated sheet with the use of rod elements, as shown in fig. 5c [5]. In such a case, it is possible to create, from the corrugated sheet, a mesh of rods with freely adopted aperture  $a_x$  to  $a_y$ , which is independent of the corrugated sheet geometry. Rod meshes make it possible to create an influence function using the kinematic input, as in the case of other rod systems.

Two-dimensional elements in the form of an orthotropic shell are equally effective and, in addition, they also significantly simplify the calculation model. Corrugated sheet with isotropic elastic characteristics, included in the Young's modulus  $E = 205$  GPa and the Poisson's ratio  $\nu = 0.3$  is mapped in the data on the parameters of the orthotropic shell with a constant thickness of  $t_0$ . From the criterion of bent stiffness for the circumferential direction ( $x$ ), the following dependence is obtained:

$$\frac{EI_a}{a} = \frac{E_x t_o^3}{12(1-\nu^2)} \quad (1)$$

Assuming a similar rule for the circumferential axial forces, the following formula is obtained:

$$\frac{EA_x}{a} = E_x t_o \quad (2)$$

Values of the moment of inertia  $I_a/a$  and the cross-sectional surface area  $A_a/a$  refer to the length of the wave  $a$ , as shown in fig. 2. The values determined in this manner are defined by the geometric characteristics of sheets used in the construction of soil-steel bridges.

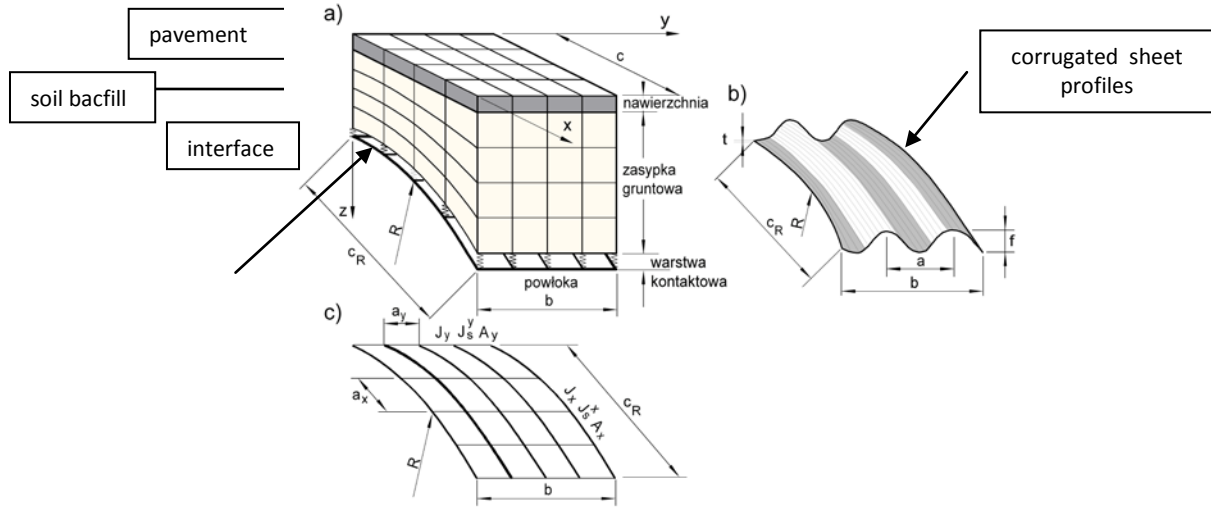


Figure 5. Discretization of the model of the soil-steel structure

From equations (1) and (2), an equivalent thickness of the orthotropic shell

$$t_o = \sqrt{12(1-\nu^2) \frac{I_a}{A_a}} \quad (3)$$

and the coefficient of elasticity for the circumferential direction

$$E_x = E \frac{A_a}{a \cdot t_o} \quad (4)$$

are obtained. The criterion of bending flexural stiffness in the cross direction ( $y$ ) in relation to the circumferential direction ( $x$ ) with the form:

$$\frac{Et^3}{12} = \frac{E_y t_o^3}{12} \quad (5)$$

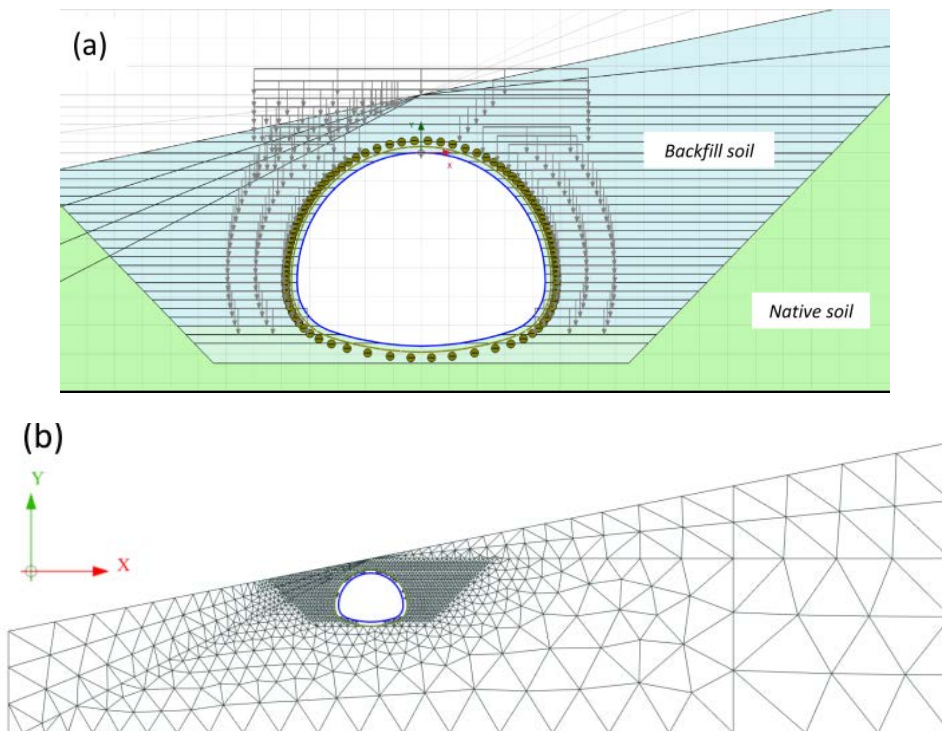
is used to define the second coefficient of elasticity.

$$E_y = E \left( \frac{t}{t_o} \right)^3 \quad (6)$$

Between the soil backfill and the shell, a contact layer can be found, as shown in fig. 5a. The contact layer has a particular influence on the results of calculations, as it is used for mapping the conditions of the interaction between two completely different media; that is, soil and steel. Models of the contact layer (interface) are varied, and they are adequate to the static issue that is analysed, the dynamics of the impact of motor vehicles and railway vehicles, or long-term effects of permanent loads [8, 12].

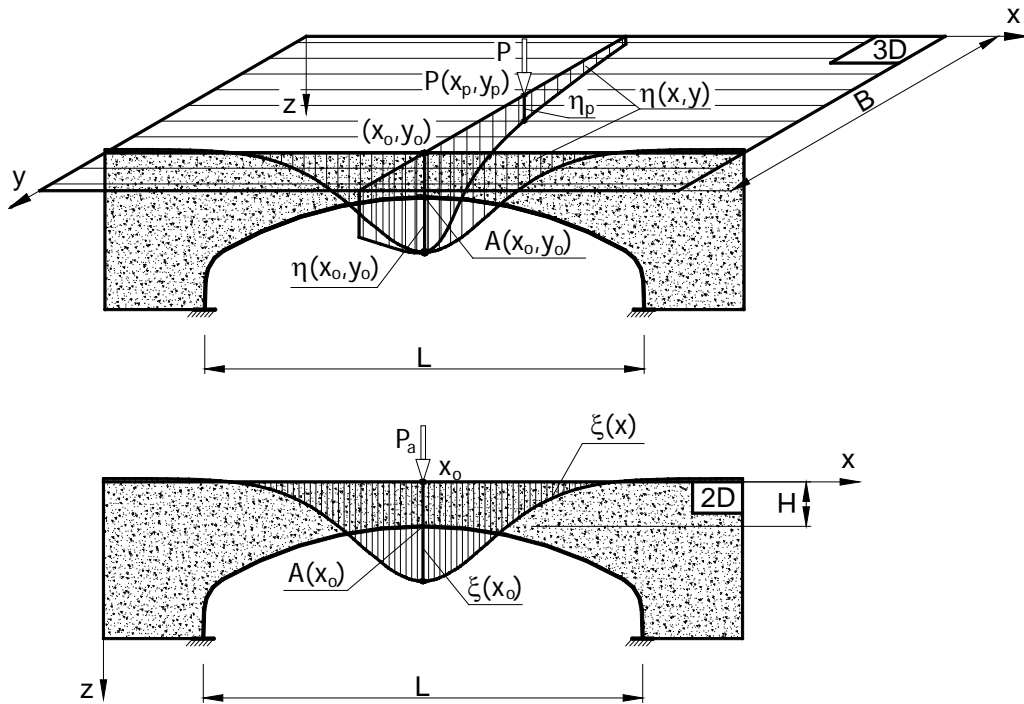
#### 4. MODELS OF THE 2D STRUCTURE GEOMETRY

A significant reduction in the scope of the computational task is obtained by reducing the spatial arrangement of the geometry of the structure to a system, as shown in fig. 6a. A flat 2D model can be used in static analyses of the interaction of the soil base with the shell, in the case of the analysis of the effects of permanent loads. Such a model meets the actual boundary conditions of the circumferential sector of the structure [13]. In this way, the significant reduction in the scope of the computational task is used. The example given in fig. 6a fulfils these conditions, since the structure is a tunnel with a variable gradient of the soil surcharge slopes. This has been presented in the form of alternative lines showing the inclination of the upper edge of the slope [3, 13]. Fig. 6b shows a grid of elements mapping a significant area of the native soil base. The part surrounding the shell is the changing thickness of the soil surcharge formed from the soil backfill. The issue which is analysed here pertains to the change in the internal forces occurring in the shell during the construction of the structure [13].



**Figure 6.** Model of the structure as a flat sector of the soil-steel structure [13]

In the case of the calculations for soil-steel structures based on the loads that change their position, a significant reduction in the scope of the computational task is obtained by reducing the spatial arrangement of the geometry of the surface and the shell immersed in the soil to a flat system, with the use of the procedure presented in [5]. In this case, the main problem is to move a car load or a railway load from the surface of the road to the line that runs parallel to the axis of the road and the circumferential sector of the structure, as shown in fig. 7a. For this purpose, the classical solution in the form of force in the Boussinesq elastic half-space was used. The effectiveness of this solution was discussed in paper [5]. In the case that is investigated here, results of the comparison of two 2D and 3D models were used, as shown in fig. 7. On this basis, the load distribution coefficients, which are frequently used in the classic bridge structures, were determined [5].



**Figure 7.** Sections of the influence of the surface and the influence line of internal force

A separate issue is the changes in the internal forces and displacements that occur during the use of soil-steel structures, caused by long-term permanent impacts. According to the results of measurements carried out for structures [8, 12], in this case, it is also possible to use the flat 2D model for the calculations.

## 5. SUMMARY

The paper concerns the engineering soil-steel structures, which are widely used as construction entities. It focuses on one of the types of such structures, that is, the type intended for transport use and having the form of road structures and railway structures. The paper discusses in general the models of soil-steel structures constructed with the use of corrugated sheets, regarded as vulnerable. The main focus was on the models used for determining the internal forces and displacements caused by variable loads. For such a task, the spatial 3D arrangement is the most developed (exact) one. Despite a small size of soil-steel structures, their geometric scope is large, considering the need to take into account the interaction of two completely different structural elements: the soil base and the shell from corrugated sheet that is immersed in it. The paper discusses three ways of discretization of the shell in the form of: corrugated sheet, rod mesh and an orthotropic shell. The aim of the paper was to discuss simplified models that, at the same time, allow for an accurate mapping of the performance of a structure, also in the 2D model.



## References

1. Bakht B.: *Evaluation of the design for soil-metal structures in Canada*. Archives of Institute of Civil Engineering. Poznań 2007, p. 7-22
2. Czerepak A., Zouhar J.: *Deformation control during assembly and backfilling of a corrugated steel structure, Ostrava, Czech Republic*. Archives of Institute of Civil Engineering. No12/2012, p. 85-93.
3. Kunecki B.: *Field Test and Three-Dimensional Numerical Analysis of Soil-Steel Tunnel During Backfilling*. Soil mechanics. Transportation Research Board of National Academies, Washington D.C. No. 2462 2014, p. 55-60.
4. Machelski C., Antoniszyn G., *Influence of live loads on the soil-steel Bridges*. Studia Geotechnica at Mechanica. Vol. XXVI, No. 3-4, 2004, ps. 91-119.
5. Machelski C., Antoniszyn G., *Load rate of the circumferential sector of soil-steel bridge structure*. Archives of Civil and Mechanical Engineering. Vol. V, No 4/2005, p. 85-102.
6. Machelski C., Czerepak A., Bogdan M.: *Comparison of stiffness of railway classic bridges with soil-steel structures bridges*. 3<sup>th</sup> B&H Congress on Railways, Sarajewo 15-16 October 2015 p. 115-121.
7. Machelski C., Michalski J.B., Janusz L.: *Deformation Factors of Buried Corrugated Structures*. Journal of the Transportation Research Board. Solid Mechanics. Transportation Research Board of National Academies, Washington D.C. 2009 p. 70-75
8. Machelski C., Mońka M.: *The changes of forces and displacements of a soil-steel structure in the function of time*. Mosty. Tradycja i Nowoczesność. Wydawnictwo Uniwersytetu Techniczno-Przyrodniczego Bydgoszcz 2015 p. 113-121.
9. Machelski C., Tomala P., Basar O.: *Investigation of stiffness of soil-steel bridges with corrugated steel structures under railway*. 8<sup>th</sup> International Symposium on Steel Bridges. Stambul, 14-16 September 2015, p. 635-644.
10. Mellak P., Anderson A., Pettersson L., Karomi R., *Dynamic behaviour of short span soil-steel composite bridge for high-speed railways-field measurements and FE-analysis*, Engineering Structures, Vol. 69, 15 June 2014, p. 49-61.
11. Pettersson L.: *Full Scale Tests and Structural Evaluation of Soil Steel Flexible Culverts with low Height of Cover*. Doctoral Thesis, KTH, Sweden 2007.
12. Vaslestad J.: *Soil structure interaction of buried culverts*, Institutt for Geoteknikk, Norges Tekniske Hogskole, Universitetet I Trondheim. 1990.
13. Wadi A., Pettersson L., Karomi R., *Flexible culverts in doping terrain: numerical solution of soil-steel loading effects*, Engineering Structures, Vol. 101, 15 October 2015, p. 111-124.

## POVRATNA VEZA BRZINE VOZILA I PUTNE GEOMETRIJE

**V. prof. dr Dejan Gavran, dipl.građ.inž.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [gavran@eunet.rs](mailto:gavran@eunet.rs)

**Doc. dr Sanja Fric, dipl.građ.inž.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [sfric@grf.bg.ac.rs](mailto:sfric@grf.bg.ac.rs)

**Asis. Vladan Ilić<sup>1</sup>, master inž.građ**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [vilic@grf.bg.ac.rs](mailto:vilic@grf.bg.ac.rs)

**Asis. Filip Trpčevski, master inž. građ.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [frpcevski@grf.bg.ac.rs](mailto:frpcevski@grf.bg.ac.rs)

**Asis. Stefan Vranjevac, master inž. građ.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [svranjevac@grf.bg.ac.rs](mailto:svranjevac@grf.bg.ac.rs)

**Rezime:** Radom je predstavljena uloga brzine vozila u procesu projektovanja puteva, i to prvenstveno uloga projektne brzine. Polazeći od pretpostavke da vozač do maksimuma koristi mogućnosti koje mu pruža put, ova brzina je jednaka usvojenoj računskoj brzini u krivinama minimalnog radijusa, a u krivinama radijusa većeg od minimalnog doseže više nivoa. Projektna brzina se analitički određuje duž projektovane trase i njen nivo ima značajan povratni uticaj na projektna rešenja. U odnosu na projektnu brzinu koriguju se poprečni nagibi u krivinama i, u skladu sa zaustavnom (zahtevanom) preglednošću sračunatom na svakoj tački trase na osnovu konkretnog nivoa projektne brzine, određuju zone preglednosti, šire berme preglednosti u usecima itd. Koncept projektne brzine od presudne je važnosti za projekat bezbednog puta, a cilj rada je da sa ovim konceptom upozna inženjere svih struka angažovane na projektu.

**Ključne reči:** Put, projektovanje, brzina, preglednost

## FEEDBACK LINK BETWEEN VEHICLE SPEED AND ROAD GEOMETRY

**Summary:** The paper presents the role of speed in the road design process, particularly the role of the operating speed. Assuming that the driver negotiates a particular curve at the highest safe speed, the anticipated operating speed equals the design speed in the curves of minimum radii and reaches higher levels in larger radii. By using analytical apparatus, road designer calculates fluctuations in operating speed levels along the road and, based on these levels, refines design solutions. Final corrections in cross grades in horizontal curves are based on the anticipated operating speed. Also, based on the stopping sight distances retrieved from the anticipated operating speed levels, obstacle free zones are established along the road. The operating speed concept is fundamental to the road safety and the purpose of this paper is to present the operating speed concept to all specialties participating in the road design process.

**Key words:** Road, design, speed, sight distance

---

<sup>1</sup> Vladan Ilić: [vilic@grf.bg.ac.rs](mailto:vilic@grf.bg.ac.rs)

## 1. UVOD

Cilj rada je da inženjerima svih struka angažovanim na projektu puta predstavi povratnu vezu između brzine vozila i putne geometrije. Rad je metodološki presek kroz proces projektovanja puta kakav je kod nas široko prihvaćen pre tri decenije, a ozvaničen novim propisima [1]. Sama povratna veza između brzine vozila i putne geometrije (posmatrane bilo kroz pojedinačne geometrijske elemente puta, bilo kroz tok trase u celini) nalazi se u osnovnom toku procesa projektovanja i od ultimativne je važnosti za bezbednost projektovanog puta.

## 2. POJMOVI BRZINA U PROCESU PROJEKTOVANJA PUTA

Aktuelni propisi prvo definišu osnovnu brzinu  $V_0$ . To je srednja brzina saobraćajnog toka i, kao takva, pokazuje nivo usluge puta pri merodavnom saobraćajnom opterećenju. Stoga osnovna brzina samo posredno utiče na bezbednost puta.

Računska brzina  $V_r$  je teorijska vrednost brzine na osnovu koje se računaju granični elementi putne geometrije. Ovom brzinom su određeni donji granični parametri geometrije puta (na primer, minimalni radijus horizontalne geometrije) koji se, po pravilu, primenjuju u najsloženijim terenskim uslovima.

Minimalni parametri geometrije puta pojavljuju se samo na određenim mestima (tamo gde, na primer, konfiguracija terena značajno podiže investiciju kakvog komfornijeg rešenja), a na ostalim delovima trase primenjuju se parametri puta komforniji od graničnih. Posledično, očekivana brzina na kritičnim delovima trase, projektovanim sa minimalnim (graničnim) parametrima geometrije puta, biće jednaka računskoj, a na ostalim delovima trase očekivana brzina dosežeće više nivoa. Očekuje se da vozači, i pored ograničenja brzine, iskoriste mogućnosti puta u cilju dostizanja viših nivoa brzine, što potvrđuju i istraživanja sprovedena u zemljama poznatim po disciplini vozača [2]. Ova brzina, promenljiva duž trase i procenjena na osnovu mogućnosti trase, zove se projektna brzina  $V_p$ .

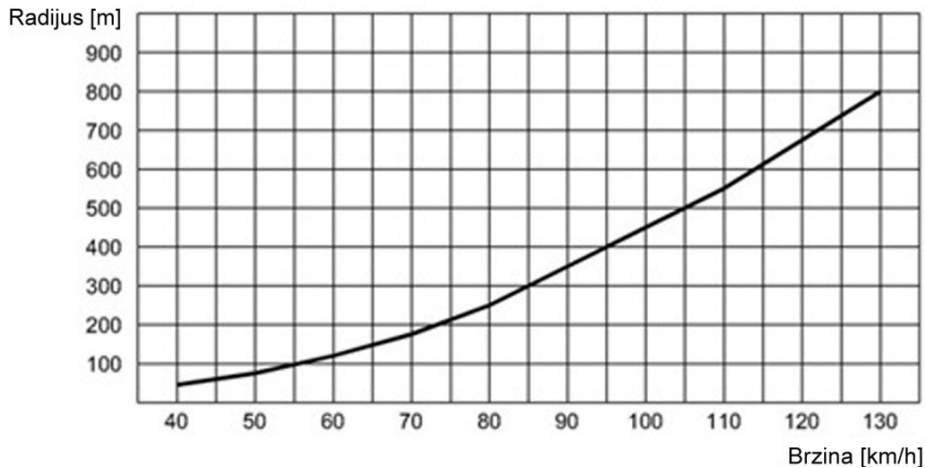
Tako računski brzina  $V_r$  predstavlja brzinu usamljenog vozila na putu u najoštrijim uslovima puta, a projektna brzina  $V_p$  jeste očekivana, i duž trase promenljiva, brzina usamljenog vozila. Projektna brzina je pod potpunom kontrolom projektanta puta. Projektant odabira i ređa elemente geometrije puta tako da projektnu brzinu održi u kontrolisanim granicama (između  $V_r$  i  $V_r+20km/h$ ). Takođe, ritam elemenata geometrije puta mora biti takav da se postigne homogena nesigurna trasa, odnosno trasa koja će kao celina držati pažnju vozača ali bez pojave pojedinih kritičnih elemenata koji će od vozača zahtevati izuzetne reakcije. Naročita pažnja se posvećuje odnosu radijusa susednih horizontalnih krivina koji gradacijski opadaju od većih ka manjim, navodeći vozača da postepeno usporava na prilazu krivini sa najmanjim radijusom.

Projektant puta geometrijom vodi vozača. Projektant drži brzinu u kontrolisanim granicama, promene brzine duž trase čini postepenim, opštim statističkim pokazateljima trase (koeficijent zakrivljenosti, srednji nivo projektne brzine, geometrijska i dinamička homogenost trase) drži vozača aktivnim i priprema ga za naredne elemente putne geometrije kojima vozi u susret. Stoga se pojava opasnog mesta na trasi (ili opasne deonice) uvek smatra greškom projektanta.

## 3. RAČUNSKA BRZINA

U prethodnom poglavlju rečeno je da je računski brzina najveća bezbedna brzina usamljenog vozila u najoštrijim uslovima puta. Računski brzinu projektant usvaja na osnovu vrste puta i kategorije terena u kome se put nalazi (da bi se nivo investicije umerio i uskladio sa terenskim uslovima). Najviši nivoi računski brzine zadaju se za najviši rang puta (daljinski) u najpovoljnijem terenu (ravničarski), i to  $130km/h$  ako se radi o autoputu ili  $100km/h$  ako se radi o dvotračnom ili višetračnom putu. U starijim propisima (iz perioda SFRJ i podele na autoputeve i dvotračne puteve po razredima) za autoputeve u ravničarskom terenu zadavana je, na primer, računski brzina od  $120km/h$ , a za autoputeve u planinskom terenu od  $80km/h$ .

Na osnovu računski brzine usvajaju se parametri puta u praktično svim projekcijama: širine saobraćajnih, ivičnih (eventualno zaustavnih) traka i bankina u poprečnom profilu, minimalni radijusi krivina i minimalni parametri prelaznica u situacionom planu, maksimalne vrednosti nagiba nivelete kao i radijusi konveksnih i konkavnih krivina u podužnom profilu. Veza brzine, bilo da se radi o računskoj ili o projektnoj, i radijusa horizontalne krivine data je na **Slici 1**.



Slika 1. Veza brzine i radijusa horizontalne krivine (Izvor [1])

#### 4. PROJEKTNJA BRZINA

Projektzna brzina je očekivana brzina vozila i ona se menja duž trase. Relevantni propisi pojedinih zemalja već dugi niz godina propisuju modele za proračun projektne brzine duž trase. Model zadat našim propisima na nivou je Nemačke [3] ili ispred Austrijske [4] regulative.

Dijagram projektne brzine za oba smeru vožnje konstruiše se superpozicijom dijagrama projektne brzine dobijenog na osnovu elemenata situacionog plana i dijagrama projektne brzine dobijenog na osnovu elemenata podužnog profila. Dijagram projektne brzine iz situacionog plana najčešće ima dominantan uticaj. Na Slici 2 pokazana je konstrukcija ovog dijagrama. Svaki pravac (LINE) ili kružna krivina (ARC) ima svoj nivo projektne brzine (određen dijagramom sa Slike 1). Ovaj nivo je konstantan duž elementa (pravca ili kružnice) i prikazan je debelom horizontalnom linijom. Prilazeći elementu, vozilo usporava sa  $-0.8m/s^2$ . Napuštajući element, vozilo ubrzava sa  $0.8m/s^2$ , što rezultira simetričnom krivom brzine. Tako se kriva projektne brzine u zoni konkretnog elementa (pravca ili kružne krivine) predstavlja formom sastavljenom od tri elementa: kriva usporenja, horizontalna linija i kriva ubrzanja. Osenčena površina ispod ovih presečnih formi predstavlja dijagram projektne brzine na osnovu elemenata situacionog plana. Pravci i kružne krivine velikih radijusa specifični su po tome što su njihovi osnovni nivoi projektne brzine visoki i što se pre njih ne pojavljuje kriva usporenja, niti posle njih može uslediti kriva daljeg ubrzanja.

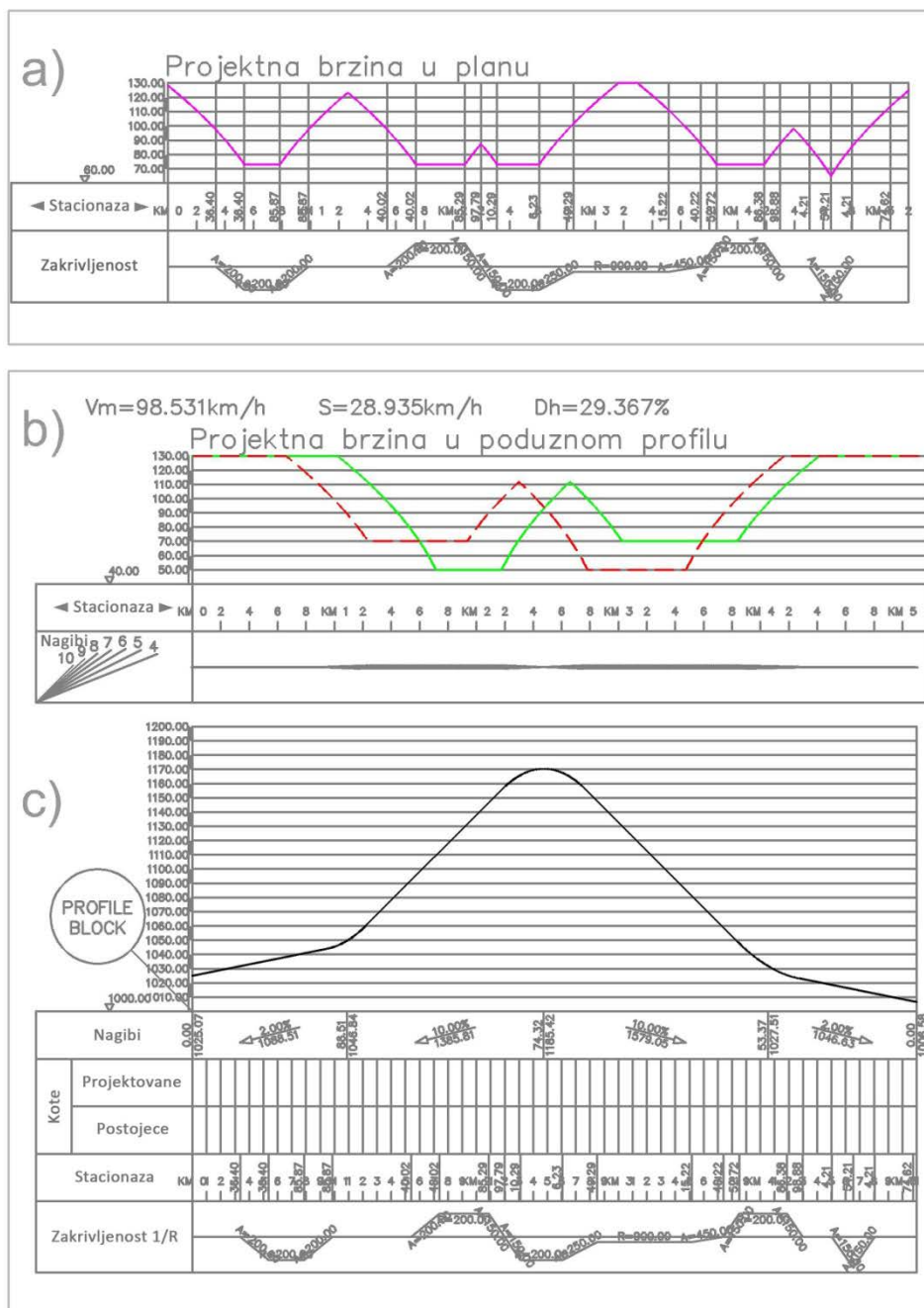


Slika 2. Konstrukcija dijagrama projektne brzine na osnovu elemenata situacionog plana

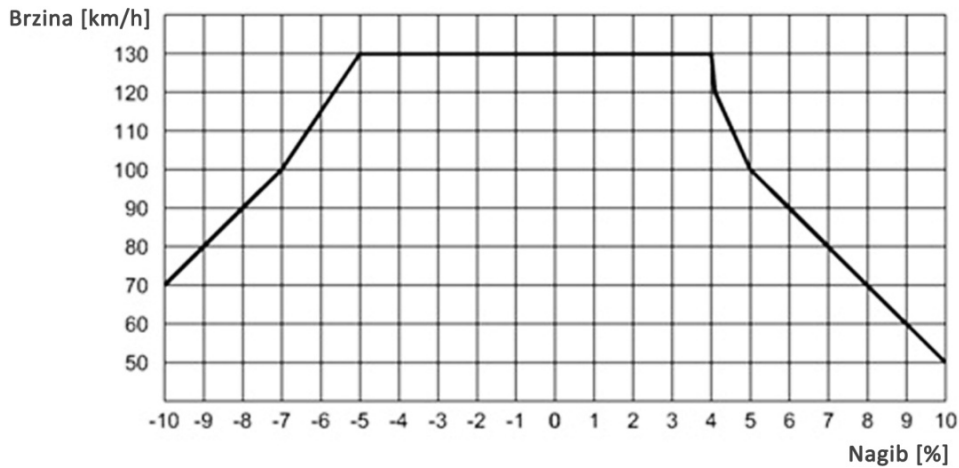
Konačni dijagram projektne brzine dobija se kombinovanjem dijagrama projektne brzine dobijenog iz situacionog plana sa dijagramima projektne brzine dobijenim na osnovu podužnog profila (Slika 3). Dijagram projektne brzine dobijen na osnovu situacionog plana za konkretnu trasu je jedan. Do pojave novih propisa, zbog činjenice da su se za usporenje i ubrzanje vozila uzimale različite vrednosti ( $0.5m/s^2$  za ubrzanje i  $1.0m/s^2$  za usporenje, za razliku od danas jedinstvenih  $0.8m/s^2$ ), imalo je smisla konstruisati dva dijagrama na osnovu situacionog plana. Ova dva dijagrama su konstruisana za dva smeru vožnje i razlikovali su se upravo u zonama ubrzanja i usporenja (u zoni S-krive, na primer).

Na osnovu podužnog profila, u principu se konstruišu dva dijagrama projektne brzine, po jedan za svaki smer vožnje. Na Slici 3(a) za konkretnu trasu dat je dijagram projektne brzine na osnovu situacionog plana

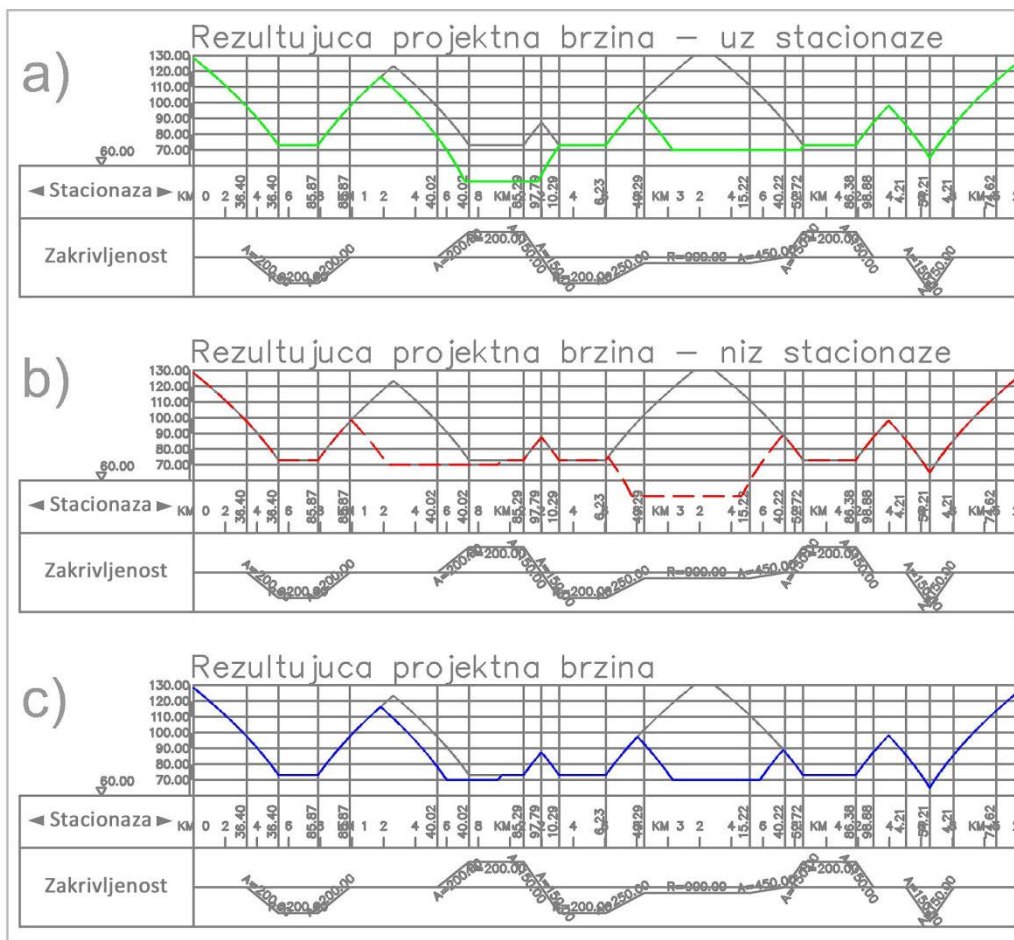
konkretne trase, na **Slici 3(c)** dat je podužni profil, a na **Slici 3(b)** date su dve krive (dva dijagrama) projektne brzine dobijene na osnovu tog podužnog profila. Na trasama sa izraženim padovima i usponima u podužnom profilu, dva naspram dijagrama projektne brzine dobijena na osnovu podužnog profila mogu se bitno razlikovati. **Slika 4** pokazuje kako uspon ili pad utiču na trajnu brzinu putničkog vozila i sa nje se može zaključiti da padovi blaži od -5% i usponi manji od +4% ne utiču na brzinu putničkog vozila. **Slike 5(a), 5(b)** i **5(c)** predstavljaju rezultujuće (konačne) dijagrame projektne brzine. **Slike 5(a)** i **5(b)** predstavljaju konačne dijagrame projektne brzine za svaki od smerova vožnje ponaosob. Polazni konačni dijagram za svaki od smerova jeste dijagram dobijen na osnovu situacionog plana ali se on za svaki od smerova redukuje korespondentnim dijagramom projektne brzine dobijenim iz podužnog profila. Tako se dijagrami **5(a)** i **5(b)** dalje koriste za povratne korekcije projekta zasnovane na projektnoj brzini po smerovima (npr. za proračun zahtevane preglednosti za svaki od smerova vožnje). Dijagram **5(c)** je, u neku ruku, zbirni dijagram za dijagrame **5(a)** i **5(b)**. Ovaj dijagram je na svakoj stacionaži trase definisan višim od ova dva nivoa brzine (za različite smerove vožnje). Imajući u vidu da je na dvotračnom putu poprečni nagib kolovoza jedinstven (za obe saobraćajne trake), ovaj se poprečni nagib u konkretnoj kružnoj krivini određuje prema višem od dva nivoa projektne brzine, kako to pokazuje dijagram **5(c)**.



**Slika 3.** Konstrukcija dijagrama projektne brzine na osnovu podužnog profila



Slika 4. Brzina putničkog vozila u funkciji od podužnog nagiba (Izvor [1])

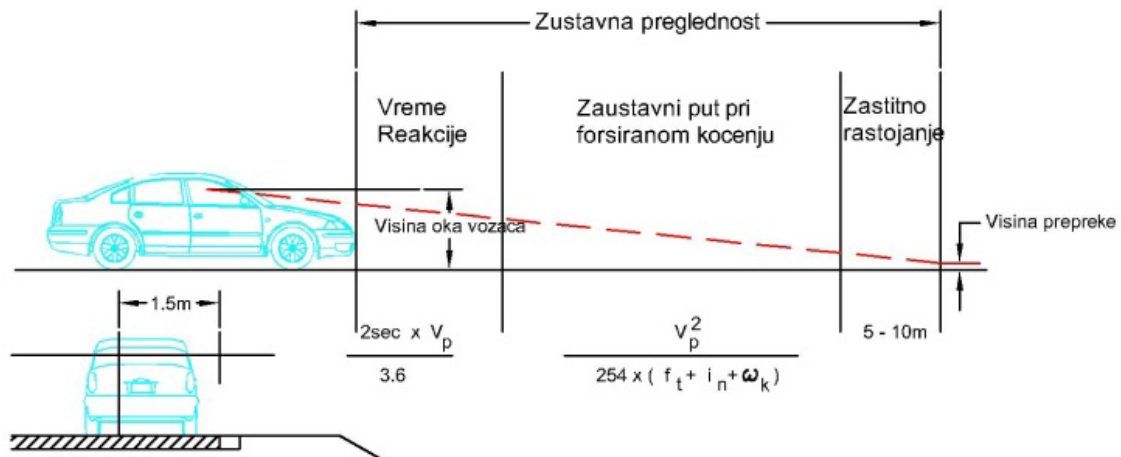


Slika 5. Konstrukcija rezultujućeg dijagrama projektne brzine

## 5. POVRATNI UTICAJ PROJEKTNE BRZINE NA PROJEKTA REŠENJA

Dve su tipične pozicije na kojima projektna brzina povratno utiče na projektna rešenja. Prva pozicija se odnosi na preglednost puta.

Obaveza projektanta je da na svakoj stacionaži puta vozaču omogući zaustavnu preglednost, kao i da na određenom procentu trase, u cilju dostizanja zadatog nivoa usluge, omogući i preticajnu preglednost. Zaustavna preglednost jednaka je zaustavnom putu vozila pri forsiranom kočenju, kome se dodaje put pređen tokom vremena reakcije vozača, kao i određeno zaštitno odstojanje od prepreke na putu (Slika 6).



Slika 6. Proračun zaustavne preglednosti (Izvor [5])

Zaustavna preglednost formalno se računa na osnovu računске brzine  $V_r$ . Međutim, u uslovima poznavanja realno očekivanog nivoa projektne brzine  $V_p$  na svakoj od stacionaža, projektant je u obavezi da raspoloživu preglednost trase uskladi sa tim višim nivoima projektne brzine  $V_p$ . Sada se više ne operiše sa konstantnom zaustavnom preglednošću duž trase, već se, za oba smera vožnje, na osnovu dijagrama 5(a) i 5(b), na svakoj od stacionaža (sa određenim stacionažnim korakom) računa promenljiva zahtevana preglednost. Zahtevana preglednost računa se po istoj formuli kao i zaustavna (na osnovu vremena reakcije vozača, koeficijenta tangencijalnog trenja, otpora kotrljanja, podužnog nagiba), a jedino se za brzinu uzima nivo projektne brzine  $V_p$ .

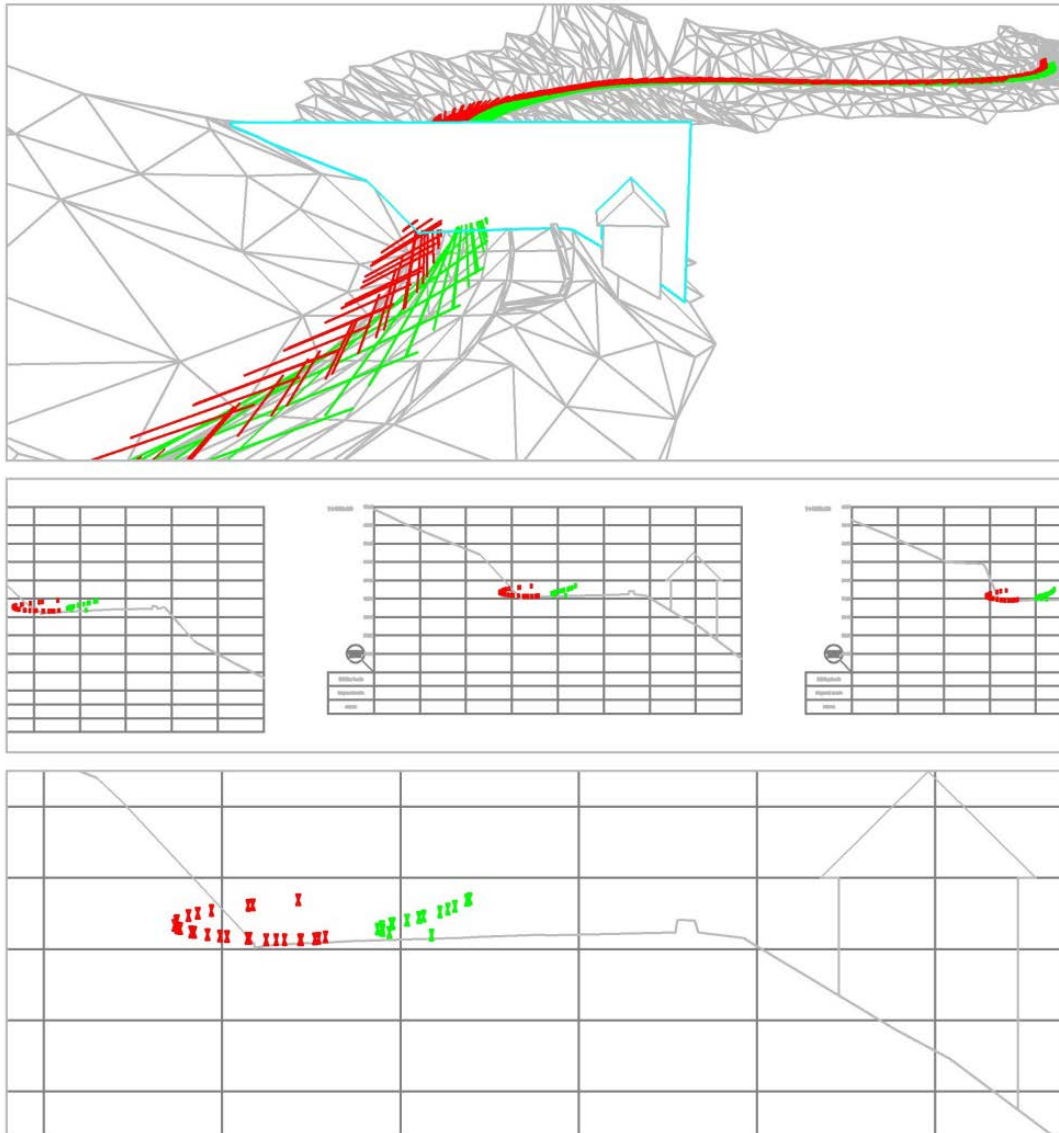
Posledice primene koncepta zahtevane preglednosti pokazane su na Slici 7. Ovde su, u 3D model, na svaku od stacionaža, unete vizure zahtevane preglednosti (punim linijama date su vizure vozača koji se kreće uz, a isprekidanim linijama vizure vozača koji se kreće niz stacionaže). Svaka vizura spaja poziciju oka vozača sa preprekom na kolovozu koja se nalazi na dužini zahtevane preglednosti ispred njega. Propisi [1] zadaju položaj oka vozača na 1.5m od ivične trake i na 1.1m iznad površine kolovoza, a za visinu prepreke propisuju 10cm.

U poprečnim profilima isečenim sa modela jasno se vidi kako neke od vizura prodiru kosinu useka sa unutrašnje strane krivine. Ovim se jasno dokazuje kako, uvođenjem u proračun realno očekivane projektne brzine  $V_p$ , postaje neophodno dodatno proširenje berme preglednosti.

Raspoloživa preglednost je dužina vizure preglednosti koja se u realnim uslovima puta otvara pred vozačem. Na svakoj tački trase ova preglednost mora biti veća od zahtevane, a na određenom procentu trase mora biti veća i od preticajne preglednosti. Tačne dužine raspoložive preglednosti moguće je sračunati jedino na osnovu analize realističnog triangulisanog prostornog modela putnog pojasa. Princip proračuna raspoložive preglednosti na osnovu 3D modela puta i uprošćenom modelu putnog pojasa sa imaginarnim bočnim preprekama detaljno je objašnjen u radu [6].

Druga tipična pozicija na koju povratno utiče projektna brzina je poprečni nagib u krivini. Prema starijim metodologijama projektovanja puta maksimalni poprečni nagib od 7% primenjivan je u krivinama minimalnog radijusa, a u ostalim krivinama je redukovan. Poprečni nagib je bio proporcionalan odnosu radijusa minimalnog za zadatu računsku brzinu i radijusa za koji se poprečni nagib računa. Tako je svaka krivina radijusa većeg od minimalnog zahtevala proporcionalno manji poprečni nagib. Novije metodologije predviđale su redukciju poprečnog nagiba ne prema fiksnoj računskoj brzini, već prema nešto višoj 85%-tnoj brzini koja je procenjena na osnovu srednje zakrivljenosti deonice. Poprečni nagib bio je proporcionalan odnosu radijusa minimalnog za procenjenju 85%-tnu brzinu i konkretnog radijusa krivine.

Polazeći od pretpostavke da vozač, vozeći brzinom  $V_p$ , do krajnjih granica koristi mogućnosti puta, nova metodologija polazi od maksimalnog poprečnog nagiba od 7% u svakoj od horizontalnih krivina. Samo u krivinama u kojima se, analizom projektne brzine, dokaže da je zbog uticaja podužnog nagiba (pada strmijeg od -5% ili uspona većeg od 4%) projektna brzina manja od one za koju je predmetni radijus minimalan, može doći do redukcije poprečnog nagiba. Takođe, u krivinama velikih radijusa (većih od 450m na dvotračnim putevima i većih od 800m na autoputevima) dolazi do redukcije poprečnog nagiba (prema dijagramima datim u propisima [1]).



Slika 7. Proširenje (otvaranje) berme preglednosti na osnovu projektne brzine

## 6. DALJA UNAPREDJENJA KONCEPTA PROJEKTNE BRZINE

Nakon kratkog opisa povratne veze između brzine vozila i putne geometrije, što je prikazano kroz koncept projekte brzine, umesto zaključka predlažu se moguća unapređenja ovog koncepta.

Uspešan projekat puta mora uspostaviti balans konstruktivnog i funkcionalnog aspekta. Da bi se postigao takav balans, zahteva se posebna metodologija primene koncepta projektne brzine. Tradicionalni stav je da je mesto voznodinamičkih analiza trasa, u koje spada i analiza projektne brzine, u Idejnom projektu puta.

Idejni projekat je nezaobilazan korak u projektovanju novih trasa i projektovanju rekonstrukcija postojećih trasa puteva. Valja istaći da je rekonstrukcija zahvat koji intervenciju na putu izvodi van putnog pojasa, najčešće u cilju modifikacije trase i poboljšanja njenih voznodinamičkih karakteristika. Obično se analizira više varijanata trase (na nivou Idejnog projekta), da bi se ona optimalna (najčešće najbolja po voznodinamičkim kriterijumima) obradila i Glavnim projektom.

Rehabilitacijom puta ne menja se osovina, a intervencije ostaju u zahvatu putnog pojasa. Najčešće se radi o intervencijama koje rezultiraju boljim voznim karakteristikama kolovozne površine, što vodi opštem povećanju nivoa brzina. Sasvim je moguće da nakon rehabilitacije kolovoza, ako se istovremeno ne otvore i zone preglednosti usklađene sa višim nivoom projektne brzine, broj saobraćajnih nesreća na predmetnoj deonici poraste. Stoga je za preporuku da se i projekti rehabilitacije (i kada se svedu samo na Glavni projekat) prate odgovarajućim analizama projektne brzine i, naročito, analizama preglednosti.



Takođe se postavlja i pitanje tačnosti procenjenog nivoa projektne brzine na elementu (na konkretnoj kružnoj krivini). Ova brzina se procenjuje iz odnosa radijusa i brzine kako je pokazano na **Slici 1**. Međutim, poslednjih godina na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu sprovedena su istraživanja [7,8] kojima su u krivinama manjeg skretnog ugla ("plitkim" krivinama) dokazana odstupanja vožene trajektorije vozila u odnosu na originalnu geometriju osovine puta. U ovakvim krivinama vozač "seče" krivinu, a vozilo opisuje radijus veći od projektovanog, što procenjenju projektnu brzinu podiže na viši nivo. Posledično, projektant bi u nekoj narednoj modifikovanoj metodologiji primene koncepta projektne brzine, pri određivanju nivoa projektne brzine na elementu, morao da pođe ne od projektovanog, nego od realnog procenjenog voženog radijusa. Dijagram sa **Slike 1** ostao bi isti ali bi se u "plitkim" krivinama u proračun ulazilo sa radijusima većim od projektovanog.

Sprovedenim istraživanjima postavljena je i metodološka i eksperimentalna osnova za dalje istraživanje realno vožene trajektorije u plićim horizontalnim krivinama i, samim tim, postavljena je i osnova za unapređenje koncepta projektne brzine.

## Literatura

- [1] JP "Putevi Srbije". (2011). *Pravilnik o uslovima koje sa aspekta bezbednosti saobraćaja moraju da ispunjavaju putni objekti i drugi elementi javnog puta*. Službeni glasnik Republike Srbije br. 50/2011, Beograd, Srbija.
- [2] Riffel, B.S., Zimmermann, M. (2011). *Kolloquium für Fortgeschrittene: Modellierung des Fahrverhaltens in Kurven*. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Germany. 17 p. (on-line) available at: [https://www.ise.kit.edu/rd\\_download/SEB/Kolloquium\\_SEB\\_11-02-09\\_Sven\\_Riffel.pdf](https://www.ise.kit.edu/rd_download/SEB/Kolloquium_SEB_11-02-09_Sven_Riffel.pdf) (11.02.2016)
- [3] FGSV 201. (2012). *Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL)*. (Nemački propisi za projektovanje vangradskih puteva). Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV) Publishing. Cologne, Germany. 136 p. (on-line) available at: <http://www.fgsv-verlag.de/catalog/index.php?cPath> (25.03.2016)
- [4] RVS 03.03.23 (2014). *Linienführung und Trassierung*. (Austrijski propisi za planiranje i projektovanje vangradskih puteva). Die Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr (FSV). RVS Richtlinien & Merkblätter. Vienna, Austria. 25 p. (on-line) available at: <http://www.fsv.at/shop/produktdetail.aspx?IDProdukt=79a9a55a-10b4-4680-aa4f-729cd7c2eafb> (27.03.2016)
- [5] Gavran, D. (2013). *User Manual - GCM++*. Gavran Civil Modeller, Belgrade, Serbia. (on-line) available at: <http://www.gcm-gavran.com/index.htm> (23.02.2016)
- [6] Gavran, D. (2013). *Kontrola preglednosti puta*. Prva međunarodna naučno-stručna konferencija "Savremeno održavanje puteva", Aranđelovac, Srbija. Zbornik radova: 120-126.
- [7] Fric, S. (2014). *Teorijsko i eksperimentalno istraživanje graničnih trajektorija vožnje u vangradskim putnim krivinama*. Doktorska disertacija. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Srbija. 162 s.
- [8] Russo, F., Fric, S., Biancardo, S.A., Gavran, D. (2015). Driver Speed Behavior on Circular Curves of Undivided Two-Lane Rural Roads - Serbian and Italian Case Studies. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Low-Volume Roads 2015: Volume 1. Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C., No. 2472: 117 - 128.

# THE APPLICABILITY OF WIM DATA IN THE PAVEMENT DESIGN OF ROAD REHABILITATION

**Bajko Kulauzović, B.Sc.**

*Cestel d.o.o., Slovenia, bajko.kulauzovic@cestel.si*

**Abstract:** *The primary objective of the study is to assess whether or not to undertake WIM measurements before repairs, reinforcements or new construction of pavement structures. It is necessary to consider the scope and level of investment and calculate whether WIM measurement is warranted or not. For the purpose of the study, five test sections were selected with investment expected in following years. WIM measurements were carried out and measured data were compared to the calculated ESAL values from traffic counters. Paper will show high usability of WIM data in relation to economic impact during the planning.*

**Keywords:** *weigh-in-motion, pavement, pavement design, road reconstruction.*

## 1. FOREWORD

Road pavements are structures with finite lives. They are designed to withstand a specific number of equivalent single axle loads (ESALs). Consequently, the truck traffic consumption of ESAL design life, and increased road infrastructure costs associated with it, can increase rapidly where significant volumes of truck traffic is involved. If a road section was not designed for heavy axle loads, as many rural roads are not, it could be rendered inadequate in a matter of months or even weeks. When repairs, reinforcements or new constructions are planned, they involve analyzing available traffic data, where usually only traffic counters data is available. Since investments are high, any additional input, to help with decision, is highly anticipated and desired.

## 2. ESAL CALCULATION

Influence of traffic on pavement is usually accounted for with the number of the Equivalent Single Axle Loads (ESALs). The common procedure to evaluate cumulative ESAL value for certain traffic can be described by the formula:

$$ESAL = \sum_{i=1}^n 10^{-4} \times f_t \times f_a \times P_i^\alpha$$

where

*ESAL* - traffic loading expressed as the sum of nominal (equivalent single) axle loads

*f<sub>a</sub>* - axle factor which depends on the type of the axle and the reference axle load

*f<sub>t</sub>* - type of the tyre and type of suspension on the axis; factor *f<sub>t</sub>* is often disregarded

*P* - axle loading in tons

*α* - type of the pavement and the damage phenomena; in most countries a constant value of 4 is used

*n* - number of axles

This approach to ESAL calculation was further refined and upgraded with introduction of additional factors in OECD methodology for assessment of heavy freight vehicle [1] and is based on the same theoretical principles as the previous equation, but is more advanced in a sense that it incorporates effects of different types of tyres and suspension.

$$ESAL_{OECD} = \sum_{i=1}^n (k_1 \times k_2 \times k_3 \times \frac{P_i}{P_0})^\alpha$$

where:

*ESAL* - traffic loading expressed as sum of nominal (equivalent single) axle loads

*k<sub>1</sub>* - factor representing influence of the type of axle configuration

*k<sub>2</sub>* - factor representing influence of the type of the tyre

- $k_3$  - factor representing influence of the type of suspension on the axis
- $P_i$  - loading of axle  $i$  in tons
- $P_0$  - reference axle loading in tons
- $\alpha$  - factor depending on type of the pavement and the damage phenomena; a value of 4 is used
- $n$  - number of axles

Lately the merger of previous equations produced the following formula:

$$ESAL = 10^{-8} \times \sum_{i=1}^n f_a \times (f_t \times P_i)^\alpha$$

where

- $f_a$  - axle factor which depends on the type of the axle and the reference axle load
- $f_t$  - type of the tyre on the axis (1,0 for double, 1,2 for super single and 1,3 for single)
- $P$  - axle loading in kN
- $\alpha$  - type of the pavement and the damage phenomena; in most countries a constant value of 4 is used
- $n$  - number of axles

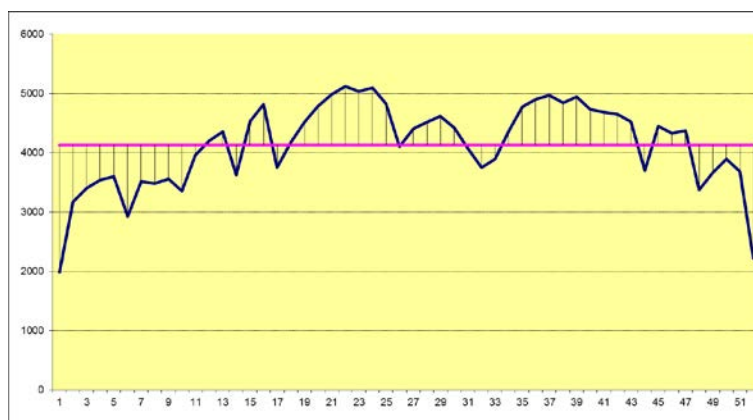
The following parameters are taken into account in the present paper:

- reference axle loads: 100 kN and 82 kN (an axle load equal to the reference axle load yields an ESAL value of 1),
- fourth power ( $\alpha=4$ ) of the axle load and
- $f_a$  axle type correction factor for 100 kN (1,000 for single, 0,0953 for double and 0,0301 for triple) and for 82 kN (2,212 for single, 0,195 for double and 0,048 for triple)

### 3. PRIMARY OBJECTIVE

Since the primary objective of the study was to assess whether or not to undertake WIM measurements before repairs, reinforcements or new construction of pavement structures, test sections were selected with investment expected. WIM measurements were carried out and measured data were compared to the calculated ESAL values from traffic counters, which are normally used as input data for all calculations.

As the WIM measurements were carried out in one week, data shall be standardized to reduce the dependence of measurements on the particular week (picture 1). This is done through the equivalence factor of each lane, which is calculated by measuring the actual traffic with the SiWIM system in the given week, multiplied by the adjustment factor for each lane. Adjustment factor is the ratio of an average annual daily traffic (AADT) for a given measured road section, divided by the weekly average of the daily traffic (WADT) on the given section during the measured week.



Picture 1. Averaging daily traffic

$$ESAL_{AADT\_lane} = ESAL_{WADT\_lane} \times f_{lane}$$

$$f_{lane} = \frac{AADT_{lane}}{WADT_{(measurement\_date)\_lane}}$$

Where:

$ESAL_{WADT\_lane}$  – ESAL value for lane measured with the SiWIM system

$AADT_{lane}$  – Annual average daily traffic for lane

$WADT_{(measurement\_date)\_lane}$  – Weekly average daily traffic on the measured date for lane

$f_{lane}$  – adjustment factor for lane

The test sections were selected by the customer and the contractor following data collection and analysis of planned investment projects. Summarized data is presented in Table 1.

**Table 1. Four test locations**

Road	Section	Section name	Measurement name	Length
R3-697	5514, KM 0,0	Grad-Nazarje	Nazarje	319m
G1-6	338, KM 0,922	Postojna-Pivka	Selce	932m
R1-215	1165, KM6,4 & 7,5	Trebnje-Mokronog	Mirna	445m
G1-4	1259, KM 8,182	Sl.Gradec-Zg.Dolič	Mislinja	440m

#### 4. MEASUREMENT RESULTS

At each of the four test sites, WIM measurements were carried out for the purposes of a comprehensive analysis of the data collected. The histograms for single, double and triple axles were calculated and, based on information available on the AADT, ESAL measured and an analysis was carried out to compare measured data with data collected by traffic counters at the measured sections. In all calculations, technical specifications for public roads [2] are taken into account.

Table 2 presents data on the measured and normalized equivalency factors for each measurement location. Note that the adjustment factor for the measurements at Nazarje is 1, since no information on the number of vehicles from automatic traffic counters was available, instead, only a manual count was done at this road section. These data are not adequate to calculate the correct factors.

**Table 2. ESAL values overview**

Name	$ESAL_{WADT\_1}$	$ESAL_{WADT\_2}$	Flane1	Flane2	$ESAL_{AADT\_1}$	$ESAL_{AADT\_2}$	Max $ESAL_{AADT}$
<b>Nazarje</b>	112,9	125,6	1*	1*	112,9	125,6	<b>125,6</b>
<b>Selce</b>	311,7	399,3	1,059	1,066	330,1	425,7	<b>425,7</b>
<b>Mirna</b>	151,1	95,5	0,878	0,886	132,7	84,6	<b>132,7</b>
<b>Mislinja</b>	503,0	702,8	0,955	0,951	480,4	668,4	<b>668,4</b>

It is very important, to use  $Max\ ESAL_{AADT}$  value for pavement design and not using average ESAL values or even ESALs calculated from traffic counters data as this will cause under- or even over-design of required layers. Lower measured traffic load will cause savings whereas increased traffic load will require a stronger restoration to ensure the life expectancy of the pavement.

For each measured site, the traffic loading during designing was compared with traffic loading in the present and WIM data.

#### Past

Projects for all four road sections were carried out in 2006, so required data was taken from publication "Traffic 2004". Traffic loads were calculated in accordance with the technical regulations for roads in force at

the time [3], which were based on calculations of the nominal axle loads of 82 kN. Later, in year 2009, technical regulations were changed to use 100kN nominal axle load. Unfortunately, actual works on this road sections were withheld until after 2012, therefore some changes were expected in design data.

## Present

Given that the WIM measurements were implemented on the ground in 2015, we determine the traffic load according to the last traffic count in 2014.

For the design for reconstruction works, traffic data from publications "Traffic 2014" were taken into account in all sections. Traffic loads were calculated in accordance with the technical regulations for roads in force at the time [2], which were based on calculations of the nominal axle loads of 100 kN.

Based on WIM measurements on those sections made in 2015, lane with higher ESAL value would be taken into account in the calculation.

## Verification of pavement design carried out in 2006

The project design from 2006 would yield a certain specification of the thickness of the asphalt for the reconstruction for a 20 year period [4]. With the same traffic data, but taking into account the traffic load calculated according to new technical regulations (expressed as the number of crossings of the nominal axle load of 100 kN, which increases slightly the vehicle equivalency factors), the specified thickness of asphalt changes.

**Table 3.** *ESAL value comparison*

<b>Name</b>	<b>ESAL<sub>DESIGN 2006</sub></b>	<b>ESAL<sub>TSC2014</sub></b>	<b>ESAL<sub>WIM2015</sub></b>
<i>Nazarje</i>	18,5	17,3	125,6
<i>Selce</i>	346,8	321,7	425,7
<i>Mirna</i>	134,4	166,2	132,7
<i>Mislinja</i>	250,7	396,8	668,4

## 4.1. Nazarje

### 4.1.1. Traffic loading at design time

For the design of reconstruction works, automatic traffic counters data from publications "Traffic 2004" were taken into account. Traffic loads were calculated in accordance with the technical regulations for roads in force at the time [3], which were based on calculations of the nominal axle loads of 82 kN.

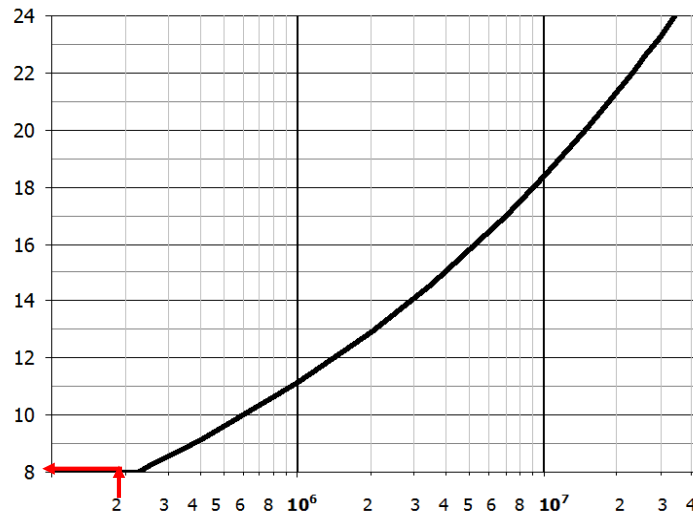
**Table 4.** *Traffic data for Nazarje site*

	<b># of vehicles</b>	<b>ESAL<sub>VEHICLE TYPE</sub></b>	<b>#vehicles X ESAL<sub>VEHICLE TYPE</sub></b>
<i>AADT</i>	1000		
<i>Cars</i>	916	0,00006	0,05
<i>Buses</i>	15	1,20	18,00
<i>Light trucks</i>	40	0,01	0,40
<i>Medium trucks</i>	15	0,20	3,00
<i>Heavy trucks</i>	5	1,10	5,50
<i>Trucks with trailers</i>	5	2,00	10,00
	<b>ESAL<sub>AADT</sub></b>		<b>36,95</b>

Traffic loads from only one (more heavily loaded, if available) direction is used for design and/or reconstruction calculations, so  $(36,95 / 2) 18,475$  ESAL is used as an input data. 20-year nominal axle loading ( $NAL_{20\_82kN}$ ) with 3% annual traffic growth is then:

$$NAL_{20\_82kN} = 18,475 * 365 * 27,27 = \mathbf{183.917}$$

Which translates to 8 cm thick pavement (Picture 2).



Picture 2. Asphalt thickness according to  $NAL_{20\_82kN}$

#### 4.1.2. Traffic loading according to WIM measurement

Since actual reconstruction was carried out much later than designed, new regulations were in use, were nominal axle load has been changed from 82 kN to 100 kN. WIM measurement was also performed on site to confirm actual traffic loading and compare it to expected, calculated from automatic traffic counters data. Table 5 shows traffic data from automatic traffic counters for year 2014.

Table 5. Traffic data for Nazarje site

	# of vehicles	ESAL <sub>VEHICLE TYPE</sub>	#vehicles X ESAL <sub>VEHICLE TYPE</sub>
AADT	1100		
Cars	999	0,00003	0,02
Buses	19	0,85	16,15
Light trucks	32	0,005	0,16
Medium trucks	17	0,40	6,80
Heavy trucks	4	1,00	4,00
Trucks with trailers	6	1,25	7,50
<b>ESAL<sub>AADT</sub></b>			<b>34,63</b>

Traffic loads from only one (more heavily loaded, if available) direction is used for design and/or reconstruction calculations, so  $(34,63 / 2) 17,315$  ESAL is used as an input data. 20-year nominal axle loading ( $NAL_{20\_100kN}$ ) with 3% annual traffic growth is then:

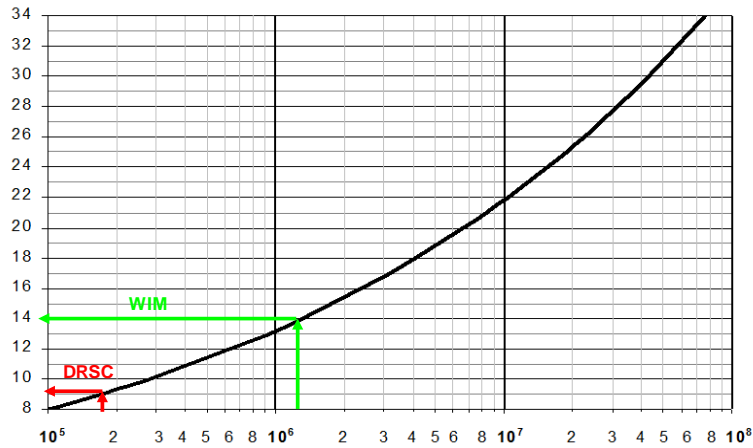
$$NAL_{20\_100kN} = 17,315 * 365 * 27,27 = 172.346$$

Which translates to 9 cm thick pavement under new regulations (Picture 3, red line).

WIM measurements, carried out at the same location, showed, that more heavily loaded direction have 125,6 ESAL, so 20-year nominal axle loading ( $NAL_{20\_WIM100kN}$ ) with 3% annual traffic growth is:

$$NAL_{20\_WIM100kN} = 125,6 * 365 * 27,27 = 1.250.166$$

Which translates to 13,9 cm thick pavement (Picture 3, green line).



Picture 3. Asphalt thickness according to  $NAL_{20\_100kN}$  and  $NAL_{20\_WIM100kN}$

## 4.2. Selce

### 4.2.1. Traffic loading at design time

For the design of reconstruction works, automatic traffic counters data from publications “Traffic 2004” were taken into account. Traffic loads were calculated in accordance with the technical regulations for roads in force at the time [3], which were based on calculations of the nominal axle loads of 82 kN.

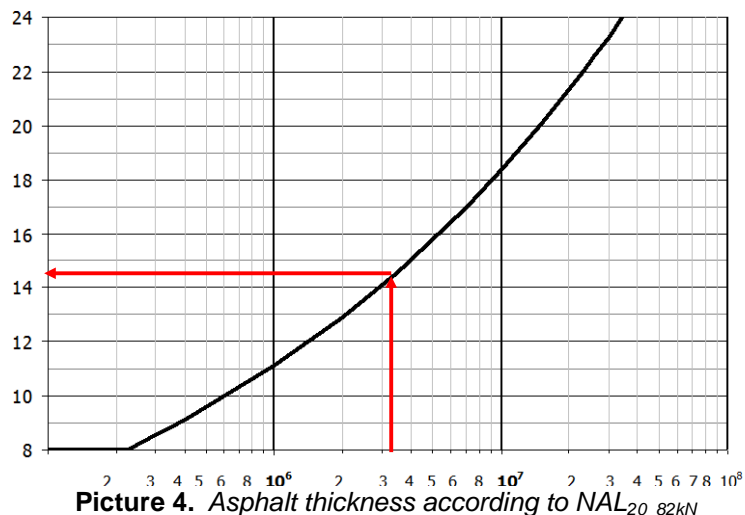
Table 6. Traffic data for Selce site

	# of vehicles	$ESAL_{VEHICLE\_TYPE}$	$\#_{vehicles} \times ESAL_{VEHICLE\_TYPE}$
AADT	10630		
Cars	9511	0,00006	0,57
Buses	82	1,20	98,40
Light trucks	469	0,01	4,69
Medium trucks	162	0,20	32,40
Heavy trucks	96	1,10	105,60
Trucks with trailers	226	2,00	452,00
<b><math>ESAL_{AADT}</math></b>			<b>693,66</b>

Traffic loads from only one (more heavily loaded, if available) direction is used for design and/or reconstruction calculations, so  $(693,66 / 2) 346,83$  ESAL is used as an input data. 20-year nominal axle loading ( $NAL_{20\_82kN}$ ) with 3% annual traffic growth is then:

$$NAL_{20\_82kN} = 346,83 \times 365 \times 27,27 = 3.452.193$$

Which translates to 14,5 cm thick pavement (Picture 4).



Picture 4. Asphalt thickness according to  $NAL_{20\_82kN}$

**4.2.2. Traffic loading according to WIM measurement**

Since actual reconstruction was carried out much later than designed, new regulations were in use, were nominal axle load has been changed from 82 kN to 100 kN. WIM measurement was also performed on site to confirm actual traffic loading and compare it to expected, calculated from automatic traffic counters data. Table 7 shows traffic data from automatic traffic counters for year 2014.

**Table 7. Traffic data for Selce site**

	# of vehicles	ESAL <sub>VEHICLE_TYPE</sub>	#vehicles X ESAL <sub>VEHICLE_TYPE</sub>
AADT	11562		
Cars	10391	0,00003	0,31
Buses	60	0,85	51,00
Light trucks	508	0,005	2,54
Medium trucks	135	0,40	54,00
Heavy trucks	135	1,00	135,00
Trucks with trailers	275	1,25	343,75
	<b>ESAL<sub>AADT</sub></b>		<b>586,60</b>

Traffic loads from only one (more heavily loaded, if available) direction is used for design and/or reconstruction calculations, so (586,60 / 2) 293,30 ESAL is used as an input data. 20-year nominal axle loading (NAL<sub>20\_100kN</sub>) with 3% annual traffic growth is then:

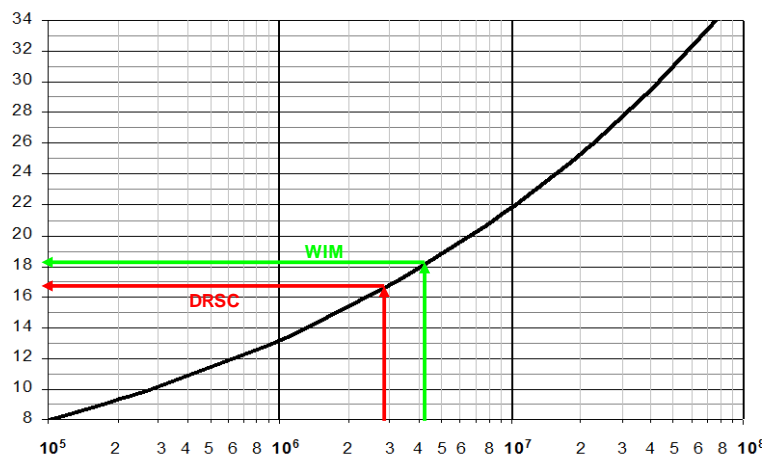
$$NAL_{20_100kN} = 293,3 * 365 * 27,27 = \mathbf{2.919.376}$$

Which translates to 16,7 cm thick pavement under new regulations (Picture 5, red line).

WIM measurements, carried out at the same location, showed, that more heavily loaded direction have 425,7 ESAL, so 20-year nominal axle loading (NAL<sub>20\_WIM100kN</sub>) with 3% annual traffic growth is:

$$NAL_{20_WIM100kN} = 425,7 * 365 * 27,27 = \mathbf{4.237.226}$$

Which translates to 18,1 cm thick pavement (Picture 5, green line).



**Picture 5. Asphalt thickness according to NAL<sub>20\_100kN</sub> and NAL<sub>20\_WIM100kN</sub>**

**4.3. Mirna**

**4.3.1. Traffic loading at design time**



For the design of reconstruction works, automatic traffic counters data from publications “Traffic 2004” were taken into account. Traffic loads were calculated in accordance with the technical regulations for roads in force at the time [3], which were based on calculations of the nominal axle loads of 82 kN.

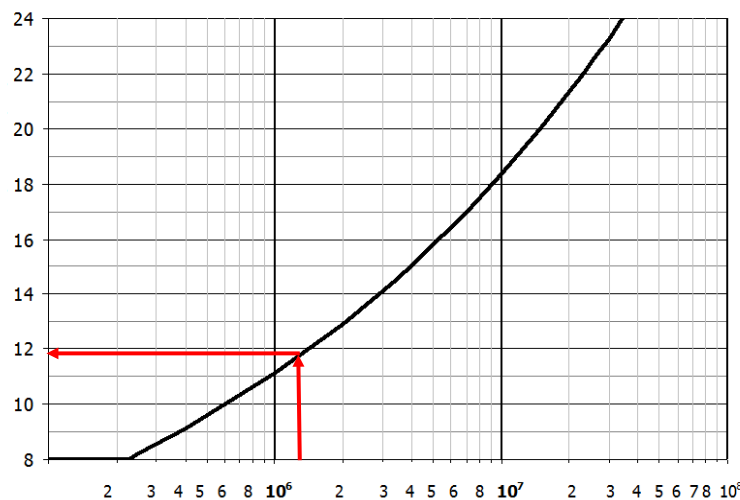
**Table 8.** Traffic data for Mirna site

	# of vehicles	ESAL <sub>VEHICLE_TYPE</sub>	#vehicles X ESAL <sub>VEHICLE_TYPE</sub>
AADT	4480		
Cars	3974	0,00006	0,24
Buses	27	1,20	32,40
Light trucks	245	0,01	22,45
Medium trucks	80	0,20	16,00
Heavy trucks	67	1,10	73,70
Trucks with trailers	72	2,00	144,00
<b>ESAL<sub>AADT</sub></b>			<b>268,79</b>

Traffic loads from only one (more heavily loaded, if available) direction is used for design and/or reconstruction calculations, so (268,79 / 2) 134,395 ESAL is used as an input data. 20-year nominal axle loading (NAL<sub>20\_82kN</sub>) with 3% annual traffic growth is then:

$$NAL_{20_82kN} = 134,395 * 365 * 27,27 = 1.337.700$$

Which translates to 11,8 cm thick pavement (Picture 6).



**Picture 6.** Asphalt thickness according to NAL<sub>20\_82kN</sub>

#### 4.3.2. Traffic loading according to WIM measurement

Since actual reconstruction was carried out much later than designed, new regulations were in use, were nominal axle load has been changed from 82 kN to 100 kN. WIM measurement was also performed on site to confirm actual traffic loading and compare it to expected, calculated from automatic traffic counters data. Table 9 shows traffic data from automatic traffic counters for year 2014.

**Table 9.** Traffic data for Mirna site

	# of vehicles	ESAL <sub>VEHICLE_TYPE</sub>	#vehicles X ESAL <sub>VEHICLE_TYPE</sub>
AADT	4729		
Cars	3972	0,00003	0,11
Buses	26	0,85	22,10
Light trucks	357	0,005	1,79
Medium trucks	78	0,40	31,20
Heavy trucks	1142	1,00	142,00
Trucks with trailers	105	1,25	131,25
<b>ESAL<sub>AADT</sub></b>			<b>328,45</b>

Traffic loads from only one (more heavily loaded, if available) direction is used for design and/or reconstruction calculations, so (328,45 / 2) 164,225 ESAL is used as an input data. 20-year nominal axle loading (NAL<sub>20\_100kN</sub>) with 3% annual traffic growth is then:

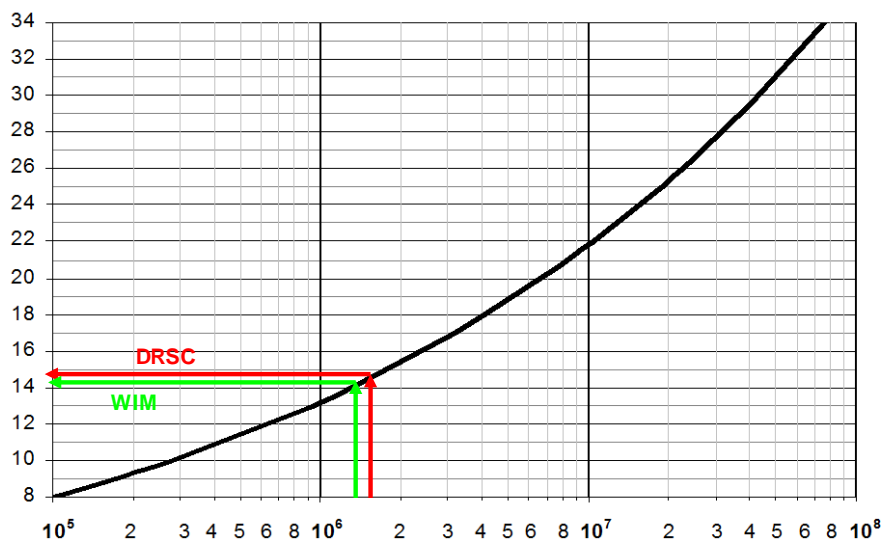
$$NAL_{20_100kN} = 164,225 * 365 * 27,27 = \mathbf{1.634.597}$$

Which translates to 14,7 cm thick pavement under new regulations (Picture 7, red line).

WIM measurements, carried out at the same location, showed, that more heavily loaded direction have 132,7 ESAL, so 20-year nominal axle loading (NAL<sub>20\_WIM100kN</sub>) with 3% annual traffic growth is:

$$NAL_{20_WIM100kN} = 132,7 * 365 * 27,27 = \mathbf{1.320.836}$$

Which translates to 14,0 cm thick pavement (Picture 7, green line).



Picture 7. Asphalt thickness according to NAL<sub>20\_100kN</sub> and NAL<sub>20\_WIM100kN</sub>

#### 4.4. Mislinja

##### 4.4.1. Traffic loading at design time

For the design of reconstruction works, automatic traffic counters data from publications “Traffic 2004” were taken into account. Traffic loads were calculated in accordance with the technical regulations for roads in force at the time [4], which were based on calculations of the nominal axle loads of 82 kN.

Table 10. Traffic data for Mislinja site

	# of vehicles	ESAL <sub>VEHICLE TYPE</sub>	#vehicles X ESAL <sub>VEHICLE TYPE</sub>
AADT	77742		
Cars	6627	0,00006	0,40
Buses	82	1,20	98,40
Light trucks	439	0,01	4,39
Medium trucks	200	0,20	40,00
Heavy trucks	134	1,10	147,40
Trucks with trailers	216	2,00	432,00
<b>ESAL<sub>AADT</sub></b>			<b>722,59</b>

Traffic loads from only one (more heavily loaded, if available) direction is used for design and/or reconstruction calculations, so (722,59 / 2) 361,295 ESAL is used as an input data. 20-year nominal axle loading (NAL<sub>20\_82kN</sub>) with 3% annual traffic growth is then:

$$NAL_{20_82kN} = 361,295 * 365 * 27,27 = \mathbf{3.596.156}$$

Which translates to 14,7 cm thick pavement (Picture 8).



Picture 8. Asphalt thickness according to  $NAL_{20\_82kN}$

#### 4.4.2. Traffic loading according to WIM measurement

Since actual reconstruction was carried out much later than designed, new regulations were in use, were nominal axle load has been changed from 82 kN to 100 kN. WIM measurement was also performed on site to confirm actual traffic loading and compare it to expected, calculated from automatic traffic counters data. Table 11 shows traffic data from automatic traffic counters for year 2014.

Table 11. Traffic data for Mislinja site

	# of vehicles	ESAL <sub>VEHICLE TYPE</sub>	#vehicles X ESAL <sub>VEHICLE TYPE</sub>
AADT	9155		
Cars	7741	0,00003	0,23
Buses	70	0,85	80,50
Light trucks	632	0,005	3,16
Medium trucks	127	0,40	63,50
Heavy trucks	179	1,00	161,10
Trucks with trailers	328	1,25	459,20
	<b>ESAL<sub>AADT</sub></b>		<b>767,69</b>

Traffic loads from only one (more heavily loaded, if available) direction is used for design and/or reconstruction calculations, so  $(767,69 / 2) 383,845$  ESAL is used as an input data. 20-year nominal axle loading ( $NAL_{20\_100kN}$ ) with 3% annual traffic growth is then:

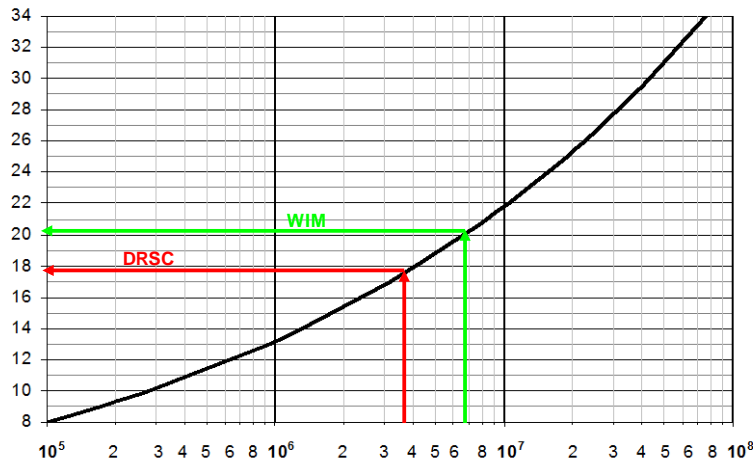
$$NAL_{20\_100kN} = 383,845 * 365 * 27,27 = \mathbf{3.820.620}$$

Which translates to 17,7 cm thick pavement under new regulations (Picture 9, red line).

WIM measurements, carried out at the same location, showed, that more heavily loaded direction have 668,4 ESAL, so 20-year nominal axle loading ( $NAL_{20\_WIM100kN}$ ) with 3% annual traffic growth is:

$$NAL_{20\_WIM100kN} = 668,4 * 365 * 27,27 = \mathbf{6.652.953}$$

Which translates to 20,0 cm thick pavement (Picture 9, green line).



Picture 9. Asphalt thickness according to  $NAL_{20\_100KN}$  and  $NAL_{20\_WIM100KN}$

### 5. CONCLUSIONS

Table 12 demonstrates the importance of performing proper WIM measurements prior to any reconstruction.

Table 12. Asphalt thickness summary

Name	Design value 2006	New regulations 2009	WIM data 2015
Nazarje	8,0 cm	9,0 cm	13,9 cm
Selce	14,5 cm	16,7 cm	18,1 cm
Mirna	11,8 cm	14,7 cm	14,0 cm
Mislinja	14,7 cm	17,7 cm	20,0 cm

After a detailed analysis of the data collected at the five test sections, the review of project documentation for reconstruction of five sites and after calculation of histograms for the single, double and triple axles and calculated data on the AADT and measured axle loads and comparative analysis of measured data, the actual traffic load data from projects and data from traffic counters at the measured sections, the following conclusions were reached:

- Significant deviations of actual traffic loads from planned at all analyzed road sections
- Planning should be done with the latest available traffic data and if actual works are not carried out right after planning phase, recalculation should be one before actual works
- Data from manual counts are not suitable for the design purposes; at the test section, the value was six times smaller than actual traffic
- Traffic load usually varies with direction or driving lane (this is evident in particular in the case of roads with the traffic from quarries, where heavy trucks ride fully loaded in one direction and empty in the opposite direction). For the design of pavements, half of the total traffic in both directions is taken into account. Pavement should, however, be designed on the basis of the most heavily loaded lane.

### Literature

- [1] OECD (1983), OECD report Impacts of Heavy Weight Vehicles, OECD Paris, 1983
- [2] TSC 06.511:2009, Prometne obremenitve določitev in razvrstitev, Tehnična specifikacija za javne ceste, Ministrstvo za promet, 2009
- [3] TSC 06.511:2001, Prometne obremenitve določitev in razvrstitev, Tehnična specifikacija za javne ceste, Ministrstvo za promet, 2001
- [4] TSC 06.520:2009, Projektiranje dimenzioniranje novih asfaltnih voziščnih konstrukcij, Tehnična specifikacija za javne ceste, Ministrstvo za promet, 2009

# DEVELOPMENT OF PAVEMENT TEMPERATURE REGRESSION MODELS AT GHADAMIS, LIBYA

Hassan Awadat Salem<sup>1</sup>

Bojan Matic<sup>1</sup>

Milan Marinkovic<sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department of Civil Engineering and Geodesy, Trg Dositeja Obradovića 6 21000 Novi Sad, [has712002@yahoo.co.uk](mailto:has712002@yahoo.co.uk); [bojanm@uns.ac.rs](mailto:bojanm@uns.ac.rs); [milan.marinkovic@uns.ac.rs](mailto:milan.marinkovic@uns.ac.rs);

**Abstract:** This paper presents a part of the research undertaken to develop models to predict high and low asphalt pavement temperatures in the Libya. A pavement monitoring station was set-up at several locations in Libya, to monitor air and pavement temperatures at different depths, wind speed and solar radiation. Daily minimum and maximum temperatures were recorded. Regression analysis was used to develop models for maximal daily pavement surface temperature at four layers of pavement at Ghadamis Libya, using maximal daily air temperature, day of the year, wind speed and solar radiation as predictors. Several criteria are used for selection of the best model.

**Keywords:** Pavement temperature, wind speed, solar radiation, regression, model selection, Mallow's Cp,  $R^2$  adjusted.

## 1. INTRODUCTION

Increase in the temperature of asphalt layer is one of the major factors of failure in asphalt pavements in desert zones. In these areas, high air temperature and severe radiation of solar ray cause increase in asphalt layer temperature. In this condition, loads made by wheels of heavy vehicles produce vertical strains caused by compression force and would cause rutting in the wheel path and bleeding in the asphalt surface. Moreover skid resistance of asphalt pavement surface decreases with increase in temperature and this will reduce the safety of road (Bazlamit, 2005). By considering the asphalt mix components exposed to increasing temperature, detecting the effective factors in increasing asphalt layer's temperature and finally, choosing the major factors we could develop a regression model that predicts the asphalt temperature in various depths by different given parameters.

Asphalt cement in asphalt mixtures has complicated viscoelastic and thermo-plastic behavior that depends on loading duration and temperature. It is not possible to consider an elastic modulus, like cement concretes mixes that is determined by compressive strength test, for asphalt concretes mixes. Other moduli like Resilient modulus ( $M_R$ ), Dynamic modulus ( $|E^*|$ ) and Stiffness modulus ( $S_b$ ) are developed for asphalt concrete, considering viscoelastic, viscoplastic and thermo-plastic behavior of mixture. The resilient modulus is a basic input for most of the mechanistic designs and is an objective for the mechanistic evaluation procedures. The determination of the resilient modulus requires an expensive setup of testing equipment and great expertise on the part of practitioners that might not be readily available for most of the field condition. The development of a regression formula that can be used to correlate the resilient properties of local asphalt mixes to basic material properties, with acceptable accuracy, is of great benefit.

Research on temperature distribution in asphalt pavements has been carried out in many different countries and climatic areas, such as United States, Australia, Saudi Arabia and South Africa (Al-Albdul Wahhab, 1994, 2001; Nazarian and Alvarclo, 2006; Chiasson et al., 2008). In some of these researches the models of temperature prediction of pavement have been developed by considering, similar parameters. Al-Albdul Wahhab and Balghunain (1994) conducted a research in which he measured the pavement temperature in a land and a coastal area in Saudi Arabia. In this research for considering the effect of pavement layer's thickness on distribution of the temperature in depth, different thicknesses were studied. The result of the research, in addition to providing a profile of temperature distribution in pavement and a profile of annual changes in the pavement temperature, was a temperature prediction model based on the air temperature and depth. In the same line of argumentation, in 2001, prediction model of resilient modulus was developed. In the model, in addition to the temperature, the softening point and the surface area of aggregates were considered as independent variables (Al-Albdul Wahhab, 2001).

In Strategic Highway Research Program (SHRP) and especially in Long-Term Pavement Performance project, BELLS model (first letters of researchers' names) was developed for predicting the pavement's temperature. In this model, pavements temperature in a given depth is predictable through parameters such as temperature of the asphalt surface, depth, mean temperature of the last five days and time of the day (Marshal et al., 2001). In 1994 after wider research and use of the data from more weather stations the model was slightly corrected and was presented by the name of BELLS2. In the corrected model, the mean

<sup>1</sup> Hassan Awadat Salem : [has712002@yahoo.co.uk](mailto:has712002@yahoo.co.uk)

temperature of the earlier day was used instead of the mean temperature of earlier 5 days. Time of day was also defined by discrete ranges and determined relations (Lukanen *et al.*, 2000). Using a two-dimensional, transient finite-difference approach, in 2005, Yavuzturk assessed the temperature fluctuations in asphalt pavements (Yavuzturk *et al.*, 2005).

Furthermore as a result of a research in Virginia two models was developed and validated for predicting the daily maximum and minimum pavement temperatures using data from the Virginia Smart Road and two LTPP SMP test sites. Models were developed that incorporate the depth within the pavement, calculated daily solar radiation and daily maximum or minimum ambient temperature (Deifenderfer *et al.*, 2006).

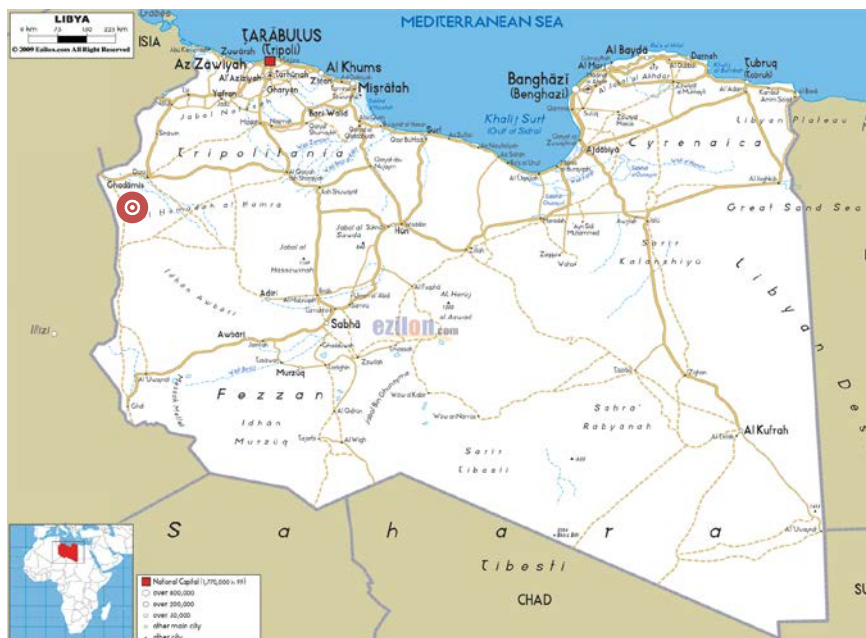
The models were developed in the desert climate with four seasons (spring, summer, autumn and winter). However, the models need to be adjusted if applied in other locations, especially in Libyan desert, which has a specific climate characteristics. Libya is located in the region of large-latitude regions (18<sup>0</sup> South– 32.5<sup>0</sup> North).

Therefore, it is required to develop model of asphalt pavement temperature profile by taking the area of Ghadamis as a case study area for this desert climate. This research was conducted on a Ghadamis airport. Here we presents a part of this research, namely the model selection for prediction of maximal daily temperatures of four layers of the pavement, using maximal daily air temperature, day of the year, wind speed and solar radiation, based on data from Ghadamis, one of the eight locations where date were collected. Here we discuss the selection of the best regression mode, applying different criteria. Ghadamis is situated in desert part of Libya, latitude 30°08' N and longitude 9°30' E. Similar research was done in Awadat Salem *et al.* (2014) for Al Kufrah region in Libya, and in Matić *et al.* (2011) for pavement temperatures in Serbia.

## 2. FIELD DATA COLLECTION

A monitoring station was set-up to collect data on air temperature, wind speed, solar radiation and pavement temperatures at various depths of the pavement. The enclosure was mounted on an instrumentation tower. The data logger was operated by a solar battery. The following section describes the installation and sensor location.

The temperature data used in analysis were collected in the period from 3<sup>th</sup> of May 2012 to 21<sup>th</sup> of February 2013, at Ghadamis airport location, shown in Figure 1. The temperatures of the air and pavement were registered each 15 seconds, as well as the wind speed and solar radiation. Maximal daily temperatures of the air and pavement were extracted for each day of observed period.

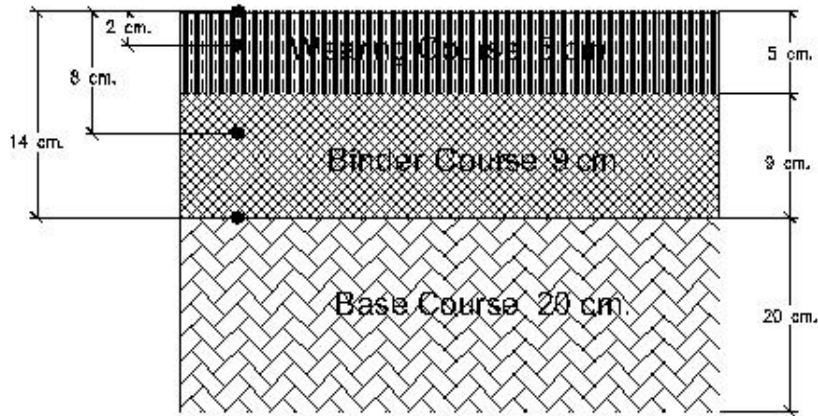


**Figure 1.** Libyan road network and Ghadamis location.

Source: (Ezilion maps)

Since the total thickness of pavement layers are 34cm, it was decided to install thermocouples in the lower portion of asphalt layers and use temperature probe in the upper portion. In the lower portion, thermocouples were embedded at the surface of AC, and at 20, 80, 140 mm down to the AC layer. A digital thermocouple

probe was inserted in each hole for measurement. The air temperature and pavement surface temperature were obtained using an infrared temperature gun. Figure 2 shows the schematic of temperature measurement layout.



**Figure 2.** Pavement layers and thermistor locations  
Source: ()

For this study, the sensors (HUATIO S300 ) SERIES TEMPERATURE DATA LOGGER was used to record temperatures of different depths of asphalt pavement in different locations. S300 Series temperature humidity logger HUATO Digital temperature and humidity logger is widely used in the engineering purposes medical industry, electronic industry, food industry, the transport industry, the meteorological industry, textile industry, HVAC refrigeration, file management, agricultural research, biochemistry lab as well as hospitality industry and food and beverage business. Table 1. shows the technical specification of data logger and the Figure 3 presents the picture of data logger.

**Table 1.** Technical Specification of data logger

Temperature accuracy	$\pm 0.3C$
Humidity accuracy	$\pm 3\%$
Recording volume	43000
Temperature measurement range	-40-85C
Logging interval	2S-24H



**Figure 1.** Temperature Data Logger Picture.  
Source: (HUATO Company General Catalogue)

### 3. DATA ANALYSIS

The temperature data used in analysis were collected in the period from 3<sup>th</sup> of May 2012 to 21<sup>th</sup> of February 2013, at Ghadamis location. The temperatures of the air and pavement at four different depths were registered each 15 seconds, as well as the wind speed and solar radiation. Collected data were used to

investigate the different variability patterns between air and pavement temperatures, and to develop the models for predicting maximal and minimal daily pavement temperatures. Maximum and minimum daily temperatures of the air and pavement at four different depths were extracted for each day of observed period. Cumulative solar radiation was calculated for each day. Based on these data, using regression analysis, models for maximum and minimum daily temperatures were obtained. Data were analyzed using the statistical package Statistica 12 (StatSoft Inc.,Tulsa, OK, USA), university license for Novi Sad University.

**3.1. Air and pavement temperature characteristics.**

In Tables 1 and 2 the descriptive statistics for maximal and minimal temperatures for Ghat are given, including the mean, 95% confidence interval (CI), minimum, maximum, standard deviation (St.Dev), skewness and kurtosis.

Table 2: Descriptive statistics of Ghadamis maximal daily pavement temperatures.

Max temp	Mean	-95%CI	95%CI	Min	Max	St.Dev	Skewness	Kurtosis
Air	35.12	34.28	35.95	17.82	50.93	8.11	0.01	-1.11
Surface	47.16	45.91	48.42	23.98	69.88	12.17	-0.03	-1.31
2cm	45.25	44.03	46.47	23.45	64.80	11.83	-0.02	-1.34
8cm	40.46	39.31	41.61	20.22	59.67	11.19	0.01	-1.33
14cm	35.40	34.29	36.51	17.42	53.68	10.78	0.06	-1.33

Table 2: Descriptive statistics of solar radiation and wind speed at Ghadamis airport.

	Mean	-95%CI	95%CI	Min	Max	St.Dev	Skewness	Kurtosis
Wind Speed (m/s)	4.28	3.99	4.57	0.00	14.47	2.80	0.93	0.82
Solar Radiation (W/m2)	669.6	648.41	690.92	95.60	1151.	206.19	-0.11	-0.46

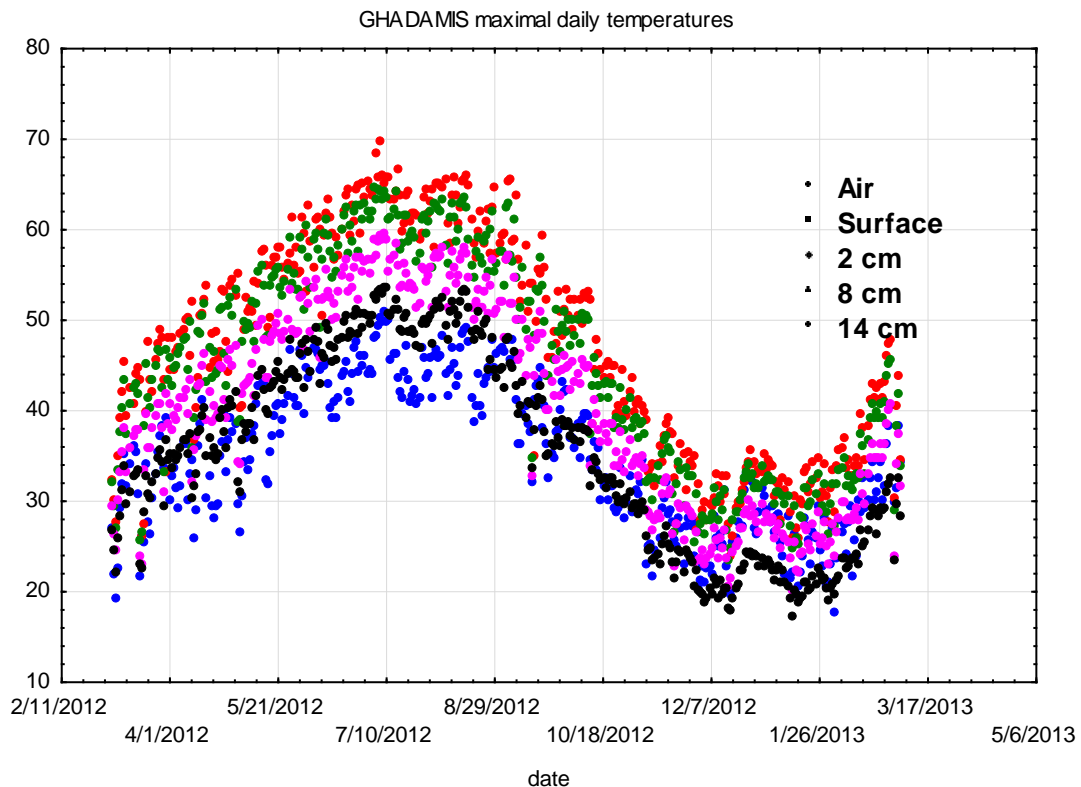


Figure 4. Maximal daily temperatures during the study period at Ghadamis.



**4. REFERENCES**

- [1] Al-Abdul Wahhab, H.I. and Balghunaim, F.A., (1994) "Asphalt Pavement Temperature Related to Arid Saudi Environment," J. of Materials in Civil Engineering, American Society of Civil Engineers, 6 (1), pp. 1-14.
- [2] Awadat Salem, H., Uzelac, Dj., Lozanov-Crvenković, Z., 2014 Development of a model to predict pavement temperatures for Alkufrah region in Libya, Journal of Society for Transportation and Traffic Studies (JSTS), Vol.5 No.4
- [3] Bazlamit, S.M. and F. Reza, 2005. Changes in asphalt pavement friction components and adjustment of skid number for temperature. J. Transp. Eng., 131: 470-476.
- [4] Box, G.E.P., Jenkins, G. M., 2008, Reinsel, G.C., *Time Series Analysis, Forecasting and Control*, fourth ed. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- [5] Diefenderfer, B.K., Al-Qadi, I.L., Reubush, S.D. and Freeman, T.E., 2002, Development and Validation of A Model to Predict Pavement Temperature Profile, Presented at Transportation Research Board 82<sup>nd</sup> Annual Meeting, Washington DC
- [6] Diefenderfer, B.K., I.L. Al-Qadi and S.D. Diefenderfer, 2006. Model to predict pavement temperature profile: Development and validation. J. Transportat. Eng. ASCE., 132: 162-167.
- [7] Hassan, H.F., Al-Nuaimi, A.S., Taha R., Jafar, T.M.A. 2005, Development of Asphalt Pavement Temperature Models for Oman The Journal of Engineering Research, 2,(1): 32-42
- [8] Marshall, C., Meier, R.W. and Welsh, M., (2001) "Seasonal Temperature Effects on Flexible Pavements in Tennessee" Presented at Transportation Research Board 80th Annual Meeting, Washington, DC.
- [9] Lukanen, E., R.S. Stad and R. Briggs, 2000. Temperature prediction and adjustment factors of asphalt pavement. Office of Infrastructure Research and Development Federal Highway, Administration, McLean, Virginia, pp:5-10.
- [10] Matic, B., Matic, D., Radovic, N., 2011, Model for pavement temperature prediction in Serbia, Building Materials and Structures 54(4), 55-66
- [11] Nazarian, S. and G. Alvarado, 2006. Impact of temperature gradient on modulus of asphaltic concrete layers. J. Master. Civil Eng. August ASCE., 18: 492-499.
- [12] StatSoft Inc. STATISTICA (data analysis software system), v.13; Available from: [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com), university licence for University of Novi Sad, Serbia
- [13] Wahhab, H.I.A.A., 2001. Modeling resilient modulus and T-correction for Saudi roads. J. Mater.CivilEng.ASCE,13:23-27.
- [14] Yavuzturk, C., K. Ksaibati and A. D. Chiasson, 2005. Assessment of temperature fluctuations in asphalt pavements due to thermal environmental conditions using a two-dimensional transient finite-difference approach. J. Mat. Civil. Eng., 17: 465-475.

# БИЉНЕ ЗАЈЕДНИЦЕ КАО ИНДИКАТОРИ ПРЕПОЗНАВАЊА И САНИРАЊА КЛИЗИШТА ВЕГЕТАЦИЈОМ И БИОТЕХНИЧКОМ СТАБИЛИЗАЦИЈОМ

**Владета Вујанић<sup>1</sup>,**

11000 Београд, Цара Николаја II бр.61<sup>с</sup>; e-mail: v.vujanic944@gmail.com

**Милован Јотић,**

Институт за испитивање материјала ИМС, e-mail: mjotic@hotmail.rs

***Резиме:** У раду се сопштавају могућности препознавања клизишта и других нестабилности на основу присуства одређених биљних заједница, као и нека светска и наша искуства у санацији нестабилних терена, применом вегетације и биотехничке стабилизације.*

***Кључне речи:** биљне заједнице, клизишта, вегетацијска и биотехничка стабилизација*

## PLANT COMMUNITIES AS RECOGNITION INDICATORS AND RESOURCES FOR LANDSLIDES REMEDIATION USING VEGETATION AND BIOTECHNICAL STABILIZATION

**Vladeta Vujančić<sup>1</sup>**

11000 Beograd, Cara Nikolaja II br.61<sup>c</sup>; e-mail: v.vujanic944@gmail.com

**Milovan Jotić**

Institut za ispitivanje materijala IMS; e-mail: mjotic@hotmail.rs

***Abstract:** The paper describes possibilities of recognition the landslides and other types of land instabilities on the basis of presence of certain plant communities as well as some Swedish and our experiences in remediation of unstable grounds with utilization of vegetation and biotechnical stabilization.*

***Key words:** plant communities, landslide, vegetation, biotechnical stabilization.*

### 1. УВОД

Опште је познато да се **лабилни и нестабилни терени** (па и активна клизишта), могу препознати по одређеним карактеристичним чиниоцима, међу којима су најзначајнији: морфолошки, геолошки, хидрогеолошки, **биолошки** и технички. Од свих њих, најмање је до сада у стручној пракси разјашњено и писано о **утицају биљног фактора у препознавању и санацији клизишта**.

На теренима наше земље (у ширем смислу), расте преко хиљаду врста корова док типични економски значајни коров чини око три стотине врста. Тешко је извршити класификацију корова који расту на *клизиштима*, јер је наша земља са различитим климатским, земљишним и рељефним приликама и различитом пољопривредном производњом.

Пошто се биљке интегрирају на прилике „станишта“ састав вегетације, па и врсте корова у појединим подручјима земље су различити. Док је у једном поднебљу нека биљка коров, у другом је безначајна или је уопште нема.

<sup>1</sup>Магистар геотехничких наука, редовни члан Инжењерске Академије Србије, Цара Николаја II 61<sup>с</sup>, 11000 Београд, email: [v.vujanic944@gmail.com](mailto:v.vujanic944@gmail.com)

С обзиром да је већина клизишта (пре) **засићена водом**, разумљиво је да на таквом терену **расту оне биљне заједнице** којима погодује вода. Најчешће су то: **шевари, зувке, раставићи, подбела и друге барске и подбарске вегетације**, које се јављају по релативно благим падинама, за разлику од стрмијих падина, где се јављају: **Врбе, Јове и друге врсте листопадног дрвећа**, а које иначе, расту по подбарним теренима и теренима са изданима плитко испод површине.

Примети ли се, приликом рекогносцирања терена одређена биљна заједница, можемо је сматрати да је **безусловни (верни) индикатор клизишта**. Ако се та запажања допуне изјавама мештана, могуће је на плановима (нацрт-подлогама) **грубо исцртати контуре (цирк) клизишта**.

У принципу вегетација има значајну улогу у **санацији клизишта и нестабилних падина**, зато што растиње (уопште) тражи воду, коју узима из површинских слојева исушујући их на тај начин. У недостатку површинске воде, биљке се адаптирају на тај начин, што продубљују своје корење или пуштају жилу (е) срчаницу у потрази за подземном водом (која је по правилу присутна у телу клизишта), **што погодено делује на учвршћивање тла**.

Такође, је познато, да код (правилно) пошумљених терена нема израженог ерозионог спирања, нити појаве већих клижења. С тог становишта, најприкладније **дрвеће или растиње** за садњу на клизиштима, **је оно које има највећу потребу за водом и развија (добро) у дубину корење**. Зато је, за санацију нестабилних терена, врло битно одабрати адекватно решење, односно дрвеће примерено постављеним захтевима и условима терена, који су обухваћени клижењем. Јер се, на тај начин, **смањује, односно зауставља** развој клизних процеса (фосилизирањем, врло старих клизишта), а утицај ерозионих процеса површинских водених токова (који су иницијална каписла за ове нестабилности), сведе на могућу најмању меру (тј. учини безначајним).

Имајући све то у виду, **сматрамо да је корисно да нашу стручну јавност** (иако је о овоме већ писано), а после догођених природних стихија 2014.год., **појавом циклона „Тамара“**, који је изазвао енормне **падавине** (а тиме и поплаве), **ерозију и бројна клижења терена**, већих размера на одређеним просторима Србије, **још једном**, упознамо са могућношћу коришћења биљних заједница код санације клизишта и других нестабилности. Њихова примена би имала, **велики значај у превенцији од евентуалног, будућег догађаја оваквих појава, као и санацији појава, које већ постоје** што би у већој мери омогућило спречавање или умањење процеса од оваквих природних катастрофа.

## **2. БИЉНЕ ЗАЈЕДНИЦЕ КОЈЕ СЕ НАЈЧЕШЋЕ ЈАВЉАЈУ КАО ИНДИКАТОРИ КЛИЗИШТА**

На основу искуства из праксе **као и директне провере** рекогносцирањем појединих клизишта у нашој земљи, утврђена је (стална) **присутност појединих биљних врста** (корова), **које се наводе у следећој табели:**

1. Equisetum arvense L	пољска преслица, раставић
2. Equisetum maximum Lamarck	велики раставић
3. Equisetum palustris	жабља преслица
4. Tussilago farfara L.	подбел
5. Ononis spinosa L.	гладиш, зечији трн
6. Carex flacca schreber	шаш, сивозелена оштрица
7. Carex gracilis	шашика, шилџата оштрица
8. Brachypodium pinnatum (L.) Beauv	гоштица, пасјача
9. Rubus caesius L.	дивља купина (шумска воћка)
10. Juncus intlexus L.	сита чађава, шумска
11. Juncus compressus L.	сита траваста
12. Juncus effusus L.	сита гола
13. Juncus conglomeratus L.	сита гроњааста
14. Cirsium oleraceum (L.) Scop.	воденика
15. Scirpus silvaticus L.	ситина, везлица
16. Festuca gigantea (L.) Vill	власуља, јанчарица
17. Ranunculus acer L.	жабљак, љутић

Табела 1. - присутност појединих биљних врста на (појдиним) клизиштима

Присутност горе наведених врста на падинама наших обронака **даје нам верни сигнал клизишта**. Заједничко свим набројаним врстама је, **тло** (терени) **са доста влаге** (киселог карактера). Исте врсте расту једнако на **тврдим, збијеним, песковито – иловастим и непропусним** (тлима) **теренима**.

**Безусловни** (верни) **индикатор појаве клизишта је пољска преслица**, под ред.бр. 1 из горње табеле.

**Условно стални индикатори** су, под ред.бр. 2, 3 и 4.

**Индикатори условиљени земљиштем** (тереном) су:

- тло је иловача, под ред.бр 5,6 и 8;
- падина са влажном мокром иловачом, под ред.бр. 9 и 10;
- влажна места (ливаде и тресаве), под ред.бр. 11, 12, 13, 14, 15, 16 и 17.

### 2.1. Карактеристике корена неких биљака на клизиштима

Equisetum arvense L.	<i>слабо разгранат али дубоко продирући корен, до 80 ст дубине</i>
Tussilago farfara L.	<i>добро разграната и дубока коренована мрежа,</i>
Brachypodium pinnatum L.	<i>врло разгранат и густ коренов систем који продире у тло и преко 50 ст; коренова мрежа развијенија је од надземног дела,</i>
Rubus caesius L.	<i>врло разграната коренова мрежа, која по просторном заузимању знатно прелази простор који заузима надземни део жбуна,</i>
Scirpus silvaticus L.	<i>коренов систем је добро развијен, стварајући густу мрежу која прораста земљиште; биљка расте на влажним земљиштима</i>
Juncus effusus L.	<i>густ коренов систем слабо разгранат, биљка мокрих биотопа; што је тло влажније, коренов систем је мање развијен и претежно се задржава у пројекцији надземног дела биљке.</i>

### 3. САНАЦИЈА КЛИЗИШТА РАСТИЊЕМ И БИОТЕХНИЧКОМ СТАБИЛИЗАЦИОМ

Падински покрети нарушавају вегетацију и то не само **дрвеће**, него и **бусенасто растиње**. Зато је главни задатак код извођења санационих радова обновити колико год је то могуће, и пошумити падину одговарајућим дрвећем. Пошумљавање је последња етапа санационих радова и одвија се по правилу након смиривања клизишта (барем привремено). Пре сађења шумског дрвећа или воћњака потребно је **обавити** претходне радње, тј. **одводњавање терена, поравњавање падине и затрпавање** пукотина (ожилци).

Трајна стабилизација угрожене падине пошумљавањем **успешна је, само код плитких издужених клизишта**. **Клизишта са дубоким клизним површинама немогуће је задржати растињем**, али и у тим случајевима може одговарајуће растиње делимично, ограничити продирање површинске воде у дубину и тиме индиректно придонети смиривању клизишта. То се пре свега односи, **на веома честе случајеве смиривања природне заштите клизишта код огољених терена**, зато што стока попасе биљни покривач на потенцијалном клизишту, или кад се сечом шуме у сврху пољопривредног земљишта или расквашавање терена за градњу објеката, уништи или смањи природна заштита клизних (нестабилних) терена. **Вегетација у принципу има значајну улогу у санацији клизишта и то треба користити**. Јер применом мешовитих мера стабилизације покренутих падина (укључујући и вегетацију), **може се доћи до успешнијих резултата**.

Опште, узевши се зна, **да шумско растиње има две функције**: исушује површинске слојеве терена и механички их учвршћује системом дубоког корења, колико је то могуће.

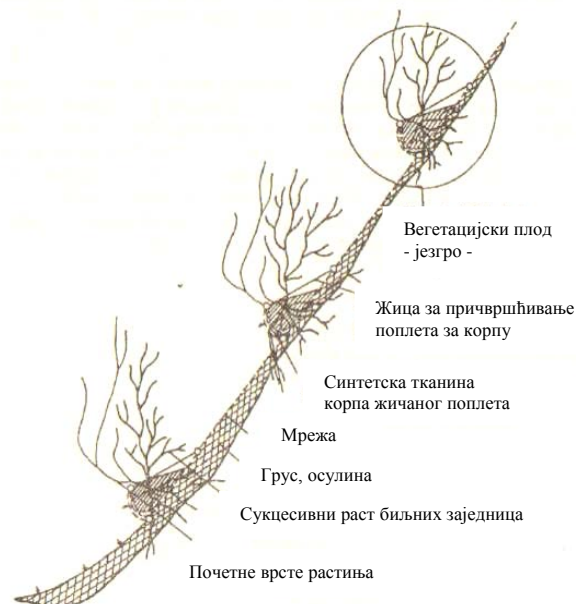
Дрвеће за раст тражи воду коју узима из површинских слојева исушујући их на тај начин. У недостатку површинске воде, биљке се адаптирају на тај начин што продубљују корење или

пуштају жилу срчаницу у потрази за подземном водом, што погодно делује на учвршћивање тла.

Једна тридесетогодишња бреза транспирацијом преко листа **избаци годишње из тла 32.000 литара воде**, или једна бела јова средњег раста у „пригорским крајевима, **својим корењем веже од 5 до 10 кубика земље**. Дакле, биљка својим специфичним растом врши транспирацијом природну дренажу или **армира тло**. **Код правилног пошумљавања земљишта нема ни спирања, нити клизања тла** (терена).

С тог становишта, најприкладније дрвеће за садњу на клизиштима јесте **оно које има највећу потребу за водом и добро развијено корење**, тј. да је добар „компетитор“. Није погодно црногоричино дрвеће које има најмање испаравање. Много погодније је **листопадно дрвеће** које има већу површину листа, а тиме и већу транспирацију.

У принципу, вегетациону заштиту (затрављивањем или засадима) за клизишта и нестабилне терене, бирати са дубоким корењем, **или саднице биљних врста грмља, које се вегетативно добро размножавају**, а имају потребу за водом.



Сл. 1. Поступни развој вегетације на потенцијално нестабилној падини

За пошумљавање клизишта најпогоднија дрвећа су: **јове, врбе, брезе, тополе, багрем, јасен и сл.** Исте врсте имају најпродуктивнију снагу **корења и најбрже расту**. Свака од наведених врста дрвећа, углавном има више подврста (варијетета), што се види из следећег приказа;

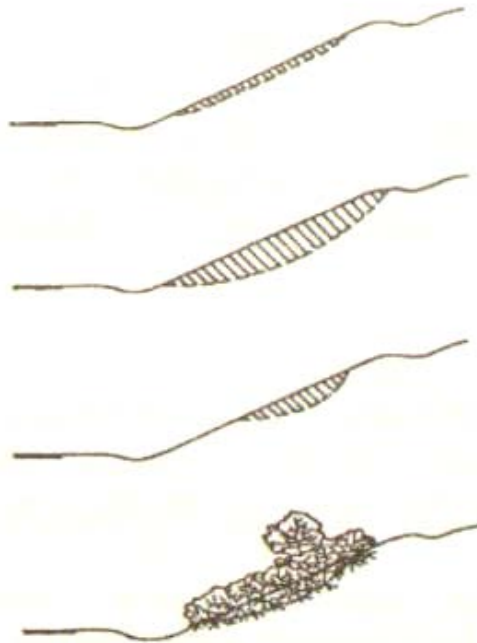
ЈОВЕ	Alnus incana Moench Alnus glutinosa Gaertn Alnus viridis Lam.	бела јова црна јова зелена јова	за пределе веће надморске висине
ВРБЕ	Salix alba L. Salix caprea L. Salix cinerea L. Salix amygdalina L. Salix fragilis L. Salix pentandra L.	бела врба ива барска ива бадемаста врба крта врба прашлика	
ТОПОЛЕ	Populus alba L. Populus nigra L. Populus tremula L.	бела топола црна топола трепетљика	
БАГРЕМ	Robinia pseudoacacia L.		
ЈАСЕН	Fraxinus excelsior L. Fraxinus axycarpa	обични јасен пољски јасен	

	wildd Fraxinus americana L.	амерички јасен	
ПАЈАСЕН	Ailantus glandulosa Desf.		одлично веже тло
ГРМОВИ	Ligustrum vulgare L.	обична калина	
	Euonymus europaea L.	обична курика	
	Euonymus verrucosa Scap.	брадавичаста курика	
	Corylus alyellana L.	обична леска	
	Cornus sanguinea L.	свиб	
	Crateaeus oxyacantha L.	вишесемени глог и др.	

Табела 2. – Подврсте најпогоднијег дрвећа за пошумљавање клизишта

Стога, није потребно разматрати само транспирацијску снагу дрвећа, него треба узети у обзир и **утицај** одређеног дрвећа **на структуру земљишта** и бирати оне врсте које ће уз одређене услове успевати на клизишту и развијати се. Зато на клизишту не треба садити четинаре, посебно **монокултуре смреча** које неповољно делују на структуру тла. Осим тога, смрека има плитко корење са релативно високим растом и **због тога тежином знатно оптерећује површину терена**. Веома чест случај оптерећења терена **имамо код усека**, где није посвећена довољна пажња **како се дрвеће сади на косини**, па тако, **баш смреча изазива одрон на путевима**. Изузетак чини црни бор (*Pinus nigra*) који добро веже тло, а **скромних је захтева за водом и земљиштем**, па је погодан за доломитско-кречњачке терене.

Значај вегетације, при стабилизацији клизишта често се потцењује, поготову на саобраћајницама, па и на другим објектима, односно (не) слободним урбаним просторима. Међутим, знамо да бусенасти (биљни) покривач **штити тло од „борастих“ пукотина** са истовременим одузимањем влаге стенским масама до одређене дубине. За стабилизацију површинско плитких издужених клизишта, односно издужених косина, препоручује се да се **најпре посеје уз падину погодна врста трава и биљака** са плодовима, затим **живице**, па **тек онда садити дрвеће**, које је погодно за газдовање с неправилном и ограниченом сечом, сл. 1.



Слика 2. Изглед клизишта на косини пре и после санације вегетацијом

Уважавајући у потпуности наведени поступак, а у комбинацији са другим мерама стабилизације (**био торкрет са жичаном мрежом, габиони, армирана земља и сл.**), могу се добити задовољавајући ефекти санације терена, сл. 1 и 2.

Иначе, из искуства произилази, да је главни тип природне шуме на нашим клизиним теренаима, **шума са грабом измешан са Лужњаком**. Као главно дрвеће препоручује се садња **храста, граба, јасена, јове, барске иве, тополе и раките**. Затрављивањем површине смањује се влажност иловастих земљишта, **чак до дубине 2,5 m, а утицај жбуња допире, преко 3 m**. Према искуству шумских газдинстава показало се као добро да се на клизиштима **одржава трајна мешавина шума и да се дрвеће обнавља поступно**. Потребно је колико је то могуће избећи веће сече (чистом сечом), које нарушавају стабилност падине променом режима и подземне воде, а посебно повећаном могућношћу упијања воде при нарушавању површине ерозијом.

Поред тога, није препоручљиво користити ширу зону потенцијалног клизишта (требало би, напротив забранити) као пашњак, као што се често чини, јер стока која пасе нарушава и кида бусенасти покривач, квари површинско одводњавање (грмља па и дрвећа), те ствара копитама каљуже, **па тиме и могућност поновног активирања процеса клижења**. На крају важно је истаћи, да успешно решавање ове проблематике подразумева интердисциплинарну сарадњу специјалиста из више научних и стручних дисциплина, као што су: **геологија, хидрологија, педологија, шумарство, биологија, грађевинарство, итд.**

#### **4. НЕКА СВЕТСКА ИСКУСТВА У ПРИМЕНИ ВЕГЕТАЦИЈСКО – БИОТЕХНИЧКИХ СТАБИЛИЗАЦИЈА**

У наставку, даје се сажет преглед стабилизације падина методама: **вегетације и биотехничке заштите падина** (употреба вегетације комбиноване са структурним стабилизационим елементима), чије су резултате саопштили истакнути светски стручњаци, који се баве овом проблематиком. Основни концепт вегетацијске стабилизације није нов, али најновија испитивања и развој данас **омогућавају ефективније коришћење тих техника него у прошлости**. Додатне информације о биостабилизацији је објавио GRAY 1970, Gray и Leiser (1982) и Wu (1994a, 1994b).

Према Wu (1994b) вегетација доприноси стабилизацији кроз:

- а) **ојачавање корењем,**
- б) **захватање падавина и евапотранспирација,** које смањују порни притисак.

Испитивани случајеви показали су да до појаве клизања може доћи услед губитка ојачања, које пружа корење дрвећа. Wu (1979); Reistenberg i Sovonick – Dunford (1983); Reistenberg (1987). Упркос чињеници да је Greenway (1987), у свом опширном раду о утицају вегетације на стабилност падина, укључује извештаје да вегетација има тенденцију да смањи стабилности падина, већина истраживача верује да вегетација има врло позитивну улогу у заштити падина. Wu (1994b) је квантификовао ову заштиту кроз термине, **ојачавања корењем и смањења влажности тла и порног притиска**.

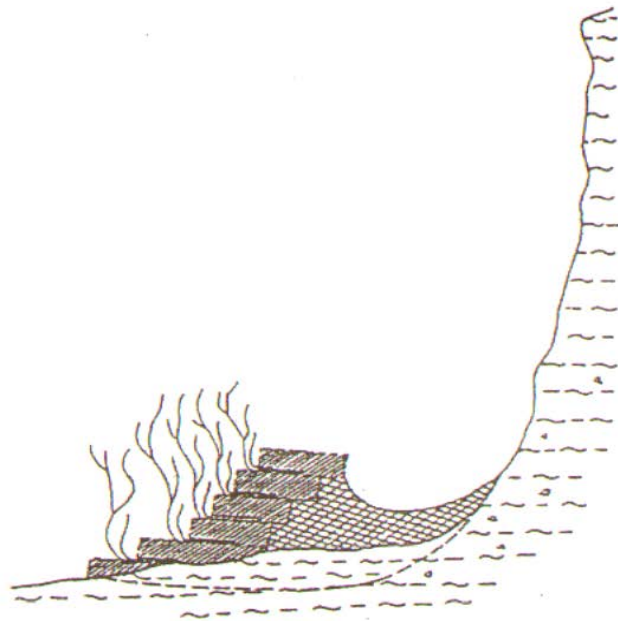
Истраживања улоге вегетације у стабилизацији падина, Одељења за геотехничку контролу канцеларије из Хонг Конга (Geotechnical Control Office of Hong Kong), представљају најсвеобухватнији такав програм у свету (Barker 1991). Најзначајније студије су оне студије које се односе на стабилност ојачавањем корењем, а које су радили Greenway (1984) и Yin (1998). Као додатак томе **Геотехнички приручник за падине** (Geotechnical Control Office 1984.) садржи информације о механичким и хидролошким ефектима вегетације.

У новије време, **дрвеће се широм света сади на падинама да би се повећала њихова стабилност**. Један од примера је део програма **за санацију наспа на путу I-77 у Caldwell-у, Охајо**. Падина је засађена садницама **локуста** на растојању од 1.2 m. Дугорочни циљ био је да се смањи влажност тла и да се развије стабилизација корењем. **Од 1994.год. пројекат се сматра успешним.**

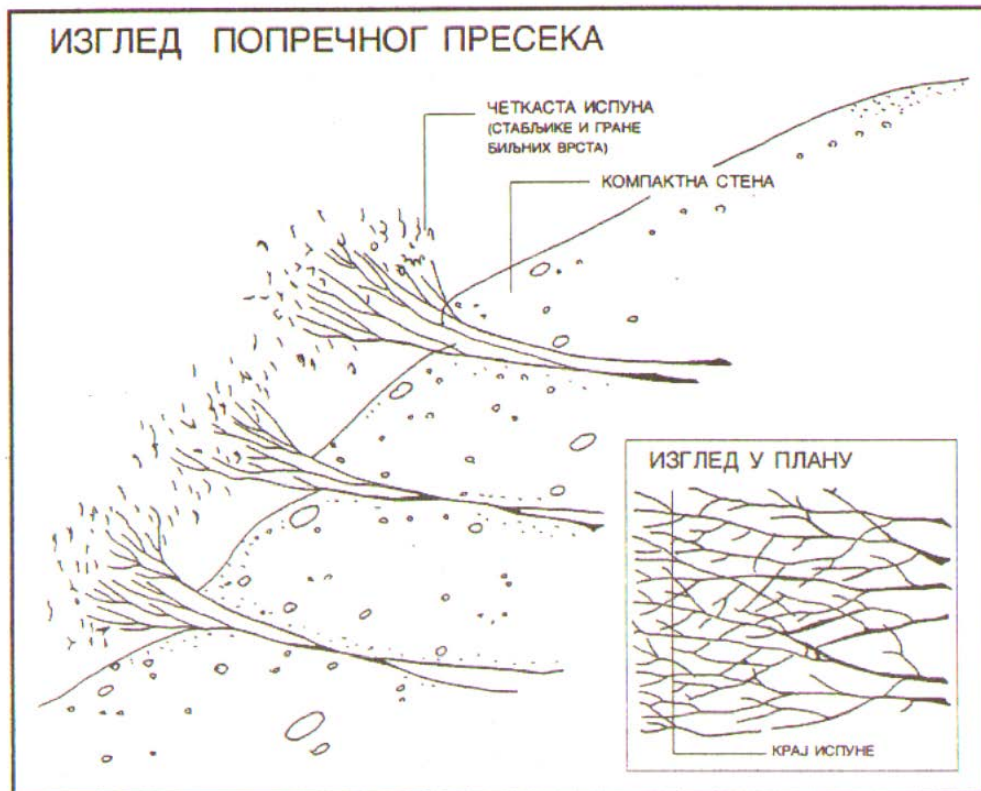
Категорија		Пример
<b>Живе конструкције</b> Конвенционално засађивање		<ul style="list-style-type: none"> <li>сејање траве</li> <li>бусење</li> <li>трансплантација</li> </ul>
<b>Комбиноване конструкције</b>	Стабласте биљке које се користе за јачање и као баријере кретању тла	<ul style="list-style-type: none"> <li>побадање колаца</li> <li>Контурно преплетање</li> <li>слојеви у облику четки</li> <li>мекани габиони</li> <li>постељице у облику четки</li> </ul>
	Удružени вегетација/ конструкција	<ul style="list-style-type: none"> <li>парапети са засађивањем на површини падине</li> <li>Озиђивање са засађивањем на површини падине</li> <li>Плочасте конструкције са етажним засађивањем</li> </ul>
	Стабљикасте биљке које се гаје на предњим отворима међупростора код потпорних зидова	<ul style="list-style-type: none"> <li>живе решетке</li> <li>камени габиони обрасли вегетацијом</li> <li>земљани решеткасти зидови обрасли вегетацијом</li> <li>парапети обрасли вегетацијом</li> </ul>
	Стабљикасте биљке које се гаје на предњим отворима међупростора код порозних озидавања насипа	<ul style="list-style-type: none"> <li>спојено засађивање</li> <li>постељице од пободених габиона</li> <li>бетонско камене облоге обрасле вегетацијом</li> <li>„ојачана“ трава</li> </ul>
<b>Унутрашње конструкције</b> Конвенционалне конструкције		<ul style="list-style-type: none"> <li>Бетонски гравитациони зидови</li> <li>Цилиндрични зидови</li> <li>Плочасте зидови</li> </ul>

*Табела 3 – Класификација различитих биотехничких заштита падина и контролне мере против ерозије*





Слика 3. Стабилизација клизишта армираном земљом и вегетацијом



Слика 4. Шематски приказ стабилизације падине са четкастом испуном (стабљике и гране биљних врста)

Други, у последње време, добар документован случај засађивања садница дрвећа се појавио као део стабилизационог програма **клизишта Кукарча у Панамском каналу**. Историјско Кукарча клизиште се реактивирало 1986.год., скоро блокирајући канал (Berman 1991). Као део широког стабилизационог програма, започетог 1987 г. у деловима Кукарча клизишта, као и осталих клизишта у зони канала, **било је засађено 60.000 брзо растућих садница багерима и гмелина** (Rivera 1991).

Стабилизација падина **комбиновањем вегетације и фабрички направљених елемената**, који се допуњују међусобно, је позната као **биотехничка стабилизација падина** сл. 3 и 4. Овај релативно нови концепт је генерално исплатив ако се пореди са коришћењем само конструкција; таквим третманом се повећава компатибилност природне средине и омогућава се увођење природних материјала. Иако су вегетациони третмани обично јефтинији него потпорни зидови или остали потпорни конструктивни системи, њихова ефикасност у заустављању кретања падина или при превенцији клизању у јако тешким условима, може бити много нижа од конструкционих система (Gray и Leiser 1982) . Табела 3, **приказује различите биотехничке стабилизације, мере заштите и примере.**

Траве и стабљике се, најчешће користе у биотехничкој стабилизацији. Оне имају праву ојачавајућу функцију **и не требају се сматрати само као козметичка помоћ конструкцијама**. Оне могу бити засађене на падини изнад потпорног зида, или у међупростору између структура, тако да корење вегетације повезује тло унутар и иза структура. Оваква вегетација доприноси стабилности свих типова потпорних конструкција са отвореном мрежом или поплочаним изгледом, табела 3.

Gry и Sotir (1992) су описали употребу изолације од ломљеног камена ножичне берме комбиноване **са слојем четкасте испуне** (шибља), која је коришћена за стабилизацију терена на засецима дуж аутопута Massachusetts. Ломљени камен је смештен на ножицу клизишта. Слој четкасте испуне укључује **стабљике и гране биљних врста**, које могу да формирају корен директно из одсечених грана или стабљика, сл.4. **Гране служе као појачање и као хоризонтална дренажа, и засађивање стабљика пружа додатну стабилизацију.**

Thomas и Kropp (1992) су описали велики број тестираних шема користећи вегетацију за стабилизацију великих одрона у Калифорнији. У време када је рад био објављен 1992.год. **вегетација је била доста ефективна и пројекат је сматран успешним од стране аутора.**

## 5. ЗАКЉУЧАК

На основу наведених констатација, може се закључити, да је улога вегетације (опште присуство биљне заједнице) у препознавању и санацији клизишта и нестабилних падина, **веома значајна**. Стога се, у новије време, све више у свету сади **дрвеће и друго растиње** на падинама (и др. огољеним теренма), **да би се повећала њихова** (општа) **стабилност**. Јер (подсећамо да), дрвеће и друго присутно биље, **исушује** површинске слојеве терена и **механички их учвршћује својим корењем**, које се у потрази за водом **развија дубоко у терену**, што погодно делује **на стабилизацију тла** (терена), променом своје структуре (механичко-био-армирањем). Само једно од стабала (**јове, брезе, бадема, врбе и др.**), годишње исцрпи из тла 30 – 40 000 литара воде, **а кореном стабилизује 5-10 m<sup>3</sup> тла.**

Зато је употреба вегетације у санацији клизишта и других нестабилности падина **врло битна**, пре свега **као превентивна мера**, јер су њихови трошкови извођења **и до пет пута мањи** (за приближно постигнуте резултате), од трошкова за директне штете, **изазване активирањем клизишта**, а у комбинацији са другим биотехничким мерама, **могу дати велики допринос у трајној санацији**. Доказ за то су бројни примери из светске и наше праксе.

Санација, односно стабилизација терена на овај начин је **лако изводљива и брза**, па се и њени ефекти на угроженим терену могу очекивати, непосредно **по њиховом извођењу**. Због тога, су ове мере **изузетно погодне**, код санације **лабилних и нестабилних падина**, ширих размера, поготово у деловима често (енормно) обилних падавина (какве су биле 2014.год., за време циклона „Тамара“), **ради предупредјења или смањења укупних штета и последица** од (евентуално) **поновљених догађаја**, при којем се могу јавити, разни видови повредљивости терена, ширих размера.

Примена засада, односно пошумљавање **потенцијално угрожених падинских делова терена**, због развоја разних падинских процеса, требало би организовано (и доследно) спроводити по одрђеном (дефинисаном) поступку, зависно од (оčekиване) активности и типа присутне појаве и услова терена. Та активност, **треба да има трајни карактер, на нивоу Државне и друге одговорности**, да би се од интензивне разарајуће повредљивости терена, успешно **сачувала и заштитила животна средина** простора Србије. Поготово у ванредним ситуацијама, код појава **елементарних непогода**, било да су оне, **хидрометеоролошког, геолошког или биолошког порекла**.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] В. Вујанић: Биљне заједнице као индикатори препознавања клизишта, Симпозијум о истраживању и санацији клизипшта, /Д. Милановац 1995.год.
- [2] A. Keith Turner, Robert L. Schuster: Landslides – investigation and mitigation, special report 247 part 3, Nacional Academy Press Washington, D.C. 1996.
- [3] В. Вујанић: Утицај падинских процеса на путно инжењерство Србије, Први саобраћајни конгрес о путевима, Београд 2014.год.
- [4] В. Вујанић: Изградња пута на лабилним и нестабилним теренима, Часопис „Пут и саобраћај“, бр.2, Београд, 2015.год.
- [5] М. Јотић, В. Вујанић, Б. Јелисавац, М. Златковић, С. Миленковић: Клизишта и штете на саобраћајној инфраструктури у Србији, Часопис „Изградња“, бр. 5-6, Београд 2015.год.
- [6] Расположива стручна и научна документација Института за путеве АД Београд.

## КЛИЗИШТА И ШТЕТЕ НА ДРЖАВНИМ ПУТЕВИМА СРБИЈЕ, НАСТАЛЕ КАО ПОСЛЕДИЦА МАЈСКИХ БУЈИЧНИХ ПОПЛАВА 2014. ГОДИНЕ

**Милован Јотић<sup>1</sup>,**

Институт за испитивање материјала ИМС, е-mail: mjotic@hotmail.rs

**Владета Вујанић,**

11000 Београд, Цара Николаја II бр.61<sup>с</sup>; е-mail: v.vujanic944@gmail.com

**Миле Златковић,**

ЈП „Путеви Србије“, е-mail: zlatmile@gmail.com

**Кристина Божић-Томић**

Институт за испитивање материјала ИМС, е-mail: kristina.tomic@institutims.rs

***Резиме:** Дејством циклона који је погодио Србију и земље најближег региона у периоду април-септембар 2014. године, са екстремним количинама падавина (процењене као 100 годишње и више од те вредности), дошло је до катастрофалних бујичних поплава на угроженим подручјима Западне и Источне Србије, као и појава великих и бројних нестабилности терена (преко 2000 већих и мањих клизишта, одрона, тецишта, бујичних наноса, речних ерозија и сл.), која су на инфраструктурним, привредним и стамбеним објектима нанела огромне материјалне штете, а које, према проценама, само на државној путној мрежи износе више десетина милиона еура. Најразорније дејство и материјалне штете, који је циклон нанео, биле су на државној путној мрежи, затим на привредним објектима као и објектима индивидуалних домаћинстава у подручју Ваљева, Крупња, Љубовије, Малог Зворника, Лознице и Текије. Сходно томе, аутори у раду приказују (аналитички и илустративно), процењене размере развоја процеса нестабилности и догођених штета (на деловима угроженог простора Србије, посебно у зони његове путне инфраструктуре), изазваних дејством циклона као и предлоге шта треба чинити, да се фактори ризика, односно повредљивост терена, убудуће предупреди или сведе на прихватљиву меру, што је свакако интересантно за нашу путарску јавност.*

***Кључне речи :** циклон, поплаве, клизишта, штете*

## LANDSLIDES AND DAMAGES ON STATE ROADS OF SERBIA, AS A RESULT OF CONSEQUENCES OF SPATE FLOODS OCCURRED IN MAY 2014

**Milovan Jotić<sup>1</sup>,**

Institut za ispitivanje materijala IMS, e-mail: mjotic@hotmail.rs

**Vladeta Vujančić,**

11000 Beograd, Cara Nikolaja II br.61<sup>c</sup>; e-mail: v.vujanic944@gmail.com

**Mile Zlatković,**

JP „Putevi Srbije“, email: zlatmile@gmail.com

**Kristina Božić-Tomić**

Institut za ispitivanje materijala IMS, e-mail: kristina.tomic@institutims.rs

***Abstract:** The effects of a cyclone which affected Serbia and surrounding countries, between April-September 2014, with extreme amount of heavy rain (referred to as the “100-year flood”, even more than that) caused catastrophic floods in affected areas in West and East Serbia, as well as great and numerous instabilities (over 2000 major and minor landslides, rockfalls, mudflow, flash flood sediments, river banks erosion and similar) which inflicted enormous damage on infrastructure, residential and commercial buildings which are estimated at tens of millions € only on state road network. The most devastating effects and the material damage caused by the cyclone affected the State road network, commercial properties as well as individual households in the region of Vajevo, Krupanj, Ljubovija, Mali Zvornik, Loznica and Tekija. In accordance with that, in this paper authors present (analytically and illustratively), the assessed scale of*

<sup>1</sup> Дипл. инж. геол., Институт ИМС АД Београд, 11000 Београд, Булевар Војводе Мишића 43, Е-mail: mjotic@hotmail.rs

*instability development and occurred damages (at the extent of jeopardized areas of Serbia, especially at the zone of its road infrastructure), caused by cyclone effects as well as proposals WHAT SHOULD BE DONE to reduce risk factors, respectively vulnerability of the terrain, in order to prevent future similar events which is obviously interesting for our road public.*

**Key words:** cyclone, floods, landslides, damage

## 1. УВОД

У периоду од априла до септембра 2014. године, територију Србије погодио је циклон који је проузроковао поплаве великих размера. Киша која је изазвала поплаве са катастрофалним последицама пала је у периоду од 12. до 19. маја 2014. године. Посебно су биле великог интензитета кише на подручју Западне Србије (територија Ваљева, Крупња, Ужица, Лознице, Бајине Баште, Љубовије и Малог Зворника). У том периоду, на овом угроженом подручју, активиран је огромни број клизишта, тецишта, одрона и бујичних наноса који су нанели становништву, стамбеним и привредним објектима и путној инфраструктури огромне материјалне штете. Било је и људских жртава. Дакле, ова „природна непогода“ је била „окидач“ за појаву „геолошких стихија“ које су проузроковале огромне штете и проблеме великих размера у животној средини.

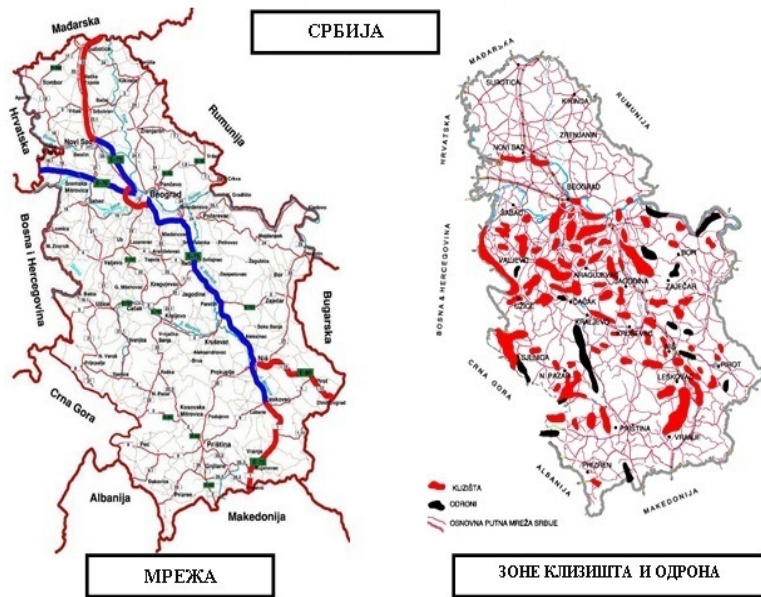
На територији Републике Србије има много лабилних и нестабилних терена које карактеришу појаве бројних (неактивираних-старих и активираних) клизишта, тецишта, одрона и сипара, различитих димензија и степена активности. **Процењује се да је око 20-25% од укупне површине Србије обухваћено процесима клижења и другим видовима нестабилности.** Нарочито су појавама нестабилности карактеристична подручја Шумадије, Западне и Југоисточне Србије, Слика 1.

Клизишта се јављају практично у свим геолошким срединама, како у планинским, тако и у брдовитим, па и благо заталасаним теренима, посебно на падинама, односно обалама већих речних токова. Најчешће се јављају по падинама изграђеним од терцијерних (неогених) и квартарних наслага, затим у флишним и флишоликим творевинама, кристалистим шкриљцима и другим стенама у којима је највише заступљена глинена компонента. При великим атмосферским падавинама, наглим опадањима максималних водостаја река, сеизмичким потресима, долази до масовних појава нових и активирања старих клизишта.

Изградња а нарочито одржавање линијских објеката, какве су путне саобраћајнице, представљају посебан проблем, кад су у питању лабилни и нестабилни терени, из разлога, што њихово стање (не) стабилности често доводи до великих деформација терена и објеката на њему а што може довести до делимичног или потпуног прекида одвијања саобраћаја, кога по правилу **прате огромне материјалне штете**, а не ретко и људске жртве. Нажалост, као последица појаве циклона „Тамара“ 2014. год. **ово се и десило на појединим деоницама државних путева Србије.**

У раду се презентује шта се заправо десило у Србији у том релативно кратком периоду дејства циклона, затим процене размере штете изазване циклоном, односно клизиштима и бујичном ерозијом на путној инфраструктури, како и зашто се десило активирање огромног броја клизишта и предлози шта даље чинити и које превентивне мере предузети како би се у што је могуће већој мери спречиле или умањиле последице оваквих природних катастрофа.

## КЛИЗИШТА И ШТЕТЕ НА ДРЖАВНИМ ПУТЕВИМА СРБИЈЕ, НАСТАЛЕ КАО ПОСЛЕДИЦА МАЈСКИХ БУЈИЧНИХ ПОПЛАВА 2014. ГОДИНЕ



Слика 1.

### 2. ПРОЦЕЊЕНЕ РАЗМЕРЕ ШТЕТА ИЗАЗВАНЕ ЦИКЛОНОМ „ТАМАРА“

Дејством циклона, у периоду од 14. до 24.априла и од 12. до 17.маја 2014.године, са екстремно великим количинама падавина, које су процењене као 100 годишње и више од те вредности, дошло је до поплава на великом пространству, са катастрофалним последицама, нарочито на подручју Западне Србије (подручје Ваљева, Крупња, Лознице, Ужица, Бајине Баште, Љубовије и Малог Зворника). **На подручју Ваљева и Крупња достигнута је највећа месечна сума падавина са повратним периодом од око 250 година (излучене количине падавина преко 280 mm).** На читавом овом простору причињене су огромне материјалне штете а било је и људских жртава.

Киша која је изазвала поплаве са катастрофалним последицама, обухватила је: слив Колубаре, доњи део слива реке Дрине, слив Западне Мораве, доњи део слива Јужне Мораве, сливове непосредних притока Велике Мораве, слив Млаве, као и непосредни слив реке Саве, од државне границе до ушћа у реку Дунав код Београда.

Циклон је на овом подручју, у периоду од 14. до 18. маја 2014. године, условио, према подацима РХМЗ Србије, екстремну количину падавина, у већини места преко 200 l/m<sup>2</sup>, локално и преко 300 l/m<sup>2</sup>. Овом догађају претходиле су обилне падавине у периоду од 14. априла до 5. маја, када је у већем делу Републике Србије пало између 120 l/m<sup>2</sup> и 170 l/m<sup>2</sup>, а у југозападним деловима земље и преко 250 l/m<sup>2</sup>. Највеће количине падавина су излучене у центру слива Трешњице (притоке Дрине) - око 320 mm, затим у зони Крупња и у сливу Љига око 280 mm. Падавине више од 200 mm захватиле су већи део Шумадије и непосредан слив реке Дрине од Рогачице до ушћа. **Карактеристично је, да је овај кишни период трајао скоро непрекидно 21 дан.**

У брдско планинским пределима, нарочито око Крупња, Љубовије и Малог Зворника, поплаве које су се догодиле имале су бујични карактер, са великом брзином простирања и разорном моћи. У периоду од 11.до 17.септембра 2014.године, интензивне кише са количинама падавина од преко 200mm, изазвале су на подручју Г.Милановца, Текије, Кладова, Неготина, Грабовице...поплаве са огромним материјалним последицама и људским жртвама.

Огромне количине падавина на овим подручјима, осим поплава, појаве бујица и ерозије, поплавним и бујичним водама изазвале су и активирање изузетно великог броја клизишта, тецишта и одрона различитих димензија, механизма и динамике померања покренутих маса.

На државним путевима Србије I и II реда, за време дејства циклона и касније, у периоду мај - септембар 2014.год., **активирано је преко 2000 нестабилних појава, од чега је око 160-170 већих и великих клизишта, запремине од неколико стотина до неколико десетина хиљада кубика покренуте масе,** која захтевају велика финансијска средства за санацију и за која су потребна геолошко-геотехничка истраживања и израда пројектно технике документације за њихову санацију.

На слици 2 - Карта државних путева Србије I и II реда, су приказана активна клизишта (око 320 појава), регистрована у периоду 2005.- март 2014.године (која су била непосредна опасност за безбедност

саобраћаја) и клизишта евидентирана током 2014. и 2015. године, настала као последица огромних падавина у периоду април-септембар 2014. (око 205 појава). Анализом распореда приказаних клизишта на карти државне путне мреже, уочљиво је да је далеко највећи број нестабилних појава активиран на подручју Крупња, Бајине Баште, Љубовије, Ваљева и Малог Зворника.

На локалној путној мрежи, у истом периоду, активирано је преко 3000 нестабилних појава, од чега је велики број тешких клизишта, врло сложених и скуних за санацију, за која су такође потребна геолошко-геотехничка истраживања и израда пројектно техничке документације.

Као илустрација геолошке стихије, која је задесила Србију у периоду мај-септембар 2014. године, на сликама 4-11 су приказана карактеристична клизишта. Приказане појаве су великих размера, са покренутом масом од неколико хиљада до неколико десетина хиљада кубика водозасићеног до течљивог, глиновито прашинастог до глиновито дробинског материјала.

Осим државних и локалних путева као и мостова на њима, дејством циклона, односно, клизишта, тецишта, одрона и бујичних наноса, на угроженом подручју, страдала су и бројна домаћинства па и читаве насеља. Порушен је велики број индивидуалних стамбених и помоћних објеката, девестиране су огромне пољопривредне површине. Страдали су и бројни привредни објекти, па је становништво на угроженом подручју, осим директних материјалних штета, које је претрпело рушењем стамбених објеката и девастацијом обрадивог земљишта, додатно угрожено губљењем радних места.

Најразорније дејство и материјалне штете, које је циклон нанео, биле су на државној путној мрежи. Према неким проценама, само су на државним путевима I и II реда нанете штете у износу од преко 50 милиона еура.

### **3. ДОСАДАШЊЕ АКТИВНОСТИ НА ОТКЛАЊАЊУ ШТЕТА НА ПУТНОЈ МРЕЖИ СРБИЈЕ**

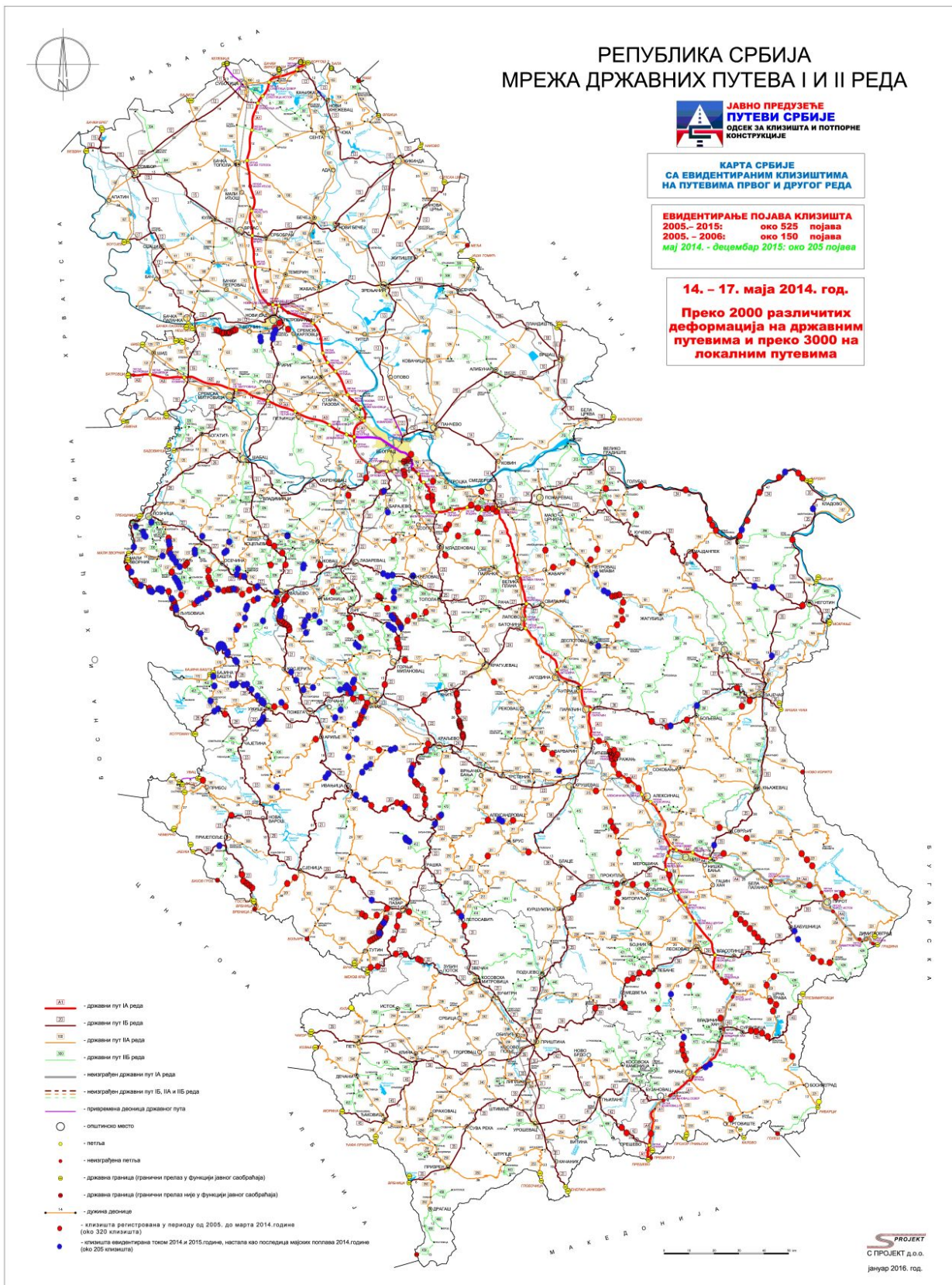
Непосредно након дејства циклона и формирања огромног броја деформација и клизишта на путној мрежи Србије, Јавно предузеће „Путеви Србије“ је преко компетентних институција, у периоду од маја 2014. до краја 2015. године, за потребе санације урадило 48 Главних пројеката санације већих и великих клизишта на подручјима захваћеним поплавама, чије санирање као донацију финансира Европска банка (UNOPS-IPA fond). Санација ових клизишта се предвиђа у току 2016. и 2017. године. Пројектантска вредност санационих радова је око 6,3 милиона еура. Осим тога, преко Канцеларије за управљање јавним улагањима, предвиђено је финансирање санације 11 клизишта на угроженим подручјима у вредности од око 375 000 еура. У оквиру Плана ЈП „Путеви Србије“ за 2016. годину, дат је предлог за финансирање санације 32 клизишта на државној путној мрежи у оквиру редовног одржавања путева. У периоду од 2010. до краја 2015. године, ЈП „Путеви Србије“ је финансирало санацију 51 клизишта на државној путној мрежи на простору читаве Србије.

Преко предузећа за одржавање путева, предузете су хитне санационе и превентивне мере на државним путевима, у циљу омогућавања одвијања саобраћаја. На државној путној мрежи санирано је, потпуно или делимично преко 230 клизишта – деформација на путевима. За потребе санације клизишта на државним путевима I и II реда, утрошено је укупно око 600 милиона динара. Поред тога, за потребе санације око 500 разних оштећења на коловозу, косинама усека, засека, насипа, пропуста и др. на државним путевима, утрошено је преко 950 милиона динара, односно око 8 милиона еура. За санацију око 118 разних оштећења на локалној путној мрежи утрошено је око 710 милиона динара, односно око 6 милиона еура. За потребе финансирања оштећења насталих као последица поплава и изградњу нових на месту порушених мостова на државним путевима, утрошено је укупно око 570 милиона динара, односно око 4,7 милиона еура. На локалним путевима, за санацију и изградњу мостова утрошено је око 1,2 милијарде динара, односно око 10 милиона еура.

Све укупно, на државној и локалној путној мрежи Србије, до данашњих дана, санирано је или је предвиђено за санацију преко 950 разних нестабилних појава (клизишта, одрони, тецишта, одцепљења на косинама усека, засека, насипа и др.). За финансирање све укупних санација на државној и локалној путној мрежи, утрошено је или је у фази реализације укупно преко 5 милијарди динара, односно преко 44 милиона еура.

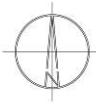
На слици бр.3 - Карта државне путне мреже, приказана су клизишта која су санирана у периоду 2010. - 2015. година у оквиру редовног одржавања путева и клизишта чија се санација предвиђа током 2016. и 2017. године.

КЛИЗИШТА И ШТЕТЕ НА ДРЖАВНИМ ПУТЕВИМА СРБИЈЕ, НАСТАЛЕ КАО ПОСЛЕДИЦА МАЈСКИХ БУЈИЧНИХ ПОПЛАВА 2014. ГОДИНЕ

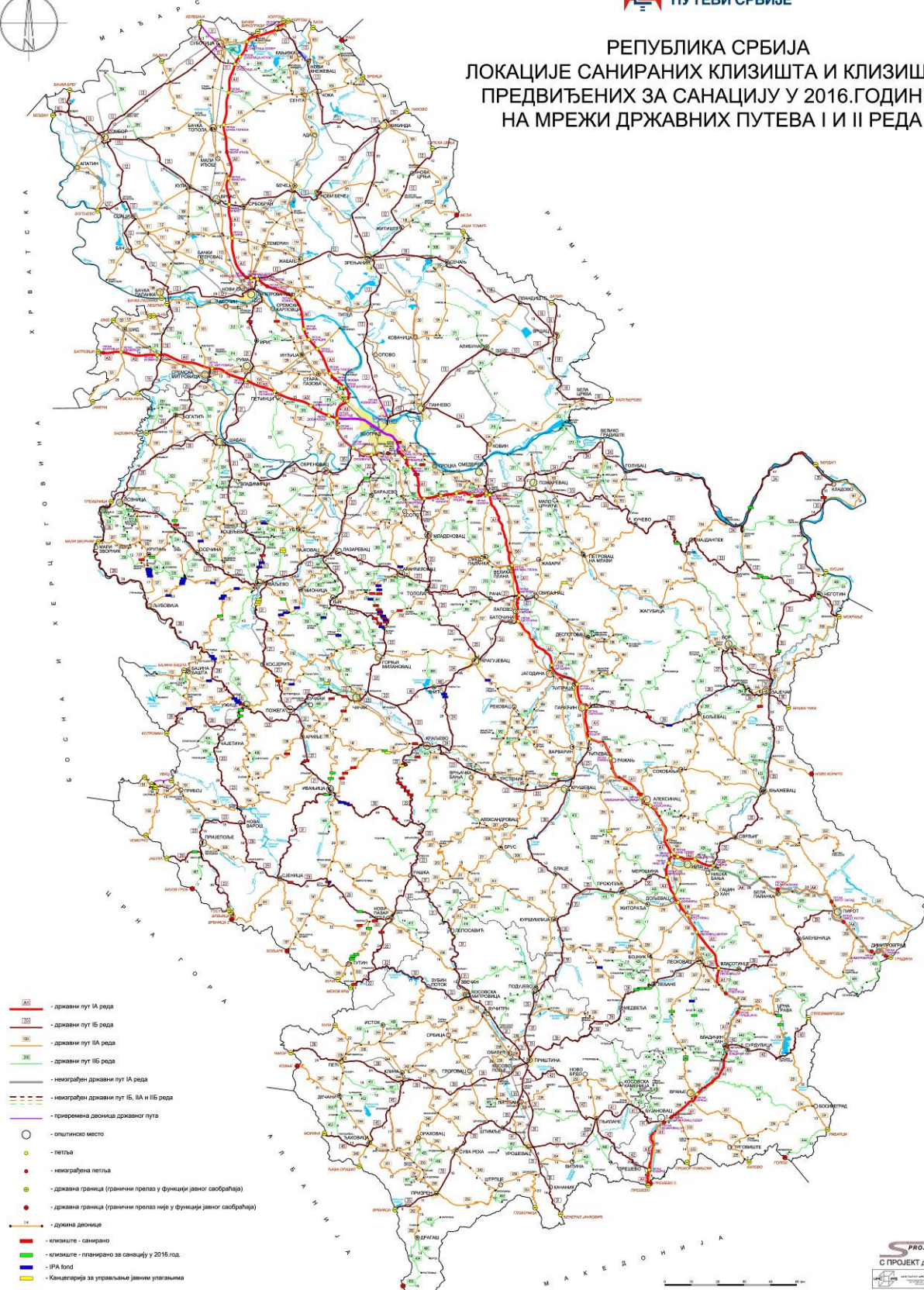


Слика 2 – Прегледна карта клизишта на државним путевима Србије (М.Јотић, Јануар 2016.год)





РЕПУБЛИКА СРБИЈА  
 ЛОКАЦИЈЕ САНИРАНИХ КЛИЗИШТА И КЛИЗИШТА  
 ПРЕДВИЂЕНИХ ЗА САНАЦИЈУ У 2016.ГОДИНИ  
 НА МРЕЖИ ДРЖАВНИХ ПУТЕВА I И II РЕДА



- државни пут IА реда
- државни пут IБ реда
- државни пут IА реда
- државни пут IБ реда
- неизграђен државни пут IА реда
- неизграђен државни пут IБ, IА и IБ реда
- привремено доносила државног пута
- општинско место
- петља
- неизграђена петља
- државна граница (гранични прелаз у функцији јавног саобраћаја)
- државна граница (гранични прелаз није у функцији јавног саобраћаја)
- државна доколица
- клизиште - саниранио
- клизиште - планирано за санацију у 2016 год.
- IPA fond
- Канцеларија за управљачке јавни углашакима

PROJEKT  
 С ПРОЈЕКТ Д.О.О.  
 М.Јотић - ИМС  
 март 2016. год.

Слика 3 – Прегледна карта клизишта на државним путевима Србије која су санирани у периоду 2010.-2015.и чија се санација очекује током 2016. и 2017.године (М.Јотић, Јануар 2016.год.)



Слика 4 – Клизиште на државном путу IIА-137 Крупањ - Мачков Камен - Грачаница, km:6+900. Клижењем је потпуно уништен труп пута у дужини од 60m.



Слика 5 – Клизиште на државном путу IIА-139, деоница: Костајник –Столице, km:10+950 -11+070. Клижењем и бујичним разарањем захваћена је падина непосредно изнад и испод пута у дужини по путу од око 120m а уз падину преко 200m.



Слика 6 – Клизисте на државном путу IIA-170 Рогачица – Бајина Башта, у селу Црвица - потез Васићи, дужине преко 300m.



Слика 7 - Клизисте на државном путу IIA-170, деоница: Ваљево – Дебело брдо, кт:22+200, настало након мајских поплава 2014.год.



Слика 8 - Клизиште на путу IIA-150, кт:82+900, деоница: Босута-Белановица, Настало након мајских поплава 2014., дужине по путу 75m а низ падину око 60m,



Слика 9 - Клизиште на државном путу IB-30, деоница: Ивањица-Ушће, кт:38+100; Дана 19.04.2014.године, у току веома обилних падавина, набујала река Студеница поткопала је и однела пут у целој ширини а у дужини од ~ 50m.



Слика 10 - Клизиште на државном путу IB-22, деоница: Краљево – Ушће, у месту Пивнице, кт:390+050, дужине око 350-400m x 200-250m x око 5-8m.



Слика 11 - Клизиште на државном путу: ИВ-342 Ваљево (Иверак) – Караула - Уб, кт: 3+610 у насељу Дупљај, настало као последица мајских поплава 2014. Клижењем је потпуно уништен пут у дужини од 100м и саобраћај је прекинут. Клижењем захваћена и падина изнад и испод пута са сеоским стамбеним објектима;

#### 4. КАКО И ЗАШТО СЕ ДЕСИЛО АКТИВИРАЊЕ ОГРОМНОГ БРОЈА КЛИЗИШТА И ДРУГИХ НЕСТАБИЛНОСТИ ИЗАЗВАНИХ ЦИКЛОНОМ «ТАМАРА»

Овакве размере штета до сада незабележене на простору Србије (а и шире у окружењу), настале као последица великог броја нестабилности, изазване циклоном „Тамара“, **захтевају и траже стручну и сваку другу анализу у смислу**, шта се све то догодило, зашто, како и где на нашим просторима, и да ли се могла **та снажна и интензивна повредљивост терена и објеката** предвидети или спречити, односно, ако се иста већ догодила, да ли је могло пре или у току њеног догађања њихове последице (ризик) од штета свести на прихватљиву меру.

**Полазне предпоставке** за могуће одговоре на нека од ових питања, налазе се у природним условима терена, који у суштини полазе од тога, да до активирања клизишта (и др. нестабилности) доводе различити процеси, **како природни, тако и антропогени**, чије размере зависе од непосредног окружења, тј. природе основног агенса сила (термичких, гравитационих, сеизмичких), које су иницирале ове појаве.

Дакле, који су све били узроци и поводи за иницирање и активирање бројних нестабилности **за време и после појаве снажног циклона „Тамара“**, треба их, по нашем мишљењу тражити у следећем:

- Опште је познато да су узрочници појаве клизишта и других нестабилности бројни и да се они спонтано јављају у току морфогенетског обликовања савременог рељефа. Клижење, као један од најчешћих падинских (гравитационих) процеса, настаје углавном као резултат деловања бројних природних и техногених фактора, од којих су свакако најважнији морфологија терена, геолошка грађа, карактеристике тла(стена) и њихове промене проузроковане геолошким развојем, или су настале услед више комплексних фактора, истовременим деловањем природних (земљотреси, ерозије, падавине) и техногених фактора (промене и обликовање падина, односно терена људском делатношћу).

- Развој ових процеса, нарочито долази до изражаја на лабилним и нестабилним (падинским) деловима терена, каквих у Србији (осим Војводине) има много, слика 1, 2 и 3, у чијој грађи, најчешће, учествују глине и лапори, који се често смењују са песковима и шкриљцима, покривени квартарним покривачем, различите дебљине. У присуству воде, овакве стене подлежу промени физичког стања – густине, односно порозности и консистенције, а самим тим прогресивном смањењу отпорних својстава. При осталим неповољним околностима, као што су просторни положај, уклањање растреситог покривача, **било неадекватним инжењерским радовима или природном ерозијом**, затим, спољни фактор, на пример, динамички утицај или друго, може да наступи клижење, течење, одроњавање, осипање, и сл.

- Обилне падавине које су се десиле током циклона „Тамара“ у кратком временском периоду, од 12.-17. маја 2014.год., биле су непосредни (директни) повод за међусобно (здружено) деловање многих од поменутих фактора, што је изазвало активирање огромног броја, потенцијално старих и нових клизишта и других видова нестабилности, различитих димензија и интензитета, посебно на подручју централне, западне, и источне Србије и шире у региону, где су падавине биле између 100 и 250 l/m<sup>2</sup>, што је изазвало огромне материјалне штете а било је и људских жртава.

- За активирање напред наведених савремених геолошких процеса, током и након поменуте **геолошке стихије**, значајну улогу, **може се рећи пресудну**, су имали интензивни процеси ерозије, који су били активирани практично у свим облицима (као планарни, линијски, ерозиони, флувијално речни и др.) а који су својим дејством испирања и одношења ситних честица тла, као и ситних до већих комада стене, затим шумских стабала и других материјала, рушећи све пред собом, довели до, уз остале факторе, формирања клизишта, одрона и другин нестабилности, како у природној геолошкој средини тако и на изграђеним објектима.

Ерозија је нарочито била изражена на релативно стрмим, расчлањеним падинама и на косинама изнад изграђених објеката, **на оним деловима терена који су били огољени, без вегетације**. Непостојање или уклањање вегетације, доводи до повећања ерозије, односно смањивања дебљине покривача (распадине), тиме што се корени уклањају, што омогућава површинским водама, током кишних периода, да продру у потенцијална подручја клизања, као и повећања испаравања у току сушних периода, када по правилу долази до стварања пукотина у површинском покривачу, што га чини подложним новом клижењу. Иначе из праксе је познато да подручја стабиловања шумским – биљним покривачем на падинско долинским странама **заустављају развој клизних процеса, фосилизирањем врло старих клизишта и ерозионе процесе** површинских водених токова.

С обзиром да се код нас при пројектовању и изградњи путних и других објеката, често није довољно водило рачуна о потенцијалној еродибилности терена, са могућностима у кишним периодима појаве интензивних **бујичних токова** у ближој и широј зони изграђеног објекта, природа нас је догођеном стихијом на то опоменула.

Дакле то је била „освета ерозије“, која се појавом циклона „Тамара“ у пуном замаху рушилачки манифестовала.

Непознавање или неуважавање чињеница какве све штете и последице могу настати по животну средину, због могућих појава геолошких (и других природних) феномена, односно, **подцењујући знања геолошке струке**, често доводи до тога да се при пројектовању и изградњи а касније и одржавању објеката, посебно објеката саобраћајне инфраструктуре, не обезбеђује општа стабилност и сигурност (како њих самих, тако и непосредне животне средине), од потенцијалних стихија великих размера, какав је управо био циклон „Тамара“.То из разлога што су објекти по врсти, броју, структури, димензијама, били недовољни и неадекватни, што се на жалост овом приликом и потврдило. Наиме, пројектовани су и изведени многи грађевински објекти (труп пута, одбранбени насипи, обало утврде, мостови, пропусти, потпорни зидови, дренаже, канали и сл.), који рушилачки налет циклона „Тамара“ нису могли да задрже па је дошло до њиховог деформисања и урушавања, а тиме и до појаве разних видова нестабилности у животној средини (клизишта, одрони, тецишта, наплавина, стварање вештачких језера и забарења и тд.).

- Најзад, код догађања ове природне стихије, не треба занемарити ни **недовољну и неусаглашену** међусобну обавештеност (понекад хаотично, без праве координације) и размену информација (путем медија и сл.), од стране стручних организација и појединаца који се баве овом проблематиком и **одређених државних представника**, о размерама и правцима деловања надлазеће стихије, и шта треба (и како) при томе чинити (мада је било и позитивних примера). Због тога, можда су пропуштене правремене техничке и друге могућности, да стихија не добије догођене размере по питању развоја процеса нестабилности и огромних штета, **с напоменом да у том догађању, пре, за време а и касније, нису адекватно и довољно били ангажовани правремено одговарајући мериторни стручњаци и специјалисти који се баве овом проблематиком**. Мисли се пре свега на **инжењере геологе** (специјалисте инжењерске геологије и геотехнике, морфологије, геофизике и сл.), **инжењере грађевине** (специјалисте хидрологије, хидротехнике, конструктивци, путари и сл.), затим инжењере хидрометеорологије, пољопривреде и шумарства те планере и урбанисте итд. То су углавном, **по мишљењу аутора, били одлучујући разлози**, односно узроци за објашњење настанка и размере и штете које је изазвао циклон „Тамара“.

## 5. ШТА ДАЉЕ ЧИНТИТИ У СМISЛУ НЕОПХОДНИХ АКТИВНОСТИ

Полазећи од свега што се десило са природном геолошком средином током циклона и искустава из прошлости, као и чињенице да је већи део простора Републике Србије, у неповољним климатским условима, подложен развоју савремених геолошких процеса и појава као што су клизишта, одрони, тецишта, ерозије, плавине, забарења и сл., неопходно је за потребе пројектовања и изградње нових објеката и одржавање старих изграђених објеката, **посебно за објекте саобраћајне инфраструктуре**, прво урадити савремену базу података о процесима и појавама чије постојање и деловање **може непосредно и посредно угрозити стабилност и функцију објеката кроз време**.

База треба да садржи: инвентар (регистрацију) појава, њихову историју развоја, **карте „хазарда и ризика“**, податке о истражености и евентуалној успешности санације, затим квалитативну и квантитативну процену њихове опасности по простор и објекте на њему, те податке о мониторингу за време грађења и у фази експлоатације, као превенција за благовремено откривање појава нестабилности и правовремено предузимање адекватних санационих мера. Иако већина развијених земаља поседује урађену овакву базу података за своје потребе, **до сада се у нашој земљи, по овом питању мало радило**. Учињени су у задњих 10-20 година по томе значајни кораци за потребе државних путева Србије првог и другог реда, у оквиру ЈП „Путеви Србије“, затим за потребе електропривреде и водопривреде, те за урбани простор града Београда. Међутим то није довољно, па треба инсистирати код надлежних државних и локалних органа и других заинтересованих институција, због актуелне проблематике, да се та активност убрзано настави и обухвати читави простор Србије.

## 6.ЗАКЉУЧАК

Наша земља, ако жели да достигне виши степен друштвеног и економског развоја, мора смоћи снаге да употреби сва средства, да се са својим људским потенцијалом и другим ресурсима **успешно бори са разним природним непогодама**, какав је циклон „Тамара,“ како би се очувала и заштитила своја животна средина, односно животни простор од могућег његовог великог нарушавања и доношења штета великих размера, нарочито на саобраћајној – путној инфраструктури. **Треба се у суштини навићи да се рационално и безбедно живи са тиме**.

## ЛИТЕРАТУРА

[1]Изградња пута на лабилним и нестабилним падинама /Вујанић В.// Монографија часопис „Материјали и конструкције“ N<sup>o</sup> 1-2 (1994)

[2]Карактеристике јаких киша које су проузроковале честу појаву поплава на територији Србије у периоду април-септембар 2014.године /С.Прохаска,Д.Ђукић, В. Б. Дивац, Н.Тодоровић,Н. Божовић//Монографија часопис „Водопривреда“0350-0519,бр.46(267-272),(2014).

[3]Расположива стручна документација Института за путеве ад Београд,Института за испитивање материјала ИМС, Београд, Института за водопривреду „Јарослав Черни“,Београд, Хидрометеоролошког Завода Србије, Београд, ЈП „Путеви Србије“,Београд.

# ROAD MAINTENANCE CONTRACTING STRATEGY IN MOLDOVA

**Nebojša Radović, Civil Eng., Ph.D<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, 6 Dositeja Obradovića Sq., Novi Sad, Republic of Serbia, e-mail: radovicn@uns.ac.rs*

**Igor Jakanović, Civil Eng., Ph.D<sup>2</sup>**

<sup>2</sup> *University of Novi Sad, Faculty of Civil Engineering, 2a Kozaračka St., Subotica, Republic of Serbia, e-mail: jakanovici@gf.uns.ac.rs*

**Edin Begović, Civil Eng.<sup>3</sup>**

<sup>3</sup> *Roughton International Ltd., 2 Kaptol St., Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, e-mail: edin.begovic@roughton.ba*

**Nicolai Ciobanu, Civil Eng.<sup>4</sup>**

<sup>4</sup> *Administrației de Stat a Drumurilor, 12a Bucuriei St., Chisinau, Moldova, e-mail: ciobanu@asd.md*

**Summary:** *The Moldovan Ministry of Transport and Road Infrastructure (MTRI) began structural reforms in 2011, with regard to the consolidation of Road Maintenance Companies (RMCs) and road maintenance contracting. The present system of maintenance is based on a series of contracts with the 12 Road Maintenance Companies (RMCs) awarded at set prices on a non-competitive basis for routine maintenance in the 12 regions covering the whole of Moldova, where the companies effectively each represent one region, combined with the execution of paved road periodic maintenance through the contracting industry using open tenders. The road ahead for road maintenance is anticipated to be towards a system of Performance Based Routine and Periodic Maintenance. This paper presents a draft strategy for contracting road maintenance activities on the basis of the combined contracts for routine and periodic maintenance based on the achieved level of services.*

**Key words:** *routine maintenance, periodic maintenance, level of services, contract, road companies*

## 1. INTRODUCTION

The Moldovan Ministry of Transport and Road Infrastructure (MTRI) began structural reforms in 2011, with regard to the consolidation of Road Maintenance Companies (RMCs) and road maintenance contracting. Roughton International Limited (RI) was assigned as Consultant for the implementation of Consultant Services for Moldova Road Maintenance Reform Assistance. Directly subordinated to the MTRI, State Road Administration (SRA) is the agency responsible for implementing the key maintenance system reforms. The present system of road maintenance is based on a series of contracts with the 12 Road Maintenance Companies (RMCs) awarded at set prices on a non-competitive basis for routine maintenance in the 12 regions covering the whole of Moldova, where the companies effectively each represent one region, combined with the execution of paved road periodic maintenance through the contracting industry using open tenders.

The road ahead for road maintenance is anticipated to be towards a system of performance based routine and periodic maintenance.

This paper presents a draft strategy for contracting road maintenance activities on the basis of the combined contracts for routine and periodic maintenance based on the achieved level of services.

## 2. CURRENT ROAD MAINTENANCE PRACTICES

Present maintenance contracts are linked to the annual budget, provided via the Road Fund, and have thus a formal duration of one year. Contracts for routine maintenance are based on unit rates per km of the road of certain category, width, traffic loading and similar parameters. Unit prices are subject to adjustment taking into consideration market prices/conditions and normative documents for execution of works. This is further being combined with the execution of periodic maintenance for paved roads through the contracting industry using open bidding procedure.

The current level of funding for routine maintenance is meeting only 60-70 % of the critical routine maintenance works needed to keep the road network at fair/good condition. The RMCs have under-utilized road maintenance capacity, but several RMCs (in fact representative of most of them) could double output if the work was available. If additional SRA funds were available to provide 100 % maintenance needs, RMCs' capacity utilization would increase, broadly by 50 % to 75 %.

---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: Nebojša Radović, Civil Eng., Ph.D, e-mail: radovic.nebojsa62@gmail.com



The RMCs are effectively the only routine maintenance operators in the country and this fact is actually the key area where the twelve RMCs can notionally offer value to potential purchasers in the field of routine maintenance. RMCs have unique experience in routine and winter maintenance in the country which is doubled with the network of depots and availability of facilities, and are characterized by relatively small differences in terms of capacity. RMCs mainly operate on practice established a number of years ago with ageing equipment and mediocre staff, while management capacity within the RMCs is small and not ready for competition on the market. In order to grow the RMCs must also develop other possible markets. Some of the RMCs should make an effort to increase their market share via specialization, for example by developing their know-how in bridge inspection and repairs.

Contractors, i.e. private operators, in Moldova have virtually no experience of routine and winter maintenance, though some contractors have experience relevant for periodic maintenance and rehabilitation.

## **2. THE WAY FORWARD**

In 2011, the MTRI began structural reforms with regard to road maintenance contracting which is done through public procurement for most of the periodical and repair works contracts. The road ahead for road maintenance is anticipated to be towards a system of performance based routine and periodic maintenance for the following reasons:

- delivery of higher customer satisfaction by aligning contractor payments with the needs of the road users;
- stable financing for the maintenance program over a longer-term;
- may cover either only one asset (e.g. only traffic signs, only bridges) or all road infrastructures of a well-defined road section;
- ability to manage the road network with less staff for supervising the works;
- cost savings in managing and maintaining road assets.

### **2.1. Conditions and Constraints**

In general, the current legal and regulatory framework does not cause any hindrance for introducing multi-annual Performance Based Maintenance contracts (PBMCs).

The functional classification of roads provides a basis for the introduction of multi-annual PBMCs, but the traffic volume should also be taken into consideration when preparing the performance standards defining the Level of Service (LoS) that the road user will receive on the various categories of roads. If the functional classification is the only determining factor in setting the LoS, then this can lead to over-demand and unnecessary high maintenance costs on some higher classed roads with low traffic volumes.

Under the present conditions, the financial situation of the RMCs depend to a great extent on the allocation of funding and equipment by the SRA despite the fact that the companies in principle also provide services to local governments and other economic agents/public and private legal entities. In general, these firms are not sustainable in the medium or long term without direct Government support. Another important obstacle for sustainability in general terms is the fact that most of the important construction materials are being imported from abroad.

None of the present RMCs is ready for full competition, neither internally nor with the private sector. Current RMCs do not have capacity for rehabilitation works and have very limited capacity for periodic maintenance. The RMCs have no experience in PBMC. At the moment it appears they are capable to perform simple routine maintenance contracts with some features of PBMC (actually "hybrid" PBMC, which combines features of both method-based and performance-based contracts where some services are paid on a unit rate basis, while others are linked to meet performance indicators).

Organizational and managerial structure of SRA in principle suits the initial and further implementation of PBMCs. At the moment there is limited existence of appropriately qualified and dedicated staff within SRA for implementation of PBMCs. SRA will require some element of training and technical assistance in the development of PBMCs and subsequently in the control and certification of the works during initial implementation of PBMC. There is availability of relevant technical and technological means for preparation and monitoring of PBMCs, but this needs to be continued and improved.

## **3. PROPOSAL FOR INTRODUCTION OF PBMC**

Combined periodic/routine contracts are proposed for introduction of PBMC practice in Moldova. Following the risks in implementation of PBMCs even in the most developed countries, a more conservative approach has been adopted, actually "hybrid" type of PBMC for routine maintenance of paved and unpaved roads. The "hybrid" type of PBMC combines features of both method- and performance-based contracts. Some services

are paid on a unit price basis, while others are linked to meet performance indicators and paid in equal installments during the realization of contract.

The pilot PBMC project for routine maintenance will provide experience to one or few of the RMCs in routine and winter maintenance (including also periodic maintenance of gravel roads) by Performance Based Maintenance (PBM). Winter maintenance is included in the pilot as existing RMCs already have experience in winter maintenance works. Inclusion of periodic maintenance of gravel roads, in addition to routine and winter maintenance is proposed exactly in order to incentivize commercial behavior of current RMCs and market appetite for potential investors/partners.

The proposed contract also includes emergency works that are designed to repair any substantial damages to the roads and sections of road under contract which are caused directly by unforeseen natural phenomena with imponderable consequences occurring either in the area of the roads or elsewhere, but with a direct impact on the roads. The actual payments for emergency work will be based on the quantities of work required to be executed and the tendered rates for dayworks.

The pilot Performance Based Contracts (PBCs) for periodic maintenance will offer an introduction to PBM for the general contracting industry. Periodic maintenance of paved roads outgo the RMCs capacity, but private sector contractors should have interest in partnering with current RMCs to utilize their (limited) resources and experience in the area. Such partnerships are seen as one of ways for expanding under-utilized capacity of most RMCs into new area (for now) of periodic maintenance for paved roads, as well as boosting commercial behavior for RMCs. The format of the combined contracts is expected to make the RMCs desirable, and perhaps essential, partners in bidding for these contracts and should, therefore, give them appreciable value as privatization targets. As such it should be strongly supported and promoted by SRA.

It is proposed to commence introduction of PBM with one or two pilot contracts for routine maintenance by PBM and one or two pilot contracts for periodic maintenance in accordance with current condition of selected part(s) of road network and available funds using a PBC. The dual pronged approach being proposed reflects the present structure of the contracting and maintenance capacity in Moldova where routine and winter maintenance is carried out by the RMCs and periodic maintenance by the general contracting industry.

One (or possibly two) proposed contract(s) from the SRAs planned periodic maintenance program for 2016 will be selected for tendering as a PBC. Periodic maintenance pilot project will include bituminous surface treatment and rehabilitation activities in limited scope. As with usual periodic maintenance works, this contract will be opened to qualified bidders from the general contracting industry. SRA shall provide adequate design documentation for periodic maintenance of selected section(s) (rehabilitation and resealing design).

It is anticipated that the pilot PBMC will be for a period of three years. This is considered long enough for an assessment of performance, since the contract is essentially for routine maintenance only. Three years will give the bidders and SRA a chance to come to grips with the notion of the multi-annual contract without tying all parties into a longer term format which may require revision. On the other side, implementation period for periodic maintenance PBCs is foreseen to be during one construction season (estimated duration of 6 months). Additional periodic maintenance PBC will be planned for the next working seasons, including any contract modifications that appear desirable from experience with the first pilot.

Combining the routine maintenance with full periodic maintenance into a single PBMC will have to be a later stage (2nd generation contract) when both sides gain experience of PBM and the RMCs can be shown as ready for sale. These contracts will call for experience in both fields and will be expected to attract bids from combinations of general contractors and RMCs, either as Joint Ventures (JVs), as main and sub-contractors or from contractors who have chosen to buy out an RMC.

### 3.1. Scenarios

The Consultant performed analysis regarding pre-selection of appropriate pilot areas for implementation of PBMCs.

The following considerations have been taken into account:

- administrative boundaries of regions/rayons remain unchanged;
- geographical position of future pilot areas (minimize transport distances);
- existing capacity of RMCs (operational capacity of RMCs is under-utilized, 50-75 %);
- existing capacity of local construction companies;
- current pavement condition of road network (data available only for national road network);
- current level of traffic - avoid the most heavily trafficked areas (e.g. not select areas close to Chisinau);
- road network density by regions/rayons;
- population density by regions/rayons.

The following scenarios for selection of pilot areas and procurement procedures (in accordance with Law on Public Procurements no. 96-XVI of 13.04.2007, Official Gazette "Monitorul Oficial" no. 107-111/470 of 27.07.2007.) have been considered:

- Scenario 1: Selection of one territory of the existing regions (RMC's territory) (Competitive bidding procurement – Open/Closed Tender procedure);
- Scenario 2: One territory composed by adjoining rayons from 3 adjacent regions (Competitive bidding procurement – Open/Closed Tender procedure);
- Scenario 3: Two territories composed by adjoining rayons from 2 adjacent regions (Competitive bidding procurement – Open/Closed Tender procedure)
- Scenario 4: Selection of one RMC's territory (Negotiated procedure).

Following the analysis, and identification of advantages and disadvantages for all considered scenarios, the Consultant proposed Scenario 2 for selection of pilot trials and procurement procedure for introduction of PMBCs.



**Figure 1.** Scenario 2: One territory composed by adjoining rayons from 3 adjacent regions / Competitive bidding procedure

Source: Maintenance Contract Strategy Report, Moldova Road Maintenance Reform Assistance, Roughton International, 2015 [1]

Alternatively, to speed up process of implementation of PMBCs in Moldova, contract(s) can be directly awarded in negotiated procedure with RMCs, but it will require achievement of consensus between EBRD and SRA/MTRI due to existing legal covenants of Loan Agreement. In that case Scenario 4 is the reasonable option for selection of pilot territory.

**Table 1.** *Advantages/disadvantages of scenarios for selection of pilot areas and procurement procedures*

Scenario	Advantages	Disadvantages
1 (JSC Edinet territory)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Size of contract is attractive (estimated 676 km of national and local road network to be maintained). It will probably attract attention of private sector and construction companies, especially for 3 years contract duration;</li> <li>- JSC Edinet should be probably the most competitive local bidder knowing existing condition of road network, practice and having established maintenance depots;</li> <li>- Given the known territory and condition of the road network, preparation of the PBM tender documentation and PBM contract implementation should be simpler.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- There is real risk that JSC Edinet will simply disappear if loses the tender; it can lead also to unsuccessful tender;</li> <li>- Possible bidders might be JSC Riscani, JSC Balti and JSC Soroca due to geographical position. In case of winning contract by JSC Riscani it might exceed its capacity (JSC Riscani - 789.1 km, data given by questionnaire) to do the job on own territory and new territory (JSCs are generally under-utilized 50-75 %, not more).</li> </ul>
2 (rayons Donduseni, Drochia and Soroca)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Size of contract is attractive (estimated 584 km of national and local road network to be maintained). It will probably attract attention of private sector and construction companies, especially for 3 years contract duration;</li> <li>- It will most probably raise competition at least between 4 RMCs (JSC Edinet, JSC Riscani, JSC Balti and JSC Soroca);</li> <li>- No one of existing RMCs (JSC Edinet, JSC Riscani and JSC Soroca) in case of losing tender will lose more than one third of territory for maintenance, there is no risk that any of existing RMC will disappear;</li> <li>- Estimated size of contact is appropriate regarding the existing under-utilization of RMCs (50-75 %).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preparation of BDs will be more complicated. There is need to define list of road sections by rayons to be maintained and collect additional and consolidate data concerning three adjoining rayons;</li> <li>- Possible bidders might be JSC Riscani, JSC Edinet, JSC Balti and JSC Soroca due to geographical position. In case of winning contract by some of JSCs (e.g. JSC Riscani -789 km of existing road network for maintenance) it might exceed its capacity to do the job on own territory and new territory (JSCs are generally under-utilized 50-75 %, not more).</li> </ul>
3 (rayons Soldanesti and Rezina at the north, and rayons Calarasi and Nisporeni at the west)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Two PBMCs will increase competition. Sizes of contracts are attractive (estimated 582 km and 617 km of national and local road network to be maintained). It will probably attract attention of private sector and construction companies, especially for 3 years contract duration;</li> <li>- It will speed up introduction of PBMCs and competitive tendering of routine maintenance activities;</li> <li>- It will most probably raise competition at least between 4 RMCs (JSC Soroca, JSC Orhei, JSC Balti and JSC Ialoveni);</li> <li>- No one of existing RMCs (JSC Soroca, JSC Soroca, JSC Orhei, JSC Balti and JSC Ialoveni) in case of losing tender will lose more than one third of territory for maintenance, there is no risk that any of existing RMC will disappear;</li> <li>- Estimated size of contact is appropriate regarding the existing under-utilization of RMCs (50-75 %).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preparation of BDs will be more complicated and will require more time. There is a need to define list of road sections by rayons to be maintained and collect additional and consolidate data concerning three adjoining rayons;</li> <li>- Commencement of PBMCs probably will be delayed with respect to estimated start (February 2016).</li> </ul>
4 (JSC Edinet territory)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Introduction of pilot PBMC(s) for routine maintenance will be faster avoiding open/closed tendering procedure, without fear of unsuccessful tendering;</li> <li>- Such scenario is in accordance with Law on Public Procurements;</li> <li>- There is no risk that any of existing RMC will disappear;</li> <li>- Estimated size of contact is appropriate regarding the existing under-utilization of RMCs (50-75 %).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Non-compliant with existing legal covenants within Loan Agreement between SRA and EBRD;</li> <li>- Contrary to the basic principle that most IFIs are promoting (competitive bidding, transparency, etc.);</li> <li>- It can be deemed as discrimination against remaining RMCs, that would not be included in negotiation/direct award process;</li> <li>- Unusual practice for procurement of PBMC, difficult to compare with other PBMCs in the world.</li> </ul>

Source: *Maintenance Contract Strategy Report, Policy Paper on Privatization of Road Maintenance Companies and Introduction of Performance-Based Road Maintenance Contracts, Moldova Road Maintenance Reform Assistance, Roughton International, 2015 [1,2]*

### 3.1. Risk Transfer

Proposed approach tends to establish the uniform balance of risks between the SRA (Employer) and the Contractor, by allowing for two types of the 1st generation PBMCs in the pilot stage: a hybrid PBMC for routine and winter maintenance of all roads plus periodic maintenance of gravel roads (designed for RMCs), and a separate PBMC for paved roads (designed for road contractors in general).

A hybrid PBMC for routine and winter maintenance of all roads and periodic maintenance of selected gravel roads combines elements of "classic" quantity based items (BoQ items) and unit rates for payment of measured work, with elements of true performance-based indicators. This way, various higher risk elements of the work will be done via BoQ format rather than plain lump sum and will hopefully facilitate relatively "painless" transition from the current contracting method for routine maintenance, with acceptable balance of risks between the Employer and the Contractor already achieved through existing contracts mostly based on BoQ unit rates and quantities measurement, towards a full PBMC. Full performance-based criteria will be proposed for the 2nd generation contract, that will follow the pilot program and which will probably include more or all RMCs. Additionally, full performance based criteria will be proposed for the 1st generation contract for periodic maintenance of paved roads in a pilot area.

The above is further combined with proposed longer-term pilot PBMC (3 years, and it can be increased even more to 4 or 5 years) which should further help contain risks involved with project implementation. After careful consideration, the final proposal of 3 years pilot PBMCs came as a conclusion of the analysis of experience in other countries with similar conditions (Serbia, Albania) which shows that there is usually an adjustment period of about 1 to 1.5 years in pilot hybrid PBMs required for the Contractors to get used to multi-annual contracts, performance-based component of the Contract and for striking the right balance of allocated risks, merit/demerit points system and adjusting their work processes to achieve better productivity and profitability. As observed during implementation of pilot hybrid PBMCs in countries mentioned above, full effects of the PBM are usually felt only in the third year, by when initial troubles are usually sorted and eventual financial effects of de-merit points are offset by regular fees and merit points favorably. Certainly, each country and each Contractor is the case for itself, however it would not be prudent to disregard the experience referred to above and the risks associated with allowing too short time for adjustment and consolidation.

Most importantly, longer term (3 years) pilot hybrid PBMC, with prospect of potential even longer follow-up full PBMC (5+ years) would boost chances of successful privatization and investors' appetite, as investors generally prefer long-term stability and business viability for their investment, and could lead to earlier privatization than if pilot PBMC is limited to 2 years only.

Another important risk element is setting of LoS. Many times it is desirable to specify a LoS, but it may be difficult for both the Contractor and the Employer to correctly estimate the quantities and ascertain the risk involved. Should the risk of deviations from the estimated (normal) quantities be too high, the Contractor could be asked for a unit price, combined with an incentive to minimize the risk. To create a true win-win situation the incentive should be double sided, meaning that the Contractor will only be paid a fraction for quantities exceeding the estimate necessary to maintain the specified LoS, but he will also share the savings with the Employer should less quantities be needed to achieve the goal. The percentage up and down should be set between 20 and 30 % and ideally reflect the overhead, profit and standard risk for the Contractor.

## 4. BASIC CONTRACTS ELEMENTS

### 4.1. Performance Criteria

PBM specifications were developed and included in model PBMCs (1st and 2nd generation) for routine, winter and periodic maintenance. When preparing the performance standards for the LoS for routine and periodic maintenance for the various categories of roads higher requirements were set for the maintenance of the higher classed roads and less rigid requirements for the maintenance of the lower classed roads.

The system envisages the provision of five different levels of routine maintenance (Maintenance Standards (MS)) /from MS1-the highest to MS5-the lowest), and five different LoS (Excellent-Good-Satisfactory-Poor-Bad). The following Tables 2-4. illustrate the relationship between LoS and MS for Magistral, Republican and Local roads at different traffic classes. LoS relate to road user expectations and the definition of each level varies with road class and traffic class. The LoS provided by a specific MS will be lower on a road of higher functional type and will be higher on a road of lower traffic class. Routine maintenance involves the execution of a specific series of tasks designed to ensure that each road is maintained at its prescribed LoS. In general, the difference between MSs lies in the frequency of execution or the permitted delay before execution, of the required tasks rather than in the actual tasks themselves.

**Table 2. Levels of Service for Magistral roads**

Traffic AADT [veh/day]	SERVICE LEVELS - MAGISTRAL ROADS				
	Maintenance Standard				
	MS1	MS2	MS3	MS4	MS5
> 8,000	Good	Satisfactory	Poor	Bad	Bad
8,000-5,000	Excellent	Good	Satisfactory	Poor	Bad
5,000-2,000	Excellent	Excellent	Good	Satisfactory	Poor
2,000-500	Excellent	Excellent	Excellent	Good	Satisfactory
< 500	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Good

Source: Maintenance Contract Strategy Report, Moldova Road Maintenance Reform Assistance, Roughton International, 2015 [1]

**Table 3. Levels of Service for Republican roads**

Traffic AADT [veh/day]	SERVICE LEVELS - REPUBLICAN ROADS				
	Maintenance Standard				
	MS1	MS2	MS3	MS4	MS5
> 8,000	Excellent	Good	Satisfactory	Poor	Bad
8,000-5,000	Excellent	Excellent	Good	Satisfactory	Poor
5,000-2,000	Excellent	Excellent	Excellent	Good	Satisfactory
2,000-500	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Good
< 500	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent

Source: Maintenance Contract Strategy Report, Moldova Road Maintenance Reform Assistance, Roughton International, 2015 [1]

**Table 4. Levels of Service for Local roads**

Traffic AADT [veh/day]	SERVICE LEVELS - LOCAL ROADS				
	Maintenance Standard				
	MS1	MS2	MS3	MS4	MS5
> 8,000	Excellent	Excellent	Good	Satisfactory	Poor
8,000-5,000	Excellent	Excellent	Excellent	Good	Satisfactory
5,000-2,000	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Good
2,000-500	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent
< 500	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent

Source: Maintenance Contract Strategy Report, Moldova Road Maintenance Reform Assistance, Roughton International, 2015 [1]

During the implementation of the pilot PBMC, the Contractor will perform winter maintenance in accordance with current/existing practice, but on the basis of defined LoS and performance criteria. It is noted though that procurement and installation of the Road Weather Information System (RWIS) and commencement of its use as pre-condition for implementation of the contract might delay commencement of a pilot PBMC. Therefore, Contractor will be obliged only to procure, install and put into operation RWIS until the end of pilot PBMC, and the Contractor would not be obliged to immediately start using RWIS for planning his winter maintenance activities. However, procurement of RWIS may be in vain if the next generation maintenance contract does not follow immediately upon completion of a pilot PBMC.

Periodic maintenance requirements will be covered using a combination of Employer's requirements for the required paving works (bituminous surface treatments and/or rehabilitation works) coupled with a use of the regular routine maintenance requirements to define the standards required for the associated roadside and drainage works, as well as road equipment.

Payment reduction represents a measure to be applied in case contracted liabilities are not respected by the Contractor. The process of the payment reduction is to be done by application of demerit points using the method described in the model PBMC. Demerit points are provided as a measure that should stimulate the Contractor to carry out his obligations in an organized and timely way and to perform his duties meeting high standards even though those tasks does not appear to be of a serious nature. The demerit points for routine and winter maintenance contract and their associated values are listed in the Table 5 below. The demerit

points are accumulated from day 1 of the Contract. Similar process will be followed for the periodic maintenance PBC.

**Table 5. Value of demerit points for PBMC**

Number of points		Value of one point [EUR]	Value of one point [MDL]
From	to		
1	50	250.00	5,000
51	75	500.00	10,000
76	125	1,000.00	20,000
126	175	1,250.00	25,000
176	200	1,500.00	30,000
	> 200	2,000.00	40,000

*Source: Maintenance Contract Strategy Report, Moldova Road Maintenance Reform Assistance, Roughton International, 2015 [1]*

#### 4.2. Advance Payments

Advance payment is specified as 15 % of the total contract value in pilot PBMC 1st generation. Exact percentage can be determined once the available budget for the project is established, and source for project funding, including advance payment is secured by the SRA.

Advance payments of 10-15 % of the contract value (against advance payment bank guarantee), re-payable over full contract implementation period, are usual in construction industry. That would mean advance of at least:

- approximately EUR 850,000 to 1.5 million for routine maintenance pilot PBMC;
- approximately EUR 380,000 to 550,000 for periodic maintenance pilot PBMC.

On the other side, % of advance payment can be additionally increased (to 25-30 %), if agreed, if funds are available and in case there are no other constraints.

Whilst the benefits of relatively substantial up-front payment are obvious (enabling procurement of road maintenance equipment that is currently non-existent or to replace old equipment in present RMCs, thus also increasing RMC's attractiveness for privatization incentives), there are three factors that might not work in favor of larger advance payment. These are:

- Funding source/availability. If Pilot PBMCs are to be financed from the Government budget, securing required amounts for up-front payment may prove to be difficult. Particularly in case if allowance for advance payment is greater than standard 10 %;
- Legal constraints. As indicated by the SRA, there is legal requirement in Moldova that any up-front payments to RMCs for purchase of equipment/assets, must be repaid within 30 days or latest by end of fiscal/calendar year. This is particularly critical for RMC's ability to re-pay relatively large advance (in terms of amount) allowed for routine maintenance pilot PBMC over relatively short period of time, thus putting in question the whole idea behind allowing for greater advance for equipment purchase;
- RMC's (and other road contractors') ability to ensure advance payment bank guarantees. It is important to note that some RMCs do not have substantial fixed assets that could serve as collateral.

#### 4.3. Benchmarking

Maintenance projects significantly differ from capital projects and the productivity of maintenance work is usually not directly measured. It may be possible to measure the performance of maintenance contractors through a performance measurement approach (time and response measurements and asset condition), but not the actual productivity.

Benchmarking methodology has been proposed, and basic benchmarks for various types of maintenance operations include:

- Routine maintenance:
  - Average routine maintenance costs per km of road in pilot PBM area and their comparison with average routine maintenance costs in other territories where routine maintenance is carried out in standard/traditional way

- Consumption of material (such as stone chips and salt for winter maintenance) per km of road in pilot PBM area and their comparison with their consumption in other territories where routine maintenance is carried out in standard/traditional way
  - Operational and monitoring indicators specified in pilot PBMC specifications (response time, number of potholes per km, etc.)
  - Road roughness (International Roughness Index - IRI) for improvements; lower IRI value leading to reduced Vehicle Operation Costs (VOC) on paved and unpaved roads (where applicable)
  - Number of traffic accidents
  - Public opinion surveys.
- Periodic maintenance:
- Average periodic maintenance costs and their comparison with periodic maintenance costs on contracts where periodic maintenance is carried out in standard way
  - Operational and monitoring indicators specified in pilot PBMC specifications (response time, preparatory works, etc.)
  - Road roughness (IRI) for improvements; lower IRI value leading to reduced VOC, analysis before/after
  - Number of traffic accidents
  - Public opinion surveys.

## 5. MARKET APPETITE

Road construction and rehabilitation market for contractors in Moldova is medium, but growing due to lack of timely routine maintenance and accumulated backlog, and extensive need for rehabilitation and/or reconstruction (i.e. heavy maintenance activities) of road network. Market is not exclusively limited to domestic contractors since mostly contractors from other countries compete for large size projects.

Market interest test indicating market appetite (outside existing RMCs) for PBMCs was carried out through a questionnaire survey amongst local Road Construction Companies (RCCs). Shortly, nine local RCCs responded to survey and eight of them expressed general interest and readiness in periodic maintenance contracts, while most of them expressed general interest and readiness in regular maintenance contracts. However, two RCCs noted that they could not borrow money from commercial banks due to lack of internal financial resources.

## 6. RMCs PROFITABILITY

On the basis of the information and surveys, at present most RMCs are barely profitable. Overall, their profitability can be considered in most cases as “positive 0” (exceptions are RMCs in Orhei, Edinet and Ialoveni whose balance-sheets are lately showing up to 2 % profits). At the same time, most of them are currently not exploiting their full capacity; examples are two RMCs proposed for pilot privatization, namely: Ialoveni RMC (currently working at 80 % capacity) and Orhei RMC (currently working at 50 % capacity).

Study estimates showed that at 100 % capacity and with all sales originating from “traditional” SRA maintenance contracts, RMCs gross margin would be in the order of 6 %. This would yield low return on both nominal and shareholders’ capital.

Whilst there is no insight in any surveys carried out in other countries implementing PBMs on increased profitability of RMCs, there are indices showing substantial savings in consumption of materials used in road maintenance. For example, Table 6. below summarizes savings made on materials used in winter maintenance after implementation of pilot PBMC in Serbia.

**Table 6.** *Saving in materials used in road maintenance during Serbian pilot PBMC*

Material	Pilot Areas [t/km]	Other Areas [t/km]
Salt	5.25	8.03
Abrasives	6.15	24.5

Source: Radović, N. et al. “Output and Performance Based Road Maintenance Contracting – Case Study Serbia” [5]

There is general perception that efficient organization and implementation of road maintenance through PBMCs reduces the operating costs, thus increasing profitability of RMCs. It is also believed that through PBMCs, road maintenance companies increase their profitability up to 10-12 % (or more), which is more in line with expected yields on nominal and shareholders’ capital.



It should be noted though that dramatic increase of profitability of RMCs may not be expected during the pilot, and that real effects can be seen only once RMCs become accustomed with this method of maintenance and optimize their work processes accordingly, and particularly once both routine maintenance and periodic maintenance of paved roads are combined in a single PBMC (2nd generation, after pilot phase).

## 7. TECHNICAL ASSISTANCE

Capacity assessment of the SRA concluded the following:

- SRA has no experience in implementing PBMCs;
- SRA staff structure shows very steep pyramidal hierarchy with a bulging number of junior technical and administrative staff, and very few managers;
- the planning in the SRA seems to be very annual plan oriented, and the organization does not yet have proper tools for making medium-term plans;
- there is skills/experience gap and reduced effective professional capacity strength, particularly noticeable at middle-management level.

SRA will require some technical assistance and training in development, managing implementation and monitoring PBMC. Thus, two-staged program of training in basic principles and implementation of PBMCs is proposed and developed. The key issue is the initial supply of competent SRA staff and then retaining those staff until knowledge and experience is passed on.

Stage 1 will comprise formal training for SRA management and identified SRA initial staff-SRA trainers (approximately six trainers will be selected) who will form core of the future PBM management within SRA. These staff should be able to continue training of additional staff as required with the expansion of the PBMC program.

Stage 2 will comprise on-the-job training, as well as continued formal training during the implementation of PBMCs, by another PBM implementation assistance consultant.

## 8. ACTION PLAN FOR IMPLEMENTING PILOT PBMC

The first step in implementation of PBM contracting will include pilot PBMC with intended commencement around June 2016. The whole pilot PBMC process should be accomplished in two phases:

- Preparation and contracting phase (May 2015 – June 2016)
  - selection of pilot area
  - road asset data collection
  - preparation of tender documentation
  - procurement and contracting;
- Implementation phase (June 2016 - June 2019)
  - measurement and payment
  - introduction of RWIS for winter maintenance
  - assistance to SRA.

Originally foreseen action plan may need some amendment when final decision to proceed with the pilot PBMC is taken.

## 9. CONCLUSION

The following recommendations are suggested in improving road maintenance contracting for Moldova:

- Commence introduction of PBM with a single pilot contract for routine maintenance by PBM and one or more pilot contracts for Periodic Maintenance using a PBC;
- In case of competitive bidding procedure, create pilot territory for the purpose of the pilot project by taking adjoining rayons, one from each, from three adjacent regions;
- Alternatively, to speed up process of implementation of PMBCs in Moldova, contract(s) for routine maintenance can be directly awarded in negotiated procedure with RMC(s);
- Create pilot territory for the purpose of the pilot project by taking adjoining rayons, one from each, from three adjacent regions;
- Pilot project should cover list of national and local roads on the selected pilot area(s) provided by SRA;

- In addition to routine maintenance, the PBM contract should include the periodic maintenance of gravel roads within the pilot territory;
- One (or possibly two) proposed contract(s) from the SRAs planned periodic maintenance programme for 2016 should be selected for tendering as a performance based contract. As with normal periodic maintenance works, this contract will be open to qualified bidders from the general contracting industry;
- The pilot PBM contract should be for a period of 3 years. This is considered long enough for an assessment of performance, since the contract is essentially for routine maintenance only. Three years will give the bidders and SRA a chance to come to grips with the notion of the multiyear contract without tying all parties into a longer term format which experience may indicate requires revision;
- The format of the contract documents should make the RMCs desirable, and perhaps essential, partners in bidding for these contracts and should, therefore, give them appreciable value as privatization targets;
- The documents for different purposes should be made as similar in operation as possible to minimize the problems of transitioning from existing contracts and to ensure all parties experience a simple consistent approach to the contract during implementation;
- Following successful implementation of routine and periodic maintenance PBM contracts, SRA will offer a series of combined, multi-year PBM contracts covering both routine and periodic maintenance. These contracts will call for experience in both fields and will be expected to attract bids from combinations of Contractors and RMCs, either as JVs, as main and sub-contractors or from contractors who have elected to buy out an RMC;
- It is envisaged that SRA will require some element of technical assistance and training during the initial implementation of PBM contracting.

### Acknowledgements

The presented work was done with the support of the European Bank for Reconstruction and Development, Moldovan Ministry for Transport and Road Infrastructure and State Road Administration. The authors are grateful for their efforts and understanding of all the authorities who approved the operation and use of the data.

### References

- [1] Maintenance Contract Strategy Report, Moldova Road Maintenance Reform Assistance, Roughton International, 2015.
- [2] Policy Paper on Privatization of Road Maintenance Companies and Introduction of Performance-Based Road Maintenance Contracts, Moldova Road Maintenance Reform Assistance, Roughton International, 2015.
- [3] Model PBM Contract (1st generation), Part 1: Routine Maintenance & Part 2: Periodic Maintenance, Moldova Road Maintenance Reform Assistance, Roughton International, 2015.
- [4] Model PBM Contract (2nd generation), Moldova Road Maintenance Reform Assistance, Roughton International, 2015.
- [5] Institutional Capacity Assessment Report, Moldova Road Maintenance Reform Assistance, Roughton International, 2015.
- [6] Radović, N. et al., 2014. "Output and Performance Based Road Maintenance Contracting - Case Study Serbia", Professional Paper, Technical Gazette, Croatia, ISSN 1330-3651 (Print), ISSN 1848 - 6339 (Online), Vol. 3, No. 21, Str. 681-688, UDK 347.44:625.76(497.11), Publisher: Technical faculties of the Josip Juraj Strossmayer University
- [7] Transport and Logistics Strategy 2013-2022, Republic of Moldova Official Gazette, No. 243-247/933, 2013.
- [8] Law on Roads, No. 509-XIII, dated June 22, 2005, Republic of Moldova Official Gazette, No. 280/878, 2012.

# NATURAL BITUMEN – THE PERFECT ADDITIVES FOR HIGH-PERFORMANCE ASPHALT MIXES

M.Sc.Eng.Edith Tartari<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technical Department, Selenice Bitumi Sha, Rruga Gjike Kuqali, Pallati Melrose, K2, 1019, Tirana-Albania.

**Abstract:** *This paper focuses on the use of natural bitumen as additives for modification of road bitumen. Recent studies have analyzed the characteristics of natural bitumen showing that they are totally compatible with bitumen from refineries and that the nature of modification may be compared to the introduction of a chemical additive. Their use not only increases the binder consistence, viscosity and stability but they are also resistant to aging and are sufficiently efficient at low temperatures. The high modulus asphalt mixes obtained with binders modified with natural bitumen, allow achieving efficient pavement structures with thinner and more durable layers. A lifecycle assessment (LCA) study has estimated the environmental impact by comparing the production process with conventional bitumen. The study highlighted a substantial energy saving and significant reduction in CO<sub>2</sub> emissions. Several highway construction examples in different countries clearly demonstrated that natural asphalts represent an economic alternative to the polymeric materials and other modifiers with higher values of stiffness and greater resistance to rutting and fatigue.*

**Keywords:** *natural bitumen, bitumen additive, High Modulus Asphalt (HMA), environmental impact, reducing asphalt pavement thickness.*

## 1. INTRODUCTION

The increasingly rapid growth of the market for high modulus mix asphalts HMA is explained by the need for more and more countries to remain economically competitive and cope with challenges emerging from several competitive factors such as a persistently unstable economic equilibrium, more severe traffic constraints, aggregate and oil resource limitations, ageing infrastructures and environmental issues. More specifically, high modulus asphalts contribute to the implementation and development of innovative products and applications, ensuring thinner asphalt layers and durable investments.

The basic idea of HMA mixes is to design a mix using hard grade bitumen with penetration (at 25°C) between 10 and 25 (1/10 mm) and R&B softening point varying from 60°C to 85°C. The hard grade bitumen provides higher modulus to the mix allowing reducing the stress transmitted to the granular base and subgrade. The exploitation of natural asphalts as additives to modify the asphalt binders in order to obtain hard paving grade bitumen, represent a useful and economic alternative to the polymeric materials and other most common bitumen modifiers, increasing the binder consistence, viscosity and stability.

Years of experience have shown that HMA & HMAC (high modulus asphalt concrete) present high performance mechanical characteristics in terms of resilient behavior as well as tensile strength that make this kind of asphalt mixtures, superior to the mixtures produced with conventional binder (pen grade 50/70) and more appropriate for pavements submitted to very heavy traffic.

## 2. ANALOGIES AND DISTINCTIONS BETWEEN DIFFERENT NATURAL BITUMEN

Scientists from the University of Rome “LA SAPIENZA” have studied the nature of changes that occur when modifying distillation bitumen with natural asphalts using rheological and thermal techniques. Three of the most commonly used types of natural asphalt were analyzed: Gilsonite from Utah deposit (USA), Selenizza (Albania) and Trinidad Lake Asphalt (Central America).

The natural asphalts are mixtures of bitumen and inorganic matter. They are present all over the world in the form of infiltrations and deposits of various dimensions, frequently up to surface, as in the case of “lake” Trinidad or some deposits in Alberta. To assess the economic operability of natural asphalts, the following characteristics, must be analyzed:

- The quantity of bitumen content in the asphalt.
- The quality of bitumen (paraffin, as in the case of ozocerit or asphaltenic, as in the case of gilsonite).
- The quality of the inorganic matter.

---

<sup>1</sup> Edith Tartari: e.tartari@selenicebitumi.com

Usually, the percentage of natural asphalts used as modifiers ranges from 5 to 15%. To investigate the nature of the modification, 10% (in weight) of each natural asphalts was added to a standard penetration grade bitumen 80-100, and mixed at a minimum temperature of 150-180°C in order to guarantee the complete solubility.

On the Table 1 are reported the principal characteristics of the three natural asphalt under study

**Table 1.** *Characteristic of natural asphalts*

Type of natural bitumen	Bitumen Content (%)	Asphaltene content (%)	Penetration @ 25 °C (1/10 mm)	R&B (°C)
Gilsonite	> 99	70	0	160 – 170
Selenizza	85 - 90	42	0	115
Trinidad	53-55	33-37	1-4	93 - 98

Source: (Santarelli, M.L. & Scarsella M.: *Natural asphalts as modifiers of distillation bitumen: thermo-rheological characterization, Rassegna del Bitume*)

## 2.1. Effect on Penetration and Softening Point

As expected, for the three cases, the resulting modified bitumen was characterized by higher softening point (R&B temperatures) and lower penetration values, compared to the original standard bitumen, due to the presence of high percentages of asphaltenes content in the natural asphalts.

In the table below are shown the principal characteristics of the original standard bitumen and the bitumen samples, modified with 10% of each type of natural asphalt.

**Table 2.** *Penetration, softening point and asphaltenes content in the original bitumen and in the modified specimen*

Type of natural bitumen	Asphaltene content (%)	Penetration @ 25 °C (1/10 mm)	R&B (°C)
Original bitumen 80-100	9,8	96	44
+ 10% Gilsonite	15,8	38	51
+ 10% Selenizza	13,0	67	52
+ 10% Trinidad	12,3	78	58

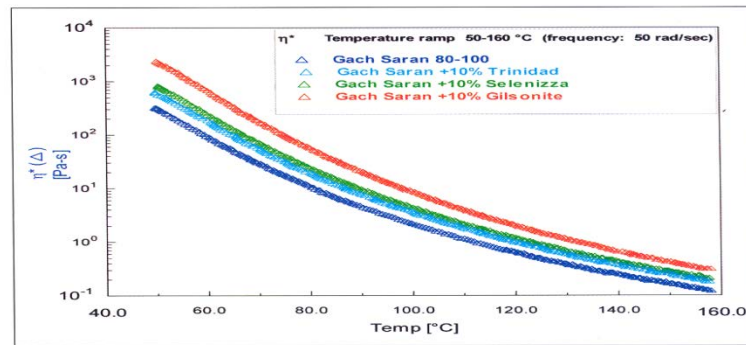
Source: (Santarelli, M.L. & Scarsella M.: *Natural asphalts as modifiers of distillation bitumen: thermo-rheological characterization, Rassegna del Bitume*)

There was observed a proportional relationship between the percentages of asphaltenes, present in the modified samples of bitumen and the respective values of the softening point

## 2.2. Effect on viscoelastic properties at high and low temperatures

The rheological analysis showed that the rheological behavior of the modified bitumen, for medium and high temperatures (50 – 160°C), is not a function of the modifier quality and depends exclusively on the asphaltenes content.

The viscosity values of the modified bitumen increase but even if the viscosity curves shift upwards, their shape and the slope remain unchanged and they remain parallel to one another, for all sample types. This means that the modifiers don't affect the internal interactions between the asphaltene components in the modified bitumen, a typical phenomenon for the compatible additives.



**Figure 1.** Complex viscosity  $\eta^*$  versus temperature

Source: (Santarelli, M.L. & Scarsella M.: *Natural asphalts as modifiers of distillation bitumen: thermo-rheological characterization, Rassegna del Bitume*)

For low temperatures (10 - 60°C), the rheological modifications are more complex and differentiated. The observed modifications in the viscoelastic behavior and ductility of the mixed samples, obtained from the master curves at 20°C and 60°C, were dependent on the quality of the natural bitumen (the bituminous component and the inorganic one, which in this case, may perform the function of filler, decisive for the product performance). At T=20°, an inversion of the zero shear viscosity curves was observed.

### 2.3. Modulated Differential Scanning Calorimetry (MDSC) analysis

The MDSC analysis, carried out with a calorimeter TA Instruments 2920, has shown that the rheological behavior of the straight run bitumen has been modified by the addition of natural bitumen.

The comparison of softening temperatures (from the reversing curves) between the original bitumen and modified samples showed that the addition of natural asphalts Trinidad and Selenizza, due to the lower molar mass of their maltenic phases, affects the lower limit of the softening range of the straight run bitumen. The result is a dilution effect on the latter.

On the other hand, Gilsonite, even if it does not influence the melting temperatures of different maltenic and asphaltenic phases of the original bitumen, it expands the softening range of the original bitumen to higher temperatures.

## 3. CHARACTERIZATION OF NATURAL BITUMEN SELENIZZA

A more recent research work carried out at the University of Strasbourg France, investigated the potential of using the natural bitumen Selenizza mined in Albania, in the production of hard bituminous binders and high modulus asphalt mixes.

### 3.1. Physical- chemical characterization

The natural bitumen consists of a very complex mixture of hydrocarbons containing generally from 80-88% by weight carbon, 8-12% hydrogen and other hetero atoms such as sulfur 1-9% wt%, nitrogen 0-1,5% oxygen 0,5-1,5% and traces of elements such as vanadium and nickel.

In order to improve the quality and ensure constant characteristics of the final product, the asphaltite extracted from the mine undergoes a purification process. It consist in heating the raw bitumen ore at 240-250°C for 8 hours, to precipitate inorganic fine particles and evaporate moisture and other volatiles.

The analysis of the phasic composition showed that the purification cycle eliminates the aqueous phase and removes 4-5 % of the inorganic fine particles.

As there is no chemical formula for the bitumen, to facilitate their classification and the study of their chemical composition, was used the chromatographic fractionation which separates its various constituents in four generic categories according to their polarizability: Saturate, Aromatic, Resin and Asphaltene (SARA)

The asphaltene content values were determined using n-heptane precipitation (C7) or by IATROSCAN analysis.

In order to better characterize the natural bitumen quality throughout the entire volume of the deposit, were analyzed raw and purified bitumen samples, collected from the depth and near-surface areas of the deposit.

Table 3 shows the generic fractions of IATROSCAN analysis.

**Table 3.** SARA fractional composition – IATROSCAN method

		<b>Saturated</b>	<b>Aromatic</b>	<b>Resin</b>	<b>Asphaltene-i</b>	<b>I<sub>c</sub></b>
Purified sample-depth	Average	<b>1,7</b>	<b>24,8</b>	<b>35,1</b>	<b>38,4</b>	<b>0,67</b>
	Standard deviation	0,35	2,29	1,35	1,88	
Purified sample-surface	Average	<b>1,5</b>	<b>22,7</b>	<b>37,2</b>	<b>38,6</b>	<b>0,67</b>
	Standard deviation	0,14	1,37	1,90	1,58	
Raw sample- depth	Average	<b>1,6</b>	<b>23,8</b>	<b>34,6</b>	<b>40,01</b>	<b>0,71</b>
	Standard deviation	0,29	1,40	1,16	1,99	
Raw sample- surface	Average	<b>1,6</b>	<b>19,7</b>	<b>37,9</b>	<b>40,8</b>	<b>0,73</b>
	Standard deviation	0,24	2,02	1,60	2,74	

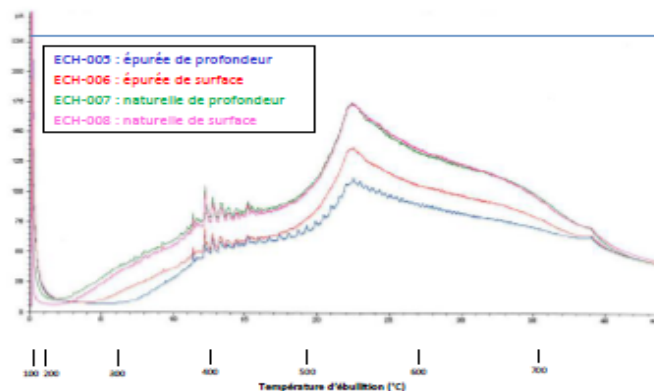
Source: (Université de Strasbourg, Ecole doctorale MSII, Thèse A. Themeli « Etude du potentiel d'emploi des bitumes naturels dans la production des liants bitumineux durs et des enrobés à module élevé »)

The colloidal instability index I<sub>c</sub> values, indicate that the organic phases of the asphaltite Selenizza® have a sol or sol-gel character, with a sufficient quantity of resins to peptize the asphaltenes.

The assessment of the oxidation state indicated that the asphaltic rock Selenizza in its natural condition, is more oxidised when deposited close to the surface compared to that reached at greater depth

From the chromatograms of simulated distillation it can be observed that at the employment temperatures (180 to 200°C), the natural asphaltite has no volatile compounds. The comparison between different chromatograms show that both raw asphaltites (close to surface and in depth) have identical volatile compositions but the purification process, is more significant for the depth asphaltite formations.

Also the study demonstrated that Selenizza exhibited volatility traces similar to those of petroleum bitumen that are naphthenic in character.



**Figure 2.** Comparison of simulated distillation chromatographs for the different types of asphaltite Selenizza

Source: (Université de Strasbourg, Ecole doctorale MSII, Thèse A. Themeli « Etude du potentiel d'emploi des bitumes naturels dans la production des liants bitumineux durs et des enrobés à module élevé »)

### 3.2. Glass transition and crystallizable fractions

To determine the vitreous transition of the different samples of natural bitumen Selenizza, was used the differential calorimetric analysis.

Typically, for bitumen the glass transition temperature T<sub>g</sub> ranges between -50 to -10°C. The T<sub>g</sub> value is correlated to the mechanical behavior of bitumen at low temperatures. High values of T<sub>g</sub> mean a brittle behavior at low temperatures. Above the glass transition, the thermal effects are dominated from the fusion

of crystallizable fractions which can be detrimental to the cracking resistance of bitumen, the crystallization temperatures of which range between -10 to 60 °C. As a matter of fact, a previous research study has highlighted the fact that after an artificial ageing process, an increase of crystallisable fractions by 0,5-1,5% was observed

**Table 4.** Calorimetric measurements of Selenizza natural asphaltites

	Total heat flux				
	T <sub>g1</sub> (°C)	T <sub>g</sub> (°C)	T <sub>g2</sub> (°C)	Δ T <sub>g</sub> (°C)	ΔΦ (W/g)
Natural Bitumen Selenizza	-13,77	-0,34	15,35	29,12	0,025

Source: (Université de Strasbourg, Ecole doctorale MSII, Thèse A. Themeli « Etude du potentiel d'emploi des bitumes naturels dans la production des liants bitumineux durs et des enrobés à module élevé »)

The mineral phase composition was determined using infrared spectroscopy. The percentage of mineral fines contained in Selenizza ranges between 15 to 20 % and they are composed of silicon dioxide (SiO<sub>2</sub>) and calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>) as well as various clay minerals.

### 3.3. Mechanical behavior of natural asphaltite Selenizza

Different tests were conducted to determine the softening point comparing the R&B values

**Table 5.** Softening point of natural bitumen Selenizza

Description	TR&B (°C)	
	Average	Standard deviation
Natural Bitumen Selenizza	114,9 – 119,9	0,71 - 1,84

Source: (Université de Strasbourg, Ecole doctorale MSII, Thèse A. Themeli « Etude du potentiel d'emploi des bitumes naturels dans la production des liants bitumineux durs et des enrobés à module élevé »)

The complex modulus values were measured to determine the linear viscoelastic properties of the natural asphalt Selenizza and observe its intrinsic characteristics as a thermo susceptible material

**Table 6.** Complex modulus of organic phases of Selenizza at 100°C, 5Hz

Sample description	Measures at 100°C, 5 Hz	
	E*  (GPa)	δ (°C)
Selenizza	0,95 - 1,27	48,3 - 51,7

Source: (Université de Strasbourg, Ecole doctorale MSII, Thèse A. Themeli « Etude du potentiel d'emploi des bitumes naturels dans la production des liants bitumineux durs et des enrobés à module élevé »)

Results from the survey indicate that in physical and chemical terms, Selenizza is similar to petroleum bitumen. With regard to the latter, its high content of resins and asphaltenes confers upon the natural asphalt higher vitreous temperatures and high level of stiffness.

### 3.4. Modification of petroleum bitumen with Selenizza

The impact of adding different percentages of Selenizza to the mechanical properties of modified bitumen was measured in terms of penetrability and TR&B.

**Table 7.** Hardness evolution of modified bitumen based on the added percentage of Selenizza

Description	Penetration (dmm)	TR&B(°C)	Penetration Index	Grade obtained
Petroleum bitumen 50/70	54	49,0	22,4	-
Mixed with 5% Selenizza	38	52,6	19,7	35/50
Mixed with 10% Selenizza	28	56,2	17,8	20/30
Mixed with 15% Selenizza	20	-61,6	16,1	10/20
Natural asphaltite Selenizza	0	120,0	6,5*	-

\* In the calculation, the penetration of Selenizza was assumed to equal 0,1 dmm

Source: (Université de Strasbourg, Ecole doctorale MSII, Thèse A. Themeli « Etude du potentiel d'emploi des bitumes naturels dans la production des liants bitumineux durs et des enrobés à module élevé »)

It was observed that the penetration index (PI), which reflects the thermal susceptibility of bitumen according to the formula:

$$\frac{20 - PI}{50(20 - PI)} = \frac{\log 800 - \log P_{25}}{TR\&B - 25}$$

decreased as the percentage of added natural asphaltite increased

It is worth noting that the evolution of the logarithm of the penetration and TR&B, according to the percentage of added Selenizza, is a linear function that can be used to calculate the values of penetration and softening point of the modified bitumen, based on the respective values of each component.

The results of the evolution analysis of glass transition for bitumen modified with Selenizza are shown in the table below

**Table 8.** Evolution of vitreous transition of modified bitumen according to the added percentage of Selenizza

	Total heat flux				
	T <sub>g1</sub> (°C)	T <sub>g</sub> (°C)	T <sub>g2</sub> (°C)	ΔT <sub>g</sub> (°C)	ΔΦ (W/g)
Petroleum bitumen 50/70	-31,9	-22,9	-13,2	18,6	0,022
Mixed with 5% Selenizza	-30,9	-23,1	-13,8	17,1	0,019
Mixed with 10% Selenizza	-30,3	-23,1	-13,3	17,0	0,018
Mixed with 15% Selenizza	-32,1	-23,3	-13,4	18,8	0,019
Natural asphaltite Selenizza	-12,6	-1,1	16,2	28,8	0,021

Source: (Université de Strasbourg, Ecole doctorale MSII, Thèse A. Themeli « Etude du potentiel d'emploi des bitumes naturels dans la production des liants bitumineux durs et des enrobés à module élevé »)

From the table it can be seen that the addition of Selenizza, doesn't affect the glass transition of bitumen. However it is important to note that the value of glass transition temperature of the 35/50 bitumen modified with Selenizza T<sub>g</sub> = -23,1°C, is lower compared to that of a petroleum bitumen with equal paving grade 35/50, which glass temperature was found to be T<sub>g</sub> = -19,3°C. This seems to indicate that **the bitumen modified with Selenizza, has increased resistance to low temperature cracking compared to petroleum bitumen of equivalent grade.**

An important factor determining the durability and sustainability of the construction works is the aging behavior of bitumen. The study investigated the aging characteristics of modified bitumen which have successively been submitted to accelerated RTFOT and PAV aging.

The test results before and after aging are summarized in the table below:

**Table 9.** Bitumen penetration and TR&B before and after aging

Description	Penetration (dmm)					TR&B (°C)				
	Unused binder	After RTFOT	Δ <sub>1</sub> %	After PAV	Δ <sub>2</sub> %	Unused binder	After RTFOT	Δ <sub>1</sub> %	After PAV	Δ <sub>2</sub> %
Petroleum 50/70	54	37	31.5	19	64.8	49	53.4	8.9	61.4	25.3
Mixed with 5% Sln	38	27	<b>28.9</b>	15	<b>60.5</b>	52.6	57.2	<b>8.7</b>	66.0	<b>25.4</b>
Mixed with 10% Sln	28	21	<b>25</b>	13	<b>53.5</b>	56.2	60.8	<b>8.1</b>	68.8	<b>22.4</b>
Mixed with 15% Sln	20	14	<b>30</b>	11	<b>45</b>	61.6	65.4	<b>6.1</b>	72.2	<b>17.2</b>
Petroleum 35/50	40	27	<b>32.5</b>	12	<b>70</b>	52.6	56.8	<b>7.9</b>	66.2	<b>25.8</b>
Petroleum 20/30	23	12	<b>47.8</b>	7	<b>69.5</b>	60.0	67.0	<b>11.6</b>	78.8	<b>31.3</b>
Petroleum 10/20	18	9	<b>50</b>	5	<b>72.2</b>	65.0	72.6	<b>11.7</b>	86.0	<b>32.3</b>

Source: (Université de Strasbourg, Ecole doctorale MSII, Thèse A. Themeli « Etude du potentiel d'emploi des bitumes naturels dans la production des liants bitumineux durs et des enrobés à module élevé »)

The aging process will lead to bitumen hardening evidenced by penetration decrease and softening point temperature increase. It also induces an increase of the complex modulus and elasticity (decreased phase angle)



What is more important to point out is the fact that the **evolution of aging** (expressed by  $\Delta_1$  and  $\Delta_2$ ) is far more significant with regard to petroleum bitumen than the respective modified bitumen of equal grade, which leads to the conclusion that the natural asphaltite Selenizza acts like an **aging retarder**.

### 3.5. Production of high modulus asphalt mixes using Selenizza

Based on the fact that for the manufacturing of HMA is needed the use of hard binders, the study examined the potentiality of producing them from soft petroleum bitumen by adding Selenizza.

To this end, were compared various HMA formulas with different percentages of Selenizza between them and with a reference HMA, in terms of complex modulus, fatigue behavior and low temperature cracking tests (tensile strength, thermal stress restrained specimen tests). A reference HMA was manufactured with a petroleum hard binder 20/30, and was compared with two HMA specimens with equivalent grade binder obtained by mixing paving bitumen 50/70 + Selenizza, in two different ways, previously modifying the bitumen, or by introducing it directly to the mixer.

It was observed that the way of introducing Selenizza has no significant impact on the linear viscoelastic properties of HMA asphalt mixture.

**Table 10.** Comparison of HMA viscolinear properties at 15°C and 10 Hz

Reference	Voids %	E*  (15°C, 10Hz) (Mpa)	$\delta$ (15°C, 10Hz) (°C)
HMA with petroleum bitumen 20/30	1,6	17033 ± 41	12,4 ± 0,00
HMA previously modifying bitumen with Selenizza	1,6	14655 ± 258	15,5 ± 0,06
HMA adding selenizza in the mixer	1,5	14435 ± 338	15,2 ± 0,13

Source: (Université de Strasbourg, Ecole doctorale MSII, Thèse A. Themeli « Etude du potentiel d'emploi des bitumes naturels dans la production des liants bitumineux durs et des enrobés à module élevé »)

On the other hand, it results that the mixture produced with petroleum bitumen 20/30 is more rigid than the mixtures manufactured with natural asphalt. This is explained by the fact that the petroleum bitumen 20/30 is evolving more quickly during the manufacturing process which is consistent with the previous results obtained by RFTOT aging tests on bitumen

The fatigue tests appears to indicate that asphalt mixtures with Selenizza are more performing at high stress levels compared to the reference mixture based on petroleum bitumen, which, in its turn, yields better results at low stress range.

The uniaxial tensile testing results showed that the asphalt mixes with Selenizza have greater ductility and exhibit higher resistance to low temperature cracking compared to the reference asphalt mix obtained with petroleum bitumen (6,06 MPa versus 4,87 MPa at 5°C).

The result of thermal stress restrained specimen tests (TSRST), shown in the table below, indicate that the asphalt **mixtures with Selenizza are less thermo rigid** and yield **better performance at low temperatures** compared to the reference asphalt mix with petroleum bitumen ( ≈ 4,5°C lower).

**Table 11.** Temperature failure and ultimate tensile stress

Reference	T <sub>failure</sub> (°C)	Standard deviation T <sub>failure</sub> (°C)	$\sigma_{cry, failure}$ (MPa)	Standard deviation (MPa)
HMA with petroleum bitumen 20/30	-21,4	0,27	4,523	-
HMA previously modifying bitumen with Selenizza	-25,1	0,48	4,752	0,13
HMA adding selenizza in the mixer	-24,9	1,47	4,715	0,36

Source: (Université de Strasbourg, Ecole doctorale MSII, Thèse A. Themeli « Etude du potentiel d'emploi des bitumes naturels dans la production des liants bitumineux durs et des enrobés à module élevé »)

## 4. ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT

A study on the evaluation of environmental impact of Selenizza production processes was conducted at the University of Rome in cooperation with the company Selenice Bitumi. The research project, analyzed and compared, the various stages of production process of the Albanian natural asphalt (Selenizza) and on the

other hand, the different steps necessary to produce the conventional bitumen from crude oil, evaluating the energy consumption and CO<sub>2</sub> emission for each kind of product. The study was based on the guidelines of the environmental assessments according to the European standard such as Life Cycle Assessment (LCA) and Life Cycle Inventory (LCI) on the bitumen produced in crude oil refineries.

For conventional bitumen the energy consumption of each step has been calculated as well as the carbon dioxide emission, starting from oil extraction, up to vacuum distillation. It included the entire chain of bitumen production, beginning with the acquisition of raw materials, transport, manufacture, use and maintenance, recycling and final disposal.

The product cycle of natural asphalt Selenizza, composed from 4 main phases, i.e. extraction, concentration, processing and storage, is much simpler than the refinery cycle, with an immediate feedback in energy consumption and environmental impact. Moreover, the transport stages are reduced to the minimum due to the close proximity of the quarry site to the processing unit.

In the light of such an innovative analysis, it was concluded that the natural asphalt Selenizza, already preexisting in its current state, allow substantial energy saving (2,376 versus 4,71 MJ/t, i.e. about 50% of the value of the bitumen produced from crude oil) and a significant reduction in CO<sub>2</sub> emissions up to 44% (127,3 kg versus 226,2 kg per ton of conventional bitumen production)



**Figure 3.** *Open-pit mine of natural bitumen Selenizza*  
Source: (Selenice Bitumi Sh.a.)

## 5. IMPLEMENTATION EXAMPLES

There are numerous examples of highway construction projects in various countries around the globe, with different climatic and traffic conditions, that illustrate the advantages of using the natural bitumen Selenizza as an additive for the production of superior performing asphalt pavements.

Switzerland is just one of many examples. Considering the important traffic constrains to which is subject the road network, marked by heavy traffic and very harsh climatic conditions (the temperatures oscillate between -20° C to +40 °C) the country incorporated in its national standard the concept of High Modulus Asphalt Mixes. To minimize rutting and cracking in flexible pavement layers, with a traffic of trucks that cross the Alps, increasing from year to year, the Swiss company COMIBIT from Canton Ticino, developed a new mix design of type AC EME 22C2, which improved fatigue performance using a polymer modified bitumen Shell Cariphalte 25 RC while maintaining a high modulus stiffness using Selenizza as hardening additive. To prevent the cracking risk at low temperatures, an optimum value of stiffness modulus was obtained by

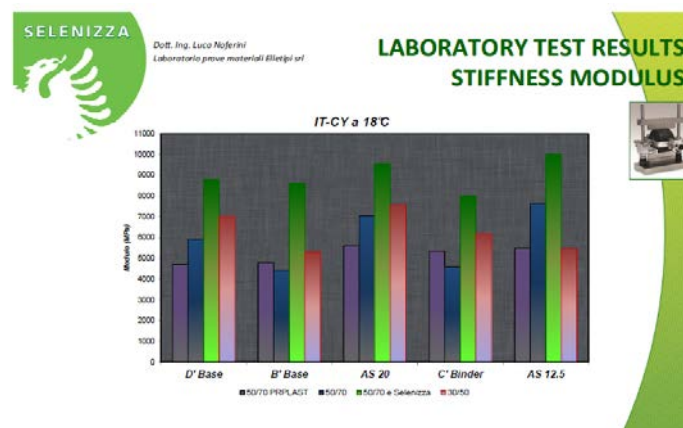
introducing the correct percentage of Selenizza. The final 10/20 penetration grade binder consisted of **4.7% Shell Cariphalte 25 RC+ 1.4% SLN (6.1% of the total weight of the mixture)**.

The results of tests performed by the LAVOC Laboratory at the Swiss Federal Institute of Technology Lausanne, confirmed that the new job mix formula met the technical requirements, with significantly higher values of module (15100 MPa versus the threshold value 14 000 MPa) and fatigue ( $\epsilon_6 \approx 150 \mu\text{def}$  versus 135  $\mu\text{def}$ ).



**Figure 4.** Grading curve of AC EME 22 asphalt mixes test  
Source: (COMIBIT)

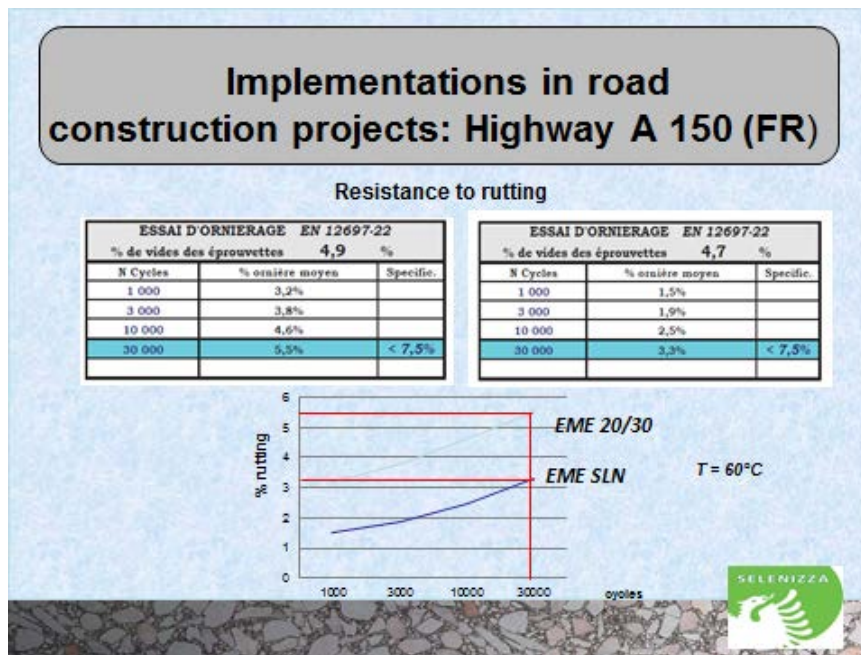
It should be outlined that natural asphalts may represent a useful and economic alternative to the polymeric materials and other traditionally used modifiers of distillation bitumen, increasing the binder consistence, viscosity and stability as it was demonstrated with the Highway A8 “Olimpia Odos” construction project in Greece. Four type of binder were studied, bitumen 50/70, bitumen 50/70 + 8% Selenizza, bitumen 30/50 and PR PLAST modified bitumen. Laboratory tests on elastic modulus and fatigue showed that the binder with bitumen 50/70 + 8% Selenizza, had higher results of stiffness and fatigue compared to all the other tested binders, allowing to produce an asphalt concrete that belongs to the higher project category DBM 4, thereby making it possible to reduce the road package thickness by at least 4 cm



**Figure 5.** Test results on stiffness modulus

Source: (Dott. Ing. Fabio Picariello, Example of Using Selenizza SLN 120 in The Asphalt Mixes Used in The OLIMPIA ODOS Project in Greece, Asphaltica 2012)

A typical example is the use of the natural bitumen Selenizza in the construction of a 17.5 km new roadway in the Highway A 150 in France. For the base course EB 14 ASSISE 20/30 (EME 0/14 class 2), a recycled High Modulus Asphalt was implemented, comparing the use of 20/30 penetration grade bitumen with a binder consisting of 50/70 grade bitumen + 1.5 % Selenizza. The HMA formula included 30% AE (asphalt aggregates). The comparative study of the two different mix design types showed that the use of natural bitumen Selenizza yields noticeably better results in terms of rheological and mechanical properties with higher values of stiffness (15 855 MPa), better resistance to fatigue (137.1  $\mu\text{m}/\text{m}$ ) and better resistance to rutting (3.3%). These results validate the idea that the natural asphalts, with their specific properties, shall be taken into consideration in the technical-economic choices.



**Figure 6.** Test results on resistance to rutting

Source: (Edith Tartari, *Natural asphalt: binder or additive? Pavement Preservation & Recycling Summit, Paris, 2015*)

**6. CONCLUSION**

Results from studies show that the natural bitumen Selenizza is compatible and completely miscible with all petroleum bitumen as well as polymer modified bitumen providing stable asphalt mixtures. It allows the production of high modulus asphalt mixes using soft paving grade bitumen and confers on the latter better characteristics in terms of higher values of stiffness and greater resistance to rutting and fatigue than equivalent hard paving grade bitumen. The additive Selenizza is easily inserted and there is no need for special modification of the asphalt plant.

This environmentally friendly additive offers the opportunity to implement pavement structures with reduced layer thickness enabling thus significant economies. It represents an attractive choice in the context of an unpredictable and rapidly changing bitumen market.



## References

- [1] Santarelli M.L.; Scarsella M. 2005. Natural asphalts as modifiers of distillation bitumen: thermo-rheological characterization, *Rassegna del Bitume*, pp. 21-29.
- [2] Themeli A. 2015. Université de Strasbourg, Ecole doctorale MSII, Thèse « Etude du potentiel d'emploi des bitumes naturels dans la production des liants bitumineux durs et des enrobés à module élevé »
- [3] Santagata E., Riviera P.P., Dalmazzo D. 2012. Performance-related characterization of bituminous binders and mixtures containing natural asphalt, *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 53, pp. 535-525, 2012
- [4] Besomi D., Cérimo P.J., Leroux C., Lichtsteiner F. 2008. High performance asphalt mixes in the Swiss Canton Ticino, *Rassegna del Bitume* 58, pp. 51-55.
- [5] Picariello F. *Asphaltica* 2012. Example of Using Selenizza SLN 120 in The Asphalt Mixes Used in The OLIMPIA ODOS Project in Greece.
- [6] Giavarini C, Pellegrini A. 2012. The Life Cycle Assessment of Selenice natural asphalt. *Rassegna del bitume*. pp. 47-52
- [7] Tartari E., Natural asphalt: binder or additive? *Pavement Preservation & Recycling Summit*, Paris, 2015
- [8] Martin R. 2008 *Route actualité* « Un EME qui fleure bon l'asphaltite, *Route actualité*, pp. 28-29.

# ODRŽAVANJE PUTA U FUNKCIJI RANGA PUTA I STANJA KOLOVOZA NA PRIMERU DRŽAVNOG PUTA IIA 203 NOVI PAZAR – TUTIN – ŠPILJANI

Mirsada Uglič, dipl. građ. inž.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> AD "Novi Pazar – put", [mirsada.uglic@np-put.rs](mailto:mirsada.uglic@np-put.rs)

**Rezime:** Održavanje državnog puta je u direktnoj vezi sa njegovim položajem u mreži državnih puteva i stanjem kolovoznog zastora.

Kao poprečna veza državnih puteva IB 22 Novi Pazar – Ribarići – granica sa Crnom Gorom i IB 29 Sjenica – Novi Pazar državni put IIA 203 predstavlja jedinu vezu 11 katastarskih opština, koje teritorijalno pripadaju Gradu Novom Pazaru i opštini Tutin, sa širim okruženjem.

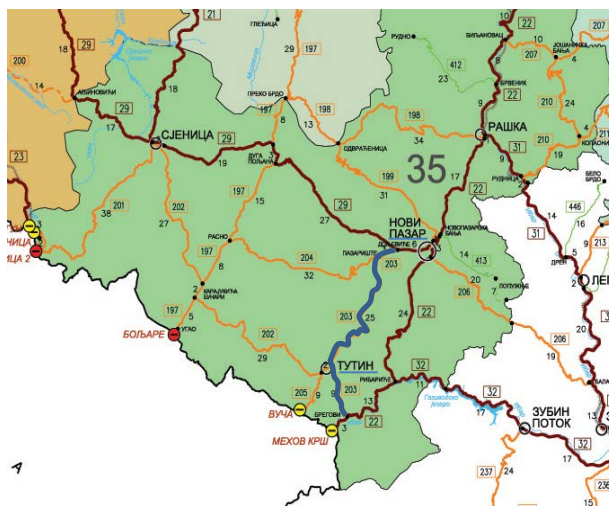
Na ukupnoj dužini puta od 37,116km sa rekonstruisanim kolovozom je svega 8,053km. Od preostale dužine puta na 21,252km je asfalt koji je rađen davnih sedamdesetih godina po postojećem stanju a na 7,811km je asfalt rađen početkom osamdesetih.

Održavati put čija je širina kolovoza promenljiva (varira od 5,0 – 5,5m), na kome je registrovano 30 klizišta od kojih je svega 10 do danas sanirano, koji povezuje tačke čije nadmorske visine se kreću od 533m do 1040m tokom cele godine u prohodnom stanju može se samo zahvaljujući dobrom poznavanju trase puta, stanja elemenata, problema koji se mogu očekivati u zavisnosti od doba godine i vremenskih uslova – jednom rečju zahvaljujući velikom iskustvu stečenom tokom vise od pet decenija rada i stalnim nastojanjima da se po mogućstvu preventivno deluje kako bi se izbegli veći problemi u vreme velikih padavina.

**Cljučne reči:** državni put, stanje kolovoza, rang puta, održavanje.

## 1. UVOD – OPŠTE

U mreži državnih puteva u jugozapadnom delu Srbije veoma važno mesto ima državni put IIA reda broj 203 Novi Pazar – Tutin – Špiljani (Bregovi). U dužini od 37,116km ovaj put predstavlja poprečnu vezu državnih puteva IB 22 – Novi Pazar – Ribarići – granica sa Crnom Gorom i IB 29 Sjenica – Duga Poljana – Novi Pazar. Do izgradnje deonice puta IB 22 Novi Pazar – Ribarići 1976.godine, put Novi Pazar – Tutin, preko Dobrinje i Batraga je predstavljao vezu ovog dela Srbije i jednog dela Centralne Srbije sa Jadranskom magistralom i dalje severnim delom Crne Gore, odnosno primorjem.



**Slika 1.** Položaj državnog puta IIA 203 u mreži drž. puteva  
Izvor: (karta – novi Referentni sistem)

Teritorijalno put povezuje područje grada Novog Pazara i opštine Tutin. U dužini od 10,2km put pripada Novom Pazaru a preostali deo pripada opštini Tutin. Ovaj putni pravac predstavlja jedinu vezu 11 katastarskih opština sa širim okruženjem.

<sup>1</sup> Mirsada Uglič: [mirsada.uglic@np-put.rs](mailto:mirsada.uglic@np-put.rs)

## 2. STANJE PUTA

### 2.1. Stanje kolovoza

Deonica puta Novi Pazar – Tutin je asfaltirana davnih sedamdesetih i to po postojećem stanju jednim slojem bitumeniziranog agregata debljine 5cm. Deonica Tutin – Špiljani (Bregovi) je izgrađena početkom osamdesetih. Nakon toga, do danas je od ukupne dužine puta rekonstruisano 8,056km dok je preostali deo puta u izuzetno lošem stanju. Karakterišu ga veliki broj udarnih rupa, mrežastih naprslina, podužnih prslina u blizini bankine, deformacija kolovoza u poprečnom i podužnom smislu i veliki broj nestabilnih kosina, otcepljenja i klizišta. U 2015.godini je izvršeno krpjenje oštećenih mesta u površini od 12.970m<sup>2</sup> što predstavlja oko 8,7% površine preostalog nerekonstruisanog kolovoza. Pri tome treba naglasiti da je vršeno krpjenje samo onih oštećenja koja su se progresivno uvećavala i gde bi svako dalje odlaganje saniranja istih značilo veliku opasnost po sve učesnike u saobraćaju.

U sledećoj tabeli su dati podaci o godini izgradnje i rehabilitacije poddeonica i objekata na ovom putu.

**Tabela 1.** Pregled vremena izgradnje/rehabilitacije poddeonica i objekata na putu IIA 203

Naziv poddeonice	stacionaža	Vreme izgradnje/rehabilitacije	Dužina (m)
Dojeviće – most na Rebronjskoj reci	km:0+000 do km:0+760	2013	760
Most na Rebronjskoj reci	Km:0+760	2011-2012	L=15m
Most na Ljudskoj reci	Km:1+100	2009-2010	L=16m
Most na Ljudskoj reci - Ribnjak	Km:1+100 do km:2+533	2010-2011	1.433
Ribnjak – Ulaz u Tutin	Km:2+533 do km:24+865	<b>sedamdesete</b>	<b>22.332</b>
Ulaz u Tutin	Km:24+865 do km:28+365	2007-2008	3.500
Prolaz kroz Tutin	Km:28+365 do km:29+305	2015	940
Izlaz iz Tutina – Špiljani (Bregovi)	Km:29+305 do km:37+116	<b>osamdesete</b>	<b>7.811</b>

Izvor: (arhiva AD "Novi Pazar – put")

Podaci iz tabele jasno ukazuju na činjenicu da je najveći deo trase puta sa kolovozom koji potiče iz perioda sedamdesetih i osamdesetih godina devetnaestog veka na kome osim radova redovnog održavanja nije ništa drugo rađeno.

### 2.2. Stanje elemenata puta

I u pogledu zatečenih elemenata situacije i nivelacije treba naglasiti da postojeće stanje ne zadovoljava zahteve ranga puta kojem pripada. U situacionom delu trasa ima najveći broj radijusa ispod  $R_h=120m$ . odnosno ispod minimalnog radijusa za brzinu od 60km. Projekat poboljšanja – pojačanog održavanja kojeg je Institut za puteve Beograd radio 2009.godine je, sagledavši stanje pravno-imovinskih odnosa, zadržao najveći broj krivina sa malim radijusom obzirom da je odabrana računaska brzina, za koju su birani elementi za poboljšanje  $V_r=40km/h$  a za izuzetne situacije i  $V_r=35km/h$ .

To znači da bi za prelaženje rastojanja dužine 28km od Dojevića (naselja u Novom Pazaru gde počinje ovaj put i gde je njegova prva čvorna tačka) do Tutina i nakon izvedenih radova poboljšanja bilo potrebno 45 minuta vožnje bez ikakvog zadržavanja i stajanja na usputnim stanicama.

Najveći broj kružnih krivina nema prelazne krivine ili ima samo sa jedne strane zbog čega je otežano postepeno prilagođavanje kretanja vozila za ulazak u krivinu, odnosno vizuelno sagledavanje toka trase naročito na mestima krivina malog radijusa ( $R_h=40m, 45m$  i  $55m$ ).



**Slika 2.** Nemogućnost vizuelnog sagledavanja toka trase  
Izvor: (arhiva AD "Novi Pazar – put")

U nivelacionom delu postojeći podužni padovi se kreću od 0,23% do 8,7%. Najveći deo tih padova je zadržan i projektom poboljšanja što samo ukazuje da ovim projektom nisu mnogo popravljani uslovi vožnje u smislu toka trase izuzev poboljšanja u smislu obezbeđenja širine poprečnog preseka i poboljšanja stanja kolovoza. Visinska razlika od 533m do 1040m nadmorske visine je savladana serpentinama na delu prolaza kroz Crkvine i u naselju Mađare, obzirom da je na najvećem delu trase podužni nagib oko 1,5%.



**Slika 3.** Loše stanje kolovoza  
Izvor: (arhiva AD "Novi Pazar – put")



**Slika 4.** Blagi podužni nagib trase  
Izvor: (arhiva AD "Novi Pazar – put")

Put je na najvećem delu trase u zaseku. Prosečna širina postojeće bankine je od 0,5m do 0,7m, pri čemu treba naglasiti da postoje delovi trase gde je ni nema. Ni širina prostora za kanal odnosno rigol i bermu nije veća. Prirodni nagib kosina se kreće od blago do relativno strmog sa nagibima od 1:1,5 do 3:1.



**Slika 5.** Loše stanje kolovoza, trasa u zaseku  
Izvor: (arhiva AD "Novi Pazar – put")



**Slika 6.** Trasa u zaseku  
Izvor: (arhiva AD "Novi Pazar – put")



U pogledu geološkog sastava zemljišta na prvih 6km puta su zastupljeni glinoviti i peskoviti krečnjaci kao i brečasti i dolomitni krečnjaci. Na preostalom delu su zastupljeni metamorfisani kvarc-sericitni peščari i argilošisti, zatim filiti, argiofiliti i sasvim retko metamorfisani krečnjaci, metamorfisane kvarcne breče i zeleni škriljci.

Na trasi se u pogledu inženjerskogeoloških svojstava izdvajaju sredine: kolivijum (litološke sredine zahvaćene klizanjem i odronjavanjem), nasipi (slojevi različite debljine, heterogeni po sastavu i granulaciji), peskovi i šljunkovi (aluvijalni nanosi Sebečevske reke), osulinske krečnjačke drobine, krečnjaci i dolomitni krečnjaci, metapeščari i škriljci. Stanje ovih sredina posebno u uslovima povećane vlažnosti i raskvašavanja nakon velikih padavina 2007. i 2014. godine pokazalo se kao dosta nestabilno i sklono klizanju.

### 2.3. Klizišta

Nestabilan teren jeste jedan od uzročnika pojave klizišta. Prve veće padavine koje su dovele do aktiviranja novih klizišta bile su 2007.godine. Nakon tih padavina na trasi od Novog Pazara do Tutina je registrovano 28 aktivnih klizišta..



**Slika 7.** Aktivirano klizište 2007.godine  
Izvor: (Arhiva AD "Novi Pazar – put")



**Slika 8.** Aktivirano klizište 2007.godine  
Izvor: (Arhiva AD "Novi Pazar – put")

To znači da je prosečno na svakom kilometru ovog putnog pravca bilo registrovano klizište. Do 2014.godine sanirano je 8 klizišta.

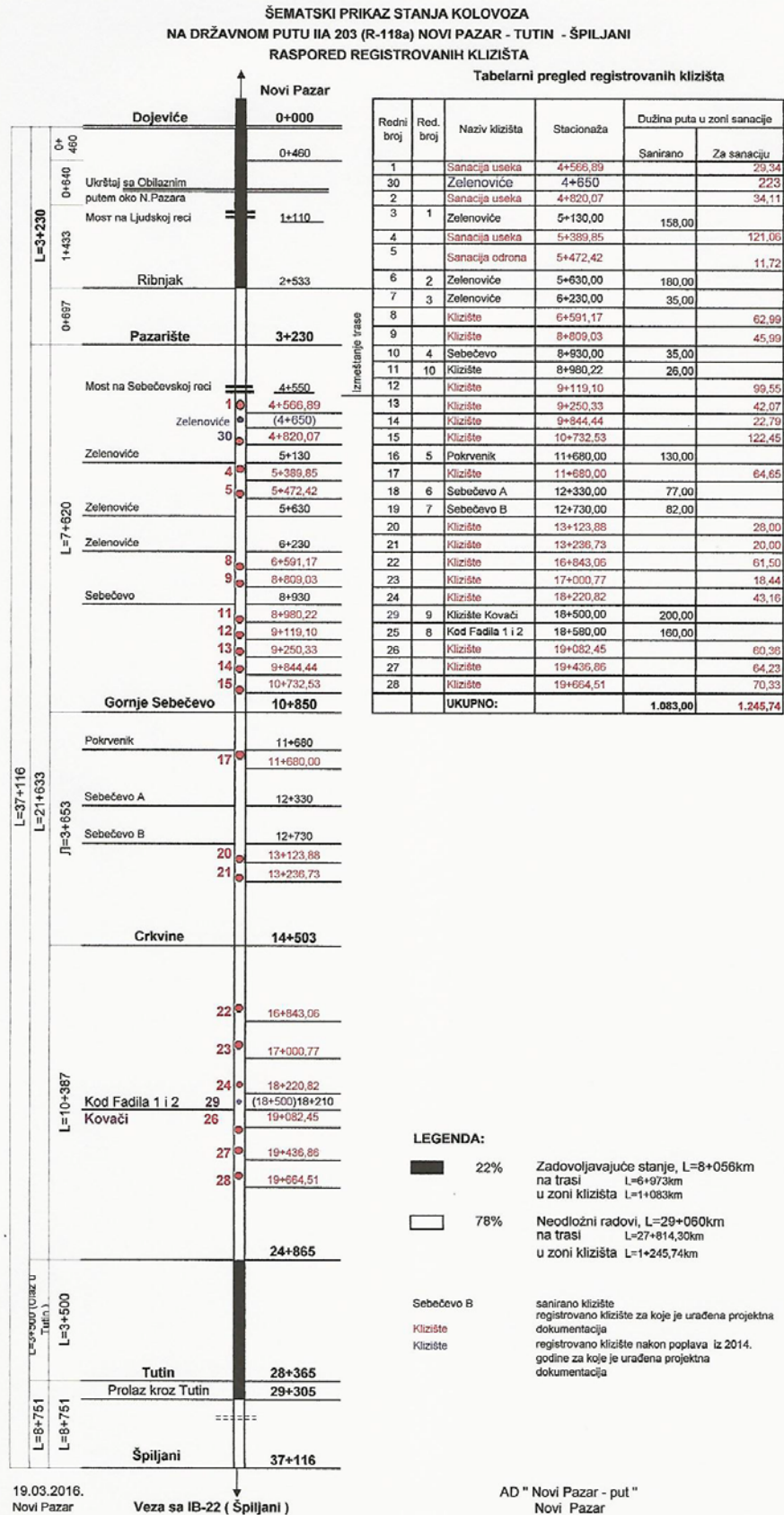
Nakon talasa velikih padavina u 2014. i 2015.godini aktivirana su još dva klizišta – u Kovačima na km:18+210 i u Zelenovićima na km:4+650, tako da je ukupan broj registrovanih klizišta porastao na 30. Zbog velike deformacije na desnoj saobraćajnoj traci u zoni klizišta Kovači i brzog napredovanja nastalog loma konstrukcije sa radovima na sanaciji ovog klizišta se moralo vrlo brzo početi.



**Slika 9.** Klizište "Kovači"  
Izvor: (Arhiva AD "Novi Pazar – put")



**Slika 10.** Klizište "Zelenovići"  
Izvor: (Arhiva AD "Novi Pazar – put")



**Slika 11. Šematski prikaz rasporeda klizišta na trasi puta IIA 203**  
Izvor: (Arhiva AD "Novi Pazar – put")



**Slika 12. Oštećenje na propustu**  
Izvor: (Arhiva AD "Novi Pazar – put")



**Slika 13. Oštećenje u zoni bankine**  
Izvor: (Arhiva AD "Novi Pazar – put")

Tokom 2014. i 2015. izvršena je sanacija dva klizišta u Kovačima i Sebečevu na km: 8+980,22 čime se broj saniranih klizišta povećao na 10. Sa sanacijom ovih 10 klizišta izvršena je ukupno popravka puta u zoni klizišta u dužini od L=1.083,00km. Ali i dalje ostaje veliki problem usled potrebe za sanacijom još 20 registrovanih klizišta. Na mestima pojedinih klizišta sa raskvašavanjem terena i usled stalnog odvijanja saobraćaja rapidno rastu otcepljenja puta što lako može u jednom trenutku da onemogući odvijanje saobraćaja i prekine komunikaciju ovom saobraćajnicom između Novog Pazara i Tutina i silom prilika usmeri stanovnike ovih katastarskih opština da za vezu sa Pazarom koriste deonicu puta Tutin – Bregovi, odnosno da za Novi Pazar idu preko Ribarića, što povećava rastojanje na 40km i povećava vreme potrebnog putovanja. Pojedine katastarske opštine bi u slučaju tako nastalih otcepljenja i prekida puta bile potpuno odsečene od ostalog dela okruženja.

### 3. ZIMSKO ODRŽAVANJE

Ovo područje je poznato po hladnim i dugim zimama i velikim snežnim padavinama. Veliki problem na ovom putnom pravcu predstavlja zavejavanje i pojava leda na delu osojnih poddeonica. Ovo su delovi puta gde je preventivno delovanje efikasnije i potrebnije od delovanja nakon padavina. Na tim mestima je neophodno reagovati pre nego se otopljene padavine u toku dnevnih većih temperatura pretvore u led u toku večernjih i noćnih sati.

Ovaj putni pravac je u drugom prioritetu što znači da se čišćenje vrši raonicima gde je za sprečavanje formiranja poledice i klizavosti predviđena samo rizla.

Znajući značaj prohodnosti ove komunikacije mi nastojimo da se odobri upotreba putne soli bar u mešavini sa rizlom u odnosu 1:1, zbog čega stalno postoji sukob sa nadzornom službom oko priznavanja troškova.

U zimskim uslovima na trasi je prisutan problem reagovanja vozila sa nožem i posipačem zbog nedovoljne širine puta i smanjenog prostora za njegovo manevrisanje. Dodatni problem za delovanje u uslovima postojanja snežnog pokrivača predstavljaju oštećenja puta, neravnine i udarne rupe. Zbog toga je potreban poseban oprez od strane vozača pri kretanju vozila za intervenciju kako zbog njegove širine pri mimoilaženju sa drugim vozilima tako i zbog mogućnosti da dođe do oštećenja noža ili oštećenja puta ukoliko se ne poznaje stanje puta i dobro ne oceni potrebna visina spuštanja noža na vozilu.

### 4. LETNJE ODRŽAVANJE

Sagledavajući izvršenje na pozicijama letnjeg održavanja poslednjih godina može se primetiti da su najzastupljenije pozicije iz grupe radova na održavanju trupa puta i održavanja asfaltnih kolovoza. Od sredstava za redovno održavanje državnih puteva na nivou putne mreže koju mi održavamo za područje Tutina usmerava se 15% a na ovaj putni pravac je usmereno 70% od raspoloživih sredstava za područje Opštine Tutin.

U sledećoj tabeli dat je pregled finansijskog ulaganja u proteklih 5 godina na održavanju puta IIA 203. Ovde treba naglasiti da je povećano ulaganje u 2013., 2014. i 2015. godini bilo iz razloga što su radovi na sanaciji nastalih oštećenja i klizišta na putu fakturisani preko situacije - kroz pozicije redovnog održavanja.

**Tabela 2.** Pregled finansijskog ulaganja u periodu 2011.-2015. na putu IIA 203

B	REDOVNO ODRŽAVANJE	2011	2012	2013	2014	2015	Ukupno
1	POSLOVI JAVNIH OVLAŠĆENJA IZ ZAŠTITE PUTEVA	0,00	0,00	1.663.553,00	67.074,44	0,00	1.730.627,44
3	ODRŽAVANJE TRUPA PUTA	964.309,97	2.217.882,77	12.750.626,90	14.134.601,61	20.297.604,37	50.365.025,62
4	ODRŽAVANJE SISTEMA ZA ODVODNJAVANJE	1.967.560,38	4.385.306,47	4.814.297,95	3.229.890,12	2.460.052,93	16.857.107,85
5	REDOVNO ODRŽAVANJE ASFALTNIH KOLOVOZA	6.702.387,45	7.609.332,40	8.935.201,81	14.009.003,24	34.470.205,73	71.726.130,62
7	REDOVNO ODRŽAVANJE TUCANIČKIH I ŠLJUNČANIH KOLOVOZA	180.293,23	7.438,11	0,00	0,00	88.283,84	276.015,18
8	ODRŽAVANJE SAOBRAĆAJNE SIGNALIZACIJE I OPREME	779.783,67	1.283.559,39	1.232.198,54	2.607.671,51	1.577.171,42	7.480.384,54
10	MAŠINE I UREĐAJI NA INTERVENCIJAMA	143.653,56	612.001,51	545.620,94	288.934,56	242.032,70	1.832.243,27
	Svega:	10.737.988,26	16.115.520,65	29.941.499,14	34.337.175,49	59.135.350,99	150.267.534,52

Izvor: (arhiva AD "Novi Pazar – put"-RJ Redovno održavanje)

Izuzetno loše stanje kolovoza zahteva stalno krpljenje, čišćenje osulina, čišćenje kanala, uređenje bankina, postavljanje zaštitne ograde, uređenje objekata, uređenje vodotokova. Ovo posebno iz razloga što je na ovom putnom pravcu postojeća oprema već dotrajala a na većini mesta je i nema (zaštitne ograde, smerokaza i sl.)



**Slika 14.** Zaštitna ograda ne postoji

Izvor: (Arhiva AD "Novi Pazar – put")



**Slika 15.** Oštećena zaštitna ograda

Izvor: (Arhiva AD "Novi Pazar – put")

Od svega pobrojanog održavanje se svelo na mestimično krpljenje udarnih rupa koje već odavno nisu samo oštećenja na nivou kolovoznog zastora već su zahvatile i donji stroj i prerastaju u deformacije. Svaka intervencija na putu zahteva oprez jer i ovde nedovoljna širina puta pravi problem. Angažovanje ljudi i mašina na bilo kojoj poziciji redovnog održavanja zahteva prostor kojeg na terenu nemamo pa su zbog toga i zaposleni i mašine nebezbedni na putu, ali je i bezbednost ostalih učesnika dovedena u pitanje zbog smanjene mogućnosti mimoilaženja i manevrisanja.

#### 4.1. Održavanje mostova i propusta

Na trasi postoji 7 mostova od kojih su dva – na Rebronjskoj i Sebečevskoj reci rekonstruisana. Stanje ostalih 5 mostova ne zadovoljava ni u pogledu stanja konstrukcije a ni u pogledu širine kolovoza, pešačkih staza i prateće opreme.

Usled nedovoljne nosivosti konstrukcije zbog naraslog obima saobraćaja i usled dugogodišnjeg dejstva atmosferilija na svim mostovima su vidna oštećenja. Pored toga na svim mostovima je vidno oštećenje zaštitne ograde a na pojedinim mestima je i nema. Zbog toga i put i objekti izgledaju zapušteno i pored održavanja., Ali od izgleda je veći problem što je kretanje ovim putem nebezbedno. Činjenica je da se sredstva za nabavku nove ili zamenu dotrajale opreme veoma teško izdvajaju.



km 3+150

**Slika 16.** Zaštitna ograda na mostu ne postoji  
Izvor: (Arhiva AD "Novi Pazar – put")



km 8+600

**Slika 17** Oštećenje na spoljnom licu mosta  
Izvor: (Arhiva AD "Novi Pazar – put")



km 8+600

**Slika 18.** Oštećenje na kolovozu mosta  
Izvor: (Arhiva AD "Novi Pazar – put")



km 12+500

**Slika 19.** Zaštitna ograda na mostu ne postoji  
Izvor: (Arhiva AD "Novi Pazar – put")



km 13+100

**Slika 20.** Zaštitne ograde gotovo da nema  
Izvor: (Arhiva AD "Novi Pazar – put")



km 15+050

**Slika 21.** Zaštitna ograda na mostu je oštećena  
Izvor: (Arhiva AD "Novi Pazar – put")

## 5. ZAKLJUČAK

Veoma je teško reći da je put koji se nalazi u ovakvom stanju državni put IIA reda.

Obim sredstava koja se izdvajaju za njegovo održavanje pokazuje brigu o ovom putu i razmišljanje o ovom narodu i ovim krajevima.

Ovim tempom ulaganja u poboljšanje stanja ovog putnog pravca (100 do 200m poboljšanog kolovoza godišnje, pod uslovom da se pojavi klizište koje pretili da prekine odvijanje saobraćaja i zatvori put, i 1km poboljšanja puta na ime malo veće sanacije bez uređenja pratećih elemenata) za 22 godine bi se poboljšao preostali nerekonstruisani deo između Tutina i Novog Pazara, odnosno za oko 30 godina bi ceo put dobio malo bolji izgled, jer treba uzeti u obzir da u međuvremenu teče rok trajanja i novorekonstruisanim delovima. Potrebno je malo više sluha za probleme ovog putnog pravca, ovih krajeva i malo volje i želje da mu se poboljšanjem stanja ovog puta pomogne.

### Zahvale

Zahvaljujem se na tehničkoj pomoći, saradnji i sugestijama kolegama Nerminu Ljajiću i Senadu Ibragiću iz RJ Redovno održavanje AD "Novi Pazar – put" .

### Literatura

#### - PROJEKTNJA DOKUMENTACIJA:

- [1] Boško Ubiparip,dipl.inž.geol. 2009. *Glavni projekat pojačanog održavanja regionalnog puta R-118a Novi Pazar – Tutin, Geotehnički elaborat* Institut za puteve, Beograd
- [2] Vladan Grujić,dipl.inž.građ. 2009. *Glavni projekat pojačanog održavanja regionalnog puta R-118a Novi Pazar – Tutin, Građevinski projekat* Institut za puteve, Beograd

#### - ARHIVA – DOKUMENTACIJA AD "NOVI PAZAR – PUT":

- [3] Pregledi, situacije, slike, šematski prikazi, podaci RJ Redovno održavanje

# TIME ISSUES IN FIDIC FORMS OF CONTRACT

Frank THOMAS<sup>1</sup>, Milan PERIĆ<sup>2</sup>, Karol NAJBAR<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Partner at Thomas-Koziarski Consulting

<sup>2</sup> Senior Contract and Claim Manager / Partner at TKP Consulting, affiliated with Thomas-Koziarski Consulting

<sup>3</sup> Senior Delay Analyst at Thomas-Koziarski Consulting

**Abstract:** This paper will present the “Time issues in FIDIC forms of Contract” which are currently widely used in Serbia. The contractual semantic of FIDIC forms of Contract (Red, Yellow, Silver, Gold Books) will be defined and the key Sub-Clauses related to time issues will be identified. The paper will present the purpose of a programme/schedule and give insight as to how to prepare a good programme/schedule. The paper will distinguish between what is delay and disruption in the contractual language. All of the above will lead into how to calculate the time extension under the contractual provisions and conclude by giving some answers to recurring disputes under FIDIC forms of Contracts regarding time issues, such as: who owns the float, impact of concurrent delays, pacing right and acceleration.

**Keywords:** FIDIC, programme, critical path, delay, disruption, time extension, delay analysis, float ownership, acceleration.

## 1. INTRODUCTION

Time is the most critical resource since when it is gone, you cannot get it back.

Famous literature on time issues includes the Society of Construction Law’s (SCL) Delay and Disruption Protocol (DDP) October 2002 and Rider 1 July 2015; the Association for Advancement of Cost Engineering International’s (AACEI) recommended practice no. 29R-033; Keane, P.J. and Caletka, A.F. 2008. Delay Analysis in Construction Contracts; as well as case laws in the United Kingdom.

## 2. IMPORTANT DEFINITIONS

### 2.1. Key definitions

Programme/Schedule: Programme follows UK terminology while Schedule follows US terminology. They both designate the same product in the context of construction. [Definition given by Keane and Caletka]

Programming/Scheduling: Identification of individual task with earliest/latest start and finish dates, assignment of resources and budgets to activities, linking of activities (network) and determination of the critical paths. [Definition given by Keane and Caletka]

Planning: Define project scope, set overall duration and budget. Determine the Project risks and goals. [Definition given by Keane and Caletka]

Project Control: Monitor progress against baseline programme and update programme in order to reflect the impact of delays/changes. [Definition given by Keane and Caletka]

Delay to completion: *“In common usage, this expression may mean either delay to the date when the contractor planned to complete its works, or a delay to the contract completion date. The Protocol uses the expressions Employer Delay to Completion and Contractor Delay to Completion, both of which mean delay to a contract completion date”* [Definition given by DDP of SCL]

Delay to progress: *“In the Protocol, this means a delay, which will merely cause delay to the Contractor’s progress without causing a contract completion date not to be met. It is either an Employer Delay to Progress or Contractor Delay to Progress.”* [Definition given by DDP of SCL]

Disruption: *“Disturbance, hindrance or interruption of a Contractor’s normal work progress, resulting in lower efficiency or lower productivity than would otherwise be achieved. Disruption does not necessarily result in a Delay to Progress or Delay to Completion.”* [Definition given by DDP of SCL]

<sup>1</sup> Thomas-Koziarski Consulting; ul. Dekabrystów 21/2, 45-061 Opole, Poland; frank.thomas@tk-consulting; +48 728 945 495

<sup>2</sup> Corresponding author: TKP Consulting; Jurija Gagarina 14E/43, 11070 Belgrade, Serbia; milan.peric@tk-consulting; +381 64 8551081

<sup>3</sup> Thomas-Koziarski Consulting; ul. Dekabrystów 21/2, 45-061 Opole, Poland; karol.najbar@tk-consulting

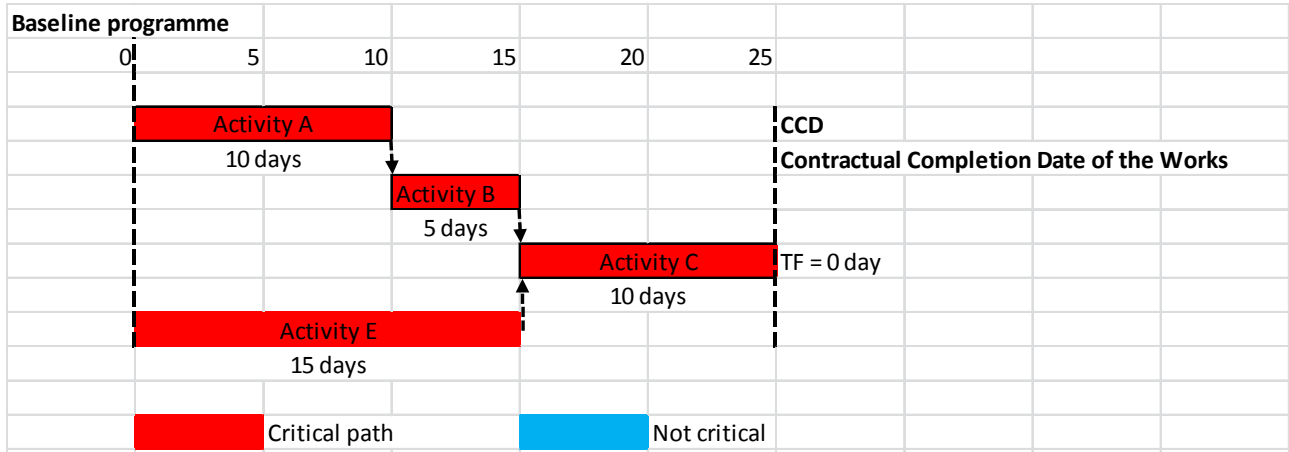


Figure 1. Baseline Programme

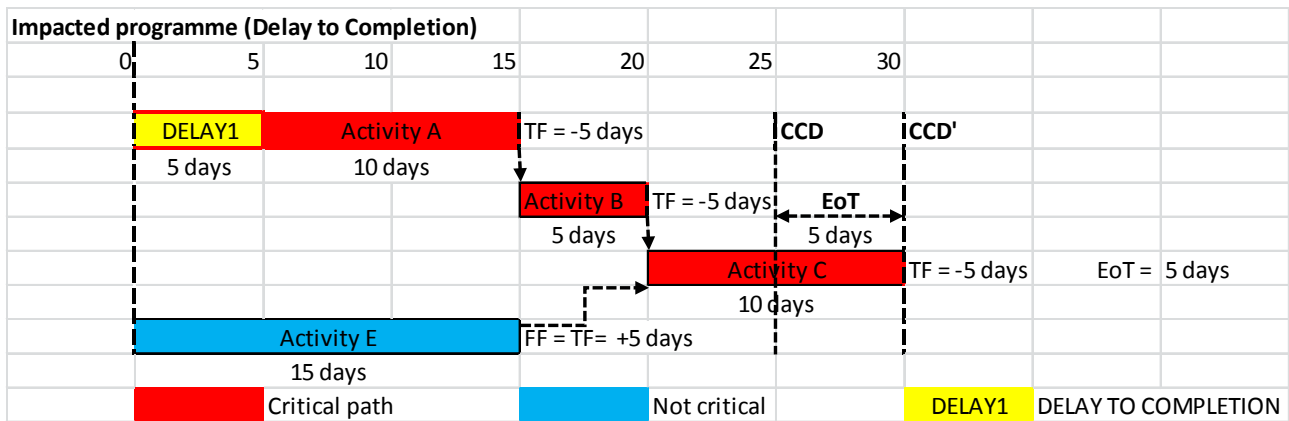


Figure 2. Impacted programme (Delay to Completion)

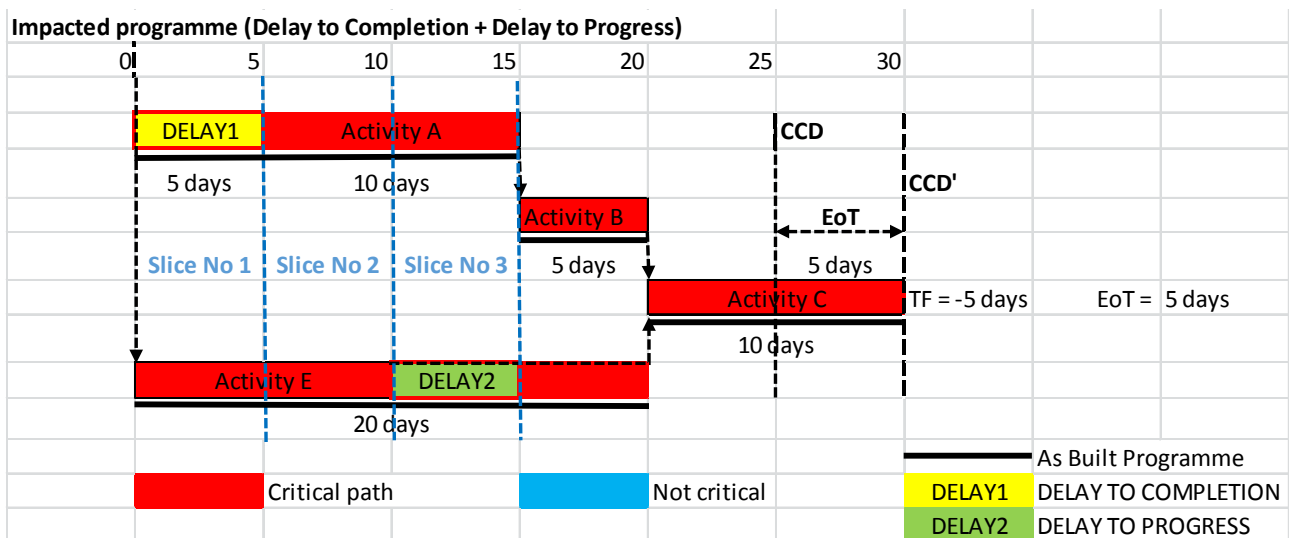


Figure 3. Impacted programme (Delay to Completion and Delay to Progress)



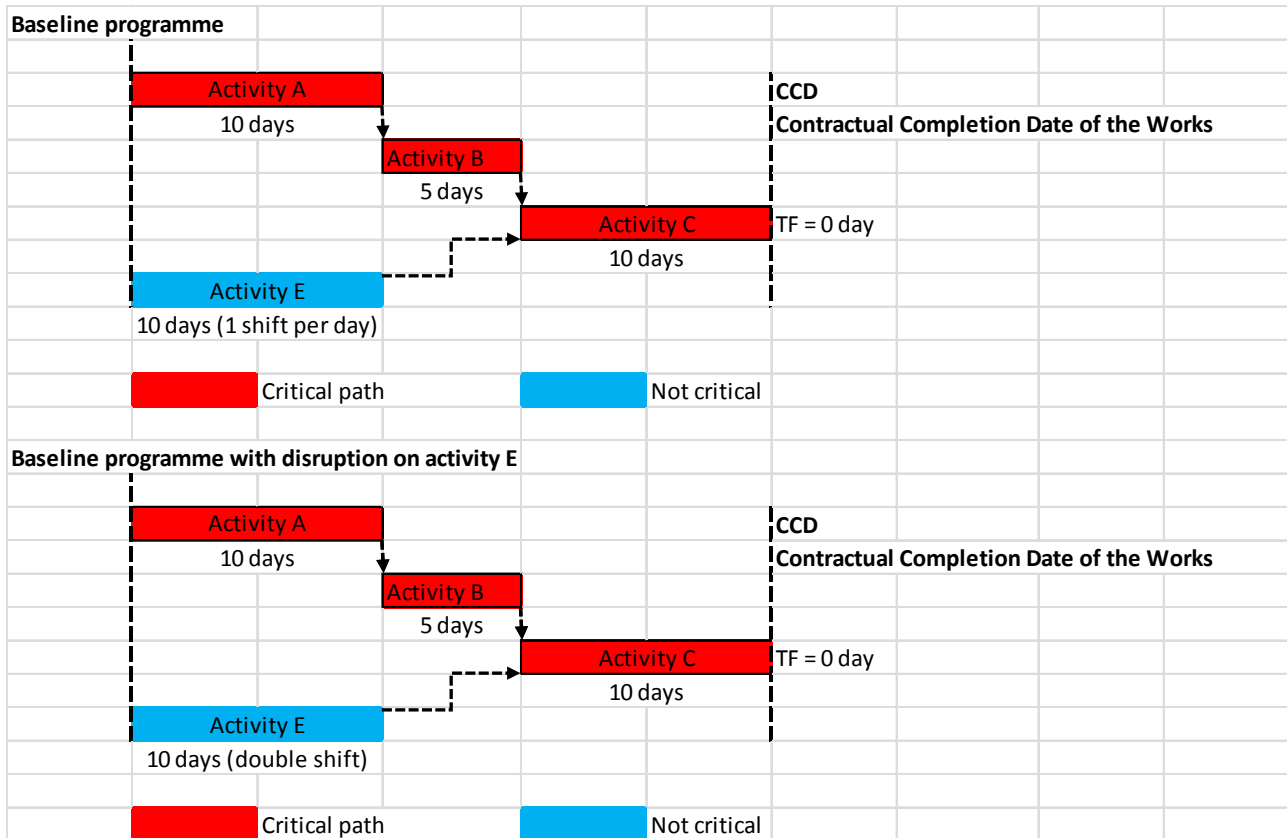


Figure 4. Baseline programme (Disruption on Activity E)

**2.2. Critical Path Method (CPM)**

Critical Path Method (CPM) is the programming technique most commonly used in the construction industry today for establishing the sequence of activities interlinked with each other with assigned resources through a project network from start to finish, the net sum of whose durations determines the overall project duration. The CPM is therefore the process of deducing the critical activities in a programme by tracing the logical sequence of tasks that directly affect the date of project completion by using a calculation algorithm. The resulting programme is usually represented as a bar chart or as a time-path diagram by using usual well known software such as “MS Project”, “Primavera”, “Tilos”, etc. CPM Programme software semantic includes: Activity Identification Number and Description, Activity Duration, Early and late start of each activity, Early and late finish of each activity, Calculation of total and free float, Predecessors and successors with relationships and lead/lag duration, Imposed time or date constraints, Calendar, etc.

**2.3. Delay and Time Extension Analysis (DTEA)**

DTEA serves the purpose of demonstrating causation between liability and resulting damages. In order to be able to apportion the delays to a Project between the Parties in an objective manner, the following three fundamental elements must be proven:

Liability: Parties’ liability for a delay must be demonstrated under the Contract terms and/or in accordance with the Contract Law.

Causation: The causal link between one Party’s delay and the delayed completion of the Project must be demonstrated unambiguously.

Damage: The alleged damage suffered by one Party due to the delay caused by the other Party should be clearly established with forensic evidences. (Extent of the delays and additional costs suffered)

## 2.4. Forensic DTEA types

Forensic Delay and Time Extension Analysis types include the following: Impacted As-Planned, Time Impact Analysis, As-Planned vs. As-Built, Collapsed As-Built, etc.

## 2.5. Completion Dates

Contract Completion Date (CCD) means the date by which all the works must be “substantially” completed and the works ready to be used by the Employer.

Actual Completion Date (ACD) means the date certified by the Engineer in the Taking Over Certificate on which the works or Section were completed in accordance with the Contract.

Planned Completion Date (PCD) means the completion date of the works as planned by the Contractor in its programme, which can be earlier than CCD but not later, i.e. the Contractor’s planned date for the ACD as shown in its programme.

For the purposes of illustrating the above definitions let us consider the following programme with two activities, A and B. Activity A has a duration of 10 days while Activity B has a duration of 5 days. Therefore, PCD = starting date (SD) + 10 + 5 days; CCD = SD + 10 + 5 + 10 days; Terminal Float (TF) = 10 days.

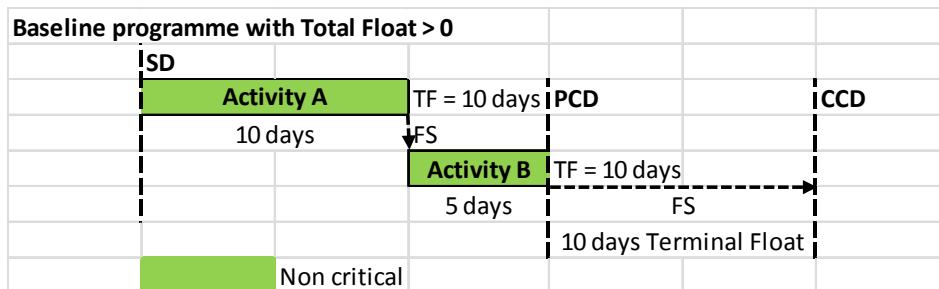


Figure 5. Baseline programme with Terminal Float > 0

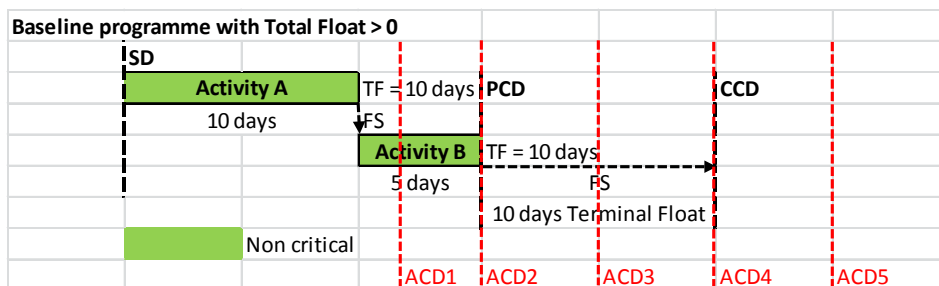


Figure 6. Actual Completion Date (ACD)

By analysing Figure 5 above, the following conclusions can be drawn regarding the Terminal Float:

- ACD1:  $ACD < PCD$  → Terminal Float increases
- ACD2:  $ACD = PCD$  → original Terminal Float remains intact
- ACD3:  $PCD < ACD < CCD$  → Terminal Float decreases
- ACD4:  $ACD = CCD$  → Terminal Float is completely extinguished
- ACD5:  $ACD > CCD$  → Terminal Float becomes negative

## 2.6. Critical Path

Critical Path definition in accordance with the Society of Construction Law Delay and Disruption Protocol issued in October 2002 and reprinted in 2004 (“DDP”): “The sequence of activities through a project network from start to finish, the sum of whose durations determines the overall project duration. There may be more than one critical path depending on workflow logic. A delay to progress of any activity on the critical path will, without acceleration or re-sequencing, cause the overall project duration to be extended and is therefore to as a “critical delay”.

However, what if the activities are overlapping, as demonstrated below Activity B is linked to start 5 days before Activity A finishes (FS-5 days relationship). According to DDP, we have  $(10+10)=20$  days overall project duration. This is incorrect because the overall project duration is only 15 days. The critical path in the SCL DDP is therefore inaccurate

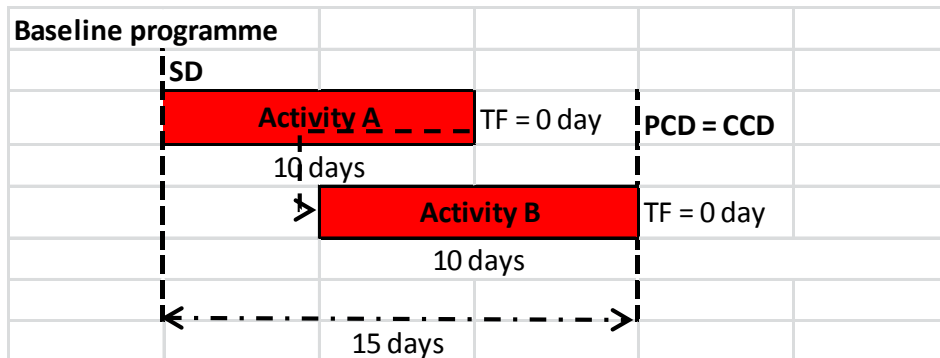


Figure 7. Critical Path definition SCL DDP

Critical Path definition in accordance with Primavera Software: the critical path is the path that links critical activities; critical activities are activities with a Total Float equal to 0 while non-critical activities are activities with a Total Float > 0.

Total Float is the number of days you can delay the start of an activity or its duration without delaying CCD, while Free Float is the number of days you can delay the start of an activity or its duration without delaying its successor.

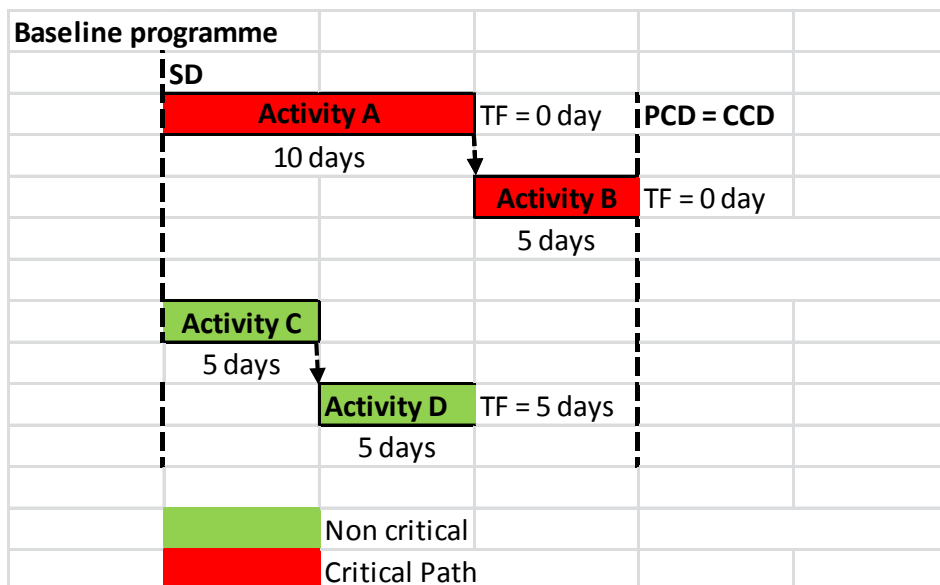


Figure 8. Critical Path definition Primavera Software

As can be seen from Figure 6, the critical path is the path Activity A – Activity B with 0 days Total Float, and the non-critical path is the path Activity C – Activity D with 5 days Total Float.

Due to many other reasons, including constraints and milestones, if you want to know what is critical in your programme you need to use the functions of your scheduling software, an example is given below.

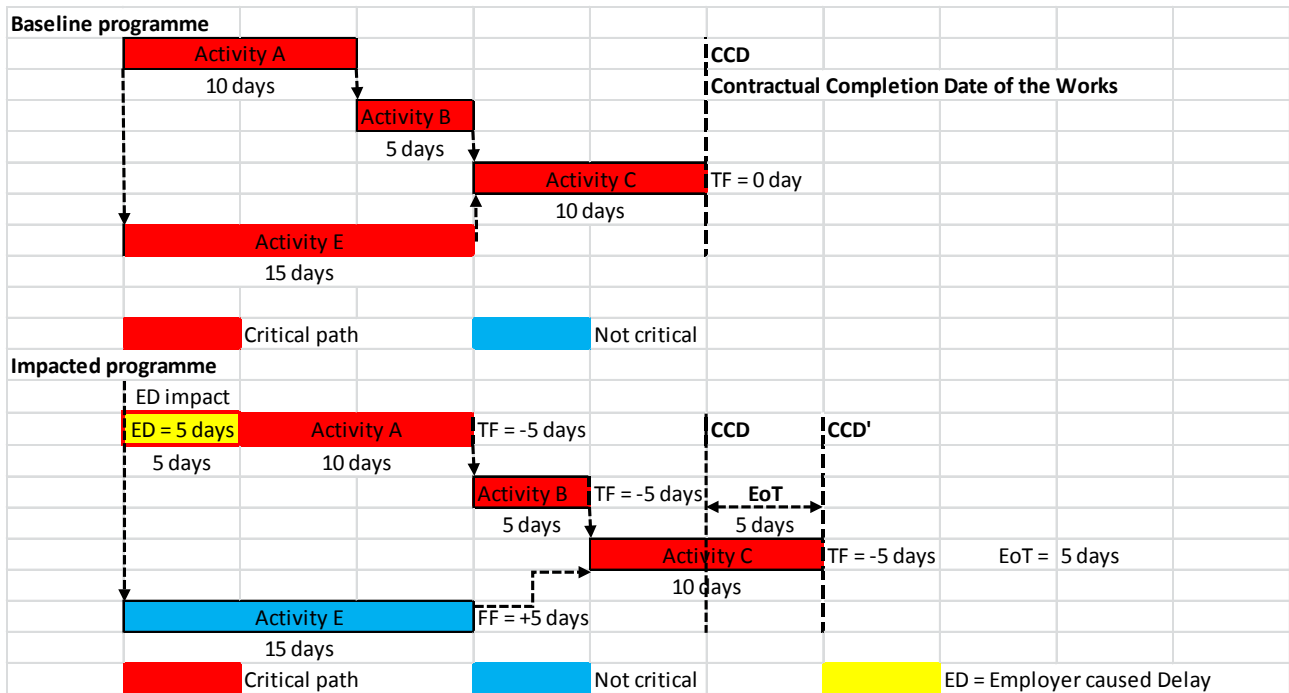


Figure 9. Critical Path definition Primavera Software

Employer caused Delay (ED) is delaying the start of Activity A by 5 days; Due to the critical path A-B-C, CCD is also delayed by 5 days, Total Float of activities A, B and C = -5 days, Free Float and Total Float of activity E = +5 days.

### 3. SUB-CLAUSES RELATED TO TIME ISSUES

The following are based on the FIDIC Red, Yellow and Silver Books (1999 editions).

Reading time sub-clauses with CPM understanding is very important as it enables Parties to avoid unnecessary disputes.

#### 3.1. Sub-Clause 8.2 (Time for Completion)

Sub-clause 8.2 provides that: “the Contractor shall complete the whole of the works, and each Section (if any) **within** the Time for Completion for the Works or Section (as the case may be), including (a) achieving the passing of the Tests on Completion, and (b) completing all works which is stated in the contract as being required for the Works or Section to be considered to be completed for the purpose of taking over under sub-clause 10.1.” (emphasis added).

In other words: the Contractor shall complete the works at any time “**within the Time for Completion**”, i.e. at any date occurring on or prior to CCD.

#### 3.2. Sub-clause 10.1 (Employer’s Taking Over)

“Except as stated in Sub-clause 9.4, the works **shall be taken over** by the Employer when (i) the Works have been completed in accordance with the Contract, including the matters described in Sub-clause 8.2 and except as allowed in sub-paragraph (a) below, and (ii) a Taking Over Certificate has been issued, or is deemed to have been issued in accordance with this sub-clause.

The Contractor **may apply by notice to the Engineer for a Taking Over Certificate not earlier than 14 days before the works will, in the Contractor’s opinion,** be complete and ready for taking over. (...) The Engineer shall, within 28 days after receiving the Contractor’s application (a) issue the Taking Over Certificate stating the date on which the works or Section were completed in accordance with the Contract, except for (...) (b) reject the application, giving reasons [...]” (emphasis added).

In other words: The Contractor is free to decide when the works will be complete and ready for taking over, i.e. at any date occurring on or prior to CCD. Upon issuance of the Taking-Over Certificate, the Employer shall take over the works and he cannot to refuse to do so.

### 3.3. Sub-clause 8.3 (Programme)

*“The Contractor shall submit a detailed time programme to the Engineer within 28 days after receiving the notice under Sub-Clause 8.1 [Commencement of Works]. The Contractor shall also submit a **revised programme** whenever the previous programme is inconsistent with actual progress or with the Contractor’s obligations. Each programme shall include: (a) the **order in which the Contractor intends to carry out the Works**, including the anticipated timing of each stage of design (if any), Contractor’s Documents, procurement, manufacture, inspection, delivery to Site, construction, erection and testing, commissioning and trial operation, [...] (c) the sequence and timing of inspections and tests specified in the Contract, and (d) a supporting report which includes: (i) a general description of the methods which the Contractor intends to adopt, and of the major stages, in the execution of the Works, and (ii) details showing the Contractor’s reasonable estimate of the number of each class of Contractor’s Personnel and of each type of Contractor’s Equipment, required on the Site for each major stage.*

*Unless the Engineer, within 21 days after receiving a programme, gives notice to the Contractor stating the extent to which it does not comply with the Contract, the **Contractor shall proceed in accordance with the programme**, subject to his other obligations under the Contract. The Employer’s Personnel shall be entitled to rely upon the programme when planning their activities.*

*The Contractor shall promptly **give notice to the Engineer of specific probable future events or circumstances which may adversely affect the work, increase the Contract Price or delay the execution of the Works**. The Engineer may require the Contractor to submit an estimate of the anticipated effect of the future event or circumstances, and/or a proposal under Sub-Clause 13.3 [Variation Procedure].*

*If, at any time, the Engineer gives notice to the Contractor that a programme fails (to the extent stated) to comply with the Contract or to be consistent with actual progress and the Contractor’s stated intentions, the Contractor **shall submit a revised programme to the Engineer in accordance with this Sub-Clause.**” (emphasis added).*

In other words, the programme is intended to (1) plan the stages of the works by showing the “order” of Contractor’s activities during design, construction and commissioning phases accompanied by a supporting report on Contractor’s construction methods and reasonable estimate of resources; as well as (2) be updated whenever the actual progress falls beyond the current programme as may be notified by the Engineer.

### 3.4. Sub-clause 8.4 (Extension of the Time for Completion)

*“The Contractor shall be entitled subject to sub-clause 20.1 [Contractor’s claims] to an **extension of the Time for Completion** if and to the extent that **completion for the purposes of Sub-clause 10.1 [Taking Over of the Works and Sections] is or will be delayed by any of the following causes:** [...]*

*If the Contractor considers himself to be entitled to an extension of the Time for Completion, the Contractor shall give notice to the Engineer in accordance with Sub-Clause 20.1 [Contractor’s Claims]. When determining each extension of time under Sub-Clause 20.1, the Engineer shall review previous determinations and **may increase, but shall not decrease**, the total extension of time.” (emphasis added).*

The extension of time objectives of the Sub-Clause 8.4 are two-fold and are of benefit for both Parties:

Contractor: First it relieves the Contractor from the payment of delay damages in the case of delays for which the Employer is responsible under the Contract terms.

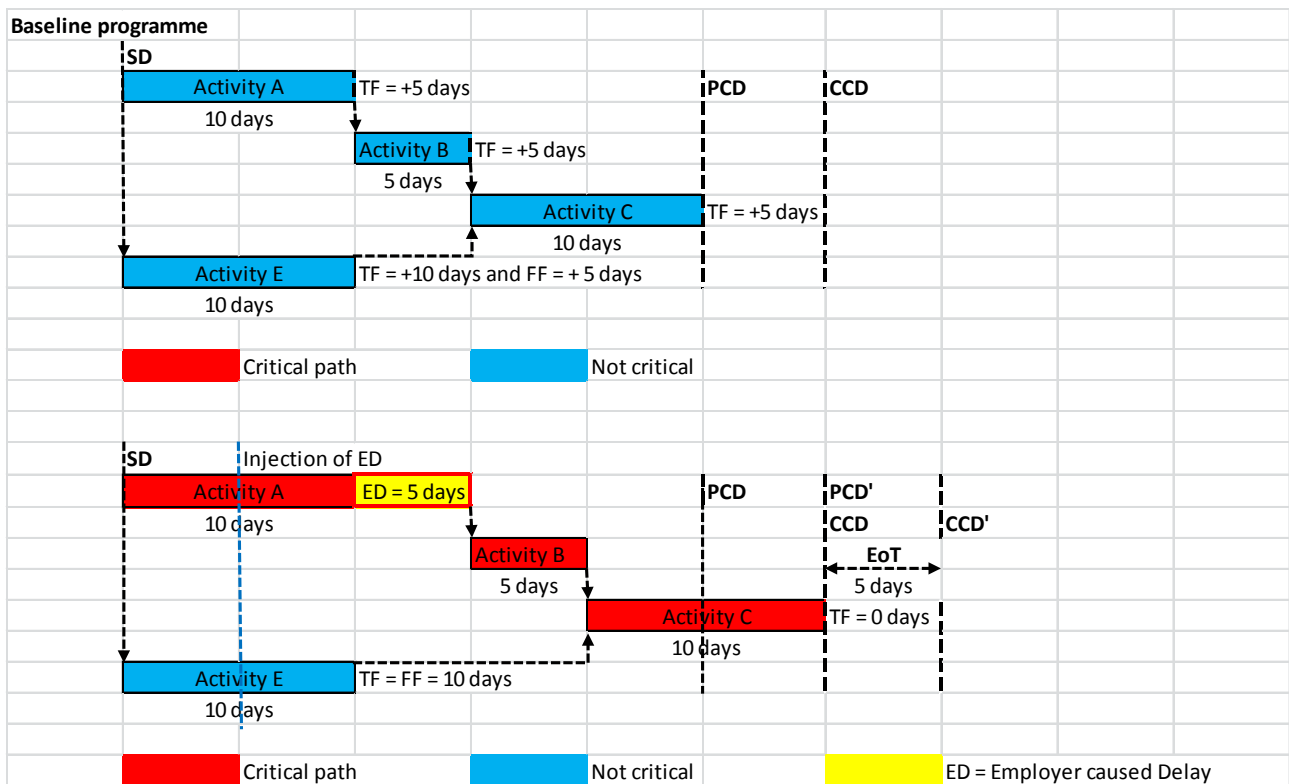
Employer: Second it establishes new Section completion deadlines under the Contract, which are subject to the application of delay damages, and it therefore prevents the CCD becoming unknown/uncertain (also known as “time at large” in common law countries), i.e. it preserves the contractual validity of any new extended Section deadlines.

Sub-Clause 8.4 clearly stipulates that the Contractor is entitled to an extension of CCD each time that any PCD of a Section is delayed by reasons for which the Employer is responsible. Such time extension entitlement shall be calculated with the Tender resources and normal working hours.

**3.5. Sub-clause 8.6 (Rate of Progress)**

*“If at any time: (a) actual progress is too slow to complete **within** the Time for Completion, and/or (b) Progress has fallen (or will fall) behind the current programme under sub-clause 8.3 [programme] **other than as a result of a cause listed in sub-clause 8.4 [Extension of the Time for Completion]**, then the Engineer may instruct the Contractor to submit, under sub-clause 8.3 [programme], a revised programme and supporting report describing the revised methods which the Contractor proposes to adopt in order to expedite progress and complete within the Time for Completion.” (emphasis added).*

In other words, the Contractor is not bound to expedite/accelerate delayed progress if the reasons of such delayed progress is caused by Employer’s delays listed in Sub-Clause 8.4. A time extension entitlement pursuant to Sub-Clause 8.4 shall therefore be calculated with the same resources and working time as defined in the baseline programme.



**Figure 10.** Extension of Time Entitlement

**3.6. Sub-clause 8.7 (Delay Damages)**

*“If the Contractor fails to comply with sub-clause 8.2 [Time for Completion], the Contractor shall subject to sub-clause 2.5 [Employer’s claims] pay delay damages to the Employer for this default. These delay damages shall be the sum stated in the Appendix to Tender, which shall be paid for every day which shall elapse between the relevant Time for Completion and the date stated in the Taking Over Certificate. However, the total amount due under this sub-clause shall not exceed the maximum amount of delay damages (if any) stated in the Appendix to Tender.”*

In other words, the Contractor is liable to pay delay damages to the Employer if ACD exceeds CCD for reasons for which the Contractor is responsible.

4. RECURRING DISPUTED TIME ISSUES

4.1. Float Ownership

There are several types of float Terminal Float, Free Float, Total Float, and Mechanical Float. As has been demonstrated in this paper, under the FIDIC Red, Yellow and Silver (1999 editions), the Terminal Float belongs to the Contractor, while the other types of float belong to the Project.

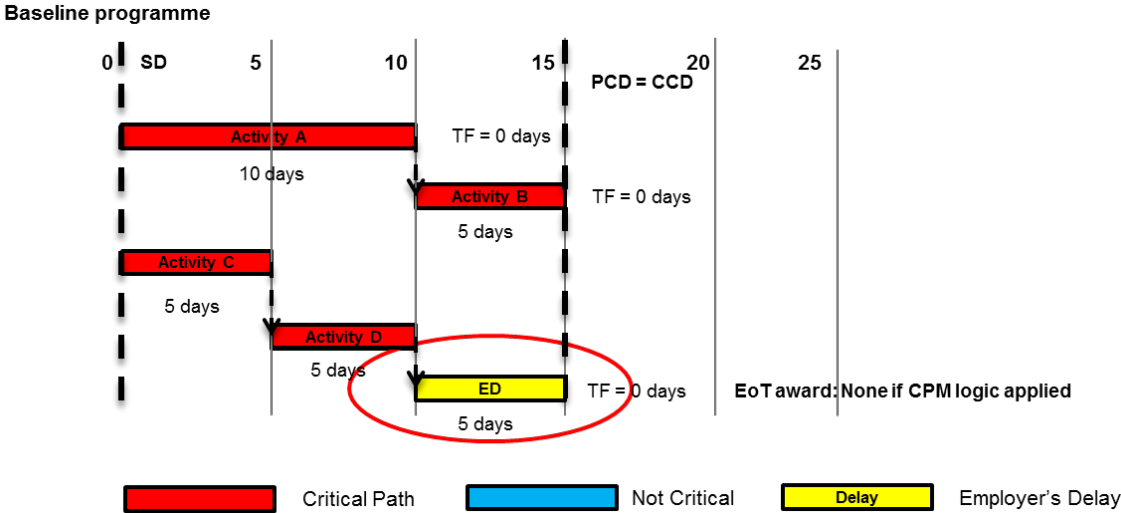


Figure 11. Employer's delay on path C-D does not result in EoT if CPM logic is applied

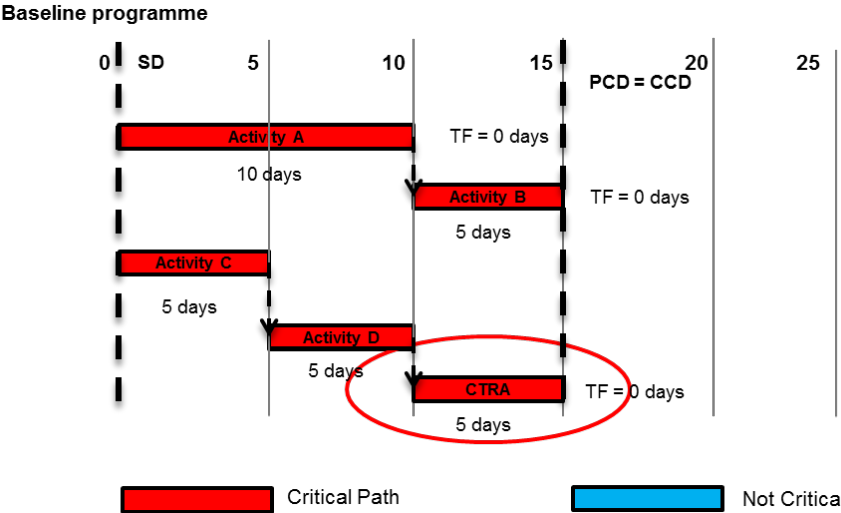
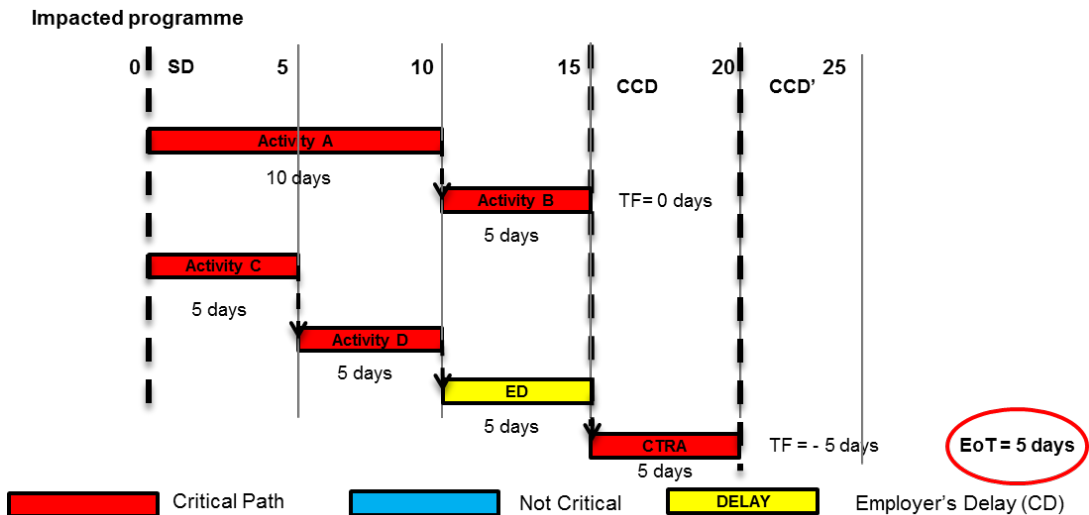
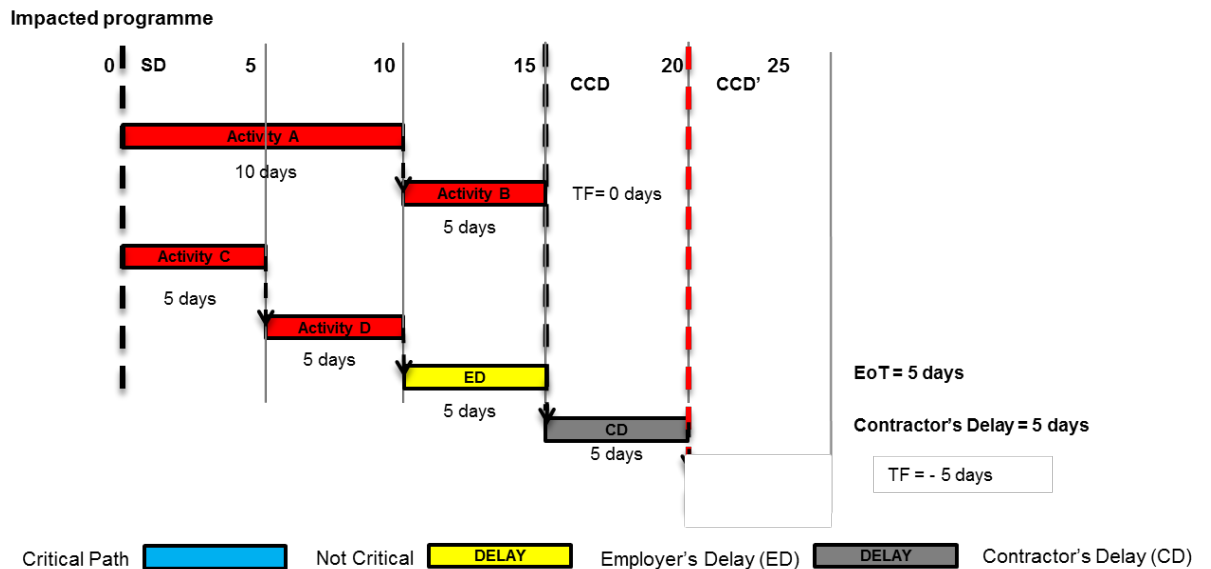


Figure 12. Owning the float with Contractor's Time Risk Allowance (CTRA) on path C-D making both path A-B and C-D critical



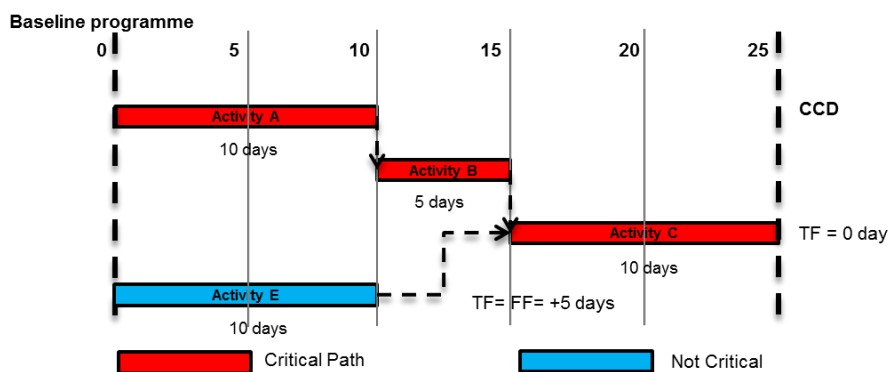
**Figure 13.** Employer's delay on path C-D does result in EoT using CPM logic, due to taking ownership of float with CTRA



**Figure 14.** Consumption of CTRA at the sole discretion of the Contractor to compensate for own delays

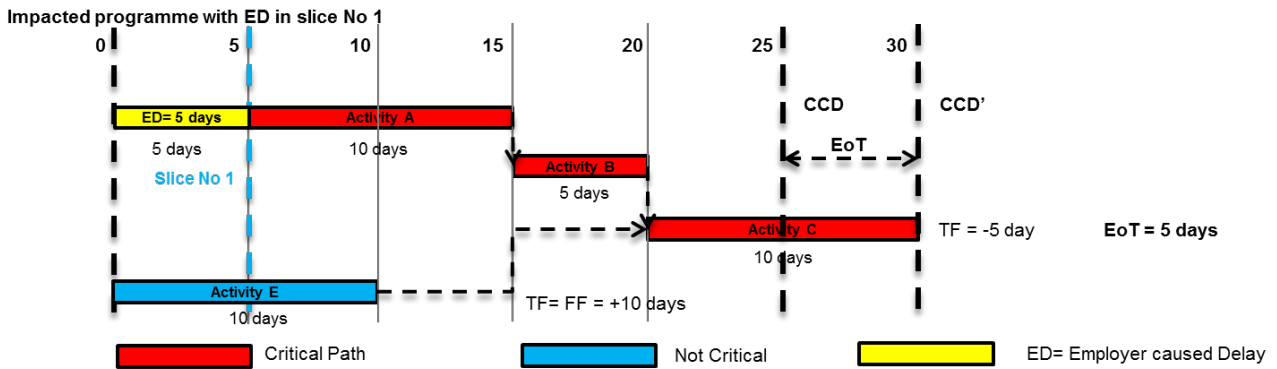
#### 4.2. Concurrent Delays

It is very rare, but possible, for there to be true concurrent delay on the same activity. In most cases one party is delaying one activity and the other party another. However, when considering entitlements, pacing and causative potency needs to be taken into account.

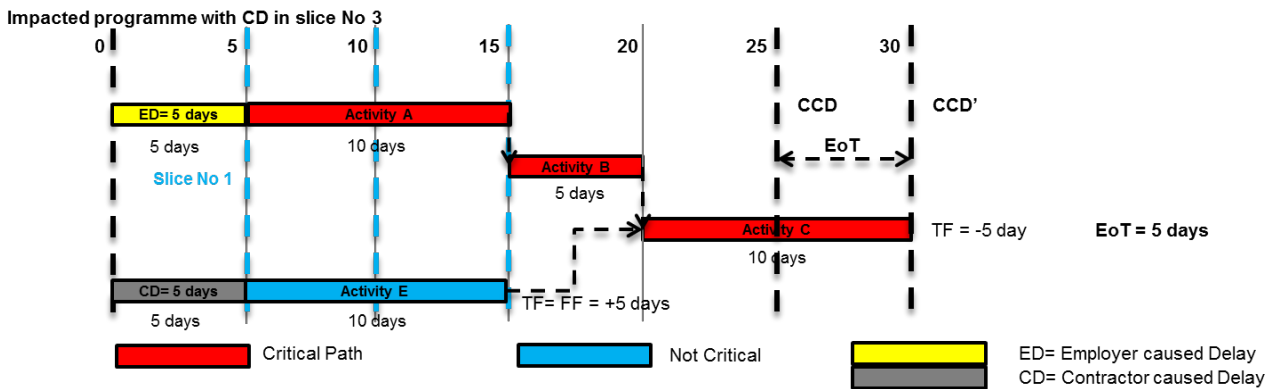


**Figure 15.** Baseline programme

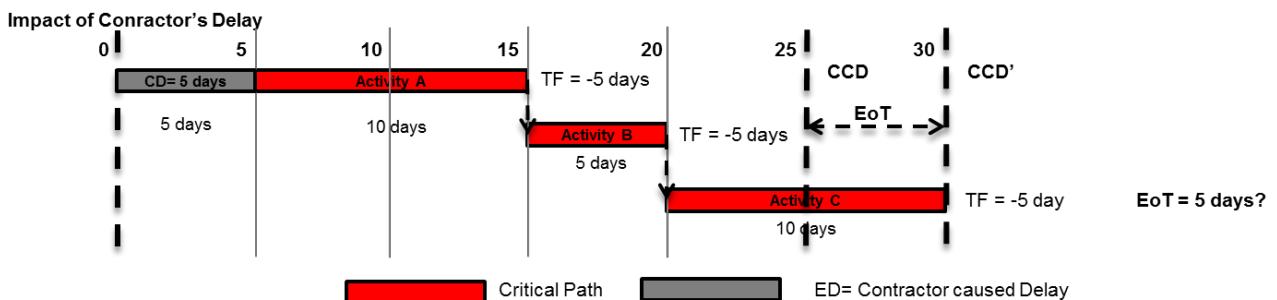
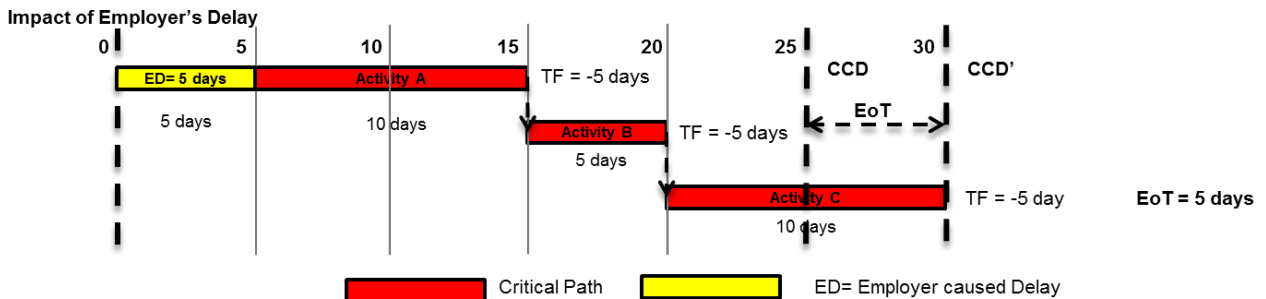




**Figure 16.** *Impacted programme with Employer's delay in slice no. 1*



**Figure 17.** *Impacted programme with Contractor's delay in slice no. 3*

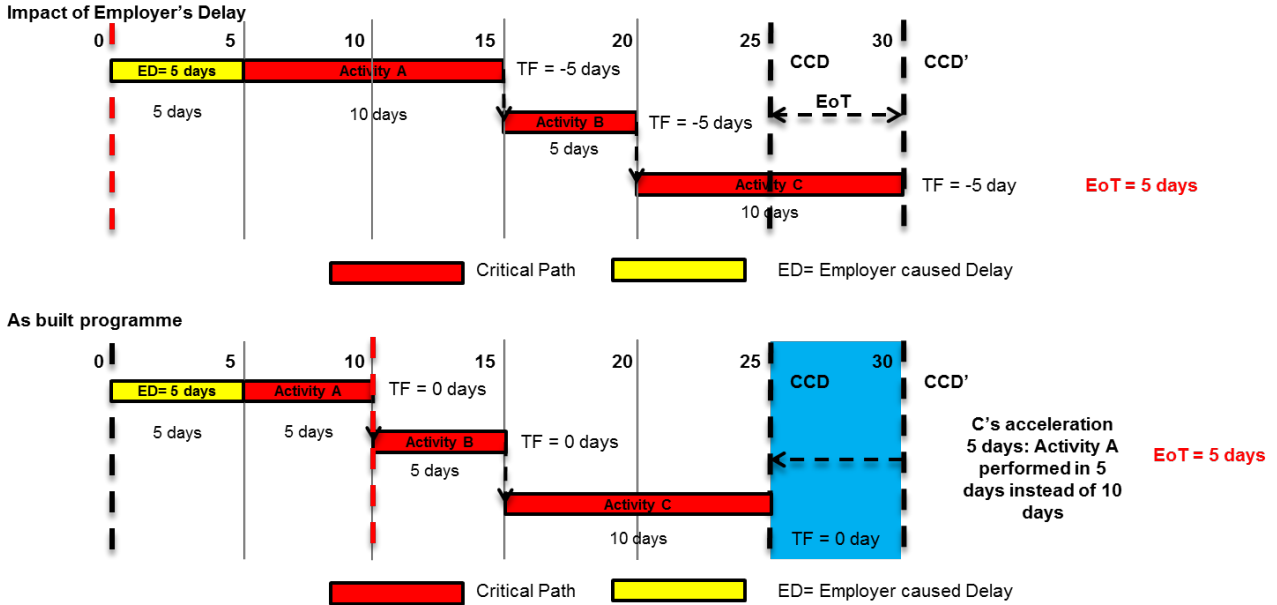


**Figure 18.** *True concurrent Employer's and Contractor's delays*

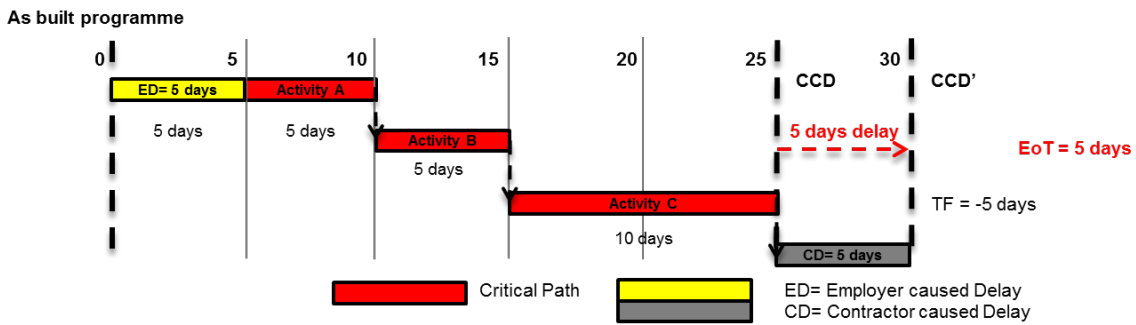
In accordance with FIDIC and the SCL DDP the Contractor is entitled to an Extension of Time but no prolongation costs; while in accordance with the City Inn court case, under Scottish Law, an apportionment of the delays is taken into account, known under common law as contributory negligence.

### 4.3. Acceleration

In accordance with FIDIC contracts, the Contractor is under no obligation to mitigate the Employer's delays and is entitled to Extension of Time using the baseline resources, working hours and sequence. Any Contractor's freewill acceleration needs to be clearly booked and reserved for any eventual future own delays.



**Figure 19.** Impact of Employer's delay on Activity A and Contractor's acceleration of Activity A



**Figure 20.** Contractor's acceleration of Activity A compensates for Contractor's delay on Activity C

# UPOTREBA CEMENTA I MATERIJALA NA BAZI CEMENTA ZA STABILIZACIJU TLA – ZAHTEVI KVALITETA

**Dejana Milinković<sup>1</sup>, dipl.hem.**

*Udruženje cementna industrija Srbije, Kralja Milana 4, Beograd, [dejana.milinkovic@cis.org.rs](mailto:dejana.milinkovic@cis.org.rs)*

**mr Ljiljana Miličić, dipl.hem.**

*Institut za ispitivanje materijala, Bulevar vojvode Mišića 43, Beograd, [ljiljana.milicic@institutims.rs](mailto:ljiljana.milicic@institutims.rs)*

**Radojica Milićević, dipl.ing.**

*Institut za ispitivanje materijala, Bulevar vojvode Mišića 43, Beograd, [radojica.milicevic@institutims.rs](mailto:radojica.milicevic@institutims.rs)*

**Rezime:** U radu je dat kratki pregled zahteva kvaliteta za sastojke i sastav mineralnih mešavina vezanih cementom (SRPS EN 14227-1) i hidrauličnim vezivom za puteve (SRPS EN 14227-5), koje se koriste prilikom izgradnje i održavanja puteva, aerodroma i drugih saobraćajnih površina, kao i pregled njihove klasifikacije na osnovu laboratorijskih mehaničkih performansi. Takođe, radom je obuhvaćena specifikacija za tla koja su stabilizovana cementom i hidrauličnim vezivom za puteve (SRPS EN 14227-15), sa akcentom na zahteve kvaliteta sveže mešavine i klasifikaciju mešavina na osnovu laboratorijskih mehaničkih performansi.

**Ključne reči:** stabilizacija tla, mešavine vezane hidrauličkim vezivom, cement, hidraulično vezivo za puteve.

## 1. UVOD

Projektovanje, izvođenje, održavanje i način upotrebe građevinskih objekata moraju biti takvi da se ispune bitni zahtevi propisani evropskom Uredbom o građevinskim proizvodima (CPR). Kako bi materijali koji se ugrađuju zadovoljili bitne zahteve za objekte, potrebno je sprovesti proveru njihove usaglašenosti sa zahtevima propisanim odgovarajućim evropskim standardima. Pregled zahteva kvaliteta za sastojke i sastav mineralnih mešavina vezanih cementom (SRPS EN 14227-1) i hidrauličnim vezivom za puteve (SRPS EN 14227-5), koje se koriste prilikom izgradnje i održavanja puteva, aerodroma i drugih saobraćajnih površina, klasifikacija na osnovu laboratorijskih mehaničkih performansi, kao i specifikacija tla koja su stabilizovana cementom i hidrauličnim vezivom za puteve (SRPS EN 14227-15) prikazani su u ovom radu.

## 2. MINERALNE MEŠAVINE VEZANE CEMENTOM (SRPS EN 14227-1) I HIDRAULIČNIM VEZIVOM ZA PUTEVE (SRPS EN 14227-5)

Mineralne mešavine vezane cementom ili hidrauličnim vezivom za puteve mogu biti pripremljene upotrebom sastojaka navedenih u tabeli 1. Izbor sastojaka vrši na osnovu nameravanog mesta upotrebe mešavine i raspoložive metode ugradnje.

### 2.1. Mešavine vezane hidrauličnim vezivom - zahtevi kvaliteta za sastojake

U tabeli 1 prikazani su sastojci koji se mogu upotrebiti za pripremu mineralnih mešavina vezanih cementom i hidrauličnim vezivom za puteve, kao i referentne oznake standarda kojima su utvrđeni zahtevi kvaliteta, koji moraju biti zadovoljeni, tamo gde je primenljivo.

**Tabela 1. Sastojci**

SRPS EN 14227	Agregat	Cement	HRB <sup>1)</sup>	GBS <sup>1)</sup>	FA <sup>1)</sup>	Hemijski dodaci	Voda
Deo 1: Mineralne mešavine vezane cementom (CBM)	SRPS EN 13242	SRPS EN 197-1	SRPS EN 13282 -1; 13282-2	EAD <sup>1)</sup> / nac.reg.	-	SRPS EN 934-2	SRPS EN 1008
Deo 5: Mineralne mešavine vezane HRB <sup>1)</sup> (HRBBM)	SRPS EN 13242	-	SRPS EN 13282 -1; 13282-2	-	-	nac.reg.	SRPS EN 1008

<sup>1)</sup> Lista skraćenica dodatno je prikazana i u tabeli 14

HRB (*Hydraulic road binder*) – Hidraulično vezivo za puteve

GBS (*Granulated blast furnace slag*) – Granulisana zgura visoke peći

FA (*Fly ash*)- Leteći pepeo

HRBBM (*Hydraulic road binder bound mixture*) - Mineralne mešavine vezane hidrauličnim vezivom za puteve

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: [dejana.milinkovic@cis.org.rs](mailto:dejana.milinkovic@cis.org.rs)

### 2.1.1. Dodatni zahtevi za sastojke mineralnih mešavina vezanih cementom

Kada su projektom zahtevani rezultati čvrstoće nakon više od 28 dana, potrebno je uspostaviti odgovarajuće korelacije, za pritisnu čvrstoću i modul elastičnosti, koje treba da čine sastavni deo postupka projektovanja standardne mešavine (*job standard mix design procedure*). Za potrebe prve aproksimacije za cement tipa CEM I, N klase, važe odnosi:

$$R_c^{28}/R_c^{360} = 0,60; \quad R_t^{28}/R_t^{360} = 0,60 \quad E^{28}/E^{360} = 0,65$$

u kojima eksponenti označavaju starost ispitivanja u danima, nakoni čuvanju ispitnih tela na 20<sup>0</sup> C.

Agregat usaglašen sa zahtevima standarda SRPS EN 13242 može biti drobljen ili nedrobljen ili njihova kombinacija. Takođe mora pripadati jednom od sledećih tipova:

- a) prirodni ili veštački dobijen;
- b) recikliran agregat
- c) kombinacija a) i b). Izabrani odnos mora biti naveden u dokumentaciji i održavan u granicama odstupanja od ± 5 % u odnosu na deklarisanu vrednost.

Granulometrijski sastav agregata svake pojedinačne mešavine mora biti odabran tako da se nalazi u okviru propisanog graničnog pojasa prikazanog u standardu SRPS EN 14227-1, slika 1.

Agregat ne sme da sadrži štetne čestice u količini koja bi uticala na očvršćavanje, čvrstoću ili trajnost mešavine.

Ako se za pripremu mešavine upotrebljava granulirana zgura visoke peći (GBS), ona mora biti usaglašena sa zahtevima Evropskog dokumenta za ocenjivanje (EAD) ili zahtevima nacionalnih tehničkih specifikacija, ako postoje. U slučaju kada je za potrebe izrade mešavine zahtevana upotreba letećeg pepela, u tu svrhu može biti upotrebljen isključivo cement sa dodatkom letećeg pepela, usaglašen sa zahtevima standarda SRPS EN 197-1.

### 2.1.2. Dodatni zahtevi za sastojke mineralnih mešavina vezanih hidrauličnim vezivom za puteve

Svojstva i odgovarajuće kategorije agregata moraju da budu specificirane u zavisnosti od mesta/pozicije u kolovoznoj konstrukciji gde se HRBBM namerava ugraditi i saobraćaja koji će se odvijati.

Silicijumski leteći pepeo usaglašen sa EN 14227-4 može da se koristi kao mineralni dodatak agregata.

Agregati moraju da budu zapreminski stabilni. Kada to nije slučaj, upotreba mešavine će biti dozvoljena pod uslovom da se izveštaj o zadovoljenju performanse ili laboratorijsko vrednovanje mešavine sprovede u skladu sa odredbama koje važe na mestu upotrebe.

Voda ne sme da sadrži komponente koje negativno utiču na očvršćavanje i performanse mineralne mešavine vezane hidrauličnim vezivom za puteve.

Retarderi (usporivači) treba da budu usaglašeni sa odredbama važećim na mestu upotrebe.

## 2.2. Mineralne mešavine vezane cementom – zahtevi kvaliteta

Sistemi za klasifikaciju mineralnih mešavina vezanih cementom treba da budu utvrđeni, a zahtevi za svežu i očvrslu mineralnu mešavinu vezanu cement specificirani u smislu sadržaja cementa, sadržaja vode, čvrstoće i/ili modula elastičnosti očvrslu mešavine.

### 2.2.1. Sadržaj veziva

Sadržaj veziva u mešavini (radnoj standardnoj mešavini) utvrđuje se u postupku projektovanja i/ili na osnovu iskustva sa mešavinama proizvedenih korišćenjem predloženih sastojaka. Postupci projektovanja treba da budu usaglašeni sa nacionalnim propisima ili odredbama koje važe na mestu upotrebe.

Sadržaj veziva ne sme da bude manji od od minimalnog sadržaja veziva prikazanog u tabeli 2.

**Tabela 2. Najmanji sadržaj veziva**

Najveća nominalna veličina zrna agregata, %	Najmanji sadržaj veziva, %
>8,0 do 31,5	3
2,0 do 8,0	4
<2,0	5

Postupkom projektovanja potrebno je odrediti sadržaj veziva i demonstrirati njegovu pogodnost za postizanje zahteva za mehanička svojstva kao i zahteva koji se odnose na zahtevanu zapreminsku masu. Kada je tokom postupka proizvodnje moguće demonstrirati da su zahtevi utvrđeni standardom EN 14227-1 dosledni i sa nižim sadržajem veziva, nižim od propisanog u tabeli 2, zahtevan minimalni sadržaj veziva može da bude smanjen ako je to dozvoljeno nacionalnim propisima važećim na mestu upotrebe.

### 2.2.2. Sadržaj vode

Sadržaj vode (radne standardne mešavine) utvrđuje se u postupku projektovanja i/ili na osnovu iskustva sa mešavinama proizvedenih korišćenjem predloženih sastojaka.

Sadržaj vode sa kojom se postiže maksimalna sabijenost zavisi od veličine zrna agregata, sadržaja veziva, klimatskih uslova na mestu primene, udaljenosti na koju se prevozi, opreme koja se koristi za sabijanje, itd.

Za određivanje sadržaja vode mogu se koristiti standardni ispitni postupci utvrđeni EN 13286-1, EN 13286-2, EN 13286-3, EN13286-4 ili EN 13286-5 ili modifikovani Proktorov opit.

### 2.2.3. Granulometrijski sastav mešavine

Granulometrijski sastav mešavine se obračunava preko mase agregata granulometrijskog sastava koji se nalazi u okviru propisanog graničnog pojasa prikazanog u standardu SRPS EN 14227-1, slika 1., i sadržaja veziva, uključujući mineralne dodatke kao što je granulirana zgora visoke peći, ako su upotrebljeni.

Za kontrolisanje granulometrijskog sastava mešavine koristi se metoda ispitivanja utvrđena standardom EN 933-1:2012 (Ispitivanje geometrijskih svojstava agregata — Deo 1: Određivanje granulometrijskog sastava — Metoda prosejavanja)

### 2.2.4. Čvrstoća i modul elastičnosti

Mineralna mešavina vezana cementom klasifikuje se na osnovu svojstva čvrstoće radne standardne mešavine (JSM) pomoću:

- karakteristične čvrstoće pri pritisku  $R_{ck}$  ispitnih tela usaglašene sa vrednostima iz tabele 3 i uslovima utvrđenim u ovoj tački kao „Sistem I“, ili
- karakteristične zatezne čvrstoće  $R_{tk}$  ili indirektno karakteristične zatezne čvrstoće  $R_{itk}$  i modula elastičnosti ( $E$ ) ispitnih tela usaglašeni sa uslovima utvrđenim u ovoj tački kao „Sistem II“, uključujući i sliku 1.

Sistemi klasifikacije na osnovu čvrstoće pri pritisku (Sistem I) ili zatezne čvrstoće sa modulom elastičnosti su međusobno nezavisni i ne postoji nikakva jednakost između klasa čvrstoće ova dva sistema.

Mineralna mešavina vezana cementom, usaglašena sa „Sistemom I“, mora da bude klasifikovana pomoću čvrstoće pri pritisku, kao što je dato u tabeli 3 i utvrđena za posebnu radnu standardnu mešavinu ispitivanjem prema EN 13286-41 (Nevezane i hidrauličkim vezivom vezane mešavine – Deo 41: Metoda ispitivanja za određivanje čvrstoće pri pritisku mešavina vezanih hidrauličkim vezivom), nakon 28 dana.

**Tabela 3. Karakteristična čvrstoća na pritisak (Sistem I)**

kolona	1	2	3
	Pritisna čvrstoća nakon 28 dana, MPa		Klasa čvrstoće
	Karakteristična čvrstoća $R_{ck}$		
	Cilindri, $H/D^a = 2,0$	Cilindri ili kocke $H/D^a = 1,0^b$	
1	Bez zahteva		$C_0$

2	1,5	2,0	C <sub>1,5/2,0</sub>
3	3,0	4,0	C <sub>3/4</sub>
4	5,0	6,0	C <sub>5/6</sub>
5	8,0	10,0	C <sub>8/10</sub>
6	12	15	C <sub>12/15</sub>
7	16	20	C <sub>16/20</sub>
8	20	25	C <sub>20/25</sub>

a) H/D = odnos visine l dijametra uzoraka  
b) H/D = 0,80 to 1,21

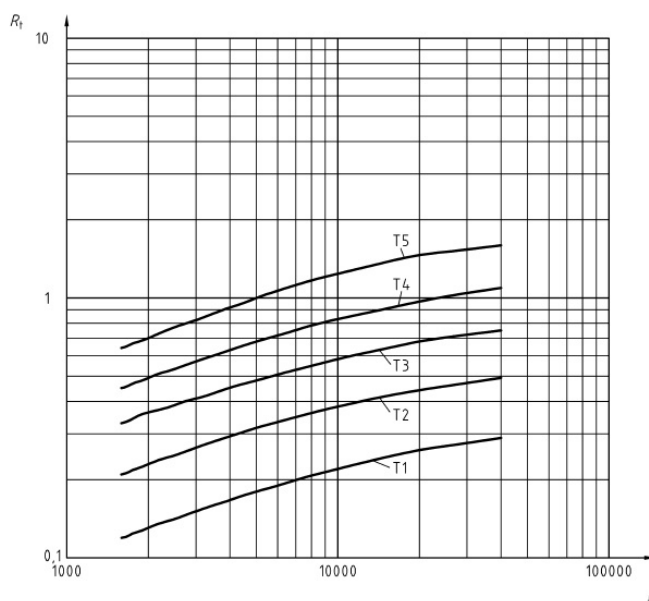
Izvor: (EN 14227-1:2004 - Mešavine vezane hidrauličkim vezivom —  
Specifikacije — Deo 1: Mineralne mešavine vezane cementom)

Mineralna mešavina vezana cementom može da bude klasifikovana i pomoću kombinacije zatezne čvrstoće  $R_t$  i modula elastičnosti  $E$  (Sistem II), koja se označava kao  $R_t, E$ .

Klasa  $R_t, E$  mora da bude izabrana sa slike 1., nakon starosti od 28 dana.

Za karakterizaciju ili ispitivanje projektne mešavine u laboratoriji,  $R_t$  i  $E$  treba da budu srednje vrednosti rezultata ispitivanja od najmanje tri ispitna tela. Ako jedna vrednost varira više od 20 % od srednje vrednosti, potrebno ju je odbaciti, a  $R_t$  i  $E$  uzeti kao srednju vrednost ostalih merenja.

$R_t$  i  $E$  se utvrđuju korišćenjem bilo direktnog ili indirektnog merenja, odnosno ispitivanja i pretvaranje rezultata u ekvivalentne vrednosti direktnog ispitivanja upotrebom faktora za konverziju koji su dati u standardu EN 14227-1, tač. 6.5.2.3.3.



Legenda:

$R_t$  - Direktna zatezna čvrstoće nakon 28 dana, u MPa

$E$  - Modul elastičnosti  $E$  nakon 28 dana, u MPa

Kategorija	$R_t$ (MPa) za kategorije krive					
	$E$ MPa	1 600	2 000	5 000	10 000	20 000
Kategorija	$R_t$ MPa					
T5	0,64	0,70	1,00	1,23	1,46	1,59
T4	0,45	0,49	0,68	0,83	0,97	1,09
T3	0,33	0,36	0,48	0,58	0,68	0,75
T2	0,21	0,23	0,32	0,38	0,44	0,49

T1	0,12	0,13	0,18	0,22	0,26	0,29
Tabela daje vrednosti $R_f$ i $E$ koje se koriste da bi se nacrtale krive koje ograničavaju kategorije T5, T4, T3, T2 i T1						

**Slika 1.** Karakterizacija mineralne mešavine vezane cementom na osnovu zatezne čvrstoće i modula elastičnosti nakon 28 dana – Sistem II  
Izvor, EN 14227-1:2004

### 2.3. Mineralne mešavine vezane hidrauličnim vezivom za puteve – zahtevi kvaliteta

#### 2.3.1. Opšti zahtevi

Standardom EN 14227-5 utvrđena su 4 tipa mineralnih mešavina vezanih hidrauličnim vezivom za puteve i za svaki tip specificirani zahtevi koji moraju biti zadovoljeni:

Mineralna mešavina vezana hidrauličnim vezivom – tip 1, mora biti mešavina 0/31,5 mm, granulometrijskog sastava određenog u skladu sa standardom EN 933-1 i usaglašenog sa vrednostima utvrđenim u standardu EN 14227-5, slika 1.

Mineralna mešavina vezana hidrauličnim vezivom – tip 2, mora biti u propisanom granulometrijskom pojasu. U zavisnosti od veličine zrna agregata razlikuju se tri podtipa ovih mešavina. Granulometrijski sastav mineralnih mešavina vezanih hidrauličnim vezivom tipa 2 prikazan je u tabeli 4.

**Tabela 4.** Granulometrijski sastav HRBBM -tip 2

kolona	1	2	3
	HRBBM	Kategorija granulometrijskog sastava	Granulometrijska kriva
1	2-0/20	G1 ili G2	EN 14227-5, slika 2
2	2-0/14	G1 ili G2	EN 14227-5, slika 3
3	2-0/10	G1 ili G2	EN 14227-5, slika 4

Izvor: (EN 14227-5:2004 - Mešavine vezane hidrauličnim vezivom – Specifikacije – Deo 5: Mineralne mešavine vezane hidrauličnim vezivom za puteve)

Takođe, najmanja sabijenost mešavine sa najvećom suvom gustinom po modifikovanom Proktorovom opitu treba da bude 0,80.

Mineralna mešavina vezana hidrauličnim vezivom – tip 3, mora biti mešavina sa sitnim agregatom sa zahtevima zaneposredni indeks nosivosti. Granulometrijski sastav mora da bude određen u skladu sa EN 933-1 i usaglašen sa vrednostima prikazanim u tabeli 5.

**Tabela 5.** Granulometrijski sastav HRBBM -tip 3

kolona	1	2	3	
	Sito, mm	12,5	6,3	0,063
1	Procenat prolaska, masenih	100	≥85	≤35

Izvor: (EN 14227-5:2004 - Mešavine vezane hidrauličnim vezivom – Specifikacije – Deo 5: Mineralne mešavine vezane hidrauličnim vezivom za puteve)

Sabijenost i neposredni indeks nosivosti određuju se prema EN 13286-47, treba da budu u skladu sa prikazanim u tabeli 6.

**Tabela 6.** Kategorije neposrednog indeksa nosivosti HRBBM - tip 3

kolona	1	2
	Zahtev za neposredni indeks nosivosti	Kategorija neposrednog indeksa nosivosti
1	≥40	IP <sub>I40</sub>
2	≥25	IP <sub>I25</sub>
3	Bez zahteva	IP <sub>INR</sub>

Izvor: (EN 14227-5:2004 - Mešavine vezane hidrauličnim vezivom – Specifikacije – Deo 5: Mineralne mešavine vezane hidrauličnim vezivom za puteve)

Mešavine sa neposrednim indeksom nosivosti manjim od 40 nisu uvek u mogućnosti da podrže neposredni saobraćaj i moraju se koristiti sa oprezom.

Mineralna mešavina vezana hidrauličnim vezivom – tip 4, mora biti mešavina granulometrijskog sastava određenog u skladu sa EN 933-1, i deklarisanog od strane snabdevača. Ostala svojstva, kao što je neposredni indeks nosivosti, takođe mogu biti deklarisana.

### 2.3.1. Sadržaj vode

Sadržaj vode treba da bude izabran tako da dozvoljava sabijanje valjanjem, na mestu primene, i pruži optimalne mehaničke performanse mešavine. Sadržaj vode određuje se Proctor testom ili drugom metodom koja je u saglasnosti sa standardom EN 13286-1 do 5.

### 2.3.2. Odnos sastojaka, granulometrijski sastav i zapreminska masa u suvom stanju

Odnos sastojaka, izražen kao procenat mase u odnosu na ukupnu masu suve mešavine, granulometrijski sastav i zapreminska masa u suvom stanju, moraju da budu deklarisani. Deklarisani odnosi treba da budu zasnovani na projektu laboratorijske mešavine i/ili na osnovu praktičnih iskustava sa mešavinama proizvedenim sa istim sastojcima i pod istim uslovima, kako bi mešavina bila usaglašena sa zahtevima standarda EN 14227-5.

Bez obzira na sadržaj veziva koji je neophodan kako bi se zadovoljili zahtevi za čvrstoću, propisani standardom EN 14227-5, sadržaj veziva, uobičajeno nebi trebao da bude manji od najmanje vrednosti utvrđene odredbama koje važe na mestu primene, kako bi se osigurala ravnomerna raspodela veziva u mešavini.

### 2.3.3. Klasifikacija na osnovu laboratorijskih mehaničkih performansi

Laboratorijske mehaničke performanse se mogu okarakterisati i klasifikovati primenom jedne od sledećih metoda:

- čvrstoće pri pritisku  $R_c$ ;
- kombinacije  $R_t$ ,  $E$  zatezne čvrstoće i modula elastičnosti  $E$ .

Klasifikacija na osnovu čvrstoće pri pritisku vrši se određivanjem čvrstoće u skladu sa EN 13286-41 na ispitnim telima pripremljenim u skladu sa standardima prEN 13286-50 do prEN 13286-53.

Za karakterizaciju ili ispitivanje projektne mešavine u laboratoriji, čvrstoća pri pritisku treba da budu srednje vrednosti rezultata ispitivanja od najmanje tri ispitna tela. Ako jedna vrednost varira više od 20 % od srednje vrednosti, potrebno ju je odbaciti, a čvrstoću pri pritisku uzeti kao srednju vrednost ostalih merenja.

Klasa čvrstoće pri pritisku mora da zadovolji zahteve propisane u tabeli 7, u kombinaciji sa izabranom metodom pripreme ispitnih tela.

**Tabela 7. Klasifikacija čvrstoće pri pritisku**

<b>kolona</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
	Minimum $R_c$ za cilindre stepana vitkosti 2 <sup>a</sup> , MPa	Minimum $R_c$ za cilindre stepana vitkosti 1 <sup>a</sup> i kocke, MPa	$R_c$ klasa
1	0,4	0,5	C <sub>0,4/0,5</sub>
2	0,8	1	C <sub>0,8/1</sub>
3	1,5	2	C <sub>1,5/2</sub>
4	3	4	C <sub>3/4</sub>
5	6	8	C <sub>6/8</sub>
6	9	12	C <sub>9/12</sub>
7	12	16	C <sub>12/16</sub>
8	15	20	C <sub>15/20</sub>
9	18	24	C <sub>18/24</sub>
10	21	28	C <sub>21/28</sub>
11	24	32	C <sub>24/32</sub>
12	27	36	C <sub>27/36</sub>

<sup>a</sup> Ako se koriste cilindri drugog stepena vitkosti od 1 ili 2, tada korelacija sa cilindrima stepena vitkosti bilo 1 ili 2 mora da bude uspostavljena pre upotrebe.

Izvor: (EN 14227-5:2004 - Mešavine vezane hidrauličkim vezivom —

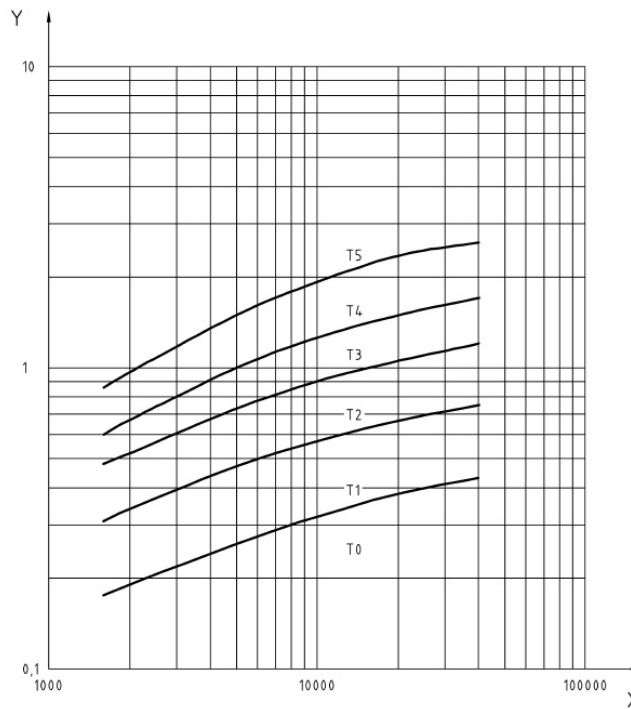


Specifikacije — Deo 5: Mineralne mešavine vezane hidrauličnim vezivom za puteve)

Klasifikacija pomoću kombinacije zatezne čvrstoće  $R_t$  i modula elastičnosti  $E$ , koja se označava kao  $R_t$ ,  $E$  vrši se uz pomoć podataka prikazanih na slici 2., nakon starosti i pod uslovima nege utvrđenim u skladu sa praksom na mestu upotrebe.

Za karakterizaciju ili ispitivanje projektne mešavine u laboratoriji,  $R_t$  i  $E$  treba da budu srednje vrednosti rezultata ispitivanja od najmanje tri ispitna tela. Ako jedna vrednost varira više od 20 % od srednje vrednosti, potrebno ju je odbaciti, a  $R_t$  i  $E$  uzeti kao srednju vrednost ostalih merenja.

$R_t$  i  $E$  se utvrđuju korišćenjem metoda direktnog ili indirektnog merenja, utvrđenih tačkama 7.3.2 do 7.3.4 standarda EN 14227-5.



Legenda:

Y - Direktna zatezna čvrstoće  $R_t$ , u MPa

X- Modul elastičnosti  $E$ , u MPa

$E$ MPa	2 000	5 000	10 000	20 000	40 000
Donja granica kategorije	$R_t$ MPa				
T5	0,97	1,50	1,93	2,35	2,60
T4	0,67	1,00	1,26	1,49	1,70
T3	0,52	0,73	0,90	1,05	1,20
T2	0,34	0,47	0,57	0,67	0,75
T1	0,19	0,26	0,32	0,38	0,43

Slika 2. Klasifikacija pomoću  $R_t$ ,  $E$   
Izvor, EN 14227-5:2004

### 3. TLA STABILIZOVANA HIDRAULIČNIM VEZIVOM (EN 14227-15)

Evropski standard EN 14227-15 utvrđuje specifikacije za tla stabilizovana hidrauličnim vezivom za izgradnju i održavanje puteva, aerodroma i drugih saobraćajnih površina i zahteve za njene sastojke, sastav i klasifikaciju na osnovu laboratorijskih performansi.

Ovaj evropski standard pokriva stabilizaciju tla koristeći jedan ili kombinaciju od: cementa, letećeg pepela, HRB, kreča i GBS.

### 3.1. Tla stabilizovana hidrauličnim vezivom - zahtevi kvaliteta za sastojake

U tabeli 7 prikazani su sastojci koji se mogu upotrebiti za stabilizaciju tla, kao i referentne oznake standarda kojima su utvrđeni zahtevi kvaliteta, koji moraju biti zadovoljeni, tamo gde je primenljivo.

**Tabela 8. Sastojci**

SRPS EN 14227	Cement	FA <sup>1)</sup>	GBS GBS <sup>1)</sup>	HRB <sup>1)</sup>	Kreč
Deo 15: Tla stabilizovana hidrauličnim vezivom	SRPS EN 197-1	SRPS EN 14227-4	SRPS EN 15167-1 SRPS EN 14227-2.	SRPS EN 13282 -1; 13282-2	SRPS EN 459-1
<sup>1)</sup> Lista skraćenica data je u tač./tabeli 14					

Ne manje od 95 % tla mora da prođe kroz izabrano sito iz tabele 9, kada se ispitivanje sprovodi u skladu sa standardom EN 933-1.

**Tabela 9. Izabrano sito**

Sito, mm	Kategorija
6,3	S <sub>6,3</sub>
20	S <sub>20</sub>
31,5	S <sub>31,5</sub>
63	S <sub>63</sub>
Deklarisana vrednost	S <sub>DV</sub>
Bez zahteva	S <sub>NR</sub>

Izvor: (EN 14227-15:2015 - Mešavine vezane hidrauličkim vezivom — Specifikacije — Deo 15: Tla stabilizovana hidrauličnim vezivom)

Voda ne sme da sadrži komponente koje negativno utiču na očvršćavanje i performanse mešavine.

### 3.2. Tla stabilizovana hidrauličnim vezivom – zahtevi kvaliteta za mešavinu

#### 3.2.1 Opšti zahtevi

Mešavina mora biti pripremljena od sastojaka definisanih u tač. 3.1 koji zadovoljavaju uslove propisane standardima navedenim u tabeli 8.

#### 3.2.2 Odnos sastojaka i zapreminska masa u suvom stanju

Odnos sastojaka uključujući i sadržaj vode, izražen kao procenat suve mase od ukupne suve mase mešavine i zapreminska masa u suvom stanju moraju biti deklarirani. Deklarirani odnosi treba da budu zasnovani na projektoj laboratorijskoj mešavini

#### 3.2.3 Sadržaj vode

Sadržaj vode mora da bude usaglašen, kada je zahtevano, sa odgovarajućom kategorijom prikazanom u tabeli 10, i izabran tako da dozvoljava sabijanje valjanjem, na mestu primene, i pruži optimalne mehaničke performanse mešavine. Sadržaj vode određuje se metodom koja je u saglasnosti sa standardima EN 13286-2, EN 13286-3, EN 13286-4i EN 13286-5.

**Tabela 10. Kategorije minimalnog sadržaja vode**

Minimalni sadržaj vode	Kategorija
0,9 optimalni sadržaj vode u mešavini određen u skladu sa odabranom metodom sabijanja iz EN 13286-2, EN 13286-3, EN	W <sub>0,9</sub>

13286-4 i EN 13286-5	
0,95 optimalni sadržaj vode u mešavini određen u skladu sa odabranom metodom sabijanja iz EN 13286-2, EN 13286-3, EN 13286-4 i EN 13286-5	$W_{0,95}$
Optimalni sadržaj vode u mešavini određen u skladu sa odabranom metodom sabijanja iz EN 13286-2, EN 13286-3, EN 13286-4 i EN 13286-5	$W_{1,0}$
1,05 optimalni sadržaj vode u mešavini određen u skladu sa odabranom metodom sabijanja iz EN 13286-2, EN 13286-3, EN 13286-4 i EN 13286-5	$W_{1,05}$
Deklarisana vrednost	$W_{DV}$

Izvor: (EN 14227-15:2015 - Mešavine vezane hidrauličkim vezivom — Specifikacije — Deo 15: Tla stabilizovana hidrauličnim vezivom)

### 3.2.4 Stepen usitnjenosti

Stepen usitnjenosti mešavine, kada je zahtevano, određen prema EN 13286-48 mora da bude u skladu sa jednom od kategorija datih u tabeli 11.

**Tabela 11. Stepen usitnjenosti**

Stepen usitnjenosti	Kategorija
$\geq 30$	$P_{30}$
$\geq 40$	$P_{40}$
$\geq 50$	$P_{50}$
$\geq 60$	$P_{60}$
Deklarisana vrednost	$P_{DV}$

Izvor: (EN 14227-15:2015 - Mešavine vezane hidrauličkim vezivom — Specifikacije — Deo 15: Tla stabilizovana hidrauličnim vezivom)

### 3.2.5 Neposredni indeks nosivosti

Neposredni indeks nosivosti mešavine pri deklarisanom sadržaju vode, kada je zahtevano, određen u skladu sa EN 13286-47, mora da bude u skladu sa jednom od kategorija datih u tabeli 12.

**Tabela 12. Neposredni indeks nosivosti**

Neposredni indeks nosivosti	Kategorija
$\geq 10$	$IP_{10}$
$\geq 15$	$IP_{15}$
$\geq 20$	$IP_{20}$
$\geq 25$	$IP_{25}$
$\geq 30$	$IP_{30}$
$\geq 40$	$IP_{40}$
$\geq 50$	$IP_{50}$
Deklarisana vrednost	$IP_{DV}$

Izvor: (EN 14227-15:2015 - Mešavine vezane hidrauličkim vezivom — Specifikacije — Deo 15: Tla stabilizovana hidrauličnim vezivom)

### 3.2.6 Pokazatelj stanja vlažnosti

Pokazatelj stanja vlažnosti, kada je zahtevano, određen prema EN 13286-46, mora da bude u skladu sa jednom od kategorija datih u tabeli 13.

**Tabela 13. Pokazatelj stanja vlažnosti**

Pokazatelj stanja vlažnosti	Kategorija
6 minimum, 10 maksimum	$MCV_{6/10}$
7 minimum, 11 maksimum	$MCV_{7/11}$
8 minimum, 12 maksimum	$MCV_{8/12}$
9 minimum, 13 maksimum	$MCV_{9/13}$
Deklarisana vrednost	$MCV_{DV}$

Izvor: (EN 14227-15:2015 - Mešavine vezane hidrauličkim vezivom — Specifikacije — Deo 15: Tla stabilizovana hidrauličnim vezivom)

### 3.2.7 Period ugradljivosti

Period ugradljivosti određen prema EN 13286-45, za određenu namenu i vremenske uslove, kada je zahtevano, mora da bude deklarisan.

### 3.2.8 Klasifikacija na osnovu laboratorijskih mehaničkih performansi

Laboratorijske mehaničke performanse mešavine se mogu okarakterisati i klasifikovati primenom jedne od navedenih metoda:

- Kalifornijski indeks nosivosti CBR
- čvrstoća pri pritisku  $R_c$ ;
- kombinacija  $R_t$ ,  $E$  zatezne čvrstoće i modula elastičnosti  $E$ .

CBR mešavine, određen u skladu sa EN 13286-47 sa opterećenjem od  $(4,5 \pm 0,2)$  kg mora da bude usaglašen sa jednom od kategorija utvrđenih u tač. 8.2 standarda EN 14227-15.

Mešavine klasifikovane prema čvrstoći pri pritisku određenoj u skladu sa EN 13286-41 na ispitnim telima pripremljenim prema EN 13286-50, EN 13286-51, EN 13286-52 i EN 13286-53, moraju da budu usaglašene sa uslovima prikazanim u tač. 8.3 standarda EN 14227-15.

Klasifikacija pomoću kombinacije zatezne čvrstoće  $R_t$  i modula elastičnosti  $E$ , koja se označava kao  $R_t$ ,  $E$  vrši se uz pomoć podataka prikazanih na slici 1. Standarda EN 14227-15, nakon starosti i pod uslovima nege utvrđenim u skladu sa praksom na mestu upotrebe.

## 4. SIMBOLI I SKRAĆENICE

Tabela14. Simboli i skraćenice

Simbol/skraćenica	Značenje na engleskom jeziku	Značenje na srpskom jeziku
CBM	Cement bound mixture	Mineralne mešavine vezane cementom
FA	Fly ash	Leteći pepeo
GBS	Granulated blast furnace slag	Granulisana zgura visoke peći
GGBS	Ground granulated blast furnace slag	Mlevena granulisana zgura visoke peći
HBM	Hydraulically bound mixture	Mešavine vezane hidrauličnim vezivom
HRB	Hydraulic road binder	Hidraulično vezivo za puteve
HRBBM	Hydraulic road binder bound mixture	Mineralne mešavine vezane hidrauličnim vezivom za puteve
$R_c$	Resistance in compression or compressive strength	Otpornost na pritisak ili čvrstoća pri pritisku
$R_{it}$	Resistance in indirect tension	Otpornost na indirektno zatezanje
$R_t$	Resistance in direct tension	Otpornost na direktno zatezanje
$E$	Modulus of Elasticity	Modul elastičnosti
IPI	Immediate bearing index	Neposredni indeks nosivosti
NR	No requirement	Bez zahteva
DV	Declared value	Deklarisana vrednost
JSM	Job standard mix	Radna standardna mešavina
EN	European Standard	Evropski standard - standard koji je donela evropska organizacija za standardizaciju
SRPS EN	Serbian Standard	Srpski standard nastao identičnim ili ekvivalentnim preuzimanjem

		evropskog standarda
EAD	European Assessment Document	Evropski dokument za ocenjivanje - dokument koji je donela evropska organizacija tela za tehničko ocenjivanje ( <i>Technical assessment Bodies-TABs</i> ) EOTA za potrebe izdavanja evropskih tehničkih ocena ( <i>European Technical Assessments-ETAs</i> )

## 5. ZAKLJUČAK

Prenošenjem evropske Uredbe o građevinskim proizvodima (Construction Products Regulation) u zakonodavstvo Republike Srbije, biće omogućena izrada novih tehničkih propisa usklađenih sa zahtevima evropskih standarda. Jedan od tih propisa trebao bi da bude i tehnički propis za kolovozne konstrukcije u kome se navode tehnički zahtevi za svojstva proizvoda, projektovanje, izgradnju i održavanje kolovoznih konstrukcija, kao i pozivanje na čitav niz standarda za građevinske proizvode koji se upotrebljavaju u izgradnji puteva, kao što su i standardi navedeni u ovom radu pri tome uzimajući u obzir nacionalne posebnosti kao što su klimatske, geografske, geomehaničke, seizmičke i višedecenijsko praktično iskustvo u ovoj oblasti.

Broj građevinskih proizvoda na bazi cementa koji se mogu koristiti u izgradnji puteva je relativno veliki. Počevši od samog cementa i betona to su dalje hidraulična veziva za puteve (HRB), veliki broj različitih mešavina vezanih hidrauličnim vezivom, tla stabilizovana hidrauličnim vezivom i mnogi drugi materijali koji se koriste za izgradnju nasipa i odvoda, zatim za izgradnju svih vrsta drenažnih, nosivih i završnih slojeva kolovoznih konstrukcija, za izgradnju parkirališta i pešačkih površina.

Cilj izrade tehničkog propisa je uspostavljanje tehničkih i drugih zahteva za građevinske proizvode koji se upotrebljavaju u izgradnji puteva, usaglašeni sa evropskim standardima čime se obezbeđuju uslovi za njihovu obaveznu primenu, što ima za posledicu bezbednu, sigurnu, efikasnu i visokokvalitetnu putogradnju.

## Literatura

- [1] European committee for standardization, CEN, 2004. EN 14227-1: *Hydraulically bound mixtures - Specifications - Part 1: Cement.*
- [2] European committee for standardization, CEN, 2004. EN 14227-5: *Hydraulically bound mixtures - Specifications - Part 5: Hydraulic road binder bound mixtures.*
- [3] European committee for standardization, CEN, 2015. EN 14227-15: *Hydraulically bound mixtures - Specifications - Part 15: Hydraulically stabilized soils.*
- [4] European committee for standardization, CEN, 2002. EN 13242: *Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction.*
- [5] Palković, B., Kamenić, N., Peček, N., Besedeš, D., - Evropske norme u cestogradnji. (on-line) available at: [https://bib.irb.hr/datoteka/353752.szgfs03homenkamenicMy\\_DocumentsClanci026\\_Palkovic\\_Kamenic\\_1.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/353752.szgfs03homenkamenicMy_DocumentsClanci026_Palkovic_Kamenic_1.pdf) (30.03.2016)
- [6] Britpave, (2005). Cement and other hydraulically bound mixtures. (on-line) available at: <http://www.britpave.org.uk/uploads/documents/originals/BP13%20-%20Cement%20and%20other%20hydraulically%20bound%20mixtures.pdf>

# TEHNOLOGIJA IZGRADNJE USEKA, ZASEKA I GREŠKE KOD GRAĐENJA U SLOŽENIM GEOLOŠKO-GEOTEHNIČKIM USLOVIMA

Vladeta Vujanić

<sup>1</sup> *Magistar geotehničkih nauka, redovni član inženjerske Akademije Srbije*, [e-mail:v.vujanic944@gmail.com](mailto:v.vujanic944@gmail.com)

Simo Tošović

<sup>2</sup> *Dipl.inž.geol, Institut za ispitivanje materijala Srbije a.d.IMS*, [e-mail:simo.tosovic@gmail.com](mailto:simo.tosovic@gmail.com)

**Rezime:** Pri iskopu materijala izi useka potrebno je voditi računa o geološko – geotehničkim uslovima građe terena koja vrlo često uslovljava način iskopa, vrstu zaštite pri izvođenju istog kao i optimalnu upotrebu mašina za iskop i transport materijala. U radu će se razmotriti svi aspekti koji utiču na ovu problematiku, zatim će se prikazati najoptimalnije metode otvaranje useka (tehnologija gradnje), uslovi iskopa u sitnozrnim i krupnozrnim (vezanim, poluvezanim i nevezanim) materijalima, te ukazati na najčešće pogreške koje se dešavaju pri radu.

**Gljučne reči:** usek, zasek, tehnologija izgradnje

## TECHNOLOGY OF CONSTRUCTION OF CUT, DAP AND BUILDING MISTAKES IN COMPLEX GEOLOGICAL – GEOTECHNICAL CONDITIONS

**Abstract:** When excavation material from the cut it is necessary to take care of geological - geotechnical conditions of terrain structure which often causes excavation method, type of protection as well, as the optimal use of machinery for excavation and transportation of materials. In this paper we considered all aspects that affect this issue, also it will show the most optimal method of opening cut (building technology), excavation conditions in fine-grained and coarse grained materials (cohesive, semi-cohesive and decoupled), and to point out the most common mistakes that occur in the work.

*Key words:* Cut, dap, building technology

### 1. UVOD

Osetljivost kod izgradnje useka i zaseka, najvećim delom zavisi od geološke građe terena, (litološke prirode i sklopa terena, čvrstoće i žilavosti stenskih masa), zatim morfoloških svojstava padine, ispucalosti i površinske raspadnutosti, kao i ovođenosti stenskih masa. Složenost procesa je u tome, što se radovi obavljaju u tri sukcesivne faze: **otkopavanje, utovar i prevoz otkopanog materijala.**

### 2. TEHNOLOGIJA IZGRADNJE USEKA I ZASEKA

Razlikuju se dve faze, **to jest slučaja izgradnje useka:**

- Ne očekuju se nikakvi veći radovi u smislu zaštite iskopa; potpornih i obložnih zidova, drenaža i tome slično,

- Očekuju se radovi u smislu zaštite iskopa: potporni – obložni zidovi, drenaža i dr.

Prema vrsti građenja odabiraju se najpogodnije mašine, transportna sredstva ili se podređuje izradi zida ili drenaže i napredovanju iskopa.

Način na koji se usek izvodi zavisi od: geološke građe, mogućnosti primene mehanizacije za iskop i transport, dubine i dužine useka, kubature (obima) iskopanog materijala, transportne daljine, potrebe za probojom useka i roka izgradnje useka.

U cilju ekonomičnosti iskopa treba voditi računa, da se stvori front rada mašina za iskop i transport. Isto tako je važno da se obezbedi odvodnjavanje iskopa u uzdužnom i poprečnom pravcu i omogućiti što brža prohodnost useka, da bi se mogli nastaviti drugi radovi. Posebno treba voditi računa o transportu koji treba usmeriti po mogućem padu.

Način izgradnje useka (prema vrsti mehanizacije i sistemu rada), **može se grupisati:**

- iskop useka u podužnim slojevima (horizontalnim i blago nagnutim slojevima)
- iskop materijala u punom profilu sa čela,

- iskop materijala uzdužnim podsecanjem,
- iskop materijala potkopom.

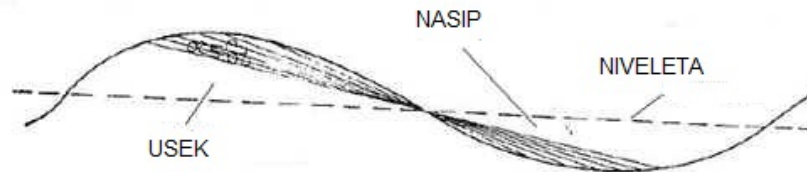
## 2.1. ISKOP MATERIJALA U UZDUŽNIM SLOJEVIMA

Iskop materijala u uzdužnim slojevima (horizontalnim i blago nagnutim), najčešće se koristi kod izgradnje saobraćajnica, a može se obavljati u svakom zemljanom materijalu. Rad počinje na površini useka i skoro po celoj njegovoj površini (slika 1).

Iskop u zemljanim materijalima može se izvoditi dozerima, a utovar utovarivačima u transportna sredstva. Za manje transportne daljine (do 1,5 – 2,0 km), najekonomičniji je rad skreperima, koji sve obavljaju sami: iskop, utovar, transport, razastiranje u nasipu, delimično zbijanje svojim širokim pneumaticima. **Dobre strane ovog načina rada su:**

- Korišćenje skrepera u punom kapacitetu,
- Stvara se vrlo širok front rada, kako u plitkim tako i dubokim usecima,
- Može se upotrebiti mnogo mašina za iskop i mnogo transportnih sredstava.

Ovaj način iskopa ne može se koristiti kod kamenih useka, a na većim transportnim daljinama ne mogu se upotrebiti skreperi, jer su neekonomični.



Slika 1. Cut excavation and embankment construction

## 2.2. ISKOP USEKA U PUNOM PROFILU SA ČELA

Iskop useka u punom profilu sa čela, obavlja se u punom profilu po celoj širini i dubini useka u visini nivelete planuma u slojevima upravnim na osu saobraćajnice. Ovaj način iskopa je pogodan za kratke i duboke useke (dubine 5-6 m), kada je nagib slojeva prema osi useka i kada je teren sa strmim nagibom ili je ispresecan čestim uvalama, tako da se po njemu ne može kretati mehanizacija. (Slika 2).

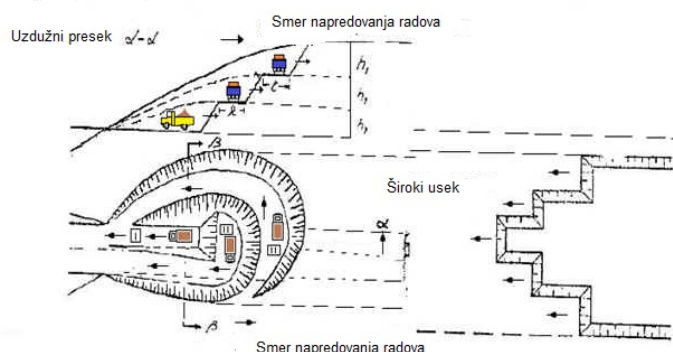


Figure 2. Schematic presentation of cut excavation from forehead in terraces

S obzirom na mali radni front iskop je relativno spor i skup. Prostor za manevrisanje i transport skučen. Ako se želi ubrzati rad iskop se vrši sa obe strane useka, a odvoz materijala u nasipe ili deponije se vrši

odgovarajućim sredstvima. Ako je dubina useka velika, a naročito ako se iskop vrši u steni, poželjno je da se pri izgradnji useka, postupkom iskopa sa čela, primene iskopi u terasama, čime se broj otkopanih mesta povećava, i ugrađivanje materijala u nasip (Slika.3.).

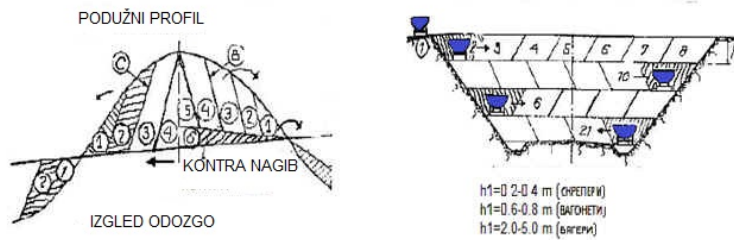


Figure 3. Schematic presentation of cut excavation : a) from forehead with the construction of embankments in layers, R  
b) in longitudinal conditions with one or more attacked places

Visina etaže (berme) zavisi od vrste materijala:

- u zemljanim materijalima 3-5 m,
- u stenovitim materijalima 4 m i više,

Širina terasnih bermi određuje se prema gabaritu vozila, a prevoz materijala povećava sa visinom berme. Za svaku bermu mora se obezbediti posebna saobraćajnica, i prilazna rampa. Nagibi kosina treba da su što oštriji, zavisno od materijala u useku, vodeći računa da se pri otkopu ne potkopa gornji deo terena i na taj način dovodi u pitanje sigurnost prevoza i utovara, slika 4-6.

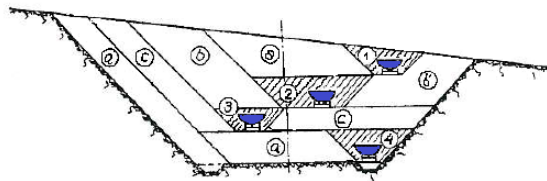


Figure 4. Excavation of deep cuts with longitudinally inclined layers

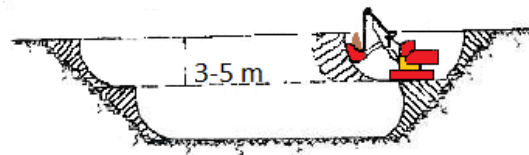


Figure 5. The depth of the dredge excavation and layout of slopes in the excavation

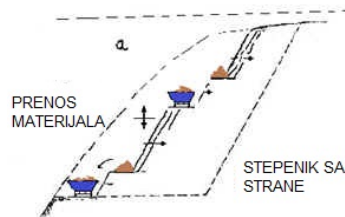


Figure 6. Excavation of side cuts, with cross or longitudinal transport of dredged material



### 2.3. IZGRADNJA USEKA PODUŽNIM PROSEKOM

Izgradnja useka podužnim presekom, obavlja se u **vrlo čvrstom ili stenovitom materijalu**, naročito ako je nagib slojeva prema osi useka. U takvom slučaju se, na nižoj strani useka kopa prosek **do nivelete planuma**, a zatim se prosek proširuje i otkop obavlja u trasama sa gornje strane, po kojima se obavlja saobraćaj motornih vozila za prevoz (Slika 7a).

Ako je usek u **zemljanom materijalu**, prosek se ne otkopava do nivelete planuma već postepeno, prema šemi prikazanoj na slici (Slika 7b).

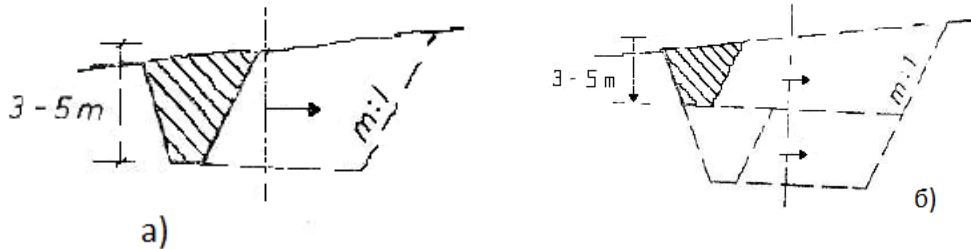


Figure 7. Cut construction with longitudinal cutting

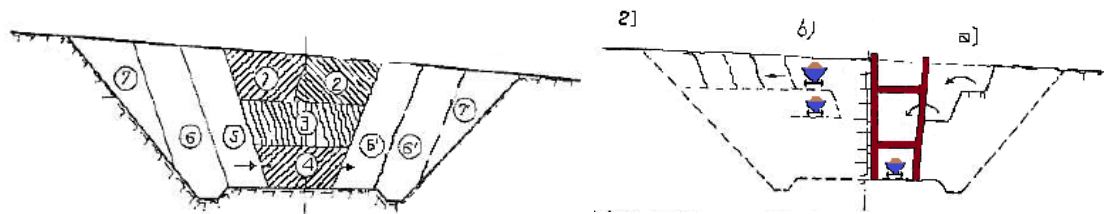


Figure 8. Cut excavation in the earthen material with the help of making trenches (in several phases, and b)

Ako je materijal trošan i nestabilan, tako da se kosine ne drže, prostor u donjemdelu useka mora biti podgrađen, uz korišćenje oplata za sprečavanje obrušavanja materijala. (Slika 8. ).

#### Dobre strane ove metode su:

- može se otvoriti dovoljno radnih mesta nakon probijanja preseka,
- uspostavlja se veza sa suprotnom stranom, bez izrade posebnih pristupnih puteva, koji se kasnije napuštaju,
- na raskvašenom zemljanom materijalu, prosek deluje kao drenaža.

#### Nedostaci ove metode su:

- izrada useka je spora i skupa,
- u slabom materijalu natopljenom vodom, ova metoda se teško može primeniti, a materijal iz useka se zbog svog kvaliteta, obično ne koristi za izradu nasipa.

Ova metoda se primenjuje u kamenitim usecima veće dužine u ne suviše strmom terenu. Skuplji i relativno spori rad na izradi uzdužnog preseka kompezira se kasnije prema metodi sa čela, stvaranjem većeg broja radnih mesta, te se time može adekvatno pridoneti skraćenju krajnjeg roka izrade useka.

### 2.4. IZGRADNJA USEKA PRIMENOM POTKOPA

Izgradnja useka primenom potkopa, koristi se za duboke i dugačke useke (u mekim i srednje čvrstim materijalima za dubinu iznad 8 m, a u stenskim materijalima za dubinu iznad 10 m). Potkopi se najčešće koriste za izgradnju tunelskih preduseka ili se želi skratiti vreme izgradnje useka velike kubature, odnosno ako je iskop u vrlo glinovitom i vlažnom materijalu.

Kao što je pokazano na Slici 9 i 10, svom dužinom useka na nivou nivelete planuma – izgradi se najpre horizontalni potkop (štolna), čije su dimenzije prilagođene gabaritu oruđa za izvoz materijala (širine 2,5 –

3,0 m i visine 2 – 2,5 m , ako se postavi stalni kolosek). Potkop služi za izvoz otkopanog materijala i radi se sa obe strane useka, a u njegovom dnu ispod koloseka iskopa se kanal za odvod vode iz useka. Po završenoj izgradnji potkopa ili istovremeno sa njegovim građenjem , kopaju se od površine terena useka do potkopa, po osi useka, vertikalna ili kosa okna. Okna su kvadratnog ili kružnog preseka 1,5- 2 m<sup>2</sup> (dimenzija 1,2 x 1,2 do 1,4 x 1,4 m ), a na dnu su levkasta proširenja i služe za spuštanje iskopanog materijala do vagoneta ili vozila za odvoz u potkopu. Iskop potkopa u steni obavlja se jednom od metoda za iskop u čvrstom materijalu, miniranjem. Okna se postavljaju na rastojanju 10 – 15 m (slika 9 i 10).

**Dobre osobine izgradnje useka primenom potkopa su:** lak utovar i jeftin odvoz stalnim kolosekom ili dobrom stazom, dobro odvodnjavanje, veliki broj napadnih tačaka i određene pogodnosti ako se, radovi izvode u blizini postojećih objekata i saobraćajnica, **a nedostaci su:** skupe izrade potkopa i vertikalnih okana uz podgrađivanje građom i oštećenje transportnih vozila, zbog materijala koji pri utovaru pada kroz okna sa velike visine.

### 3. USLOVI IZGRADNJE USEKA U ZEMLJANIM MATERIJALIMA

Izgradnja useka u zemljanom materijalu zavisi od više uslova, kao što su: dužina i visina useka , kvalitet zemljanog materijala, potreba za hitnim probijanjem useka radi osiguranja unutrašnjeg transporta, transportna dužina otkopanog materijala, rok izvršenja i dr.

Posebnu pažnju treba obratiti na odvodnjavanje, kako u podužnom tako i u poprečnom smislu. Ako se odmah ne pristupi **izgradnji posteljice i kolovozne konstrukcije**, iskop useka se ne sme vršiti do nivelete posteljice (u zemljanim materijalima ), nego na visini od 30 cm od projektovane kote. Ovo iz razloga što bi saobraćaj na gradilištu narušio posteljicu, samim tim, i odvodnjavanje bi bilo poremećeno, a to bi zahtevalo zamenu posteljice. Osim toga, naknadno iskopavanje sloja od 30 cm ne predstavlja neko posebno povećanje troškova, kao što bi to bilo u kamenitom materijalu. Iskop na projektovanu visinu obavlja se neposredno pred početak izrade gornjeg stroja. Iskop u kamenu vrši se odmah na projektovanu kotu posteljice.

Posle iskopa, dno useka uređuje se grejderima. Ako su kosine useka nagiba 1:2 ili blaže, one se mogu uraditi primenom dozera. Na bagerima sa teleskopskom rukom uz montiranje dodatnog noža, mogu se kosine obraditi 100 % od projektovanih , bez dodatne pomoćne radne snage.

### 4. USLOVI IZGRADNJE USEKA U KAMENITIM MATERIJALIMA

Zahvaljujući savremenoj mehanizaciji iskop u materijalu IV kategorije ili slabije V , može se izvoditi teškim dozerima koji imaju rijače. Više kategorije od VI ili V do VII, moraju se miniranjem razbiti u sitne komade i onda transportovati na mesto **predviđeno za izjednačavanje masa**. Izbor i odluka kojim ćemo sredstvom obavljati iskop, utovar

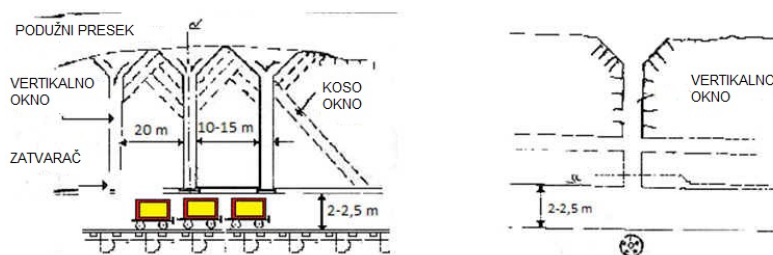


Figure 9. Excavation of the cut with the help of making drift

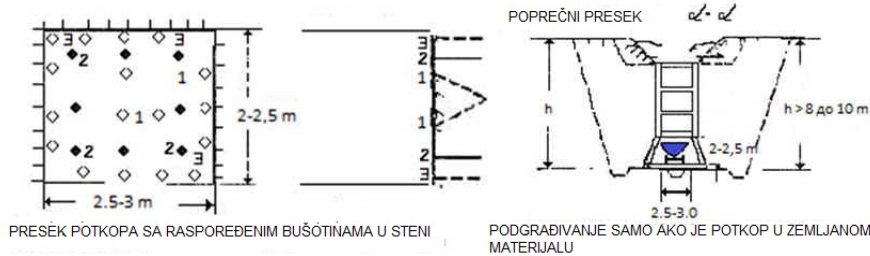


Figure 10. The intersection of the drift and the vertical shaft in the rock

Za duboke useke, najčešće se koriste dubinske bušilice na pneumatski pogon. Često je bušilica montirana na guseničaru, koji takođe, može biti pokretan komprimiranim vazduhom. Ovakvi guseničari mogu biti vrlo pokretni i mogu savladati i veće terenske nagibe vukući za sobom priključen kompresor. Miniranje se podešava, tako da se dobijaju maksimalna zrna 30 x 30 x 30 cm. Pri većim i višim usecima i radu sa čela primenjuju se baterije bušilica montirane na pokretnim pištoljima, postavljene u više nivoa kod stepenastog napredovanja radova.

## 5. NAJČEŠĆE GREŠKE PRI GRAĐENJU

Pogreške u radu useka zavise od vrste materijala (kamena ili zemljano tlo).

### 5.1. NAJČEŠĆE GREŠKE KOD IZGRADNJE USEKA U KAMENITIM MATERIJALIMA

Pri miniranju uz kosinu useka mine nemaju pretpaljenje od nekoliko milisekundi, a osim toga, nemaju ni manje punjenje ni gušći poredak. Posledica ovoga je, **da se javljaju rastrešene kosine, trajno osipanje kamenja i čišćenje.**

Pri izradi useka se ne vodi dovoljno računa, da se u useku slaba mesta odmah plombiraju, izradi obložni zid, cementnim malterom zatvore eventualne kaverne, tako da usek ostane trajno čvrst. Ako se to ne uradi, voda ispira zemlju iz kaverni i stabilno kamenje tokom izrade useka. Kamenje usled ispiranja postaje slobodno i odronjava se. Na osnovu iznetog, nameće se potreba za sprovođenjem određenih mera kao što sledi.

U materijalima koji su u prisustvu vazduha i atmosfrilija, **skloni brzom raspadanju** (laporci i škriljci) potrebno je, odmah **nakon iskopa kosine zatvoriti obložnim zidovima.**

U usecima sa nagibom površine terena, ukoliko se nagibi kosina rade u kontinuitetu sa istim nagibom, **može doći do odrona u raspadini stenske mase.** Stoga je potrebno, da se nagibi kosina rade u **čvrstoj stenskoj masi strmiji**, a u raspadini blaži. (Slika 11.).

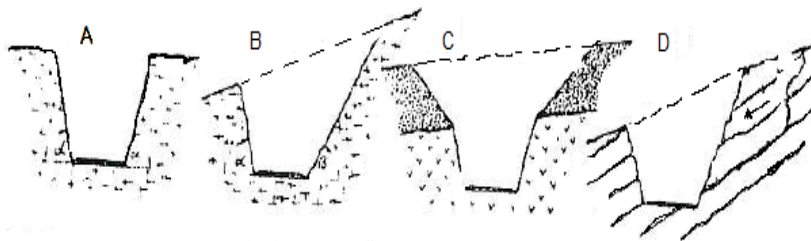


Figure 11. Gradients of slopes in the cuts

Isto se odnosi i na diskontinuitete druge vrste i tektonske prsline. Na slici 12 prikazano je nekoliko slučajeva nagiba kosina u usecima kod čvrstih stenskih masa.

### 5.2. NAJČEŠĆE GREŠKE KOD IZGRADNJE USEKA U ZEMLJANIM MATERIJALIMA

Najčešće greške kod izgradnje useka u zemljanim materijalima su:

- Nepoštovanje osnovnih pravila uzdužnog i poprečnog odvodnjavanja, **imaju za posledicu:** raskvašavanje posteljice, raskvašavanje koje dovodi do narušavanja stabilnosti kosina i do klizanja kosina useka.

- Često se u želji da se što brže probije usek, pri izradi preseka rade nagibi kosina znatno strmiji nego što ih zemljani materijali mogu trajno "podnositi". Katkotrajni prekid zbog kiše, dovodi do raskvašavanja podloge ,a posledice su školjkasta otkidanja. Ovako formirane kosine su znatno blaže od projektovanih, **pa se pojavljuje višak mase koji treba transportovati.**
- Raskvašavanje zemljanog materijala u posteljici, je takvo da se ne može zbijati do propisane zbijenosti, **što uslovljava poboljšanje tla krečom ili cementom** ili da se tlo zameni.
- Iskop useka ili zaseka do projektom predviđene nivelete. Saobraćaj u tom slučaju na gradilištu može dovesti do narušavanja posteljice naročito u kišnom periodu. To može dovesti do **zamene materijala ili stabilizacije tla krečom ili cementom.**
- Projektanti često ne prekidaju duge kosine useka bermom i odvodnim kanalom. Posledice su da se na kosini stvaraju erozioni kanalići, koji najpre mogu oštetiti kosinu, **a zatim ugroziti ceo usek.**

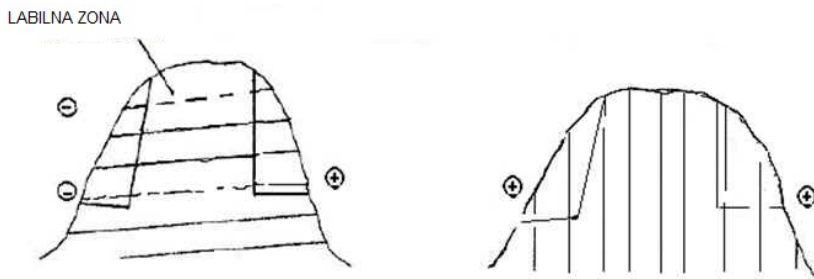


Figure 12. Impact of layers gradients in solid rock masses to the method of cutting construction

## 6. UMEMO ZAKLJUČKA

Uspešan i racionalan iskop useka i zaseka, sa trajno stabilnim nagibima kosina , moguće je izvesti u složenim geološko – geotehničkim uslovima samo onda kada se ispoštuju sva pravila i postupci u izboru tehnologije iskopa, onako ili slično kako je navedeno u prikazu ovog rada.

### Literatura

- [1] Stručna i tehnička dokumentacija Instituta za puteve a.d. Beograd iz Beograda.
- [2] Projektna i kontrolna dokumentacija (urađena i izvršena) za potrebe gradnje magistralnih i regionalnih puteva prvog i drugog reda kojom raspolažu Javni Putevi Srbije , iz Beograda.
- [3] Stručna i tehnička dokumentacija Instituta za ispitivanje materijala Srbije (IMS) iz Beograda.

# Infra BIM based Real-time Quality Control of Infrastructure Construction Projects

T. Kivimäki<sup>1</sup> and R. Heikkilä<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Infrakit Oy, Kutomotie 16, 00380 Helsinki, Finland, [teemu.kivimaki@infrakit.com](mailto:teemu.kivimaki@infrakit.com)

<sup>2</sup>University of Oulu, Construction Technology Research Center, Pentti Kaiteran katu 1, 90014 Oulu, Finland, [rauno.heikkila@oulu.fi](mailto:rauno.heikkila@oulu.fi)



**Abstract:** *The paper introduces a new method for infrastructure construction project quality control, which enables real-time monitoring of project progress and quality. In the proposed method, 3D design surfaces are produced and stored on a central collaboration cloud system. All measurement devices used on the site are integrated to the collaboration cloud via internet connection. Typically, geometric measurements can be done by using total stations, GNSS rovers or machine control systems. All measurements are immediately transferred over the internet to the cloud and automatically compared to designs to find height differences based on required tolerances. The measurements are available for viewing and approval on a map display, using regular web-browser on PC or tablets. Pilot projects have shown that new method significantly improve project quality reporting speed and provide transparency and situation awareness to all actors of the project, resulting in predictability and profitability.*

**Keywords:** *Infrastructure; BIM; Cloud Collaboration; Real-time; Quality Control*

## 1 Introduction

### 1.1 Background

Traditional infrastructure construction project has been estimated to have up to 57% waste in labour costs due to construction errors, lack of up-to-date information, suboptimal planning and information flow.

For example, the traditional the method for quality control reporting in construction projects is measuring the built surfaces via total station or GNSS rover and then using surveying CAD software to produce cross section images, which show difference between measured points and 3D design surfaces. The cross section

images are then printed on paper and stored in folders. Because the large amount of data involved, there can be thousands of pages of documents, which makes finding relevant information time consuming. In addition, this method of reporting requires a lot of manual labour compiling the measurements from different sources, using CAD software to compare them with designs and produce the report pages. Due to this reports are often created weeks or even months after the construction work has been completed. The delay in quality reporting causes errors and prevents effective communication and project planning follow up inside the construction company. It also hinders communication and cooperation between the construction company and project owner.

Generally, while using traditional 2D drawings based construction process model, quality control (QC) has been determined to a process of inspecting and confirming the finished installation or work to be meet the design specifications enumerated in the contract documents. The purpose of QC program is to eliminate all possible defects. However, in practice this objective is typically never achieved. Nonetheless the program management should strive for the “zero defects” goal. In order for a QC program to be effective, there are many critical working tasks set to be accomplished, for example the drawings and associated notes have to be reviewed and understood, only approved shop drawings from the design team will be utilized, all testing equipment must be calibrated prior to starting any work, after installation any defaults noted should be taken care of immediately, and records should be maintained concerning the installation procedures and any problems encountered. [1]

Real-time or dynamic information management and quality control has recently been studied in several recent research project. In these studies, dynamic management or control was determined as flexible, fast and efficient reaction to the control of different working tasks on site. Also that can be information modelling (Infrastructure BIM) based, internet browser-based, independent of different terminals, and utilizes wireless and mobile information transfer. [2], [3], [4].

In a railway construction study in Finland [5], dynamic management of an information model-based railway construction was determined to be real-time and efficient reacting on impulses from construction site and site management that is comprehensive, communal and adaptable and utilizes information models. The efficiency of dynamic management is based on real-time information used in management actions. Gathering continuously real-time observations about the progress on the site can do this. [5]

In hopes to enable the industry combat this inefficiency, among others, the Finnish national Traffic Administration responsible for road and highway construction and operation has decided in spring 2014 to start ordering designs in a recently defined national open infrastructure BIM format called InfraModel3.

Using BIM models on-site for measurements by integrating total station and a CAD system has been explored in 2009, but the prototype system was too complicated and clumsy to use in production and lacked in data communication capabilities. [2x]

In recent years, mobile devices such as tablets and smart phones equipped with 3G internet connections have emerged as tools to handle digital information for field workers in the infrastructure construction industry. As cloud computing services have become more and more commonplace in other industries, cloud based services for managing infrastructure construction projects according to the BIM methodology have also emerged. This type of service is called a “collaboration cloud”.

## 1.2 Objectives

Objective of the research was to define and test a new method for real-time quality control reporting in infrastructure construction projects utilizing a cloud collaboration system and BIM methodology.

## 2 Method

Two separate projects were selected as pilot projects: (1) Riippa-Eskola; a railway construction project in central Finland, also selected as a pilot project by Finnish Transport Agency for model based quality control. (2) Tammitie; street renovation project in city of Espoo, also a pilot project for model based construction. On both projects the cloud collaboration system used was Infrakit.

First, project BIM designs were added to a cloud collaboration service. This means 3D surfaces of structural layers exported from design CAD software in open file formats such as DXF, LandXML or the Finnish

national standard InfraModel3.

These designs can then be viewed by anyone using a laptop or mobile device connected to the internet. Designs are also checked automatically for export errors and a visual checking is made by user.



**Figure 1.** Photo from Riippa-Eskola railway construction project.

Machine control systems, total stations and GNSS rovers are integrated to the collaboration cloud using available interfaces. These can be either a direct link from device to cloud service online interface link or if this is not available, data is transferred using job-files containing measured as-built points, retrieved from the device.

When as-built measurements are added to the collaboration cloud, the matching design surface is typically found by matching point and surface codes. If this is not available, user selects the design to match the as-built point to when uploading point file. After as-built points have been transferred to the cloud and matching design surface has been determined, they are compared to the design surface to determine difference in height coordinate. Points are displayed on map and coloured based on tolerances defined for the design surface. Black colour means point is within tolerance limits, red colour means point is out of tolerance limits. These results can be examined using a map display and cross sections. Examination can be done using a laptop or, if user is currently on the field, a mobile devices such as a tablet-computer.

The new method was tested on the Riippa-Eskola railway project. As-built measurements were made in cross sections every 20 meters using machine control systems that were directly integrated with the collaboration cloud and validated every 100 meters using total station to confirm the measurements.

A second project was the Tammitie street renovation project in a major city in Finland where measurements were made mainly using machine control systems that were not directly integrated with the collaboration cloud.



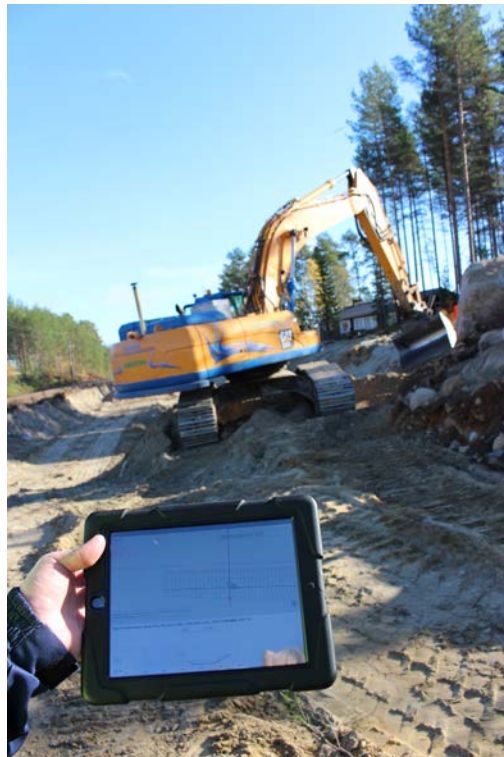
**Figure 2.** Street renovation site (Tammitie, Espoo).

### 3 Results

In the dual railway construction project Kokkola-Ylivieska, the Infrakit system was tested by general contractor Destia Oy. University of Oulu performed a work study to clear out what kind of experiences the

site personnel has met. In the project, the machine guidance was done using Novatron 3D machine control systems. After completing the soil base cutting work, the machine operator measured the as-built points from alignment lines between 20 m intervals using the specific as-built survey functions and tools of the machine control system. The measured points were further through internet connection saved to the cloud service provided by Infrakit Oy. After that site personnel of the contractor were able to see and evaluate the measured geometry of surface layers, and detect and react to the possible deviations in relation to the tolerances in question. According to the contractor, the Infrakit system was used as a part of their Infra BIM based quality control process. The Infrakit has been used for transferring the production models to the machine control systems, for checking the models by surveyors and automation operators, and as a tool for site foremen and supervisors. The Infrakit system has worked all the time pretty good and improved the productivity of production and the quality of completed structures.

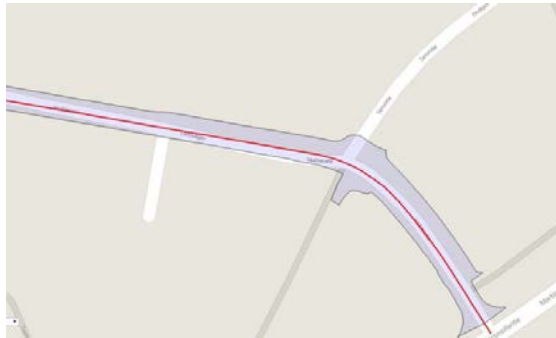
According to the design office (Mr. Niko Janhunen, Finnmap Infra Oy) of the Tammitie street renovation project, the experiences of the use of the Infrakit collaboration cloud system were mainly positive. During the project, the software developers of Infrakit Oy managed to improve the system capabilities according to the feedback provided, which was evaluated by Mr. Janhunen to have succeeded well. The Infrakit software was found to be very useful. In the project, the information transfer from office to site machines and surveying systems was mainly executed using Infrakit. Main part of the delivered production models were used on site without any later updates or downstream work. The design office also found having the as-built measurements immediately available to be a very interesting experiment. The site was the first experience for the designers where they were able to see, follow and evaluate online the direct information flow and results from the as-built structures.



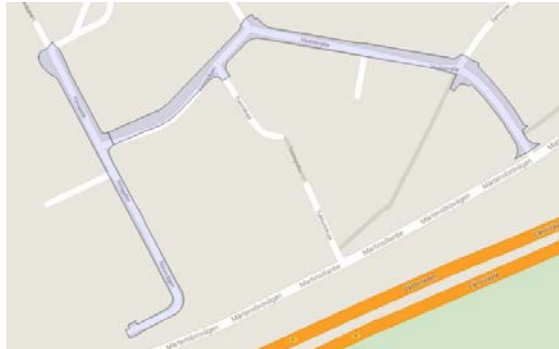
**Figure 3.** *Real-time quality control under testing in the railway construction project.*  
*Source: University of Oulu*

On Tammitie site the designers used the table version of Infrakit. The usability was evaluated to be reasonable. Due to the new construction method where no wooden marker sticks were used, the Infrakit tablet use was seen to be very significant. Some new suggestions to the system developers were provided: the folder structure could have more hierarchy, the system could also be expanded to the area of document banks and also to improve the visualization of the different information models in Google Street view in a way that would enable the designs to be viewed in the correct vertical coordinate system.

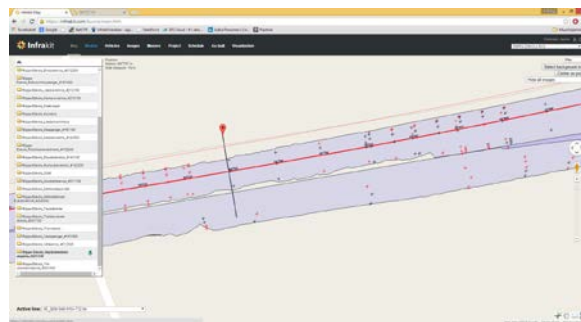




**Figure 4.** Cutting surface design added in the collaboration cloud. Also showing road centreline (red line).



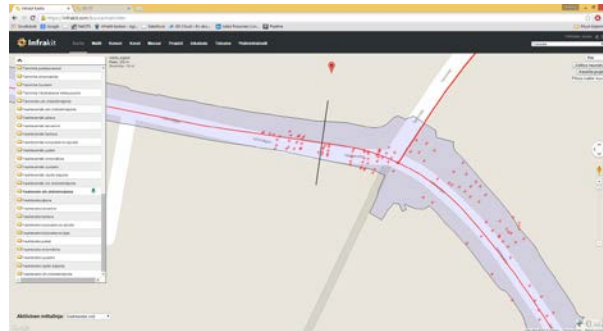
**Figure 5.** Several design surfaces on map (blue areas). Surface designs are triangle mesh files.



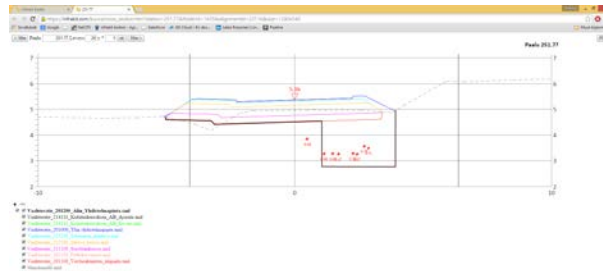
**Figure 6.** Lowest cutting surface (blue area) with measured points (black and red crosses). Cross section line in black.



**Figure 7.** Cross section from position shown on image 6. Shows different layers and as-built points (red crosshairs and crosses) compared to design layers.



**Figure 8.** Measurements of pipe ditch cut in street renovation project shown on map. Ditch was realized in somewhat different form than designed (see cross section below).



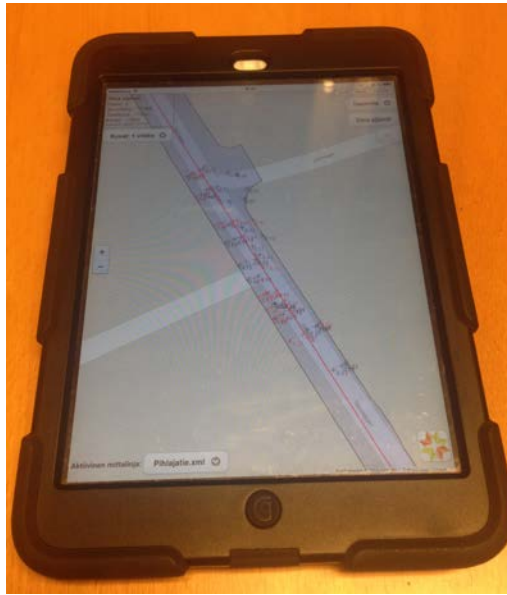
**Figure 9.** Cross section of pipe ditch cut designs (black line) and as-built points (red crosses) show a difference in design vs as-built.

According to the contractor feedback (Espoo City), the Infrakit system has enabled better overview and understanding of the site situation as well as the location of the current site operations. The real-time control of site progress has provided a lot of benefits for site foremen. Compared to the traditional site control with 2D drawings, the new method has provided much more versatile abilities to look, compare and check different designed information. Also the available function to check and look at different optional cross-sections selectable freely at any point of the designs was met to be practically useful by site work staff.

**Table 1.** Total amount of as-built points in the collaboration cloud, both projects about 50% finished.

Project	Total as-built points so far	Total project alignment meters	Points per meter
Railroad project	52 176	30 000 m	1,74
Street renovation project	3 618	1 200 m	3,02

Based on the information models and the use of 3D machine control, the amount of information has continuously increased. The Infrakit system has enabled to all of the stakeholders and site workers real-time information service and reasonable version history for the changed files. The quality control according to the new National YIV2014 standard was able to be executed using the Infrakit system.



**Fig. 10.** Street renovation project designs and as-built points visible on tablet device. Device also displays user location on map based on internal GPS receiver. Tablet devices were used on-site by site foremen and installation crews to see designs and track progress.

#### 4 Conclusions

Many clear improvements and benefits achieved in the carried experiments reported were observed in the real-time communication and transparency in the railway and road construction projects in Finland. Compared to the traditional quality control, no special delays in information transfer and utilization were observed in the new method,

In the proposed new method, 3D design surfaces were produced and stored on a central collaboration cloud system. All measurement devices used on the site were integrated to the collaboration cloud via internet connection. All the measurements made in the experimental project part were immediately transferred over the internet to the cloud and automatically compared to designs to find height differences and colour coded based on required tolerances. The measurements were online available for different viewing and approval purposes on a map display, using regular web-browser on PC or tablet devices.

The real-time or dynamic quality control for road and railway construction sites seems to open new possibilities for all of the stakeholders being executing the construction operations. The key is to have continuous abilities to real-time and efficiently gather and react without delays to the different impulses from construction site.

#### References

- [1] Lambeck, R. & Eschemuller, J. (2009) Urban Construction Project Management.
- [2] Kivimäki T. and Heikkilä R. Integrating 5D Product Modelling to On-site 3D Surveying of Bridges. In ISARC'2009, The 26th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, pages 445-450, Austin, Texas, U.S.A., 2009.
- [3] Viljamaa, E. & Peltomaa, I. & Heikkilä, R. & Hovila, J. (2012) Advanced Process Control for Infrastructure Building Processes. The 29th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 26 June – 29 June, 2012, Eindhoven, the Netherlands, Abstract p. 67, Full Paper doi:10.4017/gt.2012.11.02.229.632
- [4] Heikkilä, R. & Tiitinen, P. (2013) Dynamic Management of Road Construction Operations on Site. ISARC'2013, The 30th International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining, 11-15 August, 2013, Montreal, Canada, 7 p.
- [5] Heikkilä, E. (2013) Developing the Dynamic Control Method for an Information Model based Railway Earth Moving Work (in Finnish). Master's thesis, University of Oulu, 2014, 118 p.

- [6] Viljamaa, E. & Kilpeläinen, P. & Pentikäinen, V. & Sarjanoja, E.-M. & Heikkilä, R. (2009) On-line Process Management of Pavement Laying Using Wireless Communication Technologies. ISARC'2009, The 26th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 24-27 June 2009, Austin, Texas, U.S.A., pp. 348-356.
- [7] Kilpeläinen, P. & Heikkilä, R. & Parkkila, T. (2007) Automation and Wireless Communication Technologies in Road Rehabilitation. ISARC'2007, The 24th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 19-21 September 2007, Kochi, Kerala, India, pp. 35-40.
- [8] Current Analysis Inc. Cloud Collaboration Drives Business Value Across Industries. On-line: [http://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/unified-communications/7800-series-media-convergence-servers/current\\_analysis.pdf](http://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/unified-communications/7800-series-media-convergence-servers/current_analysis.pdf), Accessed: 27/01/2015.
- [9] Leavitt N.  
<http://www.hh.se/download/18.70cf2e49129168da0158000123279/1341267677241/8+Is+Cloud+Computing+Ready.pdf>

## TVRDO-LIVENI ASFALT ZA MOSTOVE I TRAMVAJSKE PRUGE

Imre Pap, Milorad Smiljanić, Uroš Tatić, Nenad Gligorijević<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut za puteve ad Beograd, Bulevar Peka Dapčevića bb (Kumodraška 257), papp@highway.rs

**Rezime:** U radu je prikazana primena mešavina tvrdo-livenog asfalta za izradu zaštitnog asfaltnog sloja na mostu „Gazela“ i za izradu kolovoznog zastora na tramvajskoj pruzi u ulici Vojvode Stepe u Beogradu. Za sastavljanje mešavine, pored karbonatnog filera i silikatnog agregata, korišćeni su polimer-modifikovani bitumen PmB 10/40-75, prirodni asfalt "Trinidad TE" i aditiv za sniženje temperature kod proizvodnje i ugrađivanja asfalta "Rediset WMX".

Dodatkom polimer-modifikovanog bitumena i prirodnog asfalta poboljšavaju se karakteristike asfaltna mešavine: otpornost na kolotrage, zamor i termičke pukotine. Upotrebom aditiva „Rediset WMX“ snižavaju se procesne temperature tvrdo-livenog asfalta za 20-30°C uz bolju ugradljivost, pri čemu se zadržavaju iste karakteristike asfaltna mešavine. S obzirom da se mešavine tvrdo-livenog asfalta proizvode i ugrađuju na temperaturama od 220° do 250°C na ovaj način je postignuto smanjenje emisije štetnog CO<sub>2</sub>, kao i ušteda energije.

**Ključne reči:** Tvrdo-liveni asfalt, Most, Tramvajska pruga, „Trinidad“, „Rediset WMX“.

## MASTIC ASPHALT FOR BRIDGES AND TRAMWAYS TRACK

**Abstract:** This paper presents the application of a mastic asphalt as a protective asphalt layer on the bridge "Gazela" and for construction of the wearing course on the tram line at the Bulevar vojvode Stepe street in Belgrade. For preparation of the mixture, in addition to carbonate fillers and siliceous aggregates, the polymer-modified bitumen PmB 10/40-75 is used, as well as natural asphalt "Trinidad TE" and "Rediset WMX" as an additive for lowering the temperatures in the production and construction of mastic asphalt.

The addition of polymer-modified bitumen and natural asphalt improves the characteristics of asphalt mixtures: resistance to rutting, fatigue and thermal cracking. Using the additive "Rediset WMX" reduces the processing temperatures of mastic asphalt from 20° to 30°C with better workability, while maintaining the same characteristics of asphalt mixture. Considering that a mixture of mastic asphalt is produced and installed at temperatures of 220°C to 250°C in this way, the reduction of harmful CO<sub>2</sub> emissions and energy savings, are achieved.

**Keywords:** Mastic asphalt, Bridge, Tram track, "Trinidad", "Rediset WMX".

### 1. UVOD

U radu su prikazani uslovi kvaliteta tvrdo-livenog asfalta i sastavnih materijala koji se koriste za izradu kolovoznih zastora na putevima svih vrsta opterećenja, gradskim saobraćajnicama, tramvajskim prugama, kao i na mostovima za izradu veznog i habajućeg sloja. Dat je pregled tehničkih uslova iz evropskih, nemačkih i švajcarskih standarda, u državama gde se i najviše koristi tvrdo-liveni asfalt [1]. Takođe, prikazane su mešavine tvrdo-livenog asfalta koje su kod nas, u Beogradu, ugrađene na mostu „Gazela“ kao i na tramvajskoj pruzi u ulici Vojvode Stepe.

### 2. OPŠTI DEO

Liveni asfalt predstavlja mešavinu sastavljenu od tvrde vrste putnog bitumena (BIT 25 ili BIT15) ili polimer-bitumena, aditiva, punila, peska i agregata, koji se proizvodi višesatim kuvanjem na temperaturi od 220°C do 250°C i ugrađuje postupkom livenja i bez valjanja. Mineralna mešavina kod tvrdo-livenog asfalta sadrži od 40 do 55% kamene sitneži (preko 2mm), punila od 20 do 30%, a ostatak čini pesak. Ove mešavine se projektuju bez šupljina, koje imaju malu viskoznost na visokim temperaturama tako da se mogu izlupati i ugrađivati čak i ručno, ali kada se ohlade dobija se čvrst, stabilan asfaltni sloj. S obzirom da se kod mešavina livenog asfalta napon i deformacija prenose preko bitumenskog maltera (mešavina bitumena i punila) na kameni skelet, kvalitet livenog asfalta zavisi od kvaliteta i količine bitumenskog maltera, odnosno veziva, punila i aditiva [2].

Primena livenog asfalta je u porastu poslednjih nekoliko godina u Evropi, najviše u Nemačkoj i Švajcarskoj [3], usled upotrebe polimer-bitumena, kao i dodataka za poboljšanje kvaliteta, te se liveni asfalt najčešće

<sup>1</sup> Imre Pap: [papp@highway.rs](mailto:papp@highway.rs), Milorad Smiljanić : [milorad.smiljanic@highway.rs](mailto:milorad.smiljanic@highway.rs), Uroš Tatić: [u.tatic@highway.rs](mailto:u.tatic@highway.rs), Nenad Gligorijević: [n.gligorijevic@highway.rs](mailto:n.gligorijevic@highway.rs)

primenjuje za izradu zaštitnog sloja preko hidroizolacije, kao i završnih delova kolovoza na putevima i mostovima, na tramvajskim prugama, na trotoarima, parkiralistima i u tunelima. Kod nas, u Srbiji liveni asfalt se najčešće koristi za izradu kolovoza na trotoarima, parkiralistima, kao i za krpjenje udarnih rupa.

Kvalitet tvrdo-livenog asfalta moguće je poboljšati primenom polimer-bitumena i prirodnog asfalta, koji povećavaju otpornost na trajne deformacije, termičke pukotine i zamor, a upotrebom ekoloških aditiva snižavaju se temperature kod proizvodnje i ugrađivanja asfalta za 20°C do 30°C i smanjuju isparenja od štetnih gasova što doprinosi zaštiti zdravlja radnika i životne sredine i uštedi energije.

Za projektovanje i kontrolu kvaliteta mešavina livenog asfalta kod nas, u Srbiji, koriste se sledeće tehničke specifikacije i standardi:

- SRPS U.E4.020:1970 Tehnički uslovi za izradu livenih asfalta (tabela 1)
- SRPS EN 12970:2013 Liveni asfalt za hidroizolaciju (tabela 2)
- SRPS EN 13108-6:2011 Evropske norme za liveni asfalt
- TL/ZTV Asphalt StB-07:2013 Nemačke norme za liveni asfalt (tabela 3)
- SN 640 441 i SN 640 442 Švajcarske norme za liveni asfalt

**Tabela 1. Srpske specifikacije za liveni asfalt SRPS U.E4.020:1970**

<b>1) Granulometrijski sastav mineralnih mešavina za liveni asfalt (0/5, 0/8 i 0/11mm)</b>			
Vrsta mešavine	Sadržaj punila (<0.09 mm),	Kamena sitnež > 2 mm (kriterijum)	Kamena sitnež (preporuka)
Tvrdo-liveni asfalt	min. 20 %	40 - 55 %	45-50% > 2 mm (50-55% < 2 mm)
Liveni asfalt	min. 20 %	30 - 40 %	35-40 % > 2 mm (60-65% < 2 mm)
<b>2) Sadržaj bitumena u mešavinama</b>			
Tvrdo-liveni asfalt	6.5 - 9.0 % (težiti donjoj granici)	6.5 - 8.5 % (mašinsko ugrađivanje)	7.0 - 9.0 % (ručno ugrađivanje)
Liveni asfalt	6.5 - 9.0% (težiti gornjoj granici)	6.5 - 8.5 % (mašinsko ugrađivanje)	7.0 - 9.0 % (ručno ugrađivanje)
<b>3) Fizičko-mehanička svojstva livenog asfalta</b>			
Svojstvo	Tvrdo-liveni asfalt	Liveni asfalt	Metode ispitivanja
Šupljine u mineralnoj mešavini, % (v/v)	max. 18	max. 22	-
Upijanje vode, % (m/m)	max. 1.0	max. 1.0	SRPS U.M8.094
Penetracija (mm) (52.5kg/5cm <sup>2</sup> /40°C/30 min.)			SRPS U.M8.104
• prolazni saobraćaj	1 – 6	1 - 6	
• stajališta	1 – 4	1 - 4	
• biciklističke staze i trotoari	max. 15	max. 15	

**Tabela 2. Preporuke za sastav mešavina livenog asfalta prema SRPS EN 12970 (učestće, %m/m)**

Tip mešavine	0/4		0/6		0/8		0/10		0/11		0/14		0/16
Filer		24-35		20-30		15-30		15-28		15-28		15-28	15-28
Prirodni asfalt	25-60	ili 25-60											
Sitnozrna krečnjačka mešavina	60-75		50-75		50-75		45-70		45-70		40-55		
Sitnozrni mineralni materijal		25-50		20-40		20-40		20-45		20-45		12-37	12-37
Krupnozrni mineralni materijal (šljunak)	25-40	20-45	25-50	30-50	25-50	30-50	30-55	30-55	30-55	30-55	45-60	45-60	45-60
Sadržaj bitumena	7,0-13,5	7,0-12,0	6,8-12,0	6,5-11,0	6,5-11,0	6,2-8,2	6,0-8,0	7,0-13,5	7,0-12,0	6,8-12,0	6,5-11,0	6,5-11,0	6,2-8,2
Tip bitumena	20/30; 30/45; 35/50; 40/60; 50/70 ili PmB												

**Tabela 3. Nemačke specifikacije za liveni asfalt (TL/ZTV Asphalt StB-07)**

<b>1) Granični pojas granulometrijskog sastava mineralnih mešavina</b>			
Veličina kvadratnog otvora sita (mm)	Vrsta mešavina		
	0/5 mm	0/8 mm	0/11 mm
	prolaz kroz sito, % (m/m)		
0.09	24 - 34	22 - 32	20 - 30
0.25	-	-	-
0.71	-	-	-
2.00	55 - 65	50 - 60	45 - 55
5.00	90 - 100	< 85	-
8.00		90 - 100	< 85
11.2			90 - 100
16.0			
<b>2) Učešće kamene sitneži i kamenog brašna, % (m/m)</b>			
čestice zrna < 0.09 mm	24 - 34	22 - 32	20 - 30
> 2.0 mm	35 - 45	40 - 50	45 - 55
> 5.0 mm	≤ 10	≥ 15	-
> 8.0 mm	-	≤ 10	≥ 15
> 11.2 mm	-	-	≤ 10
<b>3) Sadržaj i vrsta bitumena u mešavini livenog asfalta, % (m/m)</b>			
Vrsta bitumena / polimer-bitumena	B 30/45		B 20/30 PmB 10/40-65 PmB 25/55-55
Sadržaj bitumena, % (m/m)	7 - 8.5	6.8 - 8.0	6.5 - 8.0
Tačka razmekšanja po PK, za B 30/45 posle ekstrakcije, najviše (°C)	70	70	70
Tačka razmekšanja po PK za B 20/30, posle ekstrakcije, najviše (°C)	75	75	75
<b>4) Mehaničke karakteristike uzoraka livenog asfalta</b>			
Penetracija, (mm) • 50 cm <sup>2</sup> /40°C /30 min.	1 - 5	1 - 5	1 - 5
• priraštaj nakon sledećih 30 min.	0.6	0.6	0.6
<b>5) Debljina sloja i količina livenog asfalta po m<sup>2</sup></b>			
Debljina sloja, (cm)	2.0 -3.0	2.5 - 3.5	3.5 - 4.0
Količina livenog asfalta pom <sup>2</sup> (kg/m <sup>2</sup> )	45 - 75	65 - 85	80 - 100
<b>6) Količina i vrsta kamenog materijala za ohrapavljenje</b>			
Fracija 2/5 mm, (kg/m <sup>2</sup> )	5 - 8		
2/5 i 5/8 mm (utiskivanje) (kg/m <sup>2</sup> )	15 - 18		
Pesak prirodni ili drobljeni, (kg/m <sup>2</sup> )	2 - 3		

Za izradu mešavina livenog materijala koriste se: vezivo (bitumen, polimer-bitumeni), kameno brašno, pesak, kameni agregat i dodaci. Od veziva primenjuju se tvrde vrste bitumena B 20/30 ili B 35/50 u skladu sa SRPS EN 12591 ili polimer-bitumeni PmB 10/40-60, PmB 10/40-80 ili PmB 25/55-60 prema uslovima kvaliteta iz SRPS EN 14023. Kameno brašno treba da je karbonatnog sastava, I i II klase kvaliteta prema SRPS B.B3.045. Pesak može biti prirodni, drobljeni pesak (0/1, 0/2 i 0/4 mm) ili njihova mešavina, pod uslovom da zadovolji uslove kvaliteta koje važe za asfaltne betone (SRPS U.E4.014/90), odnosno SRPS EN 13043. Kamena sitnež od 2 do 11,2 mm, u zavisnosti od saobraćajnog opterećenja, može biti karbonatnog ili silikatnog sastava pod uslovom da zadovolji uslove iz SRPS U.E4.014, odnosno SRPS EN 13043.

Za ohrapljivanje habajućeg sloja od livenog asfalta upotrebljava se kamena sitnež od silikatnih (eruptivnih) stena velike čvrstoće a malog habanja.

Kao dodaci koriste se prirodni pesak za bolju ugradljivost, prirodni asfalt i aditiv za sniženje temperature kod proizvodnje i ugrađivanja asfaltne mešavine.

Prirodni asfalt, je mešavina bitumena i mineralnog materijala. Dodavanjem prirodnog asfalta poboljšava se otpornost bitumena, odnosno livenog asfalta, prema naponskim i termičkim naprezanjima. Dodaje se u količini koja zavisi od sadržaja bitumena u prirodnom asfaltu. Količina bitumena u prirodnom asfaltu varira, u zavisnosti od nalazišta od nekoliko procenata pa i do 80%. Najpoznatiji su prirodni asfalti sa Kube, Trinidada, Venecuele, Amerike, Turske, Albanije i drugi. Kod nas se koriste prirodni asfalti "Trinidad TE" i Selenizza. Primena prirodnog asfalta je predviđena u evropskim normama EN 13108-1 i EN 13108-4, a "Selenizze" u prEN 13108-4:2013 (F).

Trinidad TE<sup>®</sup> je prirodni asfalt sive boje u obliku sitnih granula i praha (54% bitumena i 46% filera) iz prirodnog asfaltnog jezera sa Trinidada. Prirodni asfalt "Trinidad TE" se dodaje u asfaltnu mešavinu (1% do 2,2% na asfaltnu mešavinu) radi poboljšanja karakteristika same asfaltne mešavine (veća otpornost na zamor, habanje i pojavu kolotruga, kao i bolja ugradljivost).

Prirodni asfalt SELENIZZE<sup>®</sup> sa lokaliteta Vlorë u Albaniji, je u obliku praha 0/6 mm ili granula frakcije 4/12 mm i predstavlja mešavinu od 10-15% mineralnog materijala silikatnog sastava i 85-90% bitumena (penetracije na 25<sup>o</sup>C = 0 dmm i tačke razmekšanja po PK = 120<sup>o</sup>C). Dodaje se direktno u cisternu za bitumen ili u mikser na asfaltnom postrojenju u količini od 10 do 30%, u zavisnosti od primenjenog bitumena. Dodatak SELENIZZE<sup>®</sup> povećava tačku razmekšanja bitumena i smanjuje vrednost penetracije, povećava modul krutosti i otpornost na kolotrage asfaltne mešavine, u odnosu na mešavinu sa standardnim bitumenom BIT 60 (B 50/70).

Aditivi za sniženje temperature kod proizvodnje i ugradnje asfaltne mešavine omogućavaju sniženje procesnih temperatura za 20<sup>o</sup>C do 30<sup>o</sup>C, zadržavajući iste ili slične karakteristike asfaltne mešavine, što je značajno sa aspekta zaštite zdravlja radnika i životne sredine i uštedi energije. Kod nas, u Srbiji, najčešće se koristi Rediset WMX<sup>®</sup> [4].

Rediset WMX<sup>®</sup> – Akzo Nobel, Švedska je višenamenski aditiv u obliku sitnih ljuspica na bazi alkildiamina i ugljovodoničnih voskova koji se dodaje u bitumen u količini od 2% radi poboljšanja adhezije-prionljivosti bitumena za kameni agregat i poboljšanja ugradljivosti asfalta na nižim temperaturama.

Mešavina livenog asfalta se može spravljati u stacionarnim ili mobilnim kazanima (koherice, slika 1) ili u stalnim postrojenjima za proizvodnju livenog asfalta na asfaltnim bazama (slika 2). Nakon dodavanja bitumena, prirodnog asfalta, kamenog brašna, peska i kamene sitneži, tim redosledom, mešavina se kuva 4 do 6 sati od 220<sup>o</sup>C do 250<sup>o</sup>C, odnosno ako se dodaje aditiv za sniženje temperature na temperaturi od 190<sup>o</sup>C do 220<sup>o</sup>C. Transport se vrši u mobilnim kohericama (slika 2) i ugrađuje pomoću specijalnog finišera na betonsku ili čeličnu podlogu, preko hidroizolacionog ili veznog sloja (slike 3 i 4).



**Slika 1.** Pokretna mešalica za pripremu livenog asfalta (JKP "Beogradput")



**Slika 2.** Postrojenje za proizvodnju livenog asfalta i koherica za transport livenog asfalta (JKP "Beogradput")





**Slika 3.** Finišer za liveni asfalt JKP „Beogradput“



**Slika 4.** Finišer za liveni asfalt i posip od agregata JKP „Beogradput“

Preko završenog habajućeg sloja od livenog asfalta radi se ohrapavljenje sa prethodno obavijenom eruptivnom kamenom sitneži 2/4mm u količini od 4 do 6 kg/m<sup>2</sup> ili 4/8 mm u količini od 6 do 8 kg/m<sup>2</sup> i odmah valja lakim valjkom.

### 3. EKSPERIMENTALNI DEO

U okviru rekonstrukcije mosta „Gazela“ u Beogradu 2010. godine preko hidroizolacije od MMA (metilmetakrilat) ugrađen je zaštitni-vezni sloj od tvrdo-livenog asfalta 0/11mm (TLA 11) u debljini od 4cm, a ispod habajućeg sloja od SMA 11 debljine 4cm. Takođe, slična mešavina je upotrebljena i 2015. godine za izradu habajućeg sloja, debljine 5cm, na tramvajskoj pruzi u ulici Vojvode Stepe u Beogradu. U oba slučaja izvođač radova je bio JKP „Beogradput“, koji poseduje stacionarno postrojenje, mobilne koherice i finišere za izradu tvrdo-livenog asfalta.

#### 3.1 Tvrdo-liveni asfalt za habajući sloj na tramvajskoj pruzi u ulici Vojvode Stepe u Beogradu

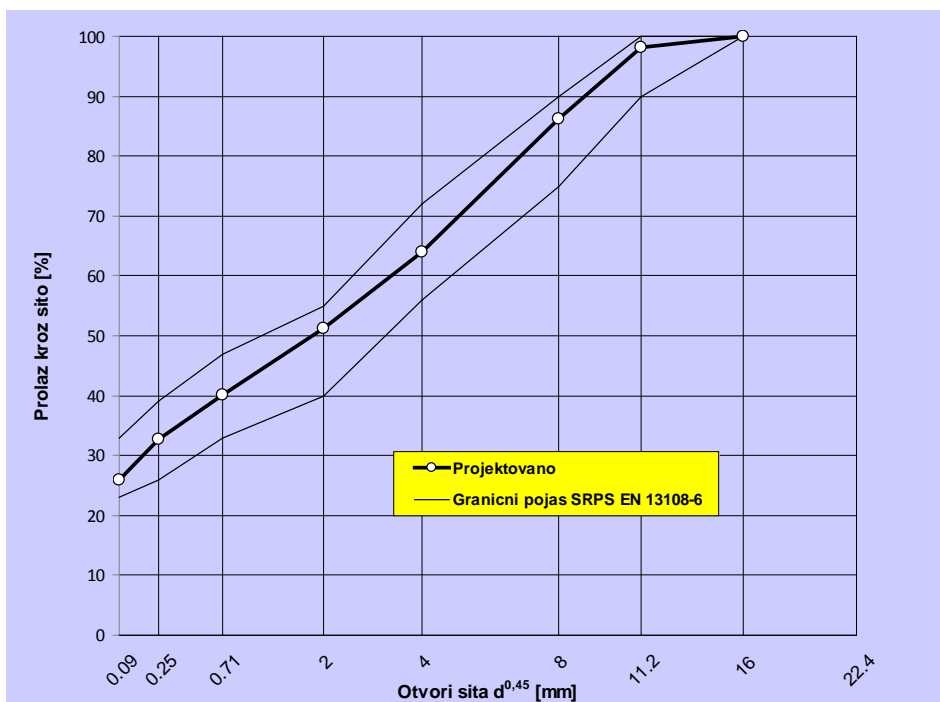
Za izradu TLA 11 upotrebljeni su sledeći materijali:

- kameno brašno „Straževica“,
- prirodni pesak „Dunavac“ 0/2 mm,
- kameni agregati „Mrčići“, frakcije 0/2, 2/4, 4/8 i 8/11mm,
- vezivo, PmB 10/40-75 + 2% „Rediset WMX<sup>®</sup>“ i
- prirodni asfalt „Trinidad TE“ (1,5% u asfaltnoj mešavini)

Granulometrijski sastav mineralne mešavine prikazan je u tabeli 5 i na dijagramu na slici 5, a fizičko-mehaničke karakteristike mešavine TLA 11 u tabeli 6.

**Tabela 5.** Granulometrijski sastav mineralne mešavine TLA 11, prolaza % (m/m)

Veličina kvadratnog otvora sita (mm)	0,09	0,25	0,71	2,0	4,0	8,0	11,2	16,0
Projektovano	25,9	32,7	40,2	51,2	63,9	86,3	98,1	100
SRPS EN 13108-6	23 - 33	26 - 39	33 - 47	45 - 60	56 - 72	75 - 90	90 - 100	100
T.U. (SRPS U.E4.020)	20 - 30	-	-	40 - 55	-	-	-	-



Slika 5. Granulometrijski sastav TLA 11 (habajući sloj)

Tabela 6. Fizičko-mehaničke karakteristike TLA 11 prema SRPS EN 13108-6

Karakteristike	Metoda ispitivanja	Rezultati ispitivanja	Kriterijumi	
			SRPS EN 13108-6	T.U. (SRPS U.E4.020)
Šupljine u asfaltnom uzorku, % (v/v)	SRPS U.E4.014/90	2,0	-	< 4
Zapreminska masa uzorka, (kg/m <sup>3</sup> )	SRPS U.M8.081/67	2448	-	-
Prividna zapreminska masa asfaltne mešavine, (kg/m <sup>3</sup> )	SRPS U.M8.082/67	2498	-	-
Dubina utiskivanja (52,5 kg/5cm <sup>2</sup> /40°C/30 min.), (mm)	SRPS U.M8.104/67	2,1	1,0 – 3,5	1 – 6
Porast statičke penetracije posle dodatnih 30 min, (mm)	EN 12970:2000	0,3	max. 0,5	-
Šupljine mineralne mešavine, % (v/v)	SRPS U.M8.093/67	17,9	-	< 18
Sadržaj polimer-bitumena, %(m/m)	-	6,5	-	-
Sadržaj bitumena u „Trinidad TE”, %(m/m)	-	0,7	-	-
Ukupan sadržaj veziva %(m/m)	-	7,2	6,5 – 8,0	6,5 – 8,5
Sadržaj kamene sitneži > 2 mm, % (m/m)	-	48,8	45 – 60	40 - 55
Sadržaj punila, % (m/m)	-	25,9	23 - 33	> 20

Izvor: (Izveštaj o ispitivanju prethodnog sastava asfaltne mešavine od tvrdo-livemog asfalta 0/11, ML-01/15, Institut za puteve ad Beograd, 2015)

Karakteristike polimer bitumena PmB 10/40-75 prikazane su u tabeli 7, a prirodnog asfalta “Trinidad TE” u tabeli 8.

**Tabela 7. Karakteristike polimer-bitumena PmB 10/40-75 prema SRPS EN 14023:2013**

Vrste ispitivanja	Metode	Rezultati ispitivanja	SRPS EN 14023:2013 PmB 10/40-75
Penetracija na 25°C (1/10 mm), (100 g /5 s)	SRPS B.H8.612:1980 SRPS EN 1426:2012	29	10 – 40
Tačka razmekšanja po PK (°C)	SRPS B.H8.613:1980 SRPS EN 1427:2012	76	≥ 75
Tačka loma po Fraass-u (°C)	SRPS B.H8.616:1981	- 14	≤ -10
Povratna elastična deformacija na 25°C, (%)	SRPS EN 13398:2012	75	≥ 60
Homogenost tokom skladištenja, Δ PK (°C)	SRPS EN 13399:2012	4	≤ 5
Interval plastičnosti (°C)	SRPS B.H8.613:1980 SRPS EN 1427:2012	90	≥ 85
Gubitak mase posle 5 sati zagrevanja na 163°S (% m/m)	SRPS B.H8.619:1980	0,1	≤ 0,5
Promena PK posle 5 sati zagrevanja 163°C (°C) • porast	SRPS B.H8.613:1980 SRPS EN 1427:2012	2,5	≤ 5
Povratna elastičnost na 25°C posle zagrevanja (%)	SRPS EN 13398:2012	68	≥ 60

Izvor: (Izveštaj o ispitivanju polimer-bitumena, PmB-02/15, Institut za puteve ad Beograd, 2015)

**Tabela 8. Karakteristike prirodnog asfalta „Trinidad TE” prema SRPS EN 13108-4:2011**

Vrste ispitivanja	Metode	Rezultati ispitivanja	Kriterijumi SRPS EN 13108-4:2011
Penetracija na 25°C (1/10 mm), (100 g /5 s)	SRPS B.H8.612:1980 SRPS EN 1426:2012	1,3	0 – 4
Tačka razmekšanja po PK (°C)	SRPS B.H8.613:1980 SRPS EN 1427:2012	98,8	93 - 99
Relativna gustina na 25°C, (g/ml)	SRPS B.H8.618:1982	1,412	1,39 – 1,42
Rastvorljivost, (%)	SRPS B.H8.617:1980*	52,6	52 - 55
Sadržaj pepela, (% m/m)	SRPS B.H8.622:1980	38,5	35 - 39

Izvor: (Izveštaj o prirodnog asfalta, PA-01/11, Institut za puteve ad Beograd, 2011)

Mešavinu tvrdo-livenog asfalta proizveo je i ugradio JKP „Beogradput“ 2015. godine (slika 7).

### 3.2 Tvrdo-liveni asfalt za zaštitni sloj na mostu „Gazela“ u Beogradu

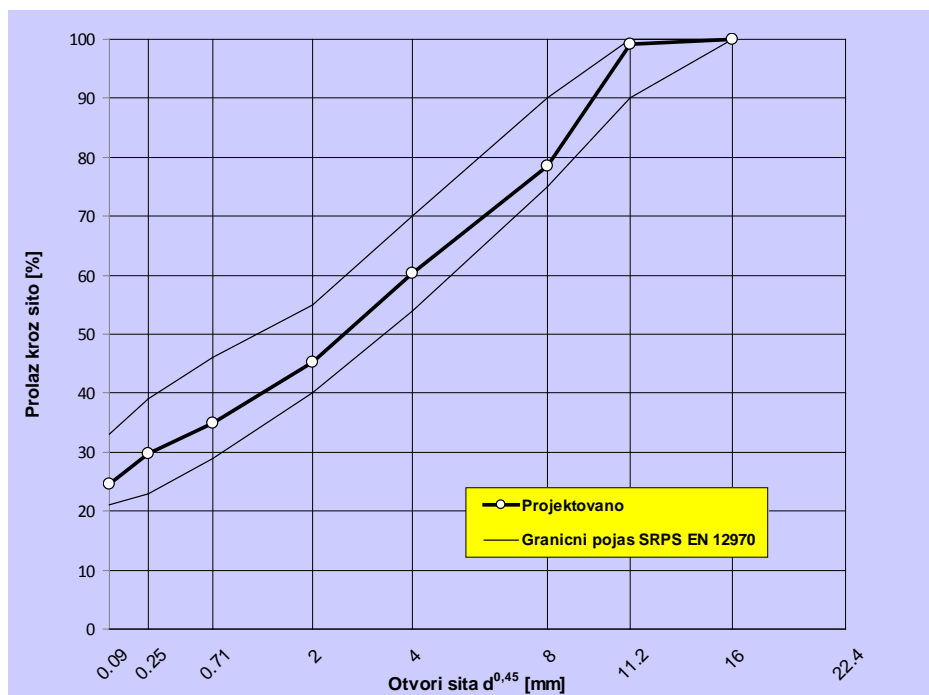
Za izradu TLA 11 upotrebljeni su sledeći materijali:

- kameno brašno "Jelen Do",
- prirodni pesak "Dunavac" 0/2 mm,
- kameni agregati "Mrčići", frakcije 0/2, 2/4, 4/8 i 8/11mm,
- vezivo, PmB 10/40-75 + 2% „Rediset WMX<sup>®</sup>" i
- prirodni asfalt "Trinidad TE" (2,0% u asfaltnoj mešavini)

Granulometrijski sastav mineralne mešavine prikazan je u tabeli 9 i na dijagramu na slici 6, a fizičko-mehaničke karakteristike mešavine TLA 11 u tabeli 10.

**Tabela 9.** Granulometrijski sastav mineralne mešavine TLA 11, prolaza % (m/m)

Veličina kvadratnog otvora sita (mm)	0,09	0,25	0,71	2,0	4,0	8,0	11,2	16,0
Projektovano	24,5	29,7	35,0	45,2	60,3	78,6	99,1	100
SRPS EN 13108-6	21 - 33	23 - 39	29 - 46	40 - 55	54 - 70	75 - 90	90 - 100	100
T.U. (SRPS U.E4.020)	20 - 30	-	-	40 - 55	-	-	-	-



**Slika 6.** Granulometrijski sastav TLA 11 (zaštitni sloj)

**Tabela 10.** Fizičko-mehaničke karakteristike TLA 11 prema SRPS EN 12970

Karakteristike	Metoda ispitivanja	Rezultati ispitivanja	Kriterijumi	
			SRPS EN 12970	T.U. (SRPS U.E4.020)
Šupljine u asfaltnom uzorku, % (v/v)	SRPS U.E4.014	0,3	-	< 4,0
Zapreminska masa uzorka, (kg/m <sup>3</sup> )	SRPS U.M8.081	2455	-	-
Prividna zapreminska masa asfaltna mešavine, (kg/m <sup>3</sup> )	SRPS U.M8.082	2462	-	-
Dubina utiskivanja (52,5 kg/5cm <sup>2</sup> /40°C/30 min.), (mm)	SRPS U.M8.104	1,0	1,0 - 2,5	1,0 - 6,0
Priraštaj statičke penetracije posle Od 30 min. do 60 min., (%)	SRPS EN 12970	14,9	≤ 25,0	-
Upijanje vode, (%)	SRPS U.M8.94	0,4	-	< 1,0
Šupljine mineralne mešavine, % (v/v)	SRPS U.M8.093	18,0	-	< 18,0
Sadržaj kamene sitneži > 2,0 mm, % (m/m)	-	54,8	30 - 55 45 - 60*	40 - 55
Sadržaj punila, % (m/m)	-	25,9	21 - 33	> 20
Sadržaj polimer-bitumena, % (m/m)	-	6,2	-	-
Sadržaj bitumena u „Trinidad TE”, % (m/m)	-	1,1	-	-
Ukupan sadržaj veziva, % (m/m)	-	7,3	6,5 - 8,0	6,5 - 8,5

\* Preporučeno učešće kamene sitneži > 2,0mm

Izvor: (Izveštaj o ispitivanju prethodnog sastava asfaltna mešavine od tvrdo-livemog asfalta 0/11, ML-02/10, Institut za puteve ad Beograd, 2010)

Proizvodnju i ugrađivanje tvrdo-livenog asfalta obavilo je JKP „Beogradput“ u periodu od 2010 do 2011. godine (slika 8).



**Slika 7.** Izrada habajućeg sloja TLA 11 u ulici Vojvode Stepe u Beogradu 2015. god.



**Slika 8.** Izrada zaštitnog sloja TLA 11 na mostu „Gazela“ u Beogradu 2010. god.

### 3. ZAKLJUČAK

Tvrdo-liveni asfalt se pokazao kao kvalitetan zaštitni sloj iznad hidroizolacije na mostu “Gazela” u Beogradu, kao i habajući sloj na tramvajskoj pruzi u ulici Vojvode Stepe u Beogradu. Za izradu tvrdo-livenog asfalta TLA 11 upotrebljeni su, po prvi put u Srbiji, polimer-bitumen PmB 10/40-75, prirodni asfalt „Trinidad“ i aditiv za sniženje temperature „Rediset WMX“, kao i eruptivni kameni agregat 0/2, 2/4, 4/8 i 8/11mm „Mrčići“, prema uslovima kvaliteta iz SRPS EN 12970 i SRPS EN 13108-4. Mešavine TLA 11 proizvedene su na stacionarnom postojenju za liveni asfalt, transportovane u mobilnim kohericama i ugrađene pomoću specijalnih finišera za liveni asfalt JKP „Beogradput-a“, koji jedini u Srbiji poseduje kompletnu mehanizaciju za proizvodnju i ugrađivanje livenog asfalta mašinskim putem, kao i postrojenje za proizvodnju polimer-bitumena.

Primenom polimer-bitumena i prirodnog asfalta kod proizvodnje tvrdo-livenog asfalta poboljšava se otpornost na trajne deformacije, termičke pukotine i zamor a time i trajnost asfaltnog sloja, a upotrebom ekoloških aditiva snižavaju se temperature kod proizvodnje i ugrađivanja asfalta za 20°C do 30°C i smanjuju isparenja od štetnih gasova što doprinosi zaštiti zdravlja radnika i životne sredine i uštedi energije.

### Literatura

- [1] Studija o mogućnosti projektovanja mešavine tvrdo-livenog asfalta prema srpskim standardima (SRPS) i evropskim normama (EN) za most „Gazela“ u Beogradu i pratećim standardima, 2011, Institut za puteve ad Beograd
- [2] Subotić, P. (2002). Priručnik za asfalt, II izdanje, Institut za puteve, Beograd
- [3] EAPA Bulletin (2015). Asphalt in Figures 2014, EAPA, decembar 2015, Brussels, Belgium available: [http://www.eapa.org/userfiles/2/Asphalt%20in%20Figures/2014/AIF\\_2014\\_v10.pdf](http://www.eapa.org/userfiles/2/Asphalt%20in%20Figures/2014/AIF_2014_v10.pdf)
- [4] Smiljanić, M., Pap, I., Tatić, U., Štrbić, M., Milinska, S., Marković, B. (2011). Potential of using the polyfunctional additive REDISET WMX for asphalt mixtures, Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference Bituminous Mixtures and Pavements, Thessaloniki - Greece, vol. II: 700-709.

# PRIMENA REJUVINATORA KOD RECIKLAŽE STRUGANOG ASFALTA PO VRUĆEM POSTUPKU

**Imre Pap<sup>1</sup>**, Institut za puteve ad Beograd, 11000 Beograd, Kumodraška 257, [papp@highway.rs](mailto:papp@highway.rs)  
**Milorad Smiljanić**, Institut za puteve ad Beograd, Kumodraška 257, [milorad.smiljanic@highway.rs](mailto:milorad.smiljanic@highway.rs)  
**Uroš Tatić**, Institut za puteve ad Beograd, 11000 Beograd, Kumodraška 257, [u.tatic@highway.rs](mailto:u.tatic@highway.rs)  
**Nenad Gligorijević**, Institut za puteve ad Beograd, Kumodraška 257, [n.gligorijevic@highway.rs](mailto:n.gligorijevic@highway.rs)

**Rezime:** Bitumen u struganom asfaltu pretrpeo je velike promene u hemijskom sastavu i reološkim svojstvima usled oksidacije, pri čemu je izgubio vezivna i kohezivna svojstva i otvrdnuo za dve ili tri vrste u odnosu na primenjeni bitumen BIT 60. U cilju regeneracije hemijskog sastava bitumena dodaju se aditivi na bazi aromatskih ulja biljnog ili organskog porekla – rejuvinatori, čija je uloga da nadomeste one hemijske strukture oksidisanog bitumena koje su tokom eksploatacije asfalta promenjene.

U radu su prikazani rezultati ispitivanja ekstrahiranog bitumena iz struganog asfalta sa tri tipa rejuvinatora koji se pojavljuju na našem tržištu. Dat je i primer reciklaže 25% struganog asfalta granulacije 0/16mm u mešavini BNS-22s(A).

**Ključne reči:** Strugani asfalt, Ekstrahirani bitumen, Rejuvinator, Reciklaža.

## APPLICATION OF REJUVENATOR FOR HOT RECYCLING OF RECLAIMED ASPHALT

**Summary:** Bitumen in reclaimed asphalt has undergone major changes in chemical composition and rheological properties due to oxidation, whereby he lost bonding and cohesive properties and hardened for two or three species in relation to the applied bitumen BIT 60. In order to regenerate the chemical composition of bitumen are added the additives based on aromatic oils of vegetable or organic origin - rejuvenators, whose role is to compensate those chemical structures of oxidized bitumen which changed during exploitation.

The paper presents the results of bitumen extracted from reclaimed asphalt with three types of rejuvenators which are present in our market. An example of recycling 25% of reclaimed asphalt with granulation 0/16mm in the mix BNS-22s(A) is also shown.

**Keywords:** Reclaimed Asphalt, Extracted Bitumen, Rejuvenator, Recycling

### 1. UVOD

Strugani asfalt predstavlja vrednu sekundarnu sirovinu koja se sastoji od 94-97% agregata i 3-6% bitumena, koji se može iskoristiti za izradu novih asfaltnih slojeva u postupcima vruće ili hladne reciklaže. Nažalost velike količine struganog asfalta kod nas ostaju na deponijama neiskorišćene, a troše se novi prirodni resursi, što sa aspekta ekonomije i ekologije nije prihvatljivo. U Evropi se od ukupne količine struganog asfalta preko 80% iskoristi za proizvodnju novih asfaltnih mešavina po vrućem postupku (Nemačka, Finska, Španija, Mađarska, Slovačka, Luksemburg), a u SAD preko 95%. U zavisnosti od zakonske regulative u zemljama Evropske Unije od 10 do 20% struganog asfalta se koristi za izradu novih habajućih slojeva, za lokalne puteve u Nemačkoj i Austriji i do 100%, i od 20 do 50% u nosećim slojevima kolovozne konstrukcije, a u Danskoj i svih 100% [1].

Najveći problem kod reciklaže struganog asfalta predstavlja bitumen, koji je tokom eksploatacije pretrpeo velike promene u hemijskom sastavu i reološkim svojstvima usled uticaja vazdušnog kiseonika i UV zračenja, i to više u habajućim nego u nosećim slojevima. Proces starenja bitumena odvija se usled reakcije bitumena sa kiseonikom, isparavanja lakih komponenata bitumena, polimerizacijom manjih molekula u konglomerate i selektivnom apsorpcijom lakih frakcija bitumena od strane poroznog kamenog agregata. Tokom starenja bitumena viskoznost i tačka razmekšanja se povećavaju, a penetracija smanjuje. Bitumen stari u dve faze, tokom proizvodnje i ugrađivanja asfaltna mešavine i to za jednu vrstu (od BIT 60 do BIT 45) i tokom eksploatacije asfaltnog kolovoza. Bitumen je pri tome otvrdnuo za još jednu ili dve vrste (od BIT 45 do BIT 25 ili BIT 15, pa čak i više), izgubio adhezivna i kohezivna svojstva, naročito pod dejstvom vode, i postao krt, osetljiv na zamor i termičke pukotine. Rezultat su pukotine i pojava udarnih rupa u kolovozu. Da bi se stari bitumen regenerisao i povratio prvobitna svojstva potrebno je dodati aditive čija je uloga da nadomeste nedostajuće hemijske komponente, koje su tokom starenja isparile i promenjene i u najvećoj meri da regeneriše visko-elastična svojstva originalnog bitumena.

---

<sup>1</sup> Imre Pap: [papp@highway.rs](mailto:papp@highway.rs)

Postoje tri grupe aditiva-veziva za reciklažu koje se koriste za regeneraciju bitumena: mekši bitumen, rejuvinator i bio-vezivo. Mekši bitumen služi samo kao vezivo za sniženje viskoznosti starog bitumena i nema uticaja na njegova visko-elastična svojstva. Kod reciklaže većeg procenta struganog asfalta (>30%) dodatkom mekšeg bitumena ne mogu se regenerisati prvobitna svojstva svežeg bitumena. Bio-veziva su aromatska ulja biljnog porekla koji rekonstituišu hemijski sastav originalnog bitumena i snižavaju procesne temperature asfaltne mešavine i čak mogu da nadomeste potrebu za novim bitumenom, što je sa aspekta ekologije i uštede energije povoljno. Rejuvinatori spadaju u grupu aromatskih fluksnih aditiva biljnog ili organskog porekla, koji nadoknađuju nedostajuće hemijske komponente i rekonstruišu visko-elastična svojstva originalnog bitumena. Njihovom primenom mogući je veći stepen reciklaže struganog asfalta.

Kod reciklaže struganog asfalta, pored ujednačenog sastava, bitna je temperatura umešavanja prilikom dodavanja novih nedostajućih frakcija kamenih agregata i svežeg bitumena, kao i kompatibilnost aditiva sa starim bitumenom. Neodgovarajuće temperature ne aktiviraju stari bitumen u struganom asfaltu i dodatak aditiva za reciklažu nema efekta na sam proces regeneracije asfaltne mešavine. Zato su prethodna ispitivanja od velikog značaja za definisanje sastava, vrste aditiva i svih parametara kod reciklaže struganog asfalta po vrućem postupku.

## 2. EKSPERIMENTALNI DEO

U ovom radu prikazani su rezultati ispitivanja reciklovanog struganog asfalta granulacije 0/16 mm uz dodatak tri tipa rejuvinatora koji se pojavljuju na našem tržištu.

Upotrebljeni su sledeći rejuvinatori:

- Aditiv "STARDOPE ACF 20" proizvođača "STARASPHALT" iz Italije, prema tehničkom listu proizvođača, predstavlja tečni aditiv na bazi silamina, koji se dodaje u količini od 0,3 do 0,6% na svakih 10% struganog asfalta. Aditiv "STARDOPE ACF 20" istovremeno služi i kao aditiv za poboljšanje prionljivosti (dop) i regenerator oksidisanog bitumena (rejuvinator). U daljem tekstu označen sa „A“.
- Aditiv "ACAR 10117" proizvođača "Green Paving Solution LLC" iz USA, predstavlja polifunkcionalni aditiv u tečnom obliku na bazi bio-amina, koji se dodaje u količini od 2.0 do 10.0% u odnosu na vrstu i količinu ostarelog bitumena. Aditiv "ACAR 10117" istovremeno služi i kao aditiv za poboljšanje prionljivosti (dop) i regenerator oksidisanog bitumena (rejuvinator). U daljem tekstu označen sa „B“.
- Aditiv "ITERLENE ACF 1000 GREEN" proizvođača "ITERCHIMICA" iz Italije, predstavlja polifunkcionalni aditiv na bazi alkimid-poliamina u tečnom obliku, koji se dodaje u količini od 5.0 do 10.0% u odnosu na količinu starog bitumena. Aditiv "ITERLENE ACF 1000 GREEN" istovremeno služi i kao aditiv za poboljšanje prionljivosti (dop), anti-oksidans i regenerator oksidisanog bitumena (rejuvinator). U daljem tekstu označen sa „C“.

### 2.1 Rezultati ispitivanja ekstrahiranog bitumena sa dodatkom rejuvinatora

Efekat dodavanja rejuvinatora ispitan je na više uzoraka ekstrahiranog bitumena iz starog asfalta, različite starosti. Posle ekstrakcije i izdvajanja rastvarača određene su karakteristike starog i regenerisanog bitumena posle dodavanja 5 i 10% rejuvinatora. Rezultati ispitivanja su prikazani u Tabelama 1,2 i 3.

**Tabela 1.** Karakteristike ekstrahiranog bitumena (starog godinu dana) sa dodatkom rejuvinatora "A"

Karakteristike bitumena	Uzorak starog bitumena sa dodatkom rejuvinatora „B“			Kriterijumi SRPS U.M3.010		
	0%	5%	10%	BIT 45	BIT 60	BIT 130
Penetracija na 25°C, (1/10 mm)	35	74	147	35 - 50	50 - 70	120 - 150
Tačka razmekšanja po PK, (°C)	59	51	45	54 – 60	49 - 55	41 - 46
Indeks penetracije, min.	0	0	0	-1,0	-1,0	-1,0

Izvor: (Izveštaj o ispitivanju prethodnog sastava asfaltne mešavine BNS-22s(A) od 25% struganog asfalta i rejuvinatora STARDOP ACF 20, Institut za puteve ad Beograd, MN-93/15, 2015)

**Tabela 2.** Karakteristike ekstrahiranog bitumena (starog godinu dana) sa dodatkom rejuvinatora "B"

Karakteristike bitumena	Uzorak starog bitumena sa dodatkom rejuvinatora „B“			Kriterijumi SRPS U.M3.010		
	0%	5%	10%	BIT 45	BIT 60	BIT 130
Penetracija na 25°C, (1/10 mm)	35	70	139	35 - 50	50 - 70	120 - 150
Tačka razmekšanja po PK, (°C)	59	49	43	54 – 60	49 - 55	41 - 46
Indeks penetracije, min.	0	- 0,6	- 1,0	-1,0	-1,0	-1,0

Izvor: (Izveštaj o ispitivanju prethodnog sastava asfaltne mešavine BNS-22s(A) od 25% struganog asfalta i rejuvinatora ACAR 10117, Institut za puteve ad Beograd, MN-94/15, 2015)

Na osnovu rezultata ispitivanja, ekstrahirano veziva je bitumen BIT 45, prema SRPS U.M3.010, što je ukazuje da bitumen nije pretrpeo značajnije oksidacione promene, jer je strugani asfalt bio relativno novijeg datuma (godinu dana). Dodatkom 5% rejuvinatora „A“ i „B“, prema vrednosti penetracije i tačke razmekšanja po PK, dobijen je putni bitumen vrste BIT 60, a sa dodatkom 10% rejuvinatora, bitumen BIT 130.

Efekat rejuvinatora ispitan je i na starijem uzorku struganog asfalta (više od deset godina). U ovom slučaju ekstrahirani bitumen je bio tvrdi, po vrednosti tačke razmekšanja, i od od BIT 15. Sa dodatkom 10% rejuvinatora „B“ dobijen je bitumen vrste BIT 45. Rezultati ispitivanja su prikazani u tabeli 3.

Sličan efekat je postignut i sa rejuvinatorom „C“, s tim što je ekstrahirani bitumen is struganog asfalta bio vrste BIT 25 i dodatkom 10% rejuvinatora „C“ dobijen je bitumen vrste BIT 60 (tabela 4).

**Tabela 3.** Karakteristike ekstrahiranog bitumena (starog više od 10 godina) sa dodatkom rejuvinatora "B"

Karakteristike bitumena	Uzorak starog bitumena sa dodatkom rejuvinatora „B“		Kriterijumi SRPS U.M3.010	
	0%	10%	BIT 15	BIT 45
Penetracija na 25°C, (1/10 mm)	15	45	10 - 20	35 - 50
Tačka razmekšanja po PK, (°C)	98,5	56	66 - 72	54 – 60
Indeks penetracije, min.	-	+ 0,4	-1,0	-1,0

Izvor: (Izveštaj o ispitivanju prethodnog sastava asfaltne mešavine BNS-22s(A) od struganog asfalta i agregata „Ostreš“ i „Kijevo“ za izradu bitumeniziranog nosećeg sloja, Institut za puteve ad Beograd, MN-114A/14, 2015)

**Tabela 4.** Karakteristike ekstrahiranog bitumena sa dodatkom rejuvinatora "C"

Karakteristike bitumena	Uzorak starog bitumena sa dodatkom rejuvinatora „C“		Kriterijumi SRPS U.M3.010	
	0%	10%	BIT 25	BIT 60
Penetracija na 25°C, (1/10 mm)	24	72	20 - 30	50 - 70
Tačka razmekšanja po PK, (°C)	67	51	59 - 66	49 – 55
Indeks penetracije, min.	+ 0,6	- 0,1	-1,0	-1,0

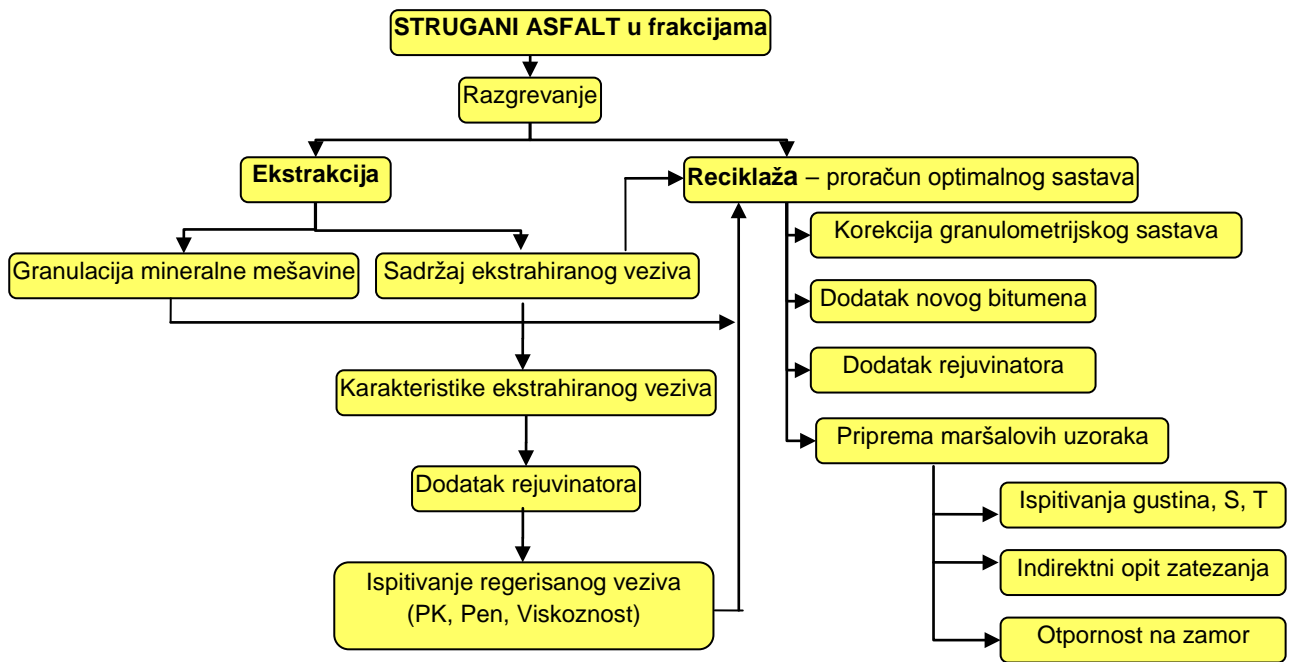
Izvor: (Izveštaj o ispitivanju rejuvinatora ITERLENE ACF 1000 za regeneraciju starog asfalta, Institut za puteve ad Beograd, KH-03/04, 2015)

## 2.2 Rezultati ispitivanja reciklovanog asfalta sa dodatkom rejuvinatora

Strugani asfalt se posle uklanjanja sa oštećenog kolovoza, bilo glodanjem ili u komadima, odlaže na deponije i dalje koristi za reciklažu po toplom ili vrućem postupku na postorjenju. U startu zbog različitog kamenog agregata i kvaliteta bitumena potrebno je posebno deponovati strugani asfalt iz nosećeg sloja a posebno iz habajućeg sloja, i zaštititi od uticaja atmosferilija. Pre upotrebe, radi lakše kontrole sastava i postizanja boljeg kvaliteta reciklovanog asfaltne mešavine, strugani asfalt je potrebno predrobiti i separisati u najmanje dve frakcije (najčešće 0/8mm, 0/16 mm i 8/16mm ili 16/32mm). Obično se za reciklažu koristi od 25 do 30% struganog asfalta i to najčešće za noseće bitumenizirane slojeve za sve vrste saobraćajnog opterećenja, a za habajuće slojeve za puteve sa srednjim opterećenjem. Ukoliko je strugani asfalt separisan na više frakcija moguća je primena i za habajuće slojeve na magistralnim i regionalnim putevima.

Pre početka reciklaže neophodna su prethodna laboratorijska ispitivanja da bi se utvrdio postojeći sastav struganog asfalta i kvalitet starog bitumena i odredio sastav korekcionne mineralne mešavine, količina i vrsta rejuvinatora, kao i eventualno potreba za novim bitumenom ili polimer-bitumenom. Šema prethodnih ispitivanja prikazana je na slici 1.





**Slika 1.** Šematski prikaz postupka prethodnih laboratorijskih ispitivanja struganog asfalta

Orijentacione karakteristike regenerisanog bitumena (penetracija i tačka razmekšanja po PK) mogu se odrediti računski pomoću obrazaca 1 i 2 [2].

$$PK_{(MIX)} = a \times PK_1 + b \times PK_2 \text{ (}^{\circ}C\text{)} \dots \dots \dots (1)$$

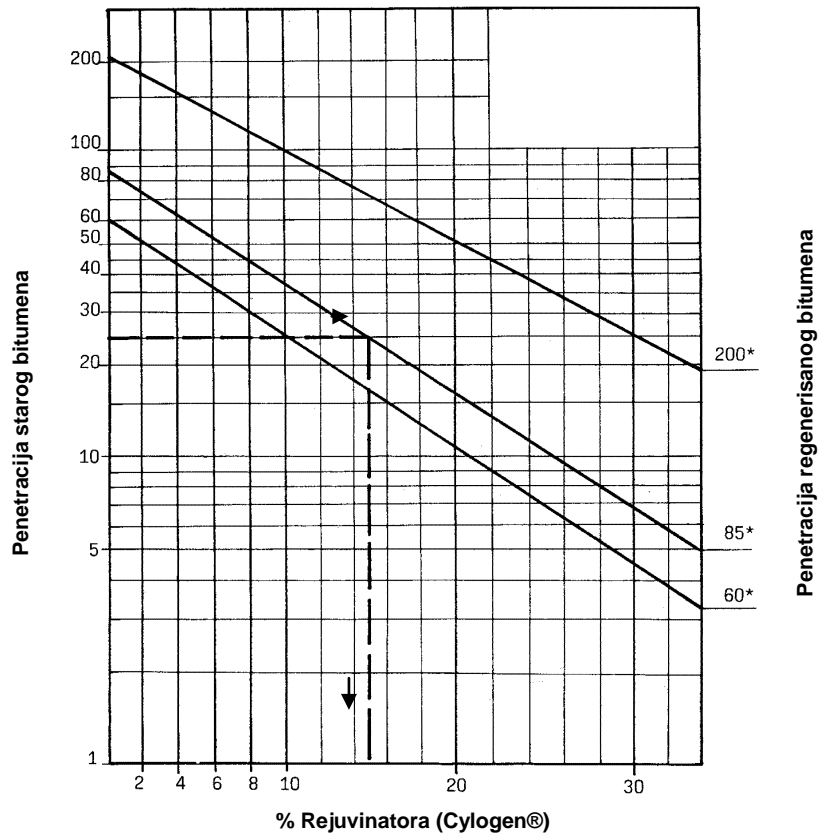
$$a \times \log PEN_{(1)} + b \times \log PEN_2 = (a + b) \log PEN_{MIX} \dots \dots \dots (2)$$

u ovim obrascima su:

- a i b - udeo starog i novog bitumena u reciklovanoj mešavini (a + b = 1)
- PK<sub>(MIX)</sub> - tačka razmekšanja bitumena u reciklovanoj mešavini, (°C)
- PK<sub>(1)</sub> - tačka razmekšanja bitumena u struganom asfaltu, (°C)
- PK<sub>(2)</sub> - tačka razmekšanja bitumena u korekcionoj mešavini, (°C)
- PEN<sub>(MIX)</sub> - penetracija bitumena u reciklovanoj mešavini na 25°C, (1/10 mm)
- PEN<sub>(1)</sub> - penetracija bitumena u struganom asfaltu na 25°C, (1/10 mm)
- PEN<sub>(2)</sub> - penetracija bitumena u korekcionoj mešavini na 25°C, (1/10 mm)

Potrebnu količinu rejuvinatora za modifikaciju starog bitumena moguće je približno odrediti i iz nomograma, koju daje proizvođač. Na slici 2. dat je primer nomograma za upotrebu jednog tipa rejuvinatora, pomoću koga se određuje količina rejuvinatora potrebna da bi se na osnovu vrednosti penetracije starog bitumena dobila zahtevana penetracija regenerisanog bitumena.

U ovom radu prikazan je primer prethodnih ispitivanja struganog asfalta koji sadrži mešavinu silikatnog i karbonatnog agregata granulacije 0/16 mm i 4,7 % starog bitumena, penetracije 15 (1/10 dmm) i tačke razmekšanja po PK 98,5°C, što je tvrđe i od bitumena BIT 15 (tabela 3). Za izradu asfaltnih mešavina po postupku vruće reciklaže tipa BNS-22s(A) upotrebljeno je 25% ovog struganog asfalta, korekciona mineralna mešavina sastavljena od novih frakcija agregata 0/4, 4/8, 8/16 i 16/22mm, novi bitumen BIT 60 i rejuvinator „B“. Ova mešavina se može koristiti za izradu bitumeniziranog nosećeg sloja na putevima sa teškim saobraćajnim opterećenjem.



**Slika 2.** Primer nomograma za određivanje odnosa mešanja jednog tipa rejuvinatora (Cyclogen®) i bitumena iz starog asfalta

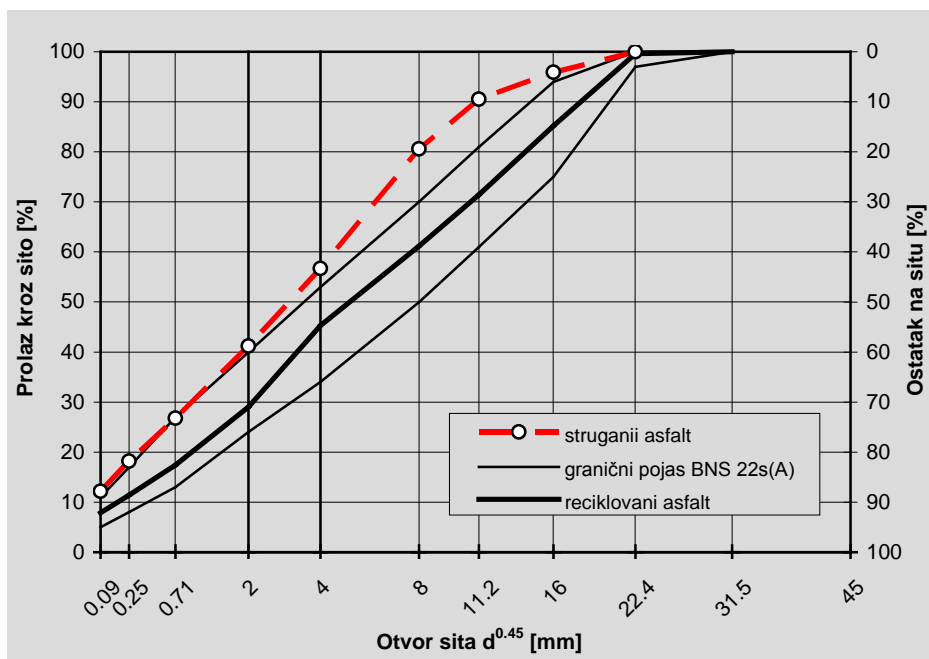
Granulometrijski sastavi struganog i reciklovanog asfalta BNS-22s(A) prikazani su u tabelama 5 i 6, a granulometrijske krive na slici 3.

**Tabela 5.** Granulometrijski sastav struganog asfalta

Kvadratni otvori sita (mm)	0,09	0,25	0,71	2,0	4,0	8,0	11,2	16,0	22,4
Prolaz % (m/m)	12,2	18,2	26,8	41,2	56,7	80,6	90,5	95,9	100

**Tabela 6.** Granulometrijski sastav reciklovanog asfalta BNS-22s(A)

Kvadratni otvori sita (mm)	0,09	0,25	0,71	2,0	4,0	8,0	11,2	16,0	22,4	31,5
Prolaz % (m/m)	7,9	11,4	17,4	29,0	45,3	61,2	71,4	85,2	99,6	100
Granični pojas % (m/m)	5-11	8-17	13-27	24-40	34-53	50-70	61-81	75-94	97-100	100



**Slika 3.** Kriva granulometrijskog sastava struganog asfalta i reciklovane asfaltne mešavine BNS-22s(A)  
 Izvor: (Izveštaj o ispitivanju prethodnog sastava asfaltne mešavine BNS-22s(A) od struganog asfalta i agregata „Ostreš“ i „Kijevo“ za izradu bitumeniziranog nosećeg sloja , Institut za puteve ad Beograd, MN-114A/14, 2015)

Optimalni sastav reciklovane asfaltne mešavine BNS-22s(A) sa rejuvinatorom „B“ određen je standardnim laboratorijskim ispitivanjima prema SRPS U.E9.021 i prikazan u tabeli 7, a fizičko-mehaničke karakteristike u tabeli 8.

**Tabela 7.** Sastav reciklovanog asfalta BNS-22s(A)

Naziv osnovnih materijala	Mineralna mešavina	Asfaltna mešavina
Strugani asfalt	25,0	24,2
0/4 mm "Ostreš"	30,0	29,0
4/8 mm "Kijevo"	10,0	9,7
8/16 mm "Kijevo"	20,0	19,3
16/22 mm "Kijevo"	15,0	14,4
Rejuvinator „B“ (10% na bitumen iz struganog asfalta) (0,47% x 0,25%)	-	0,1
Dodati bitumen BIT 60	-	3,3
<b>Ukupno:</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
Ukupno bitumena u reciklovanom asfaltu: $3,3\% + 4,7\% \times 25\% / 100\% = 4,5\%$		

**Tabela 8.** Fizičko-mehaničke karakteristike reciklovanog asfalta BNS-22s(A)

Karakteristike	Metode ispitivanja	Rezultati ispitivanja	Kriterijumi SRPS U.E9.021
Stabilnost na 60°C, (kN)	SRPS U.M8.090	12,6	<b>min. 8</b>
Tečenje na 60°C, (mm)		4,5	-
Odnos stabilnosti i tečenja na 60°C, (kN/mm)		2,8	<b>min. 2,5</b>
Šupljine u asfaltnom uzorku, % (v/v)	SRPS U.E4.014	6,0	<b>5 – 9</b>
Šupljine u mineralnoj mešavini ispunjene vezivom, % (v/v)	SRPS U.E4.014	63,6	<b>(50 – 70)</b>
Šupljine u mineralnoj. mešavini, % (v/v)	SRPS U.M8.093	16,5	-
Zapreminska masa asfaltnog uzorka, (kg/m <sup>3</sup> )	SRPS U.M8.081	2364	-
Prividna zapreminska masa asfaltna mešavine, (kg/m <sup>3</sup> )	SRPS U.M8.082	2515	-

*Izvor: (Izveštaj o ispitivanju prethodnog sastava asfaltna mešavine BNS-22s(A) od struganog asfalta i agregata „Ostreš“ i „Kijevo“ za izradu bitumeniziranog nosećeg sloja, Institut za puteve ad Beograd, MN-114A/14, 2015)*

Kao što se vidi iz recepture (tabela 7), asfaltna mešavina BNS-22s(A) sastavljena je od 25% struganog asfalta i 75% novog frakcionisanog agregata za korekciju granulometrijskog sastava, kome je dodato 3,3% novog bitumena BIT 60, što sa 1,2%(m/m) bitumena iz struganog asfalta i 10% rejuvinatora na stari bitumen, čini ukupno 4,5%(m/m) regenerisanog veziva u reciklovanoj asfaltnoj mešavini. Sa 4,5% bitumena u asfaltnoj mešavini ispunjeni su uslovi kvaliteta za teško saobraćajno opterećenje, prema SRPS U.E9.021 (tabela 8).

Ukoliko se prilikom reciklaže koristi samo BIT 60 dobija se kruta asfaltna mešavina, koja je otporna na kolotrage ali nije otporna na zamor i termičke pukotine jer je regenerisani bitumen tvrdi i od vrste BIT 15. Sa dodatkom 10% rejuvinatora na količinu starog bitumena povećava se otpornost na zamor i termičke pukotine i poboljšava ugradljivost jer je bitumen regenerisan do vrste BIT 45 (tabela 3).

Prilikom reciklaže asfaltna mešavine po vrućem postupku redosled dodavanja komponenti je sledeći:

1. Novi agregat zagrejan na 220 °C,
2. Strugani asfalt,
3. Rejuvinator, i na kraju
4. Novi bitumen.

Najbolji način doziranja rejuvinatora na asfaltnom postrojenju je preko dozatora u delu gde se odmerava bitumen.

Vreme mešanja asfaltna mešavine je 60 sekundi.

Za regenerisani bitumen (BIT 45) optimalne temperature asfaltna mešavine su:

- na izlasku iz mešalice asfaltnog postrojenja  $160 \pm 10$  °C, a maks. 175 °C
- na mestu ugrađivanja  $150 \pm 10$  °C a min. 130 °C
- temperatura zbijanja epruveta po Maršalu  $156 \pm 3$  °C sa 2x50 udaraca

### 3. ZAKLJUČAK

Strugani asfalt predstavlja vrednu sekundarnu sirovinu koja se 100% može i mora iskoristiti za izgradnju novih asfaltnih slojeva metodom reciklaže po vrućem ili hladnom postupku na licu mesta ili na asfaltnom postrojenju. Najveći problem kod svih postupka reciklaže je regenerisanje starog bitumena, koji je tokom vremena izgubio svojstva veziva i mora se modifikovati – reaktivirati, do nivoa kvaliteta originalnog bitumena. Bez te regeneracije nema smisla raditi reciklažu. Postoje više načina za regeneraciju oksidisanog bitumena ali najefikasniji su se pokazali rejuvinatori i bio-veziva. Bez rejuvinatora reciklovana asfaltna mešavina je kruta, otporna na kolotrage ali osetljiva na zamor i termičke pukotine jer je stari bitumen tvrdi i od BIT 25. Iz literature je poznato da se dodatkom rejuvinatora povećava otpornost na zamor i termičke pukotine i poboljšava ugradljivost reciklovanog asfaltna jer je bitumen regenerisan do vrste BIT 45, pa čak i do vrste BIT 60, što će se daljim ispitivanjima i laboratorijski potvrditi.

#### Literatura

- [1] EAPA Bulletin (2015). Asphalt in Figures 2014, EAPA, decembar 2015, Brussels, Belgium available: [http://www.eapa.org/userfiles/2/Asphalt%20in%20Figures/2014/AIF\\_2014\\_v10.pdf](http://www.eapa.org/userfiles/2/Asphalt%20in%20Figures/2014/AIF_2014_v10.pdf)
- [2] SRPS EN 13108:2011 Asfaltna mešavina, Specifikacije materijala, Deo 3: Meki asfalt



## PREGLED ASFALTNIH RADOVA U SRBIJI NA KORIDORIMA X I XI (E-763)

**Imre Pap<sup>1</sup>**, Institut za puteve ad Beograd, 11000 Beograd, Kumodraška 257, papp@highway.rs

**Milorad Smiljanić**, Institut za puteve ad Beograd, Kumodraška 257, milorad.smiljanic@highway.rs

**Zvonko Marković**, Srbijaautoput, 11000 Beograd, Ljube Čupe 5, office@srbijaautoput.rs

**Rezime:** U ovom članku prikazani su tekući asfaltni radovi, tehnologije i specifikacije koje se koriste kod izgradnje i rehabilitacije puteva u Republici Srbiji na koridorima X i XI (E-763). Takođe, dat je pregled asfaltnih postrojenja u Srbiji, njihova lokacija, godišnja proizvodnja asfalta kao i potrošnja bitumena i polimer-modifikovanog bitumena u periodu od 2012. do 2014. godine.

**Ključne reči:** Koridori X i XI (E-763), Putevi, Asfalt, Bitumen, Polimer-bitumen.

Deo ovog rada je prezentovan na Dunavskoj regionalnoj konferenciji na Bledu - Slovenija, 25. novembra 2015. godine [1].

## REVIEW OF ASPHALT WORKS IN SERBIA ON CORRIDORS X AND XI (E-763)

**Abstract:** This article presents the current asphalt works, technologies and specifications that are used in the construction and rehabilitation of roads in the Republic of Serbia on Corridors X and XI (E-763). It also provides an overview of asphalt plants in Serbia, their location, the annual production and consumption of bitumen and polymer/modified bitumen in the period from 2012 to 2014.

**Key words:** Corridors X and XI (E-763), Roads, Asphalt, Bitumen, Polymer-bitumen.

### 1. UVOD

Kroz Republiku Srbije prolaze dva saobraćajna koridora X i XI (E-763), koji uključuju autoput E-70 od granice sa Hrvatskom prema Beogradu, zajedno sa obilaznicom oko Beograda (Koridor X), autoput E-75 od granice sa Mađarskom prema Makedoniji (koridor Xb) i autoput E-80 od Niša do granice sa Bugarskom (koridor Xc). Ukupna dužina postojeće mreže autoputeva u Srbiji iznosi 669 km. Gradi se autoput na koridoru X, i to deonica "Niš-Dimitrovgrad", ukupne dužine 83.4 km i deonica "Grabovnica-Preševo" ukupne dužine 96,1 km. Kroz Srbiju prolazi i saobraćajni koridor XI (E-763) od granice sa Rumunijom do granice sa Crnom Gorom. U toku je izgradnja deonice od Beograda do Požege u dužini od 148 km i nastavlja se do Boljara na crnogorskoj granici. Ukupna dužina autoputa "Beograd-Južni Jadran" (E-763) iznosi 270 km. Kada se završi izgradnja svih navedenih deonica na koridorima X i XI (E-763) mreža autoputeva Srbije će biti veća za skoro 450 km. Pregled deonica koje se grade na koridorima X i XI (E-763) prikazani su na slici 1.

Na izgradnji koridora X učestvuju mnoge inostrane kompanije kao što su: "Terna" i "Aktor" iz Grčke, "Subtera" iz Češke, "Rubau" i "Azvi" iz Španije, "Trace" iz Bulgarske, "Tadei" iz Italije, konzorcijum "Integral-inzenjering", "Interkop Misar" i "Prijedorputevi" iz Bosne i Hercegovine i Srbije. Od domaćih kompanija, konzorcijum "Srbijaautoput" i "MBA Miljkovic-Ratko Mitrovic", gradi deonicu autoputa "Srpska Kuća-Levosojce". Na koridoru XI (E-763) rade kompanije: "AzVirt" iz Azerbejdžana i "Shandong Hi-speed group" iz Kine kao i domaći konzorcijum "Planum"- Beograd i "Putevi" – Užice, koji je završio deonicu "Ub-Lajkovac".

Pored izgradnje autoputeva na koridorima X i XI (E-763) u toku su i radovi na urgentnom održavanju i sanaciji oštećenja na državnim putevima IB reda (regionalni putevi) koje su nastale u poplavama 2014. godine (Valjevo - Loznica, Loznica - Zavlaka, Mali Zvornik - Ljubovija - Užice, Preljina - Kraljevo, Beograd – Šabac - Mali Zvornik, Loznica - Valjevo, Raška - Jarinje, Lazarevac - Aranđelovac, i dr.

### 2. TEHNIČKE SPECIFIKACIJE

Kod izgradnje autoputeva na koridorima X i XI (E-763), s obzirom da su projekti ranije završeni, koriste se sledeće tehničke specifikacije i standardi:

- SRPS U.E4.014/90. Tehnički uslovi za habajuće slojeve,
- SRPS U.E9.021/86. Tehnički uslovi za bitumenizirane gornje noseće slojeve,
- SRPS U.E9.028/80. Tehnički uslovi za bitumenizirane donje noseće slojeve i
- Tehničke specifikacije za izgradnju puteva u Republici Srbiji, JP "Putevi Srbije", 2012

<sup>1</sup> Imre Pap: [papp@highway.rs](mailto:papp@highway.rs)

Za urgentno održavanje državnih puteva IB reda koriste se:

- Tehničke specifikacije – PKK (Plan Kontrole Kvaliteta), JP „Putevi Srbije” i JV “Nievelt-CPL”, 2015,
- Serija standarda SRPS EN 13108 za kamene materijale i asfaltne mešavine.

## Трасе коридора 10 и 11 кроз Србију

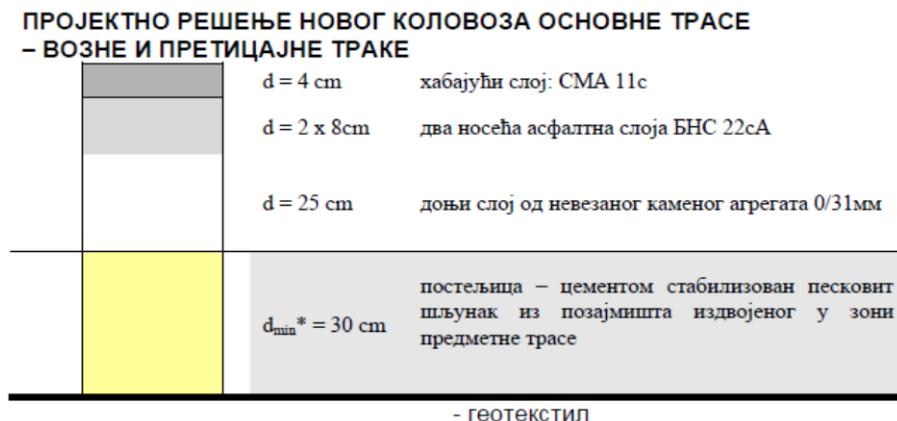


**Слика 1.** Pregled deonica koje se grade na koridorima X i XI (E-763)

### 3. PROJEKTI KOLOVOZNIH KONSTRUKCIJA NA KORIDORIMA X I XI (E-763)

U ovom poglavlju prikazana su pojedina projektna rešenja kolovozne konstrukcije na osnovnoj trasi i mostovima na koridorima X i XI (E-763).

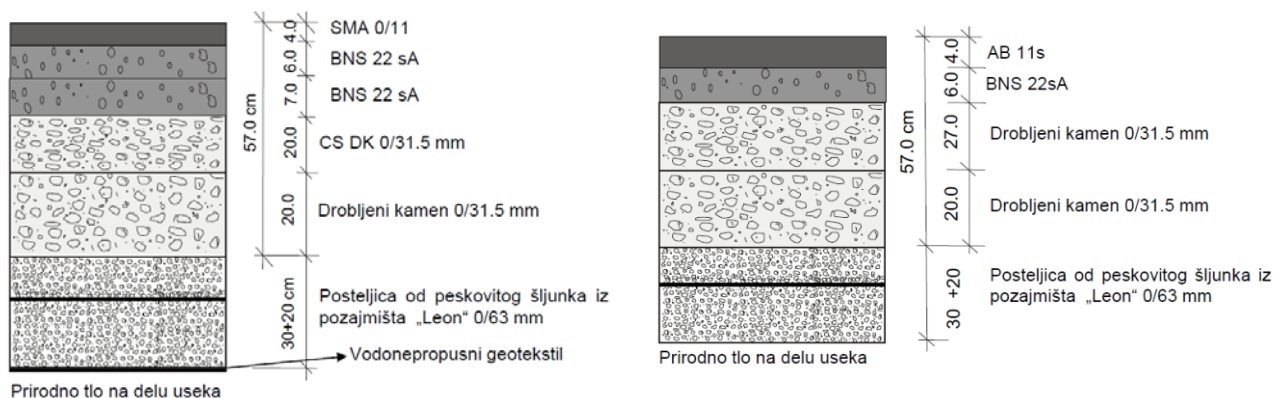
#### 3.1 Projekat kolovozne konstrukcije na autoputu E-75 „Beograd–Niš-granica sa Makedonijom“



**Slika 2.** Projektno rešenje vozne i preticajne trake na koridoru X

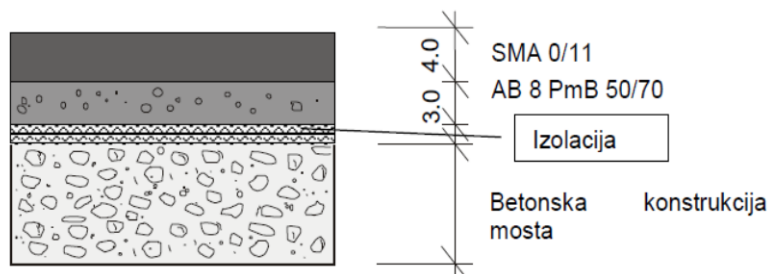
Izvor: (Glavni projekat autoput E-75, Beograd – Niš – Granica sa Makedonijom, Deonica: Vladičin Han – Donji Neradovac, od km 900+100.90 do km 926+357.02, Finalna dokumentacija Knjiga 4 – Projekat kolovozne konstrukcije, Institut za puteve ad Beograd, 2010)

#### 3.2 Projekat kolovozne konstrukcije na autoputu E-763 Sector I: Beograd-Ljig (Koridor XI)



**Slika 3.** Projektno rešenje vozne i zaustavne trake na koridoru XI (E-763)

Izvor: (Glavni projekat autoputa E-763, Beograd – Južni Jadran, Sektor I: Beograd (Ostružnica) – Ljig, Deonica 3: Obrenovac – Ub, od km 14+416.09 do km 40+645.27, Glavni projekat kolovoznih konstrukcija, CPV - Centrar za puteve Vojvodine, Novi Sad, 2012)



**Slika 4.** Projektno rešenje kolovozne konstrukcije na mostovima na koridoru XI (E-763)

Izvor: (Glavni projekat autoputa E-763, Beograd – Južni Jadran, Sektor I: Beograd (Ostružnica) – Ljig, Deonica 3: Obrenovac – Ub, od km 14+416.09 do km 40+645.27, Glavni projekat kolovoznih konstrukcija, CPV - Centrar za puteve Vojvodine, Novi Sad, 2012)



#### 4. ASFALTNE MEŠAVINE, VEZIVA I ADITIVI

Za izradu asfaltnih slojeva kolovozne konstrukcije, kod izgradnje i održavanje puteva u Srbiji, koriste se veziva, aditivi i asfaltne mešavine prikazane u tabelama 1, 2 i 3. Od projektnog rešenja, koji uzima u obzir kategoriju puta, saobraćajno opterećenje, klimatske uslove, ekonomske faktore i uticaj na životnu sredinu, zavisi koji će tip veziva, aditiva i asfaltne mešavine da se koristi.

**Tabela 1.** Veziva za izradu asfaltnih mešavina

B 50/70 B 35/50 retko	AC 11 surf and AC 16 surf AC 22 base and AC 32 base
PmB 45/80-65 PmB 25/55-60 PmB 25/55-65	SMA 11 SMA 11, AC 11 surf and A16 surf AC 22 base and AC 32 base
PmB 10/40-75 PmB 10/40-80 B 20/30 and B 35/50	MA 11 MA 11 MA 8
PmB 90/150-45® Starfalt PmB 45/80 RC®	Reciklaža
Starfalt PmB 25/55 NV® Starfalt PmB 45/80 NV® Starfalt PmB 45/80 FR®	Topli asfalti (sniženje procesnih temperature od 20 <sup>0</sup> do 30 <sup>0</sup> C) Asfalti otporni na kerozin

Karakteristike veziva moraju da zadovolje uslove kvaliteta propisane u standardima SRPS EN 12591 za bitumen i SRPS EN 14023 za polimer-bitumen.

**Tabela 2.** Aditivi za asfaltne mešavine

Aditivi za poboljšanje prionljivosti	WETFIX® STARDOP® INTERLENE IN400
Aditivi za tople asfalte	REDISET WMX® SASOBIT® ITERLOW®
Celulozna vlakna	VIATOP® TOPCEL® ITERFIBRA/C® INNOCELL®
Rejuvinatori – aditivi za reciklažu	STARDOP ACF 20® ACAR 10177® ITERLENE ACF 1000®
Prirodni asfalti i bitumeni	TRINIDAD® SELENIZZA®
Polimer za proizvodnju polimer-bitumena	SBS (KRATON®)
Reciklovana guma	TECROAD®

Aditivi navedeni u tabeli 2. najčešće se koriste kod nas za izradu asfaltnih mešavina različite namene i poseduju odgovarajuće sertifikate od domaćih akreditovanih laboratorija.

**Tabela 3.** Asfaltne mešavine za izgradnju i održavanje puteva

Habajući sloj	AC 11 A1/A2/A3 (35-50 mm) AC 16 A1/A2/A3 (50-80 mm) SMA 11 A1/A2 (35-40 mm)
Vezni sloj	AC 16 A1/A2 (50-80 mm) AC 22 A1/A2 (60-100 mm)
Noseći sloj	AC 16 A2/A3 (50-70 mm) AC 22 A1/A2/A3 (60-100 mm) AC 32 A1/A2/A3 (80-140 mm)

Izvor: (Tehničke specifikacije – QCP, JP „Putevi Srbije” i JV “Nievelt-CPL”, Beograd, 2015)

Sastav i karakteristike asfaltnih mešavina moraju da odgovaraju uslovima kvaliteta iz odgovarajućih SRPS i SRPS EN standarda. Oznake A1, A2, i A3 odnose se na klasu saobraćajnog opterećenja.

## 5. PROIZVODNJA ASFALTA I BITUMENSKOG VEZIVA U SRBIJI

### 5.1. Proizvodnja asfalta

Proizvođači asfalta u Srbiji, lokacija njihovih asfaltnih baza kao i godišnja proizvodnja asfalta po vrućem postupku u periodu od 2012. godine do oktobra 2015. godine prikazani su u tabeli 4 i na slici 5.

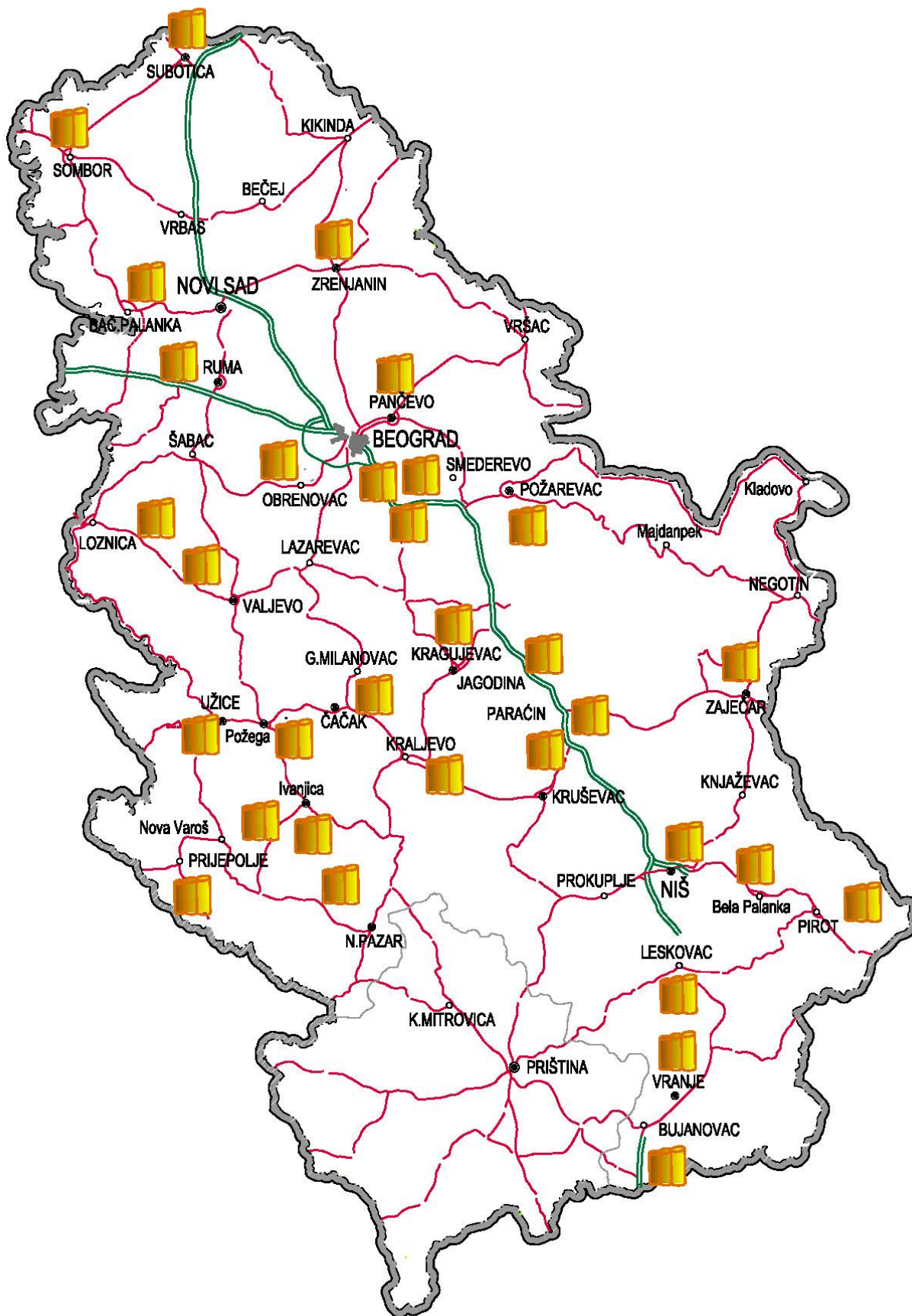
**Tabela 4.** Proizvođači asfalta, lokacija i godišnja proizvodnja od 2012. do oktobra 2015. godine

Putari	Asfaltna postrojenja		Godišnja proizvodnja / godina (t)				Ukupna proizvodnja (t)
	Lokacija	Kapacitet (t/h)	2012.	2013.	2014.	do 10. 2015.	
PZP "Valjevo"	Duvanište	"Wibau" 120	106.430	57.476	137.737	45.090	346.733
	Gorić - Valjevo	"Ammann" 200					
"Putevi" – Užice	Užice	"Gradis" 50	28.800	6.200	21.760	15.000	71.760
	Prijepolje	"Teltomat" 150	42.090	14.400	20.920	20.000	97.410
	Lajkovac	"Marini" 150	8.900	2.000	49.090	0	59.990
	Subotica	"Benninghoven" 160	4.000	0	0	0	4.000
	Preševo	"Wibau" 120	47.734	23.997	2.000	Prodato	73.731
"Novi Pazar-Put"	Novi Pazar	"Teltomat" 160	72.444	39.682	57.364	35.630	205.120
	Adrani-Kraljevo	"Marini" 60					
"Putevi" Ivanjica	Ivanjica	"Gradis Wibau" 40	31.307	18.680	25.680	13.374	89.041
"Srempu" Ruma	Ruma	"Wibau" 110	40.000	50.000	70.000	0	160.000
"Putevi" - Požega	Požega	"Benninghoven" 160	33.485	21.552	22.511	5.600	83.148
PZP "Kragujevac"	Kragujevac	"Kovinarska" 80	104.376	53.568	79.287	56.082	293.313
	Lapovo	"Wibau" 80					
„Trace PZP Vranje“	Leskovac	"Wibau" 130	2.614	4.157	9.634	8.046	24.478
	Vranjska Banja	"Marini" 95	19.338	9.629	8.349	35.396	72.712
„Bačkaput“ Novi Sad	Srbobran	"Marini" 100	38.367	29.955 118.160 *	35.660	21.605	125.587
JKP „Beogradput“	Rakovica,	"Benninghoven" 240	162.189	128.245	149.208	121.399	561.041
	Viline Vode	"Marini" 110					
	Viline Vode	"Bernardi" 160					
	Lazarevac	"Gradis" 60					
MBA-Ratko Mitrović	Beograd	"Benninghoven" 240	128.450	63.625	122.125	143.000	457.200
„Terna“	Vranje	"Marini" 90	-	10.557	58.635	147.846	217.038
	Grdelica	"Ammann" 90	-	-	12.737	22.500	35.237
„Vojput“	Subotica	"Marini" 160	91.818	67.523	98.169	81.205	338.715
PZP „Beograd“	Beograd	-	35.000	50.000	50.000	50.000	180.000
„Strabag“	Obrenovac	"Benninghoven" 320	69.894	24.650	21.312	14.322	130.178
	Pančevo	"Ammann" 160	45.540	43.909	44.736	52.621	186.806
	Zaječar	"Ammann" 160	156.910	59.177	84.751	52.418	353.256
	Čačak	"Ammann" 120	40.720	21.013	23.107	10.945	95.785
PZP „Požarevac“	Bratunac	"Wibau" 130	82.152	44.121	50.566	41.981	218.820
AD „Kruševacput“	Kruševac	"Kovinarska" 100	57.747	22.631	48.424	35.657	164.459
„Transkop“	Paraćin	"Wibau" 50	17.507	13.451	10.713	11.641	53.312
<b>UKUPNA PROIZVODNJA / GODINA (t)</b>			<b>1.467.968</b>	<b>880.198</b>	<b>1.314.475</b>	<b>1.041.358</b>	<b>4.698.999</b>

Izvor: (Podaci obezbeđeni od strane poslovnog udruženja "Putar" kao i od menadžmenta kompanija)

Podaci prikazani u tabeli 4. odnose se samo na domaće putare i nedostaju podaci od inostranih firmi, koje rade kod nas a koje nisu dostavile podatke, tako da je godišnja proizvodnja asfalta u Srbiji veća.

Podaci za 2014. godinu objavljeni su i u godišnjem biltenu Evropske asocijacije za asfaltne kolovoze (EAPA) za 2014. godinu, iako još uvek nismo članovi [2].



Slika 5. Lokacija asfaltnih baza u Srbiji

## 5.2. Potrošnja putnog bitumena i polimer-bitumena

Putni bitumen B 50/70 i polimer-bitumen PmB 45/80-65 u Srbiji proizvodi NIS-Rafinerija nafte u Pančevu, a druge tipove polimer-bitumena PmB 25/55-60, PmB 10/40-75 i PmB 10/40-80 proizvodi JKP "Beogradput". Preostale tipove polimer-bitumena iz tabele 1, uključujući i PmB 45/80-65, su iz uvoza (OMV).

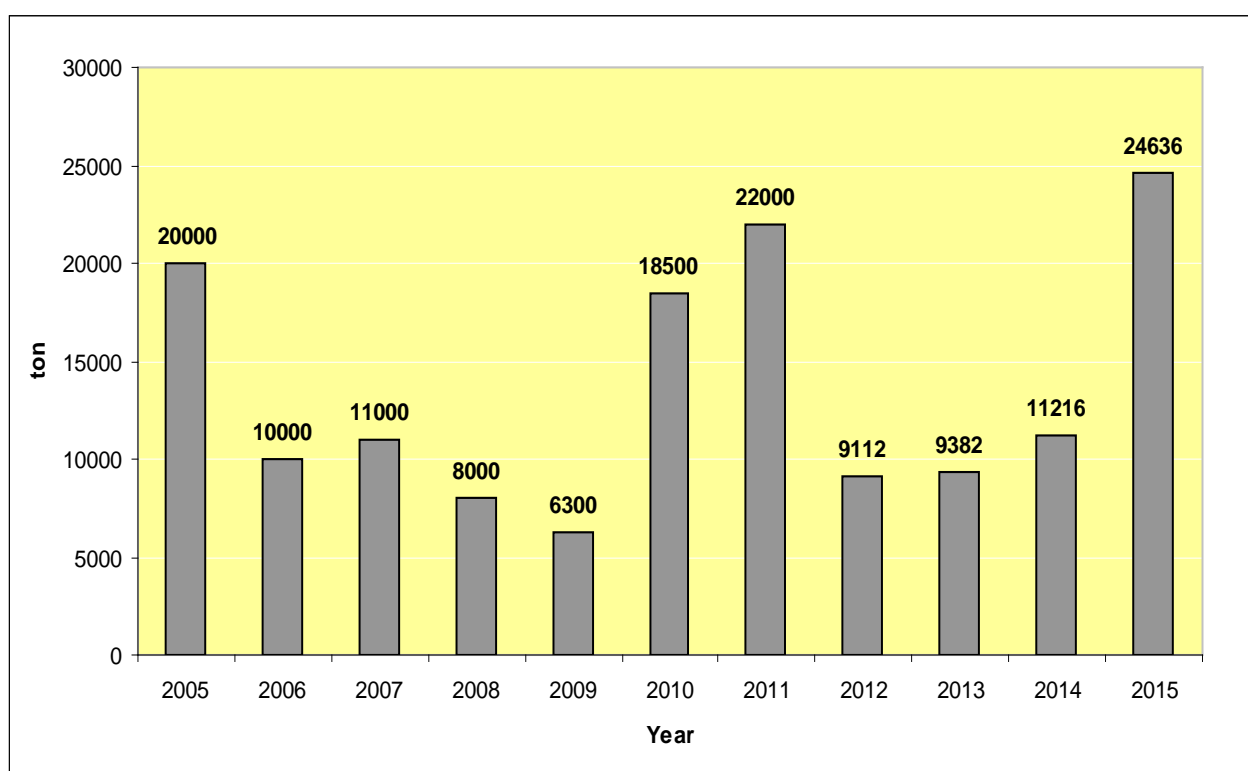
**Tabela 6.** Potrošnja putnog bitumena i polimer-bitumena u Srbiji od 2005. do 2015. godine

Godina	B 50/70 NIS	PmB 45/80-65 NIS	PmB 45/80-65 OMV	PmB 25/55-60 "Beogradput"	% PmB / B 50/70
2005	169.000	20.000	-	-	12,0
2006	181.000	10.000	-	-	5,5
2007	185.000	11.000	-	-	5,9
2008	200.000	8.000	-	-	4,0
2009	120.000	5.500	800	-	5,0
2010	155.000	13.000	5.500	-	11,9
2011	150.000	11.000	11.000	-	14,7
2012	151.174	1.773	6.112	1.227	6,0
2013	224.833	5.583	2.688	1.111	4,2
2014	257.565	7.848	1.609	1.759	4,4
2015	334.000	21.000	1.836	1.800	7,4

Izvor: (Podaci obezbeđeni od strane proizvođača i uvoznika)

Kao što se vidi iz tabele 6. udeo polimer-bitumena u ukupnoj potrošnji veziva u Srbiji se kreće između 4 i 7% sa izuzetkom 2010. i 2011. godine.

Na slici 6. prikazana je ukupna potrošnja polimer-bitumena u Srbiji (domaćeg i uvoznog) u periodu od 2005. do 2015. godine.



**Slika 6.** Ukupna potrošnja polimer-bitumena u Srbiji od 2005. do 2015. godine

## 6. ZAKLJUČAK

Izgradnja autoputeva u Srbiji je u punom zamahu na koridorima X i XI (E-763), gde se završetak deonice na koridoru X očekuje do kraja ove godine, a na koridoru XI (E-763) do Požege do kraja 2017. godine. Završetkom autoputeva na koridorima X i XI (E-763) Srbija će uvećati svoju putnu mrežu državnih puteva IA reda za skoro 450 km, odnosno imaće više od 1.100 km autoputeva.

Primenom inoviranih tehničkih specifikacija i SRPS EN normi uz veću primenu polimer-bitumena, novih vrsta asfaltnih mešavina (asfaltne mešavine velikog modula krutosti, topli asfalti, skeletni asfalti) uz odgovarajuću kontrolu akreditovanih laboratorija i instituta obezbeđuje se sve bolji kvalitet puteva uz istovremenu uštedu na energentima i zaštiti životne sredine.

### Literatura

- [1] Pap, I. (2015). Asphalt industry in Serbia - Review of technologies and specifications for construction and rehabilitation of roads, Dunavska regionalna konferencija: „Development & Maintenance of Road surfaces in the Danube region”, novembar 2015, Bled, Slovenija, available at: [http://www.highway.rs/download/other/Pap-Danube\\_regional\\_conferene.pdf](http://www.highway.rs/download/other/Pap-Danube_regional_conferene.pdf)
- [2] EAPA Bulletin (2015). Asphalt in Figures 2014, EAPA, decembar 2015, Brussels, Belgium available: [http://www.eapa.org/userfiles/2/Asphalt%20in%20Figures/2014/AIF\\_2014\\_v10.pdf](http://www.eapa.org/userfiles/2/Asphalt%20in%20Figures/2014/AIF_2014_v10.pdf)

# UPOTREBA RASTVORA SOLI U ZIMSKOM ODRŽAVANJU SAOBRAĆAJNICA

## ISKUSTVA SA EVROPSKIH SAOBRAĆAJNICA, TEHNOLOGIJA POSIPANJA I OSTVARENE UŠTEDE

Frane Franičević<sup>1</sup>

RASCO d.o.o. Fabrika komunalne opreme, [f فرانicevic@rasco.hr](mailto:f فرانicevic@rasco.hr)

**Rezime:** Savremena zimska služba danas je nezamisliva bez upotrebe rastvora soli, kako za sprečavanje nastajanja leda na saobraćajnim površinama, tako i za odleđivanje već zaleđenih saobraćajnica. Iako je tehnologija korišćenja rastvora soli u posipanju zaleđenih saobraćajnica poznata već decenijama, u poslednjih desetak godina na evropskim saobraćajnicama doživela je vrlo široku primenu, upravo zahvaljujući činjenici da raste svest o potrebi uštede svih resursa, ali i očuvanja najvažnijeg ljudskog resursa – životne sredine. Tome su se prilagodili i proizvođači opreme, razvijajući vrlo pouzdane, univerzalne uređaje koji mogu da posipaju saobraćajnice na takav način da se suvim solima dodaju različite količine rastvora, a takođe i opremu koja se koristi za posipanje ili, bolje rečeno, prskanje rastvora soli. Cilj ovog rada je da se pokažu prednosti upotrebe rastvora soli u zimskoj službi sa stanovišta zaštite životne sredine, uštede, povećanja efikasnosti zimske službe i bezbednosti odvijanja saobraćaja. Rad predstavlja rezime dugogodišnjeg iskustva prikupljenog na evropskim saobraćajnicama i prenosi iskustva iz prakse evropskih zimskih službi, kako o tehnologiji, tako i o standardima koji su godinama izgrađivani.

**Ključne reči:** rastvor soli, tehnologija posipanja rastvora soli, preporuke za posipanje, ušteda, uticaj na životnu sredinu.

### 1. UVOD

Činjenica je da se tehnologija posipanja soli radi odleđivanja saobraćajnih površina menjala tokom vremena. Važno je naglasiti da se zimsko održavanje saobraćajnica u poslednjih desetak godina značajno udaljilo od uobičajene prakse posipanja. Poseban doprinos novoj praksi posipanja dale su putarske službe u državama koje su veliki potrošači soli u zimskoj službi, kao što su Austrija, Nemačka, Norveška, Švedska, Švajcarska itd. Sa jačanjem ekološke svesti tj. potrebe za očuvanjem životne sredine, pojavili su se zahtevi za posipanjem u cilju sprečavanja stvaranja leda ili odleđivanja saobraćajnih površina, koji će značajno smanjiti zagađenje životne sredine, a da pri tome ne dođe do ugrožavanja bezbednosti prevoza robe kao i samih učesnika u saobraćaju. Upravo su nove tehnologije, tehnologije posipanja sa povećanim udelom rastvora soli, dale značajan doprinos smanjenju zagađenja životne sredine, ali uz istovremeno očuvanje bezbednosti u saobraćaju na evropskim saobraćajnicama.

### 2. TEHNOLOGIJA POSIPANJA RASTVORIMA SOLI

Tehnologija tzv. mokrog posipanja, vlažnog posipanja, posipanja navlaženom solju, poznata je već nekoliko decenija. Mokro posipanje podrazumeva posipanje mešavinom suve soli i rastvora soli. U praksi je uobičajeno posipanje sa 30% (FS30) rastvora soli u ukupnoj količini posutog materijala na saobraćajnu površinu. Dakle, ako na saobraćajnicu posipamo 20 g/m<sup>2</sup> mokre soli, onda smo po m<sup>2</sup> posuli 14 grama suve soli i 6 grama rastvora soli (obično se radi o rastvoru 20–23% natrijumove ili kalcijumove soli).

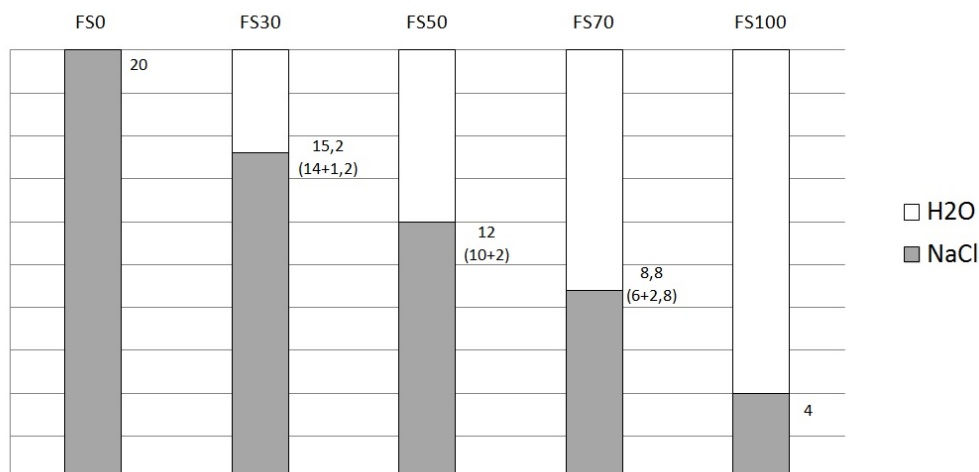
Ako uzmemo u obzir da je rastvor soli koncentracije 20%, to znači da smo saobraćajnicu posuli sa 15,5 grama soli i 4,5 grama vode. Iako je efekat na otapanje leda 20 g/m<sup>2</sup> mokre soli (FS30) daleko bolji nego 20 g/m<sup>2</sup> suve soli, što ćemo ovde zanemariti, ispostavlja se da je ušteda prilikom posipanja

---

<sup>1</sup> Frane Franičević: [f فرانicevic@rasco.hr](mailto:f فرانicevic@rasco.hr)

mokrom solju najmanje 22,5%. Kažemo najmanje jer kad se uvažuje drugi faktori koji utiču na efikasnost posipanja, kao što je intenzitet saobraćaja, brzina reakcije i sl. dolazimo do minimalne uštede od 30%. Ta ušteda je dobro poznata činjenica koja se koristila u tehnologiji posipanja, ali se u zadnjih desetak godina u istraživanjima otišlo još dalje. Pre svega, više značaja je počelo da se pridaje preventivnom posipanju, posipanju neposredno pre početka padavina i vlažnom posipanju sa povećanim udelom rastvora, kao FS50 (50% suve soli i 50% rastvora), FS70 (30% suve soli i 70% rastvora), pa čak i FS100 (100% rastvora, bez suve soli).

Jasno je da ušteda raste sa povećanjem procenta rastvora u ukupno posutom materijalu (prikazano na donjem dijagramu Slika 1.). Pri tome svakako treba voditi računa o vremenskim uslovima i stanju saobraćajnica i u skladu sa tim odabrati najbolju tehnologiju mokrog posipanja.



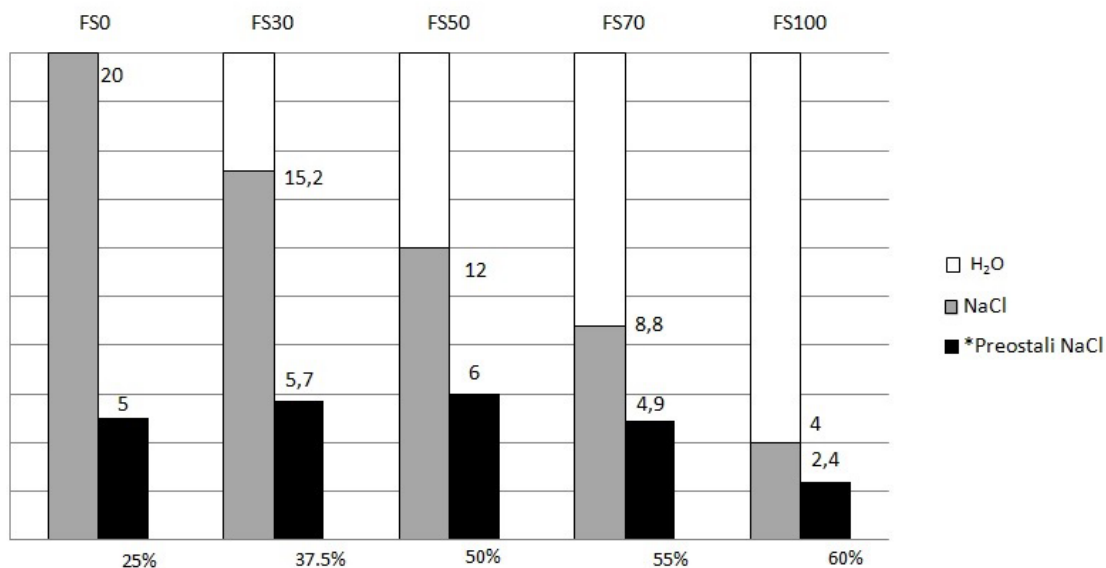
**Slika 1.** Sadržaj soli u ukupno posutom materijalu kod različitih vrsta posipanja (pri 20 g/m<sup>2</sup> i 20% rastvora soli)

Izvor: Rasco d.o.o.

### 3. GUBICI SOLI U ZAVISNOSTI OD TEHNOLOGIJE POSIPANJA I STANJA KOLOVOZA

Da bismo uopšte mogli da dođemo do nekih zaključaka o najpovoljnijoj tehnologiji posipanja, bilo je potrebno da se prikupe podaci o preostaloj količini soli na saobraćajnici neposredno posle posipanja i u raznim vremenskim razmacima posle posipanja. U istraživanjima su se posebno istakle kolege iz Austrije i Nemačke. Izvori tih istraživanja navedeni su na kraju ovog rada (Literatura r.b. 1. i 2). Rezultati tih istraživanja pokazali su da su gubici soli neposredno posle posipanja između 60–70%. Dakle, značajno manji deo soli koja je posuta ostane aktivno na saobraćajnici i ima zadatak da vrši otapanje leda ili deluje preventivno. Dalji gubici, pre nego što so uspe u potpunosti da deluje na zaleđenu površinu, nastaju razbacivanjem usled saobraćaja. Saobraćaj jačeg intenziteta svakako uzrokuje veće gubitke. Na Slici 2. prikazani su ostaci soli na saobraćajnici za različite tehnologije posipanja posle prolaska 150 vozila.

Merenjima posle posipanja je takođe dokazano da početni gubici zavise i od stanja saobraćajne površine. Tako je izmereno da najveći gubici nastaju na mokrom kolovozu. Posle toga su gubici na suvom kolovozu, a najmanji gubici su na vlažnom kolovozu. Konkretno kod posipanja suve soli po mokrom kolovozu već posle (nakon) prolaza 2000 vozila nema ostataka soli na kolovozu. Kod suvog kolovoza potrebno je 8000 vozila da bi se odbacila sva so sa kolovoza. Kod vlažnog kolovoza posle prolaska 8000 vozila na kolovozu imamo još 50% zaostale soli.



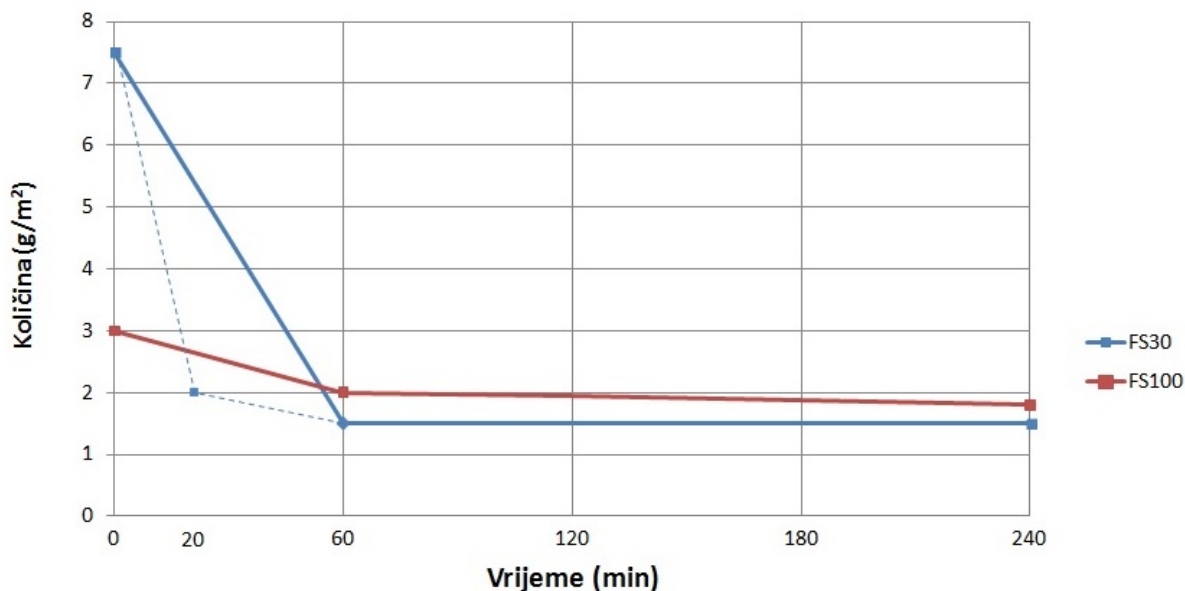
\*Odnosi se na ukupnu preostalu sol na kolniku

**Slika 2.** Prikaz gubitaka soli na kolovozu nakon prolaska samo 150 vozila kod različitih vrsta posipanja

\*Odnosi se na ukupno zaostalu sol na kolovozu

Izvor: Dipl. -Ing. Dr. techn. Markus Hoffmann, Univ. Prof. Dipl. -Ing. Dr. techn. Ronald Blab, Dipl. Ing. Peter Nutz, Forschungsbericht Optimierung der Feuchtsalzstreuung, TU Wien – Institut für Verkehrswissenschaften,

Istraživanja kolega iz Austrije pokazala su velike gubitke posle prolaza 150 vozila. To je posebno izraženo kod posipanja suvom solju, gde se na kolovozu posle prolaza 150 vozila zadrži samo 25% soli, a kod FS30 posipanja zadrži se 37,5% soli, kod FS50 50%, kod FS70 55%, a kod FS100 čak 60% soli.



**Slika 3.** Merenje preostale soli na kolovozu za posipanje sa FS30 i FS100

Izvor: Günter Hausmann: Empfehlungen zum richtigen Aufbringen von Tasalzlosungen,

Merenja nemačkih kolega (Slika 3.) su pokazala da pod istim uslovima kolovoza i saobraćaja u prvih dvadesetak minuta posle posipanja imamo početne gubitke i do 70%, tj. od početne količine 7,5 g/m<sup>2</sup>



mokre soli (FS30) ostaje samo  $2 \text{ g/m}^2$ , a posle 60 minuta svega  $1,5 \text{ g/m}^2$ . Zanimljivo je da je taj gubitak istovremeno kod posipanja FS100 daleko manji, iako smo posipali sa  $3 \text{ g/m}^2$ , posle 60 minuta preostaje gotovo  $2 \text{ g/m}^2$ .

Saznanja nakon ispitivanja u vezi sa primenom FS 50 i FS 70 umesto FS 30:

- ravnomernije rasprostiranje (raspršivanje) postiže se sredstvima u kojima je veći udeo rastvora
- brže početno otapanje kod većih udela rastvora
- bolje prijanjanje bez obzira na manju količinu soli
- manji su gubici soli nakon posipanja
- manji je utrošak soli

Rezultati ovih istraživanja dali su za pravo zagovornicima preventivnog posipanja i ono je postalo standard u zimskim službama Austrije, Nemačke i drugih zemalja. Posipanje pre padavina stvara razdvajajući sloj. Sneg koji pada se ne leđi pri dodiru sa kolovozom, lakše se čisti, a ako se pri tome dodatno posipa po prestanku padavina, dolazi do topljenja svog snega sa kolovoza.

Ako nema preventivnog posipanja, već se vrši posipanje prilikom čišćenja snega, nema razdvajajućeg sloja, pa so deluje na površinu preostalog snega i dolazi do poledice jer nismo postigli razdvajajući sloj, već smo razdvajajući pojas napravili između leđa koji je nastao na kolovozu i novog sloja snega. Ako je temperatura oko  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , onda to i nije problem, jer će se taj led otopiti usled delovanja soli iznad ledenog sloja. Međutim, ako je temperatura recimo  $-7 \text{ }^\circ\text{C}$ , dobićemo opasno zaleđen kolovoz.

#### 4. UREĐAJI ZA POSIPANJE SA POVEĆANIM UDELOM TEČNOG SREDSTVA (FS50-FS100)

Posle ovako sprovedenih istraživanja, došlo je do promene koncepcije rada u zimskoj službi, ali i do nabavke drugačijeg tipa posipača soli. Takvi posipači omogućavaju tzv. kombinovana posipanja. Dakle, u stanju su ne samo da menjaju udeo tečnog sredstva u ukupno posutom materijalu sa 30% na 50% ili 70%, nego i da posipaju sa 100%-tnim rastvorom. Rezultati su bili toliko ohrabrujući da su kolege iz Austrije odlučile da prerade jedan deo posipača koji su posipali isključivo FS30, u posipače koji mogu da posipaju i FS50, FS70 i FS100.

Kombi posipači su posipači veće zapremine rezervoara tečnog sredstva za posipanje. Ako standardni posipači koji posipaju FS30 imaju rezervoare tečnog sredstva sa sadržajem 30% od ukupnog materijala za posipanje koji nosi (posipač sa rezervoarom suve soli od  $6\text{m}^3$  ima rezervoare tečnog sredstva 2500 litara), novi tipovi posipača imaju rezervoare suve soli sadržaja  $5\text{m}^3$ , a tečnosti 6500 litara.



**Slika 4.** Posipač sa povećanim sadržajem tečnog sredstva za posipanje

Izvor: Rasco d.o.o.

Ovakvi uređaji (slika 4.) osim povećanog sadržaja rezervoara tečnog sredstva imaju i donekle izmenjen distributivni sistem tj. sistem za mešanje suve soli i tečnog hlorida. Na slici 5. prikazan je distributivni sistem kod kojeg se tečno sredstvo dovodi direktno na tanjir gde se meša sa solju i posipa na kolovoz.



**Slika 5.** Sistem za distribuciju materijala za posipanje kod posipača FS30, FS50, FS70 i FS100 (tečnost za posipanje se distribuira pomoću tanjira za posipanje)  
Izvor: Rasco d.o.o.

Prednost ovako dizajniranog distributivnog sistema (slika 5.) je jednostavna izrada, što daje mogućnost prerade postojećih posipača. Širina posipanja kod FS30 do 12 m. Ograničena širina posipanja kod FS50, FS70 i FS100, do maksimalno 6 m (8 m), predstavlja određeni nedostatak ovakvog sistema.



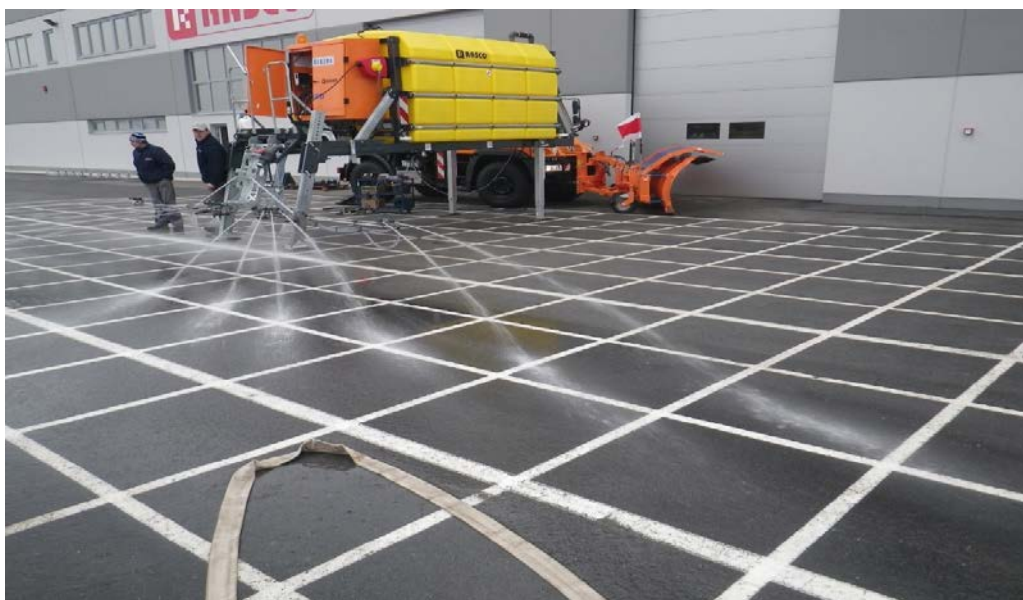
**Slika 6.** Sistem za distribuciju materijala za posipanje kod posipača FS30, FS50, FS70 i FS100 (tečnost za posipanje se distribuira pomoću posebne rampe sa mlaznicama za prskanje)  
Izvor: Rasco d.o.o.

Prednost ovako dizajniranog distributivnog sistema (slika 6.) jeste što omogućuje širinu posipanja sa FS30 do 12 m. Isto tako je moguće posipanje sa FS100 do 12 m širine.



**Slika 7.** Posipač za FS100 posipanje, pomoću rampe sa mlaznicama sa mogućnošću posipanja širine do 12m

Izvor: Rasco d.o.o.



**Slika 8.** Sistem za distribuciju tečnih materijala za posipanje FS100 (specijalna izrada za prskanje rastvora uree sa distributivnom rampom širine prskanja do 18 m širine)

Izvor: Rasco d.o.o.

Prednost ovog sistema (slika 6.) je širina posipanja do 18 m, uz standardnu transportnu širinu od 2,5 m i širinu rampe u radnom položaju od 4,5 m.

## 5. PREPORUKE ZA KORIŠĆENJE

Nakon višegodišnjeg istraživanja i dobijenih rezultata, postoji niz preporuka u vezi sa količinama posipanja pri određenim vremenskim prilikama i stanju kolovoza. Jedna od njih je i preporuka nemačkog Udruženja za istraživanje puteva i saobraćaja (FGSV), u tabelama u nastavku (Tabela 1). Iz tih, ali i drugih preporuka, jasno je vidljivo da se za sva preventivna posipanja preporučuje posipanje sa FS100 u količinama od 10–60 ml/m<sup>2</sup>, što predstavlja približno 2-12 g/m<sup>2</sup> soli.

**Tabela 1. Praktične preporuke za efikasno čišćenje snega i posipanje u zimskoj službi - strana 1**

Uslovi za tretiranje	Situacija i delovanje	Preporučene mere zimske službe	Vrednosti za količine posipanja po m <sup>2</sup> pri različitim temp. kolovoza				
			pri -1 °C	pri -3 °C	pri -6 °C	pri -10 °C	ispod -10 °C
Mraz / inje	- temp. u padu, tik ispod 0 °C - visoka vlažnost vazduha - nema padavina  Vlažan vazduh se spušta na podlogu negde i lokalno, kao mraz i inje na saobraćajne površine, najčešće u ranim jutarnjim satima	Preventivno posipanje prema vremenskim uslovima • preporučuje se posipanje čistim sonim rastvorom (tečno posipanje) • inače dozvoljeno mokro posipanje, neposredno pre očekivanog stvaranja leda (poledice) Kada preventivno posipanje nije moguće, tretirati: • čistim sonim rastvorom (tečno posipanje) • mokrim posipanjem	10 ml***  5 g**  15 ml***  10 g**	12,5 ml***  7,5 g**  22,5 ml***  15 g**	15 ml***  10 g**  30 ml***  20 g**	_*  15 g  _*  30 g	po pravilu se ne očekuje
Poledica  (smrznuta vlaga vazduha)	- vlažan kolovoz (nema lokvi vode, kolovoz tamne boje )  - temp. pada ispod 0 °C, lokalno prisutna vlaga prelazi u poledicu, lokalno ili periodično	Preventivno posipanje prema vremenskim uslovima • preporučuje se posipanje čistim sonim rastvorom (tečno posipanje) • inače dozvoljeno mokro posipanje, neposredno pre očekivanog stvaranja leda (poledice) Kada preventivno tretiranje nije moguće, tretirati mokrim posipanjem	10 ml***  5 g**  10 g**	15 ml***  10 g**  20 g**	22,5 ml***  15 g**  30 g**	_*  25 g  40 g	_*  30 g  40 g
Poledica  (smrznuta vlažnost)	- mokr kolovoz (vidljiva voda na kolovozu)  - temp. pada ispod 0 °C, lokalno prisutna vlaga prelazi u poledicu, lokalno ili periodično	Preventivno posipanje prema vremenskim uslovima • čistim sonim rastvorom (tečno posipanje) • inače dozvoljeno mokro posipanje, neposredno pre očekivanog stvaranja leda (poledice) Kada preventivno tretiranje nije moguće, tretirati mokrim posipanjem	22,5 ml***  15 g**  30 g**	30 ml***  20 g**  40 g**	45 ml***  30 g**  40 g**	_*  40 g**  40 g**	_*  40 g**  40 g**

Stanje: Septembar 2011. godine

Izvor: Influence by Standardization of Winterclearing Services on Technical Equipment, EUnited- Meeting, March 2013, Berlin, Dr. Achim W. Schroeter

Ove vrednosti važe samo za normalne površine kolovoza. Kod poroznog kolovoza ili tipa "Pflastersteine" potrebne su veće doze

\* - Tečno posipanje FS100 isključivo do -6 °C

\*\* - Mokro posipanje FS30

\*\*\* - Tečno posipanje FS100 rastvorom NaCl (min. 20% - tnm: p=12 g/ml)

Tabela 1. Praktične preporuke za efikasno čišćenje snega i posipanje u zimskoj službi - strana 2

Uslovi za tretiranje	Situacija i delovanje	Preporučene mere zimske službe	Vrednosti za količine posipanja po m <sup>2</sup> pri različitim temp. kolovoza				
			pri -1 °C	pri -3 °C	pri -6 °C	pri -10 °C	ispod -10 °C
Ledena kiša (poledica)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- suvi kolovoz</li> <li>- temp. kolovoza ispod 0°C, kolovoz i tlo smrznuti</li> <li>- zagrevanje vazduha padavinama (kiša) oko 0°C</li> </ul> <p>Kiša se odmah smrzava pri kontaktu sa kolovozom i prelazi u led</p>	<p>Preventivno posipanje prema vremenskim uslovima</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• preporučuje se posipanje čistim sonim rastvorom (tečno posipanje)</li> <li>• inače dozvoljeno mokro posipanje, neposredno pre očekivanog stvaranja leda</li> </ul> <p>Naknadno tretiranje po pravilu nema smisla jer su potrebne velike količine sredstva. Odleđivanje leda moguće samo kod manjih padavina (laka kiša). Led se rastapa zbog delovanja toplog vazduha i uticaja kiše tokom dužeg perioda.</p>	45 ml***	60 ml***	60 ml***	40 g**	po pravilu se ne očekuje
Snežne padavine (ugaženi sneg)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- najavljen sneg</li> <li>- suvi kolovoz</li> <li>- temp. pada ispod 0°C</li> </ul> <p>Sneg koji se nalazi na kolovozu se ne topi i utiskuje se na kolovoz usled prolaska vozila</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Preventivno posipanje (pre i prilikom početka snežnih padavina) sprečava stvaranje naslaga ugaženog snega na kolovozu: <ul style="list-style-type: none"> <li>• čistim sonim rastvorom (tečno posipanje)</li> <li>• ili mokrim posipanjem</li> </ul> </li> <li>2. Posipanje za vreme snežnih padavina kako bi mogao lakše da se čisti: <ul style="list-style-type: none"> <li>• mokrim posipanjem uz istovremeno čišćenje već postojećeg snega</li> </ul> </li> <li>3. Nakon završetka snežnih padavina agresivno čišćenje i posipanje sa ciljem odleđivanja zaostalog snega <ul style="list-style-type: none"> <li>• mokrim posipanjem uz istovremeno čišćenje već postojećeg snega</li> </ul> </li> </ol> <p>Količina posipanja zavisi isključivo od zaostalog snega nakon prethodnog čišćenja i posipanja</p>	15 ml***	22,5 ml***	30 ml***	10 g**	20 g**
			10 g**	10 g**	15 g**	15 g**	15 g**
			10 g**	25 g**	30 g**	40 g**	40 g**

Stanje: Septembar 2011. godine

Izvor: Influence by Standardization of Winterclearing Services on Technical Equipment, EUnited- Meeting, March 2013, Berlin, Dr. Achim W. Schroeter

Ove vrednosti važe samo za normalne površine kolovoza. Kod poroznog kolovoza ili tipa „Pflastersteine“ potrebne su veće doze

\* - Tečno posipanje FS100 isključivo do -6 °C

\*\* - Mokro posipanje FS30

\*\*\* - Tečno posipanje FS100 rastvorom NaCl (min. 20% - tnm: p=12 g/ml)

## 6. UŠTEDA KOD POSIPANJA SA POVEĆANOM KOLIČINOM RASTVORA SOLI

Podaci dobijeni kontrolnim merenjima na terenu govore da ušteda soli kod posipanja FS50 iznosi 20%, a kod posipanja FS70, 40% u odnosu na FS30 posipanje. S tim da se FS70 posipanje koristi za preventivno posipanje.

**Tabela 2. Ušteda kod posipanja sa povećanom količinom rastvora soli**

Stanje u saobraćaju	Suva so (g/m <sup>2</sup> )	Mokro posipanje		Kombi posipač <sup>(1)(2)</sup>			Soni rastvor		<sup>(1)</sup> uštedena so (g/m <sup>2</sup> ) poređenje sa mokrom solju	Napomena
		Programirano (g/m <sup>2</sup> ) rastvor + suvi materijal (ml+g)/m <sup>2</sup>	Stvarno posuto (g/m <sup>2</sup> )	Programirano rastvor + suvi materijal (ml+g)/m <sup>2</sup>	Stvarno posuto (g/m <sup>2</sup> )	uštedena so (g/m <sup>2</sup> ) poređenje sa mokrom solju	Progr mirano (ml/m <sup>2</sup> )	Stvarno posuto (g/m <sup>2</sup> )		
<b>Put</b>										
Prev. posipanje zbog očekivanog mraza na suvom//mokrom putu:										
- očekivana temp. puta oko 0° C	7,5	6=1,8+4,2	4,7	10+0	2,6	45%	10	2,6	45%	
- očekivana temp. puta iznad -3° C	10	8=2,4+5,6	6,2	20+0	5,2	16%	20	5,2	16%	
- očekivana temp. puta ispod -3° C	15	12=3,6+8,4	9,3	20+4	9,2	1%	30	7,7	17%	
Prev. posipanje protiv očekivanog stvaranja leda na mokrom putu (smrznute mokre površine puta):										
- očekivana temp. puta iznad -3° C	15	12=3,6+8,4	9,3	20+4	9,2	1%	30	7,7	17%	kod velike količine vode, doziranje se adekvatno povećava
- očekivana temp. puta ispod -3° C	20	18=5,4+12,6	14	20+8	13,2	6%	40	10,3	26%	
Prev. posipanje zbog očekivanog snega:	20	20=6,0+14,0	15,5	20 + 10	15,2	2%	60	15,5	0%	kod snežnih padavina može se koristiti suva so za posipanje
Prev. posipanje zbog očekivane poledice:	20	20=6,0+14,0	15,5	20 + 10	15,2	2%	60	15,5	0%	kod poledice se može koristiti suva so
Posipanje soli na mestima sa postojećim naslagama leda:	15	15=4,5+10,5	11,7	20 + 6	11,2	4%	40	10,3	12%	menja se kod temp. puta kao i kod debljine leda

Izvor: Empfehlungen zum richtigen Aufbringen von Tasalzlosungen, Gunter Hausmann, KOMMZEPT Ingenieurburo Hasmann

(1) Važi kod nanošenja rastvora mlaznicama. Ako se vrši preko tanjira, vrednosti se moraju povećati ili se mora raditi uz veći razmak od ivice puta i sa većom dozom

(2) Kombinacija sa rastvorom i suvom soli može zavistiti od konkretnog posipača. Pretpostavka je da se isti rastvor koristi i kao dodatak suvoj soli.

Podaci dobijeni kontrolnim merenjima na terenu govore da ušteda soli kod posipanja FS50 iznosi 20%, a kod posipanja FS70, 40% u odnosu na FS30 posipanje, s tim da se FS70 posipanje koristi za preventivno posipanje.

U tabeli 2. Navedeni su proračuni uštede uz primenu različitih tehnologija posipanja u odnosu na klasično mokro posipanje FS30. Jasno je vidljivo da kod preventivnih posipanja povećanim procentima rastvora soli ta ušteda iznosi i do 45%. Naravno, kada je u pitanju posipanje puta na kome imamo već stvorene ledene naslage, ušteda koju dobijamo posipanjem povećanim procentima rastvora soli je manja, od 4–12%. Kada je u pitanju ušteda u odnosu na posipanje suvom solju, onda je ona daleko veća – i do 60%. Naravno, upoređuju se količine soli i rastvora koji će prilikom otapanja leda imati iste rezultate. Da budemo jasniji, to znači da će iste rezultate u otapanju ili prevenciji stvaranja leda na kolovozu dati posipanja sa: 10 g/m<sup>2</sup> suve soli, 8 g/m<sup>2</sup> mokre soli (FS30), 20 ml/m<sup>2</sup> rastvora soli (FS100).

Ovi rezultati potvrđeni su u praksi. Kako to onda izgleda iz perspektive stvarnih, opipljivih ušteda:

1. Prema BAST-u, nemačkom Federalnom institutu za autoputeve, ušteda usled primene novih tehnologija posipanja u sezoni 2009/2010 iznosila je 247.488 tona soli ili tačno 19.792.665,00 EUR. Od 89.786 intervencija posipanja (utrošeno 1.052.506 tona soli), 44% bilo je tečno posipanje (podaci se odnose na mrežu državnih autoputeva i 67% podataka sa državnih puteva). Dakle, govorimo o uštedi od približno 24%.
2. Danska direkcija za puteve „Vejdirektoratet” (odgovorna za mrežu od 4000 km državnih puteva na kojima se odvija 45% ukupnog saobraćaja u Danskoj), naglašava uštedu od 20% suve soli zahvaljujući primeni novih tehnologija posipanja sa povećanim procentom rastvora soli.
3. U austrijskoj saveznoj državi Donja Austrija, gde je i sprovedeno najobimnije istraživanje o učinku posipanja sa povećanim udelom rastvora soli, koje je sproveo Tehnički univerzitet u Beču (TU Wien) po narudžbini austrijskog saveznog Ministarstva za saobraćaj, inovacije i tehnologiju (BMVIT), došlo se do zaključka da je ušteda kod posipanja sa 50% rastvora (FS50) u odnosu na FS30, 20%, a kod posipanja sa 70% rastvora soli (FS70) u odnosu na FS30, 40%. Ušteda je merljiva do te mere da je izražena u vrednosti od 4.400,00 EUR po sezoni i posipaču, naravno uz pretpostavku da je 75% intervencija sa FS30 zamenjeno intervencijama sa FS50. Kad se uzme ukupan broj posipača u Donjoj Austriji, vidi se da je ušteda ogromna. Takva ušteda je navela državne vlasti odgovorne za zimsku službu u Donjoj Austriji da promene tehnologiju posipanja do te mere da su preuredili postojeće posipače kako bi ih osposobili da posipaju FS50 i FS70, kao što smo i ranije naveli.

## 7. ZAKLJUČAK

Ako pretpostavimo da bi se korišćenjem novih tehnologija posipanja, tehnologija koje u posipanju koriste rastvore soli FS30, FS50 ili čak FS100, moglo uštedeti „samo” 25% u troškovima nabavke soli, lako je izračunati i finansijske efekte primene novih tehnologija u posipanju. Naravno, u zemljama gde je potrošnja soli velika kao u Nemačkoj (godišnja potrošnja od približno 4 miliona tona), 25% je količina soli koja predstavlja ogromnu uštedu u novcu.

25% manje soli posute na putu, uz iste efekte otapanja predstavlja značajno smanjenje negativnog uticaja na okolinu. Što se tiče saobraćajnih nezgoda čiji uzroci bi mogli da se povežu sa promenom tehnologije posipanja, mora se naglasiti da se praćenjem saobraćajnih nezgoda na putevima koji su tretirani novim tehnologijama posipanja ustanovilo da one nisu u porastu. I dalje je trend da se radi o nesrećama sa materijalnom štetom i malim brojem povređenih, posebno malim brojem teških povreda. Po izvršenom posipanju, broj nesreća odgovara broju kao kada nema zimskih uslova na putevima.

## Literatura

1. Dipl. -Ing. Dr. techn. Markus Hoffmann, Univ. Prof. Dipl. -Ing. Dr. techn. Ronald Blab, Dipl. Ing. Peter Nutz, Forschungsbericht Optimierung der Feuchtsalzstreuung, TU Wien – Institut für Verkehrswissenschaften,
2. Günter Hausmann: Empfehlungen zum richtigen Aufbringen von Tasalzlosungen,
3. Dr. Achim W. Schroeter, Influence by Standardization of Winterclearing Services on Technical Equipment, EUnited-Meeting, March 2013, Berlin
4. Frane Franičević, LIQUDAY, Kalinovac 2013, seminar „Tekuće posipanje, posipanje otopinama soli”



# STABILIZACIJA VISOKO PLASTIČNE GLINE PRIMENOM TEČNOG HEMIJSKOG ADITIVA POLYBOND

Mirjana Vukićević<sup>1</sup>, Veljko Pujević<sup>1</sup>, Miloš Marjanović<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, mirav@grf.bg.ac.rs

**Rezime:** U radu su prikazani rezultati laboratorijskih ispitivanja mogućnosti stabilizacije gline visoke plastičnosti primenom tečnog hemijskog aditiva „Polybond“, kao i stabilizacije tla kombinacijom letećeg pepela iz TE „Kostolac“ i Polybonda. U cilju utvrđivanja efekata stabilizacije sprovedena su opsežna laboratorijska ispitivanja fizičko-mehaničkih karakteristika stabilizovanog tla (jednoaksijalna čvrstoća, parametri smičuće čvrstoće, CBR, modul stišljivosti, potencijal bubrenja, koeficijent vodopropusnosti, otpornost na dejstvo mraza). Rezultati istraživanja jasno ukazuju na pozitivne efekte stabilizacije gline Polybondom i potvrđuju stavove da se isti može uspešno primeniti kao stabilizator glinovitih vrsta tla u različitim praktičnim primenama kao što su: stabilizacija slabo nosivog tla, izgradnja nasipa i geotehničkih konstrukcija male vodopropusnosti, poboljšanje mehaničkih osobina gornjih slojeva donjeg stroja saobraćajnica itd.

**Ključne reči:** stabilizacija tla, Polybond, leteći pepeo, visokoplastična glina

## 1. UVOD

Stabilizacija tla je tehnološki postupak kojim se poboljšavaju geotehničke karakteristike tla. Osnovni načini stabilizacije su mehanička i hemijska stabilizacija. Mehanička stabilizacija podrazumeva dodavanje frakcija koje nedostaju, tako da se postigne optimalan granulometrijski sastav tla, nakon čega se vrši zbijanje pri optimalnoj vlažnosti. Primenjuje se kod nekoherentnog, jednolično građiranog tla.

Hemijska stabilizacija se sastoji u tome da se tlu dodaje vezivno sredstvo, najčešće portland cement ili kreč. Usled prisustva vode u tlu dolazi do hemijskih reakcija i formiranja cementnih jedinjenja. Poslednjih decenija sve više se primenjuje stabilizacija tla dodavanjem letećeg pepela, koji se koristi za stabilizaciju tla i kao mehanički i kao hemijski stabilizator, samostalno ili uz dodatak cementa ili kreča.

Pored navedenih tradicionalnih dodataka, za hemijsku stabilizaciju tla sve više se primenjuju i inovativni materijali. Jedan od takvih materijala je Polybond, tečni hemijski aditiv jonskog tipa.

Polybond je tamno braon tečnost koja se zasniva na sulfatnoj kiselini i površinski aktivnom agensu, koji obezbeđuju jedinstvenu osobinu stabilizatora koja se ogleda u smanjenju potrošnje neorganskog veziva kod ojačavanja tla, povećavajući njegovu čvrstoću i otpornost na vodu i mraz. Prema navodima proizvođača, efekat Polybonda je zasnovan na njegovoj sposobnosti da izvrši jonsku supstituciju vode na površini zrna tla stabilizatorskim molekulima čime zrna tla postaju manja. Karakteristika molekula stabilizatora koji su vezani na površini zrna tla jeste da odbijaju vlagu, smanjujući time česticama gline sposobnost privlačenja vode. Tretirano tlo postaje čvršće i vodootporno, što ga čini otpornim na izlaganje bilo kojim klimatskim uslovima, uz dovoljnu nosivost čak i nakon dugotrajnih padavina [1].

Primena Polybonda je posebno efikasna kod obrade tla koje sadrži glinu. Kao rezultat u procesu stabilizacije ovakvog tla Polybondom, celokupan tanak sloj vode na površini glinenih čestica postaje slobodan i lako isparava sa tla. Mogućnost bubrenja tla se značajno smanjuje. Izradom podloge anti-frost slojeva tla koji su ojačani Polybondom praktično se prekida prodiranje vlage u tlo donjeg stroja.

U ovom radu prikazani su rezultati ispitivanja stabilizacije visoko plastične gline Polybondom. Pored toga, ispitana je mogućnost stabilizacije tla kombinacijom letećeg pepela iz TE „Kostolac“ i Polybonda. Naime, autori ovog rada su sprovedli obimnu studiju [2] u kojoj su razmatrane mogućnosti primene letećeg pepela iz termoelektrana u Srbiji za stabilizaciju tla. Dobijeni rezultati su pokazali da pepeo iz TE „Kostolac“, iako bez samovezujućih svojstava, predstavlja efikasan materijal za stabilizaciju sitnozrnih materijala.

## 2. PRIMENJENI MATERIJALI

Za ispitivanje je korišćena visoko plastična glina, uzorkovana na lokaciji pozajmišta Radljevo, opština Ub. Primenjeni tip tla ima i ekspanzivna svojstva.

Za varijantu stabilizacije tla sa dodatkom letećeg pepela korišćen je pepeo uzorkovan u TE „Kostolac“ (EFP-KOS). Upotrebljeni pepeo je prašinasto-peskoviti otpadni materijal tamno sive boje, uzorkovan direktno iz

elektrofiltera termoelektrane. Hemijski sastav određen je u laboratoriji Fakulteta za fizičku hemiju u Beogradu (Tabela 1).

**Tabela 1.** Hemijski sastav letećeg pepela

$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{TiO}_2$	$\text{SO}_3$	$\text{P}_2\text{O}_5$
56.38	17.57	10.39	7.46	2.13	0.57	0.38	0.52	0.95	0.025

S obzirom na to da je sadržaj  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  iznad 70% i sadržaj  $\text{SO}_3$  manji od 5%, prema standardu ASTM C 618 [3], korišćeni pepeo spada u silikatne kisele pepele klase F, sa izraženim pucolanskim svojstvima i bez samovezujućih svojstava.

Fizičko-mehanička svojstva korišćenog tla i letećeg pepela prikazana su u Tabelama 2 i 3. Njihov granulometrijski sastav prikazan je na Slikama 1 i 2. Prikazani podaci preuzeti su iz [2]. Prikazane vrednosti predstavljaju prosečne vrednosti za sva ispitana probna tela.

**Tabela 2.** Fizička svojstva primenjenih materijala

MATERIJAL LOKACIJA	OSNOVNA FIZIČKA SVOJSTVA												
	$G_s$	Organske materije %	$\text{CaCO}_3$ %	Granulometrijski sastav				Granice konzistencije i vrsta tla					
				Glina < 0.002 mm	Prašina 0.002-0.06 mm	Pesak 0.06-2.0 mm	Frakcije < 0.075 mm	$w_L$ %	$w_P$ %	$I_P$ %	USCS	AASHTO	Grupni indeks
Visoko plastična glina Radljevo	2.67	1.24	0.00	22	72	6	96	50.6	19.1	31.5	CH	A7-6	18
Leteći pepeo Kostolac	2.22			0	75	25	80						

**Tabela 3.** Mehanička svojstva primenjenih materijala

MATERIJAL LOKACIJA	MEHANIČKA SVOJSTVA											
	Zbijenost		Stišljivost					Čvrstoća				
	Proktorov opit		$M_v$ kPa			$C_c$	$C_r$	Pritisak bubrenja kPa	Opit direktnog smicanja		UCS	CBR %
	$\gamma_{d,max}$ kN/m <sup>3</sup>	$w_{opt}$ %	50-100	100-200	200-400				$\phi'$ °	$c'$ kPa		
Visoko plastična glina Radljevo	16.64	19.07	14330	10380	10800	0.010	0.010	156.0	25.5	26.2	231.4	4.6
Leteći pepeo Kostolac	9.85	37.55	27230	39430	42950	0.083	0.018		30.9	28.5	87.0	57.9

### 3. PRIPREMA UZORAKA, PROGRAM I METODE ISPITIVANJA

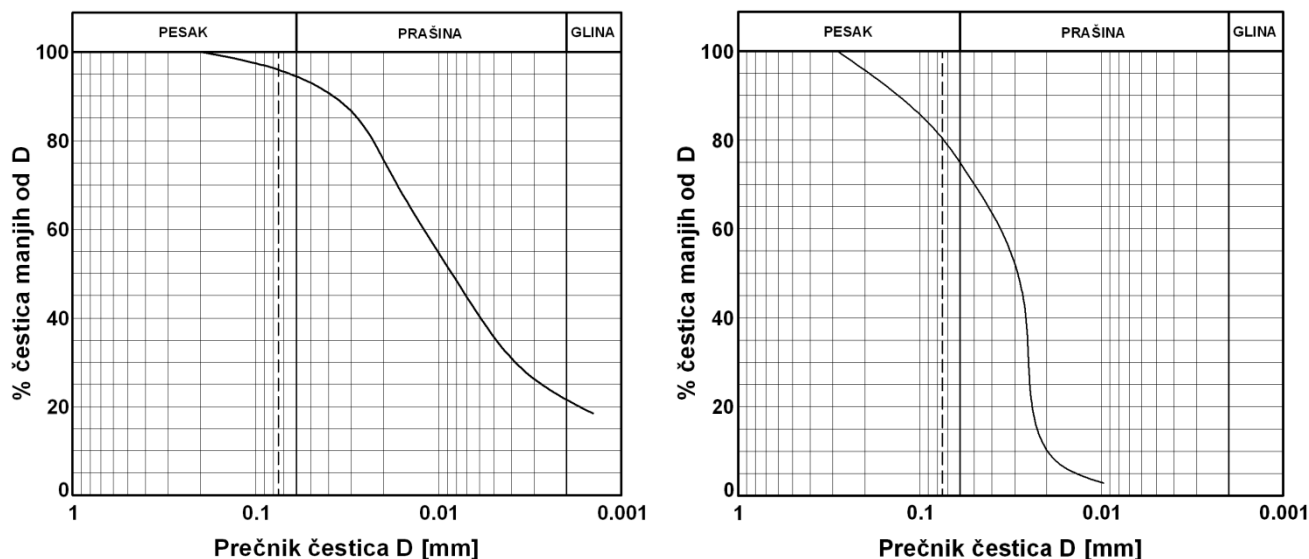
#### 3.1. Priprema uzoraka

Probna tela za izvođenje laboratorijskih ispitivanja pripremljena su sa minimalnim preporučenim sadržajem Polybonda prema standardu STO 69646750-001-2011 [4], u iznosu od 0.175 l/m<sup>3</sup> ugrađenog (zbijenog) materijala. Prvo je formiran vodeni rastvor Polybonda (0.08% u odnosu na masu vode), a zatim je odgovarajuća količina vodenog rastvora dodata suvoj masi tla (Grupa 1), odnosno tla i letećeg pepela (Grupa 2).

Prilikom spravljanja mešavina Grupe 2 korišćen je ranije određen optimalni procenat pepela za ispitivanu kombinaciju visoko plastične gline (Radljevo) i pepela iz TE "Kostolac" (EFP-KOS), u iznosu od 20% u

odnosu na suhu masu tla. Osnovni parametar pri izboru optimalnog procenta pepela u slučaju primenjene vrste tla bilo je maksimalno povećanje CBR vrednosti pri starosti uzoraka od 1 dana [2].

Probna tela su pripremljena pri istim početnim uslovima. Najpre su pažljivim mešanjem napravljene suve homogene mešavine usitnjenog tla i odgovarajuće količine pepela (u odnosu na suhu masu tla), a zatim je dodata odgovarajuća količina vodenog rastvora Polybonda i izvršeno zbijanje bez odlaganja, pri optimalnoj vlažnosti ( $w_{opt}$ ) prema standardnom Proktorovom opitu. Tom prilikom zanemaren je uticaj Polybonda na promenu optimalne vlažnosti mešavina. Primenjene optimalne vlažnosti za mešavine Grupe 1 i 2 prikazane su u Tabeli 4. Uzorci su pre ispitivanja čuvani u eksikatorima na temperaturi od 25°C.



Slika 1. Granulometrijski sastav visoko plastične gline(levo) i letećeg pepela KOS-FA(desno)

Tabela 4. Optimalne vlažnosti mešavina

Grupa	Opis	$w_{opt}$ %
1	Tlo + Polybond	19.07
2	Tlo + Polybond + leteći pepeo	21.59

Za utvrđivanje vremenske zavisnosti efekata stabilizacije tla Polybondom praćena je promena osnovnih mehaničkih svojstava stabilizovanog tla izvođenjem opita na probnim telima različite starosti - 1, 3, 7 i 28 dana. Dobijeni rezultati ispitivanja uzoraka iz Grupe 1 upoređeni su sa karakteristikama netretiranog tla – etalona (Tabele 2, 3). Rezultati ispitivanja uzoraka iz Grupe 2 upoređeni su sa rezultatima ispitivanja uzoraka tla stabilizovanih letećim pepelom (bez Polybonda) [2].

### 3.2. Metode ispitivanja

Za utvrđivanje fizičko-mehaničkih karakteristika stabilizovanog tla izvršena su odgovarajuća laboratorijska geomehanička ispitivanja. Sva ispitivanja izvršena su prema domaćim SRPS standardima. Sprovedeni su opiti jednoaksijalne čvrstoće, Kalifornijskog indeksa nosivosti (CBR), direktnog smicanja, stišljivosti, vodopropusnosti i otpornosti na mraz.

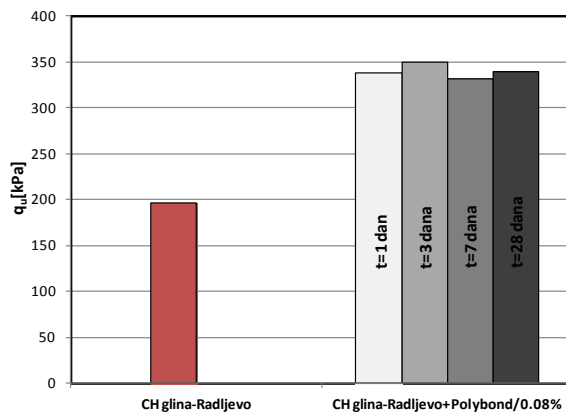
## 4. REZULTATI ISPITIVANJA

### 4.1. Stabilizacija visoko plastične gline Polybondom

#### 4.1.1. Jednoaksijalna čvrstoća - UCS

Rezultati opita jednoaksijalne čvrstoće tla sa dodatkom Polybonda su prikazani na Slici 2. Dodatkom Polybonda u minimalnom preporučenom iznosu zabeležen je značajan porast kratkoročne čvrstoće u iznosu od 72%. Rezultati opita nakon 3, 7 i 28 dana ukazuju na neosetljivost pomenutog parametra na proteklo

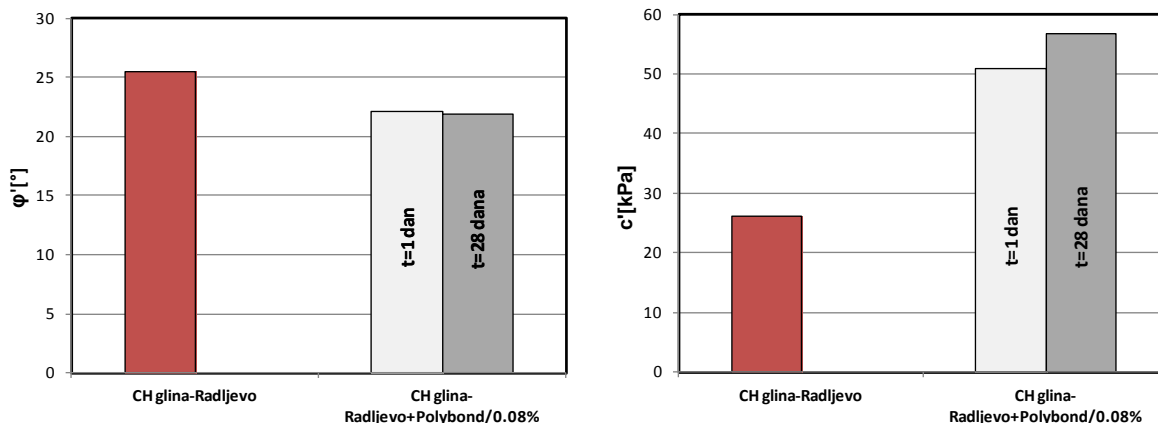
vreme. Uočeni trend je u neku ruku i očekivan s obzirom da se mehanizam stabilizacije Polybandom bazira prevashodno na redukciji vezane vode.



Slika 2. Jednoaksijalna čvrstoća

#### 4.1.2. Efektivni parametri smičuće čvrstoće

Efektivni parametri smičuće čvrstoće prikazani su na Slici 3. Dobijeni rezultati pokazuju da se primenom Polybonda ugao smičuće čvrstoće  $\phi'$  neznatno smanjio u odnosu na etalon (oko 15%). Rezultati dobijeni pri starosti uzoraka od 28 dana ukazuju na nezavisnost gore pomenutog parametra od proteklog vremena. S druge strane, efekti tretiranja ove vrste tla Polybandom su posebno izraženi u pogledu kohezije. Zabeleženo je značajno trenutno povećanje kohezije (oko 95%). Rezultati opita direktnog smicanja nakon 28 dana ukazuju na blagi priraštaj kohezije kroz vreme.



Slika 3. Parametri smičuće čvrstoće

#### 4.1.3. Kalifornijski indeks nosivosti - CBR

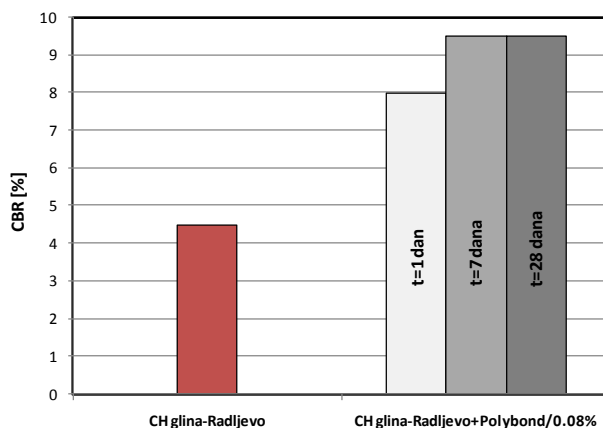
Poznato je da gline generalno imaju nisku CBR vrednost, što ih čini nepodobnim materijalom za podloge puteva. Rezultati ispitivanja Kalifornijskog indeksa nosivosti tla sa dodatkom Polybonda prikazani su na Slici 4. U poređenju sa CBR vrednošću nestabilizovanog tla, dodatkom Polybonda postignut je porast od 110%. Ovo je vrlo značajno poboljšanje, s obzirom da stabilizovano tlo postaje upotrebljivo u putogradnji.

#### 4.1.4. Parametri deformabilnosti

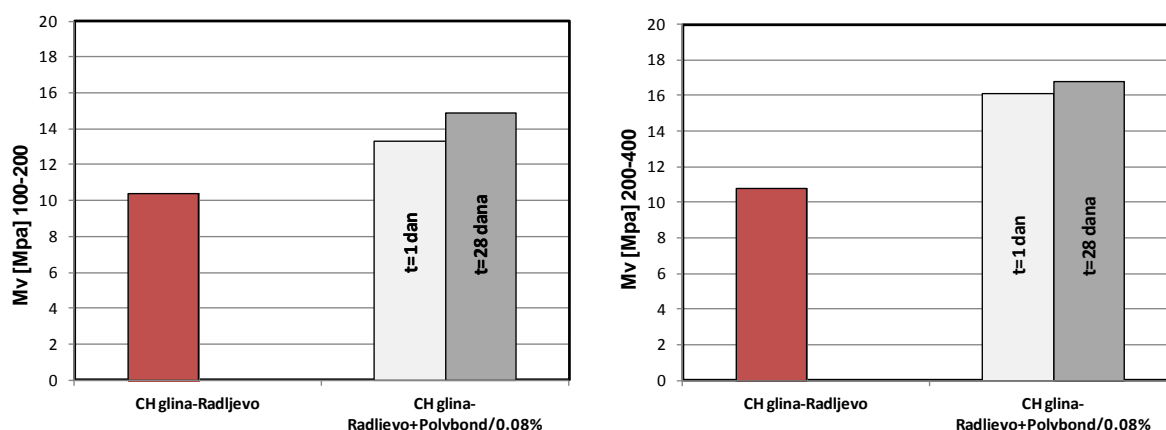
Na Slici 5 prikazani su moduli stišljivosti  $M_v$  za intervale vertikalnih napona 100-200 kPa i 200-400 kPa. Dobijeni rezultati ukazuju na umereno smanjenje deformabilnosti tretiranog tla. Dodatkom Polybonda u minimalnom preporučenom iznosu konačni moduli su se povećali 43%, odnosno 56% u odnosu na etalon.

#### 4.1.5. Bubrenje

Ispitivano tlo pre dodavanja Polybonda pokazivalo je sklonost ka bubrenju – pritisak bubrenja određen u edometarskom opitu je  $P_b=156$  kPa, a deformacija bubrenja je  $\epsilon=2.16\%$ . Ova osobina je povezana sa prisustvom minerala montmorijonita. Dodavanjem Polybonda ekspanzivnost tla je značajno umanjena. Pritisak i deformacija bubrenja kao osnovni pokazatelji ekspanzivnosti materijala redukovani su na  $P_b=48$  kPa odnosno  $\epsilon=0,92\%$ .



Slika 4. CBR vrednosti



Slika 5. Moduli stišljivosti

#### 4.1.6. Koeficijent vodopropusnosti

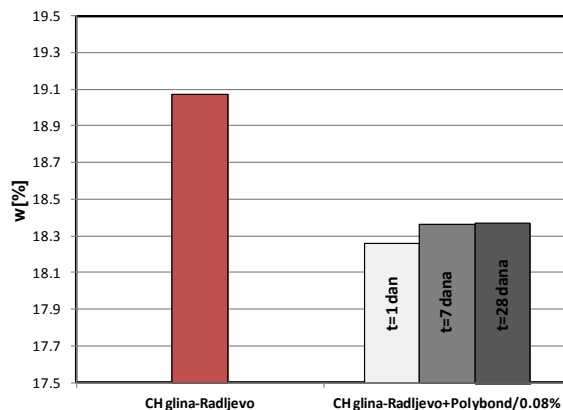
Opšte je poznato da visokoplastične gline imaju malu vodopropusnost. Rezultati sprovedenih ispitivanja pokazuju da se tretiranjem ovakvih materijala Polybondom koeficijent filtracije dodatno smanjuje. Prema klasifikaciji koju su predložili Terzaghi i Peck [5] mešavine stabilizovane Polybondom se mogu smatrati praktično vodonepropusnim ( $k=1,97e-10 < e-9$  m/s).

#### 4.1.7. Otpornost na mraz

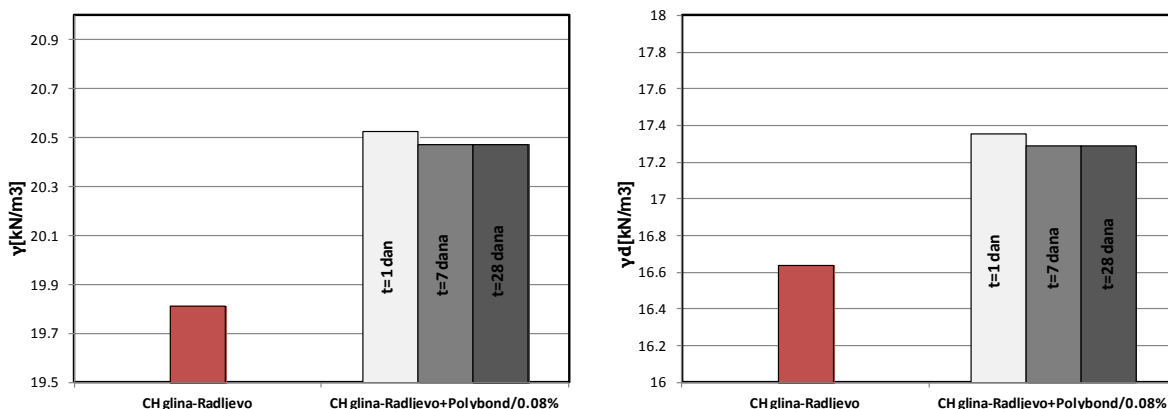
Rezultati sprovedene studije ukazuju da je pritisna čvrstoća uzoraka tretiranih Polybondom nakon 14 ciklusa smrzavanja i kravljenja neznatno smanjena u odnosu na čvrstoću uzoraka koji su istovremeno bili potopljeni u vodu. Dobijena vrednost indeksa otpornosti prema mrazu iznosi  $R=91\%$ , što ispunjava zahteve standarda SRPS U.B1.050 ( $R>80\%$ ) [6]. Smatra se da je stabilizovano tlo otporno na dejstvo mraza.

#### 4.1.8. Zapreminska težina i vlažnost

Za formiranje potpunije slike o mehanizmu stabilizacije Polybondom i boljeg razumevanja postignutih efekata, analizirane su promene vlažnosti i zapreminske težine kroz vreme. Dobijeni rezultati prikazani su na Slikama 6 i 7.



Slika 6. Vlažnost

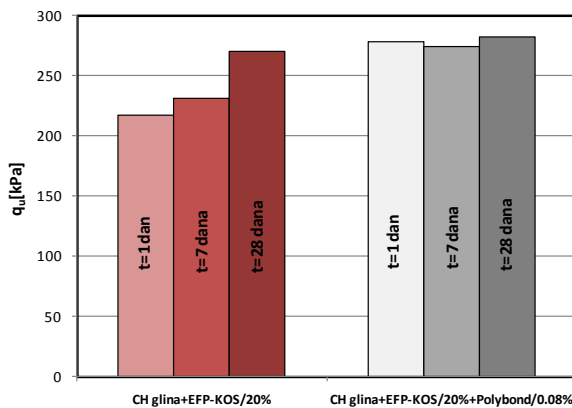


Slika 7. Zapreminska težina

Praćenjem vlažnosti zabeležen je trenutni pad, neposredno nakon dodavanja rastvora vode i Polybonda suvom tlu, što je posledica aktivacije hemijskih reakcija sa mineralima gline. Povećanje zapreminske težine u suvom stanju uzoraka tretiranih Polybondom u odnosu na etalon ukazuje da se za istu početnu (optimalnu) vlažnost pripremljenog materijala i istu primenjenu energiju zbijanja, dodatkom Polybonda u minimalnom iznosu nedvosmisleno povećava zbijenost. U opštem slučaju porast zbijenosti direktno utiče na poboljšanje mehaničkih svojstava tla - povećanje čvrstoće i smanjenje deformabilnosti, što je u skladu sa dobijenim rezultatima.

## 4.2. Stabilizacija visoko plastične gline Polybondom i letećim pepelom iz TE "Kostolac" (EFP-KOS)

### 4.2.1. Jednoaksijalna čvrstoća - UCS



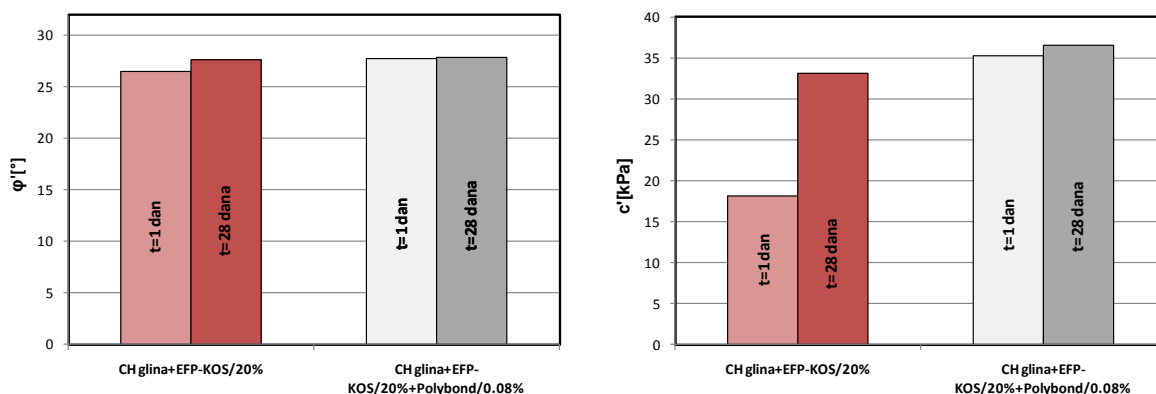
Slika 8. Jednoaksijalna čvrstoća

Rezultati ispitivanja jednoaksijalne čvrstoće tla sa dodatkom Polybonda i EFP-KOS prikazani su na Slici 8. Mešavina sa dodatkom oba aktivatora pokazuje umeren porast kratkoročne jednoaksijalne čvrstoće u iznosu od 28%.

Kostolački pepeo, iako nema naročito izražena vezivna svojstva, evidentno utiče na prirast čvrstoće kroz vreme razmatrane visokoplastične gline. S druge strane, takav trend nije zabeležen za mešavine pripremljene sa oba dodatka. Razlog za uočeno ponašanje može da leži u nekompatibilnosti dva dodatka u usvojenim uslovima negovanja.

#### 4.2.2. Efektivni parametri smičuće čvrstoće

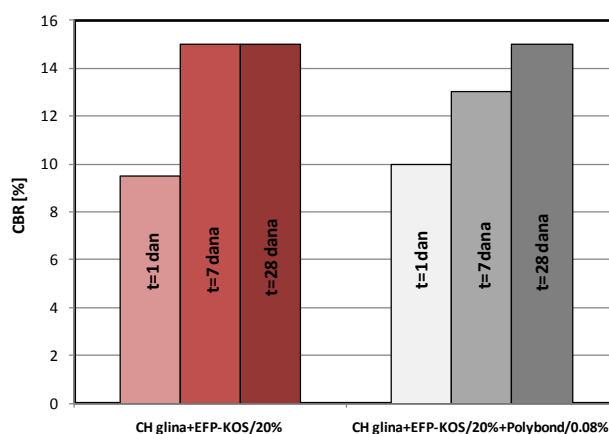
Dobijeni rezultati (Slika 9) pokazuju da se ugao smičuće čvrstoće  $\phi'$  nakon jednog dana neznatno povećao za mešavinu sa oba dodatka. Rezultati dobijeni nakon 28 dana ukazuju na neosetljivost ovog parametra na proteklo vreme. Tretiranjem ove vrste tla primenom oba aditiva zabeleženo je značajno povećanje kohezije nakon jednog dana (oko 93%), koja slično jednoaksijalnoj čvrstoći pokazuje trend stagnacije.



Slika 10. Promena efektivnih parametara smičuće čvrstoće

#### 4.2.3. Kalifornijski indeks nosivosti - CBR

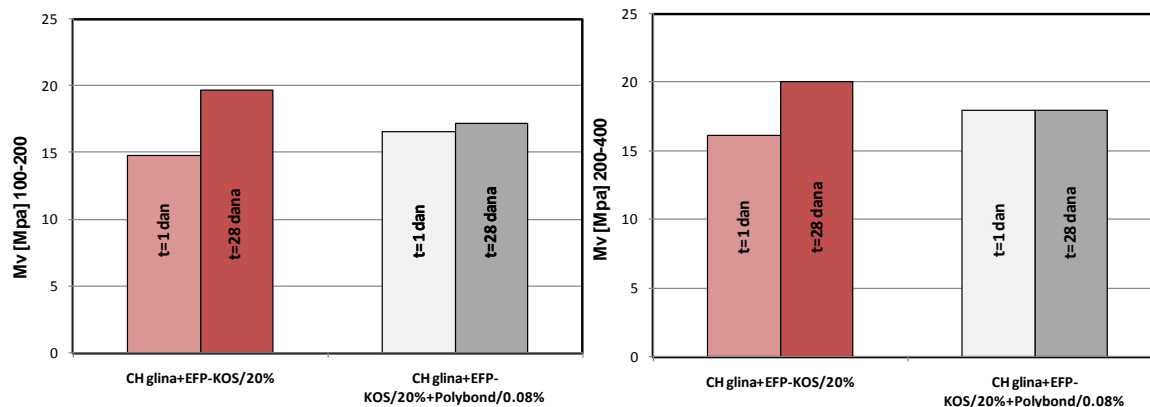
Rezultati ispitivanja Kalifornijskog indeksa nosivosti prikazani su na Slici 10. Sa priloženih dijagrama može se uočiti da su CBR vrednosti nakon 28 dana za mešavine sa i bez Polybonda praktično jednake. Dobijeni trendovi povećanja CBR vrednosti, kao i neosetljivost pomenutog parametra na dodatak Polybonda su očekivani, uzimajući u obzir izrazito visoke CBR vrednosti etalona pepela (58%).



Slika 10. CBR vrednosti

#### 4.2.4. Parametri deformabilnosti

Na Slici 11 prikazani su moduli stišljivosti  $M_v$  za intervale vertikalnih napona 100-200 kPa i 200-400 kPa. Dobijeni rezultati ukazuju na neosetljivost parametara deformabilnosti na dodatak Polybonda. Slično kao i u slučaju CBR vrednosti, i ovde pepeo igra dominantnu ulogu, koja je naročito izražena sa povećanjem starosti uzoraka.



Slika 11. Moduli stišljivosti

#### 4.2.5. Bubrenje

Rezultati ranije sprovedene Studije pokazali su da se tretiranjem visoko plastične gline (Radljevo) pepelom EFP-KOS njena sklonost ka bubrenju potpuno eliminiše. Kombinovano dejstvo pepela i Polybonda potvrdilo je prethodno uočen trend sa stanovišta bubrenja.

#### 4.2.6. Koeficijent vodopropusnosti

Za razliku od Polybonda, kostolački pepeo zbog krupnije granulometrijske kompozicije deluje nepovoljno sa stanovišta vodopropusnosti. Dodatak pepela povećava vodopropusnost razmatrane visokoplastične gline i na taj način čini je manje podesnom za primenu u izradi nasipa i hidrotehničkih objekata. Tretiranjem mešavine tla i pepela Polybandom, koeficijent vodopropusnosti je značajno smanjen, pa dobijeni rezultati ( $k=2,87e-9$  m/s) ukazuju da pomenuta mešavina prema klasifikaciji Terzaghi-Peck [5] predstavlja materijal veoma male vodopropusnosti.

### 5. ZAKLJUČAK

Rezultati sprovedenih ispitivanja jasno ukazuju na pozitivne efekte stabilizacije gline Polybandom i potvrđuju stavove da se može uspešno primeniti kao stabilizator glinovitih vrsta tla u različitim praktičnim primenama kao što su: stabilizacija slabo nosivog tla, izgradnja nasipa i geotehničkih konstrukcija male vodopropusnosti, poboljšanje mehaničkih osobina gornjih slojeva donjeg stroja saobraćajnica itd. Rezultati sprovedenih ispitivanja su pokazali da se kombinovanim dejstvom letećeg pepela i Polybonda značajno smanjuje koeficijent vodopropusnosti. Kombinacijom pepela i Polybonda kao stabilizatora postižu se i poboljšanja mehaničkih karakteristika i smanjenja vodopropusnosti, čime se ova kombinaciju preporučuje za stabilizaciju pri izgradnji hidrotehničkih nasipa.

#### Literatura

- [1] SuperRoads - Inovativna tehnologija u izgradnji puteva - <http://superroads.rs/technology.html>
- [2] Studija „Upotreba letećeg pepela termoelektrana za stabilizaciju tla, samozbijajući i valjani (RCC) beton sa osvrtom na trajnost cementnih maltera i sitnozrnih betona“, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2014.
- [3] ASTM C618-15: Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, ASTM International, 2015.
- [4] STO 69646750-001-2011: Soil and asphalt-granules-concrete mixtures reinforced with soil stabilizer Polybond for use during automobile road, railroad and airfield constructions, SuperRoadRus, 2011.
- [5] Terzaghi, K.; Peck, R.B.; Mesri, G. Soil Mechanics in Engineering Practice. Wiley. USA, 1967.
- [6] SRPS U.B1.050:1970: Geomehanička ispitivanja - Ispitivanje otpornosti cementom stabilizovanog tla prema mrazu, Institut za standardizaciju Srbije, 1970.



# PODOBNOŠT UPOTREBE PEPELA IZ TE MORAVA ZA IZRADU POSTELJICE NA DELU DRŽAVNOG PUTA I-B REDA BR.27

**Dušan Panić**

Institut za puteve ad Beograd, [panicdusan@highway.rs](mailto:panicdusan@highway.rs)

**Rezime:** Projektnim zadatkom Inoviranog glavnog projekta poboljšanja državnog puta I-B reda br. 27, deonica Markovac – most na V. Moravi predviđeno je ispitivanje mogućnosti izrade posteljice na eksperimentalnoj deonici od pepela sa deponije TE Morava koja se nalazi u neposrednoj blizini. Rezultati laboratorijskih ispitivanja mešavine pepela sa 3 vrste veziva (negašeni kreč i dva tipa cementa) su ocenjeni na osnovu kriterijuma iz Internih tehničkih uslova JP Puteva Srbije. Ta ispitivanja su pokazala da je mešavina pepela sa negašenim krečom (3% CaO) ispunila u potpunosti zahtevane kriterijume za ugradnju u posteljni sloj. Rezultati ispitivanja takođe ukazuju i na opravdano korišćenje pepela umesto prirodnih građevinskih materijala. Odgovornost za budućnost platenete je na nama, i maksimalnim korišćenjem nus-produkata kao što je pepeo smanjujemo korišćenje prirodnih građevinskih materijala i čuvamo te resurse za budućnost.

**Ključne reči:** pepeo, mešavina pepela sa krečom, mešavina pepela sa cementom

## 1. UVOD

Godišnja proizvodnja pepela u Republici Srbiji iznosi oko 7 miliona tona. On se deponuje na prostorima koji zauzimaju površine od preko 1500 hektara. Elektroprivreda Srbije izdvaja godišnje oko 50 miliona evra za deponovanje i održavanje deponija. Od 2017 god. Elektroprivreda Srbije će imati dodatne obaveze oko zaštite životne sredine pa će dalje gomilanje pepela stvarati i dodatne troškove. JP Putevi Srbije su u Projektnom zadatku Inoviranog Glavnog projekta poboljšanja državnog puta I-B reda br.27 predvideli ispitivanje mogućnosti primene pepela iz TE Morava. U periodu nakon izrade Projektnog zadatka došlo je do donošenja Uredbe (juli mesec 2015god) čime je stvorena zakonska mogućnost upotrebe pepela u putogradnji. Početkom 2016 god. JP Putevi Srbije objavljuju Interne tehničke uslove o izgradnji nasipa trupa puta od letećeg pepela koje se u najvećoj meri oslanjaju na Češki standard TP93:2011. Rezultati ispitivanja pepela iz TE Morava su ocenjeni na osnovu kriterijuma iz Internih tehničkih uslova JP Puteva Srbije.

TE Morava je locirana na desnoj obali reke Velika Morava, na 2,8 km od Svilajнца. Za proizvodnju električne energije ova elektrana kao gorivo troši lignit iz Kolubare i u manjim količinama mrki ugalj iz jama podzemne eksploatacije Resavica, Soko i Lubnica. Transport pepela na deponiju vrši se uz pomoć vode, u odnosu 10:1. Kao pozajmište materijala za potrebe izgradnje posteljice na eksperimentalnoj deonici odabrana je kasetna 7 u kojoj je deponovanje pepela završeno u toku 2014 god. Kasetna 7 se nalazi na samo par stotina metara od mosta na V. Moravi i predmetne saobraćajnice tako da bi transportni troškovi bili minimalni.

Projektnim zadatkom Inoviranog glavnog projekta poboljšanja državnog puta I-B reda br.27 deonica Markovac – Most na V. Moravi u dužini od 4,02 km traženo je da se ispita mogućnost izvođenja eksperimentalne deonice u dužini od 200 m na kojoj bi se potpuno/delimično zamenio postojeći materijal u posteljici pepelom iz TE Morava. Takođe, Projektnim zadatkom predviđena i izrada Tehničkih uslova za izradu ove deonice sa posebnom pažnjom na uslove izvođenja posteljice od pepela iz TE Morava.

Ispitivanja pepela izvedena su na uzorcima spremljenim sa 3 vrste veziva: negašenim krečom (CaO) i cementima CEM II/B-M(V-L) 42,5N i CEM III/B 32,5N-LH/SR.

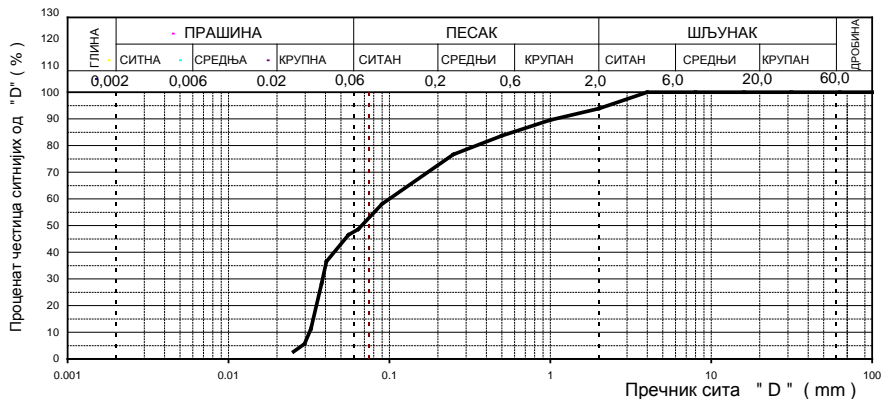
## 2. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA PEPELA

### 2.1 Ispitivanje granulometrijskog sastava

Pepeo sa deponije je prašinsto-peskovit materijal, sive boje, neplastičan i većinom rastresit mada se u masi uočavaju i grudve nastale samovezivanjem, uglavnom santimetarskih dimenzija.

Iako samoočvščavanje nije karakteristika silikatnih pepela kojima pripadaju pepeli iz svih naših termoelektrana, oni ipak u minimalnom procentu sadrže i CaO koji omogućava stvaranje grudvi.

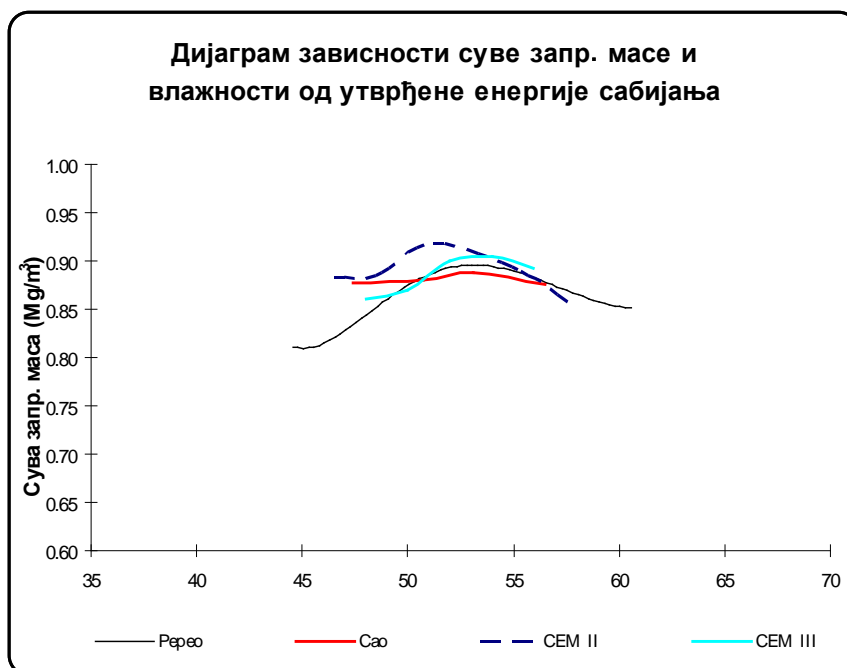
Koeficijent neravnomernosti iznosi  $C_u=3.4$ , koeficijent zakrivljenosti  $C_c=0.37$  dok prema AASHTO klasifikaciji materijal spada u A-4 grupu.



Slika 1. Dijagram granulometrijskog sastava pepela

## 2.2 Određivanje zavisnosti suve zapreminske mase i vlažnosti ( Proktorov opit)

Određivanje zavisnosti suve zapreminske mase i vlažnosti urađeno je prema standardu SRPS EN13286-2:2012.



Slika 2. Dijagram zavisnosti suve zapr. mase i vlažnosti pepela bez i sa dodacima  
Od utvrđene energije zbijanja

Ispitivanje je pokazalo da mešavine sa različitim vrstama veziva nisu pokazale značajnije međusobne razlike u optimalnoj vlažnosti. U vreme uzimanja uzorka (septembar 2015) prirodna vlažnost pepela iz kasete 7 (sa dubine od ~0.2 – 2.0 m) je iznosila 56.5%.

Kako je optimalna vlaga bliska prirodnoj, to znači da bi pepeo praktično razastiranjem i zbijanjem bez dodatnog kvašenja na probnoj deonici bio spreman da se po njemu razastre potrebna količina veziva i krene sa mešanjem i zbijanjem.

U tabeli 1 prikazani su rezultati Proktorovih opita.

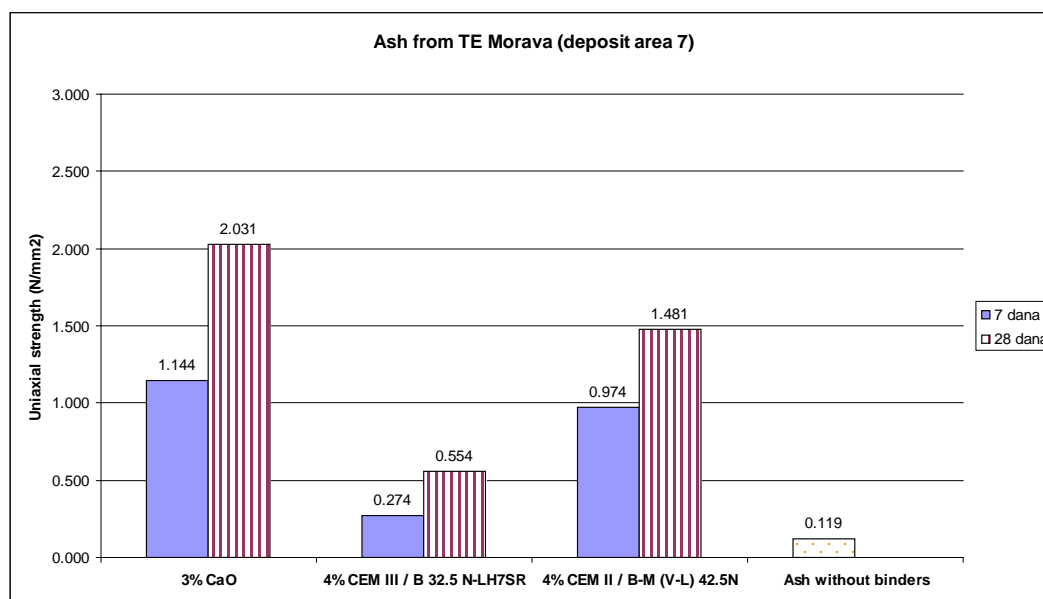
**Tabela 1. Rezultati Proktorovih opita**

Mešavina	$W_{opt}$ (%)	$\rho_{dmax}$ (Mg/m <sup>3</sup> )
Pepeo	53.1	0.896
Pepeo+CaO	53.9	0.889
Pepeo+CEM II	52.3	0.922
Pepeo+CEM III	53.3	0.907

### 2.3 Određivanje čvrstoće pri pritisku mešavine pepela i različitih vrsta veziva

Određivanje čvrstoće pri pritisku sprovedeno je na telima dimenzija  $\varnothing$  100 mm i visine 120 mm, pripremljenih po Proktorovom postupku sa standardnom energijom  $\sim$  0,6 MJ/m<sup>3</sup>. Određivanje čvrstoće na pritisak izvedeno je na pepelu bez dodatka da bi se dobila etalonska vrednost i na pepelu sa 3 vrste veziva: CaO, CEM II/B-M(V-L) 42,5N i CEM III/B 32,5N-LH/SR. Procenti veziva određeni su na osnovu iskustva prikupljenog na izradi ranijih studija u vezi pepela.

Pritisne čvrstoće ispitivane su na probnim telima posle 7 i 28 dana. Probna tela su skladištena u komori sa 90-100 % vlažnosti i temperaturi (20 $\pm$ ) °C.



Slika 3. Dijagram čvrstoća na pritisak pepela sa i bez dodatka

Određivanje čvrstoće pri pritisku mešavine pepela i različitih vrsta veziva izvedeno je u skladu sa standardom SRPS EN 13286-41:2012.

### 2.4 Određivanje čvrstoće pri pritisku nakon dejstva mraza mešavine pepela i različitih vrsta veziva

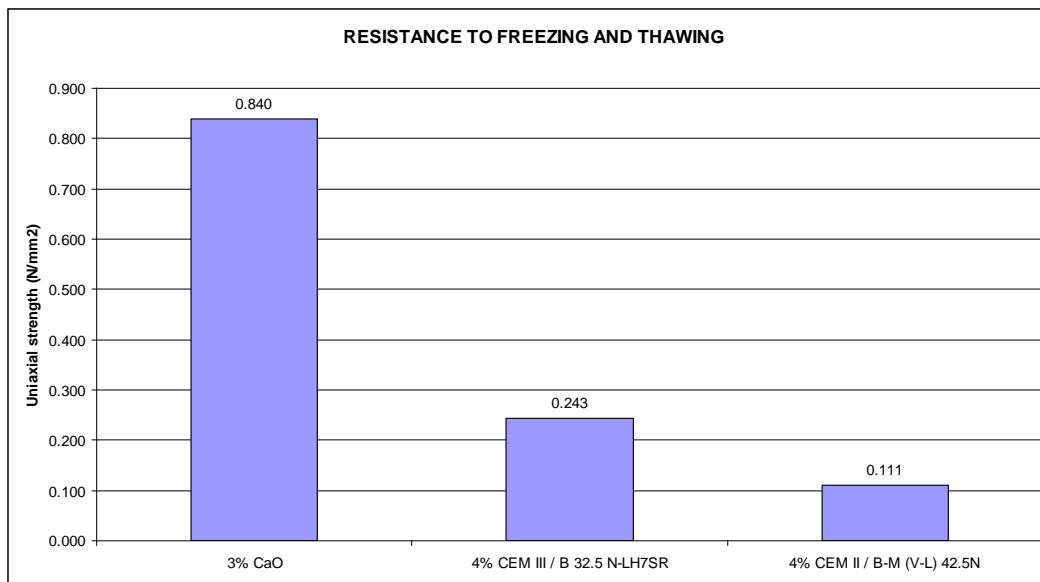
Nakon nege koja je trajala 28 dana u klimatizovanoj komori, dozvoljava se kapilarno zasićenje uzoraka vodom tako što se tela postavljaju na vlažan geotekstil. Bitno je da uzorci ne dođu u direktan kontakt sa vodom. Zatim se uzorci stavljaju u zamrzivač na 6 sati. Nakon isteka tog vremena, uzorci se vade iz zamrzivača i opet stavljaju na vlažan geotekstil da bi se omogućio nastavak kapilarnog zasićavanja. Odmrzavanje se obavlja na +20°C-25°C. Ovaj postupak traje 18 sati. Test se nastavlja sa novim zamrzavanjem i ponavlja u propisanom ciklusu prema tabeli 1 sa najmanje 3 tela.

**Tabela 2.** Temperature mraza i broj ciklusa

Sloj kolovoza	Temperatura smrzavanja (°C)	Broj ciklusa za dato područje (°C x dan)		
		Do 350 m.n.v	350 – 600 m.n.v	> 600 m.n.v
Gornji noseći sloj	-20 +/- 2	10	13	16
Donji noseći sloj	-15 +/- 2	7	10	13

Izvor: ČSN 73 6124-1

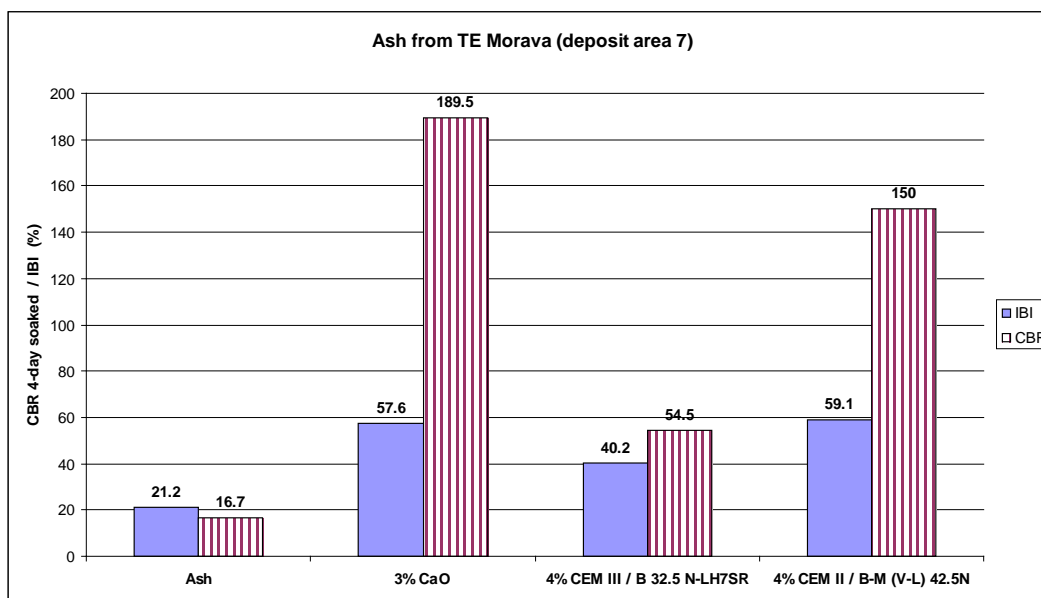
Iako se predmetna deonica nalazi na oko 100 m.n.v, broj ciklusa zamrzavanja – odmrzavanja je iznosio 10 umesto 7.



Slika 4. Dijagram čvrstoće na pritisak nakon 10 ciklusa smrzavanja-odmrzavanja

### 2.5 Određivanje Kalifornijskog indeksa nosivosti i neposrednog indeksa nosivosti - CBR/IBI

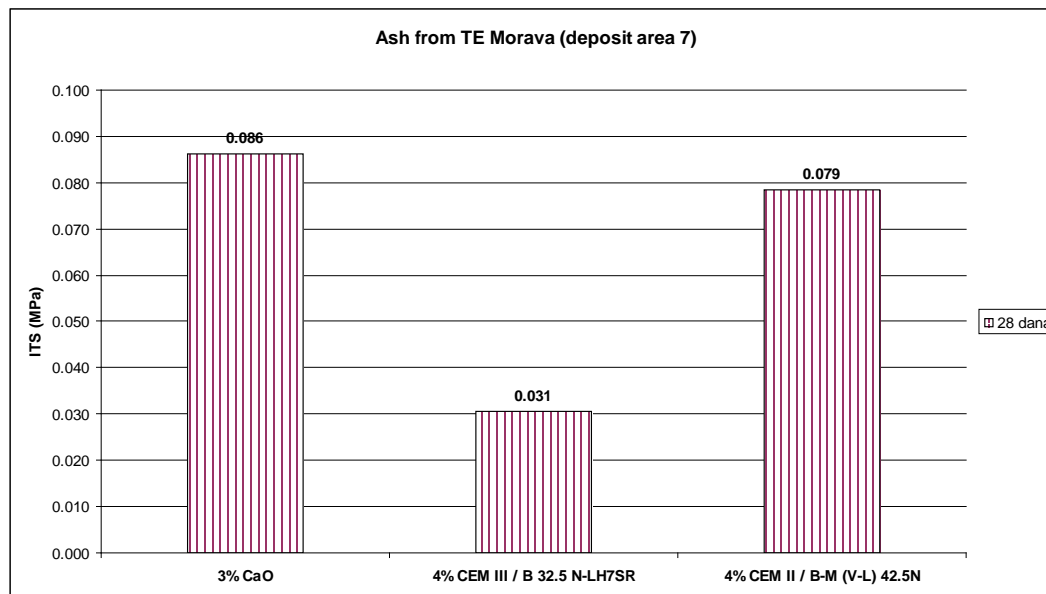
Uzorci za određivanje Kalifornijskog i neposrednog indeksa nosivosti pripremljeni su u skladu sa standardom SRPS EN 13286-47:2012. Uzorci za određivanje CBR-a su nakon izrade negovani tako što su potpuno potopljeni u vodi proveli 4 dana, dok su uzorci na kojima je određivan IBI bili ispitani nakon 1 časa od izrade. Nakon negovanja uzoraka u vodi nisu uočene nikakve zapreminske promene kod pepela.



Slika 5. Dijagram CBR/IBI vrednosti

## 2.6 Određivanje čvrstoće pri indirektnom zatezanju mešavine pepela i različitih vrsta veziva

Jedini način određivanja zatezne čvrstoće granularnih materijala je indirektnom metodom. Direktna zatezna čvrstoća  $R_t$  može se izračunati iz indirektno zatezne čvrstoće  $R_{it}$  po formuli  $R_t=0,8 R_{it}$ .



Slika 6. Dijagram čvrstoća pri indirektnom zatezanju

Pritisne čvrstoće ispitivane su na probnim telima posle 28 dana. Probna tela su skladištena u komori sa 90-100 % vlažnosti i temperaturi (20+/-) °C.

Određivanje čvrstoće pri indirektnom zatezanju mešavine pepela i različitih vrsta veziva izvedeno je u skladu sa standardom SRPS EN 13286-42:2012.

## 3. OCENA REZULTATA ISPITIVANJA

Rezultati ispitivanja ocenjeni su prema kriterijumima iz Internih tehničkih uslova o izgradnji nasipa trupa puta od letećeg pepela JP Puteva Srbije koji se u najvećoj meri oslanjaju na Češke tehničke uslove TP93:2011.

Tabela 3. Ispitivanja potrebna za ocenu kvaliteta stabilizovanog pepela za izradu posteljice

Opit	Parametar	Zahtevana vrednost	Standard
Standardni Proktorov opit (SP)	$\rho_{d \max}$ , $W_{opt}$ .	100 %	SRPS EN 13286-2:2012
Ispitivanje čvrstoće na pritisak *	Čvrstoća na pritisak u MPa	$C_{1.5/2}$	EN 14227-14
Otpornost protiv mraza i vode *	Čvrstoća na pritisak u MPa **	$C_{0.8/1}$	
Zapreminske promene - bubrenje	bubrenje	< 3 % ***	Vidi prilog 3
Dužina tehnološkog odlaganja	vreme očvršćavanja	Prilog 4 Int.teh.uslova	Prilog 4 Int.teh.uslova
Modul deformacije iz dugog ciklusa opterećenja opita pločom ****	$E_{v2}$	$\geq 45$ MPa	SRPS U.B1.047:1997 (DIN 18134:2012)

Izvor: Interni tehnički uslovi o izgradnji nasipa trupa puta od letećeg pepela JP Puteva Srbije

#### 4. ZAKLJUČAK

Laboratorijska ispitivanja su potvrdila dosadašnja iskustva da je pravi izbor veziva za stabilizaciju silikatnih pepela negašeni kreč (CaO). Mešavina pepela sa 3% kreča je ispunila zahteve propisane Internim tehničkim uslovima JP Putevi Srbije u pogledu čvrstoće na pritisak nakon 28 dana i čvrstoće na pritisak nakon dejstva mraza.

Mešavina pepela sa 4% CEM II je zadovoljila propisane kriterijume u pogledu čvrstoće na pritisak nakon 28 dana ali nije pokazala zadovoljavajuću otpornost na dejstvo mraza pa se zbog toga ne može ugraditi u sloj posteljice.

Rezultati ispitivanja mešavina pepela sa 4% CEM III su daleko ispod zahtevanih vrednosti.

Iako se u Internim tehničkim uslovima o izgradnji trupa puta od pepela CBR vrednost ne koristi za ocenu kvaliteta stabilizovanog sloja, vrednosti dobijene ispitivanjem su takve da uveliko nadmašuju vrednost koje bi se dobile korišćenjem recimo drobljenog kamenog agregata.

Upotreba letećeg pepela ili pepela sa deponija ima značajne prednosti kada se koristi u izgradnji puteva, bilo da se koristi za izgradnju putnih nasipa, kao dodatak betonu za mostove, kao sredstvo za stabilizaciju prirodnih materijala u slojevima kolovozne konstrukcije ili kao u ovom slučaju, izgradnju posteljice od hidraulički stabilizovanog pepela.

Korišćenje pepela umesto prirodnih građevinskih materijala, značajno smanjenje emisije CO<sub>2</sub> i smanjenje površina pod deponijama su jedni od mogućih benefita za životnu sredinu. Očuvanjem prirodnih resursa za buduće generacije obezbeđuje se održivi razvoj naše putne infrastrukture.

U slučaju TE Morava, sve je manje mesta za nove kasete u neposrednoj blizini u kojima bi se odlagao pepeo. U svetlu problema koje Srbija ima u zadnje vreme sa poplavama, pepeo iz popunjenih kasete bi mogao biti upotrebljen za izradu vodoodbrambenih nasipa ukoliko bi to bilo potvrđeno dodatnim ispitivanjima. Time bi se napravilo mesta za deponovanje novog pepela što bi produžilo vremenski vek rada termoelektrane. Kako se ugalj iz površinskih kopava u termoelektanu transportuje železnicom, ona bi mogla biti iskorišćena i za jeftini transport pepela do mesta ugradnje.

#### Spisak Literature:

1. *Interni tehnički uslovi o izgradnji nasipa trupa puta od letećeg pepela JP Puteva Srbije*

# EXPERIENCE WITH LIME TREATED SOILS IN SLOVENIA

Matej Maček<sup>1</sup>, Andrej Ločniškar<sup>2</sup>, Marko Bebar<sup>3</sup> Ana Petkovšek<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana, Slovenija

<sup>2</sup>DRI upravljanje investicij d.o.o., Kotnikova ul. 40, 1000 Ljubljana, Slovenija

<sup>3</sup>IGMAT d.d. Inštitut za gradbene materiale Polje 351 c, 1260 Ljubljana Zalog, Slovenija

**Abstract:** *In Slovenia, soil treatment with lime has been used in modern road design and construction since 1964. In the first decades, lime was used mostly to improve the compaction properties of wet, water sensitive silty clays in the road sub-grades or to improve them to be used as fill material for road embankments.*

*In the period of 1996 to 2008, during the construction of the Slovenian Motorway Cross, several million cubic meters of highly plastic and expansive clayey soil have been treated with lime. The treatment was used to reduce the swelling potential and/or to improve the long term resistance of fill material to the seasonal water changes in the embankments.*

*The paper first gives some brief information about the Slovenian technical specification regarding the use of lime in road construction and then focuses on the experiences, gathered after 2003 on motorway job sites, where expansive soils were treated with lime and used as fill material in motorway embankments. The importance of soil water retention curve during the laboratory mixture design and the importance of mixture homogeneity during construction are emphasized.*

**Keywords:** lime treated soil, case history, soil suction

## 1. INTRODUCTION

### 1.1. Historical background

The geological compositions of the large part of Slovenian territory are limestones ( $\text{CaCO}_3$ ) and dolomites ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ). Therefore, it is not a coincidence that lime has been a traditional construction material for centuries.

The use of lime in modern road design and construction has been reported in Slovenia since 1964. In the first decades, lime was used primarily to improve wet, water sensitive silty clays in sub-grades or to improve them to be suitable as fill material in road embankments.

The first guidelines for soil treatment with lime in Slovenia were prepared in 1970 (Žmavc, 1970) and Yugoslav standard JUS U.E9.026 (1970, 1982) defined the rules for the execution of lime stabilised soil road base courses. General technical conditions (GTC) for road works (1986), followed by the Special technical conditions (STC) for earthworks on roads (1989) defined the materials and technological procedures, placing and compaction requirements, methods of measurements and the basis for the payment of lime treated soils in road sub-grades, embankments and sub-bases.

In the 1980s and in the first half of 1990s the use of lime in road construction almost vanished due to many reasons: a) the working equipment was temporarily taken away to the distant job sites in Iraq, Algeria and Libya, b) the good quality quarry materials were available for a reasonable price and there were enough places for the permanent landfilling of unsuitable soils from road cuttings, c) there were no investments in large infrastructural projects.

In 1983 there was an attempt to introduce the Nordic type deep mixing (lime column) to improve soft, very wet marshy soils in the foundation of the several kilometres long South Motorway Ring of Ljubljana. On the basis of the onsite trial tests, executed by the Nordic company, it was found out that the geological and the loading conditions on site were not feasible for lime columns.

In 1995 the Slovenian Parliament confirmed the National Program of Motorway Construction (NPJA) that provided the construction of 500 km of modern motorways. The Program was extended to the 573 km in 2004. This was the largest project ever realised on the territory of Slovenia and represented a big challenge for all engineers and the earthworkers as well. During this period more than 2 million cubic meters of expansive soils were treated with lime, and large volumes of wet, plastic, non-expansive soils were modified with lime to improve the compaction and the mechanical properties.

## 1.2. Expansive soils as fill material – a new challenge for Slovenian road engineers

At different motorway sections that run over the Pliocene sediments the lack of good quality material for embankments represented serious obstacles for the NPIA Program realisation. Although the older engineering experiences reported damages on roads and light structures due to the presence of volume unstable, expansive soils, the decision was made to use all locally available fine grained, plastic soils from the motorway cuttings as fill material for up to 7 - 10 m high motorways embankments.

Properties and the behaviour of Pliocene clayey sediments in Slovenia varied significantly.

In the central part of Slovenia the motorway crosses the “terra rosa like” plastic clayey silts (MH, MH - CH). Some typical index parameters are: liquid limit ( $w_L$ ): 60%–100%, plasticity index ( $I_p$ ): 13%– 30%, Enslin-Neff water adsorption ( $w_A$ ): around 80%, MBI, determined according to ASTM C837– 99: 2-5 meq/100g, natural water content ( $w_0$ ): 35%–70%, one-dimensional free swell ( $\varepsilon_{swell}$ ): less than 2%. In a laboratory compacted state at optimum water content, these types of soils exhibit maximum dry density on average  $\rho_{dmax}$ : 0.9 – 1.3 t/m<sup>3</sup>, low CBR values (< 3%) and very low strength when compacted at natural water content.

In the eastern part of Slovenia the motorway crosses the “Panonian edge” type plastic clays. Some typical index parameters are: liquid limit ( $w_L$ ): 45%–110%, the Enslin-Neff water adsorption ( $w_A$ ): 70%–130%, MBI according to ASTM C837– 99: 8–45 meq/100g, index of consistency ( $I_c$ ): 1.1–1.2 and the compaction properties are good. However, the one-dimensional free swell deformations ( $\varepsilon_{swell}$ ) are in the range of: 4% to more than 12%.

Laboratory tests performed for the main design showed that the engineering properties and the behaviour of both types of materials may be improved and the swelling potential of the clays can be significantly reduced by the addition of 3 – 6% of lime.

It must be pointed out that at the time, when the preliminary laboratory mixtures were designed, before 2003 there were no engineering experiences in using these types of demanding materials in large earthworks projects. There was no time to control the laboratory prescriptive on the trial embankments and to correct them if necessary.

The construction of large embankments started solely on the basis of laboratory tests. The treatment of the terra rosa type sediments and their compaction ran well and there were no difficulties during the construction or after it. Some sections of the motorways have been under exploitation for more than 15 years now without any unevenness or other types of deformations, related to unexpected soil behaviour in the embankments or sub-grades.

Modification of the “Panonian edge” type swelling clays ran well until autumn 2003 when deformations appeared on the newly constructed motorway section. On the basis of forensic investigation the new tests were introduced in the process of the design of laboratory mixtures and in the process of quality control during construction: the soil suction, the pH and the phenolphthalein indicator tests. Chapter 3 of this paper presents the lessons learned and the experiences acquired in Slovenia on the motorway job-sites, using the lime treated swelling clays as fill material.

## 2. SLOVENIAN TECHNICAL SPECIFICATION FOR SOILS, IMPROVED/STABILISED WITH LIME

### 2.1. Lime Improvement and Lime Stabilisation

Special technical conditions (STC) for earthworks (1989) draw a distinction between lime improvement (or modification) and lime stabilisation:

- Improvement refers to the immediate effects of adding lime into the wet or highly plastic soil to reduce its moisture content or plasticity index to render it acceptable for compaction.
- Stabilisation refers to the immediate and long term effects of adding lime to the soil to assure its short and long term mechanical properties under seasonal water changing and/or frost action.

Requirements given in standard JUS (1982), in General (GTC) and Special technical conditions (STC) (1986, 1989) differ slightly from each other and reflect the engineering knowledge and the experiences gathered at the time, when the documents were prepared and published.



## 2.2. Design procedures

### 2.2.1 Chemicals

Lime shall be quick lime (CaO) or hydrated lime (Ca(OH)<sub>2</sub>). Lime shall be delivered in dispersed state by tank trucks. Lime in bags shall be used exceptionally, only for very small job sites.

Other types of chemicals (class C fly ash or other pozzolans) can also be used if appropriate laboratory and field tests prove their efficiency.

### 2.2.2. Preliminary laboratory mixture design – requirements

Soils, suitable for modification with lime were recommended in JUS (1982) and in GTC (1986) and are presented on figure 1.

At least three (3) to five (5) laboratory mixtures must be prepared to define the optimal mixture for field treatment. Preliminary tests to define the effect of lime in the soil-lime mixtures include:

- Natural water content ( $w_0$ )
- Atterberg limits ( $w_L$ ,  $w_P$ ,  $I_P$ )
- Proctor (standard) test ( $\rho_{dmax}$ ,  $w_{opt}$ )
- CBR value. For sub-grade and for fill material, CBR is measured immediately after compaction of soil-lime mixture. Other, not specified tests can also be used if it proves that the required compaction degree will be achieved on site. For sub-base the required value of CBR is  $\geq 15\%$  and must be measured after 7 days in capillary saturated state.
- Unconfined compressive strength (UCS) of compacted mixtures after 7 and 28 days.
- Resistance to frost and water. It shall be examined only for soil-lime mixtures for sub-base and base layers. Specimens of mixtures shall be exposed to 14 cycles of freezing at  $-15\text{ }^\circ\text{C}$  and thawing at  $+20\text{ }^\circ\text{C}$ . The resistance is estimated as a reduction of strength, comparing the strength achieved on the exposed and not exposed specimen of the same age ( $q_f/q$ ). To estimate resistance to water the procedure is the same. Instead of freezing, the process of soaking is following by the process of drying.

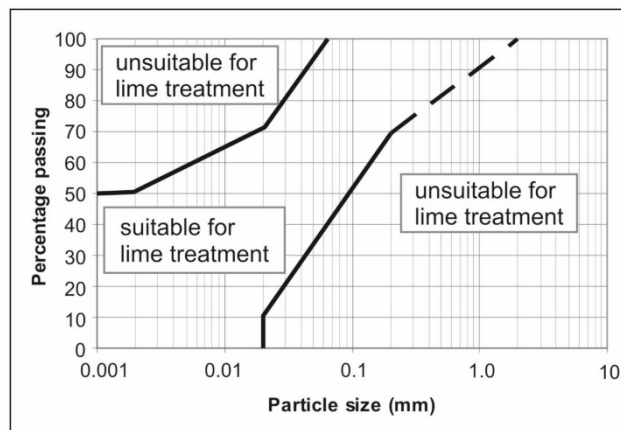


Figure 1. Recommended area of soil grading, suitable for modification with lime according to JUS (1982).

Table 1. Comparison of requirements for soil – lime mixtures.

Property	time	JUS U.E9.026			GTC, 1986			STC, 1989		
		sub grade	fill m.	sub base	sub grade	fill m.	sub base	sub grade	fill m.	sub base
D <sub>PR</sub> (%)		95	95	100	98	98	100	92-98	92-98	98
CBR (%)	immediate 7 days	$\geq 5$	$\geq 5$	$\geq 15$	-	-	$\geq 15$	-	-	-
UCS (MPa)	7 days 28 days	0.2 0.3	0.3 0.4	0.4 0.5	0.3 0.5	0.3 0.5	0.4 0.6	$\geq 0.4$	$\geq 0.5^*$	$\geq 0.5^*$
Resistance to frost, water ( $q_f/q$ ratio)		-	-	$\geq 0.8$	-	-	design	-	$\geq 0.7^*$	$\geq 0.7$

\*Only for stabilization

### 2.3. Field tests during compaction – requirements

Before the regular construction works start, the personnel, the equipment, the lime dosage, the mixture procedure and the compaction procedure must be checked at the trial field. GTC (1986) and STC (1989) give exact requirements about the degree of compaction and layer of stiffness, the number and the frequency of tests and the number of samples to be taken for the additional laboratory compliance test. The most frequent tests are the tests to control the compaction degree and layer modulus ( $E_{v2}$ ). The plate with light falling weight ( $E_{vd}$ ) has become very popular recently. The control tests run on two lines, as Contractor internal control tests and as independent third party test, were included by the Client. The ratio between the Contractor and the Client tests is normally 4:1.

**Table 2.** Required values for soils treated with lime during compaction on site (STC, 1989)

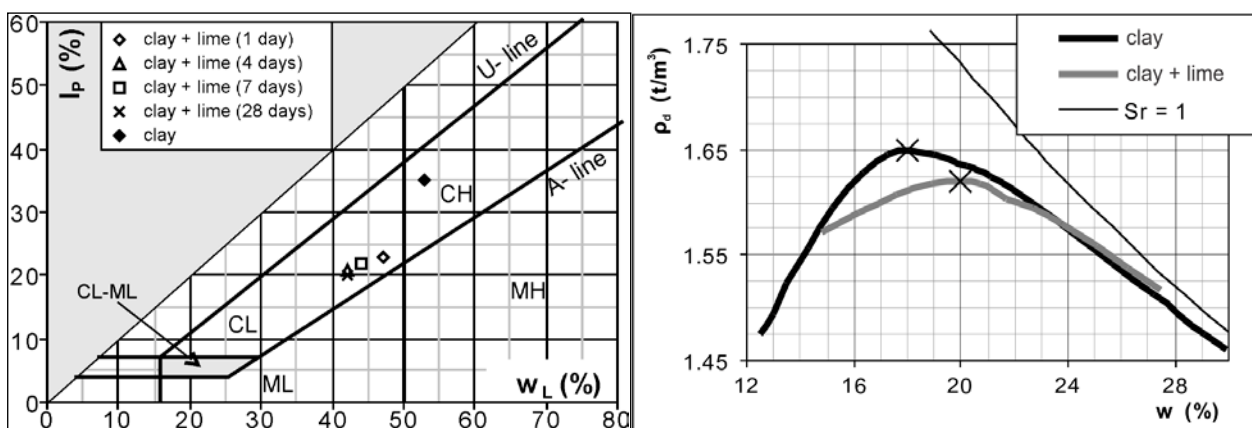
Type of layer	Lime use	Degree of compaction: $D_{PR}$ (%)	Layer modulus $E_{v2}$ (MPa)
More than 2 m below the crown	Improvement	92	-
	Stabilisation	92	-
2 m – 0.5 m below the crown	Improvement	95	20
	Stabilisation	95	30
Less than 0.5 m below the crown and the crown	Improvement	98	25
	Stabilisation	98	40

### 2.4. Experiences with soil improvements from job sites 1996 - 2008

Slovenian experiences from large job sites where the lime was used to treat wet soils or plastic non-expansive soils to improve their compaction characteristics and mechanical properties have been good. In most cases the hydrated lime was used in the addition of 2.5% – 4.0% (to the dry mass of soil). These types of treatment shall be understood as “improvement”, not as stabilisation.

The lime was used to improve or to stabilize the sub-base or base layers. The reason was that laboratory mixtures, treated with lime, did not fulfil the criteria for resistance to water. To achieve the  $q_i/q$  ratio  $\geq 0.7$  or  $q_i/q$  ratio  $\geq 0.8$ , much higher amount of lime should be added and these amounts were found uneconomic. Therefore, all sub-base and base layers were constructed using certified stone aggregates.

Many engineers understand the role of lime as drying agent in the improved soil mixtures. This role shall be accepted especially when quick lime is used. However, experiences from a large number of Slovenian jobsites show that a small percentage of hydrated lime does not influence significantly the reduction of water content in the fresh soil-lime mixture. Much more effective seems to be lime as a flocculant, which immediately decreases the plasticity index, increases the optimum water content and decreases the reference maximum dry density of soil-lime mixture (figure 2).



**Figure 2:** Effect of lime on the plastic limit of mixture (left) and on the Proctor curve (right). Laboratory tests performed on Pliocene clayey soils from a motorway job site, E Slovenia (Maček et al., 2010).

During the field compaction control on large motorway job sites, numerous soil lime mixture samples were taken for the control laboratory tests. In the laboratory, fresh mixtures were compacted at the field water content and then maintained for 7 days. Hundreds of tests confirmed that on average, the achieved compression strength ( $q$ ) was 3 – 8 MPa and the water resistance ( $q_i/q$ ) was from 0 – 0.6. These control tests proved the reliability of the preliminary laboratory mixture designs.

## 2.5. Slovenian technical specification and new European standards for hydraulically bound mixtures

The European standard EN 14227-11:2006–Soil treated by lime is one of the fourteen (14) standards for hydraulically bound mixtures. It was accepted also as a Slovenian standard SIST EN 14227-11:2006.

The EN 14227-11:2006 has not been implemented yet in the Slovenian road laboratories and in the Technical specification (GTC and STC) for earthworks. This means that at the moment the EN 14227-11 is not yet in regular use.

The comparison between the existing Slovenian specifications and the EN 14227 -11 shows that some of the test methods, used in the past, will have to be modified to the new European standards and at least three additional requirements shall be added to the list of the “mandatory” tests for the laboratory mechanical performance classification.

Slovenia is a small country with a very diverse and demanding materials and geological structures. The number of laboratories and engineers, specialized for soil treatment with binders is very limited. There is no national budget to cover the expenses for the introduction of new standards, new test methods, new classification etc. Therefore, it is difficult to forecast, when the SIST EN 14227-11:2006 will be implemented into the operational use.

## 3. LIME TREATMENT OF EXPANSIVE SOILS IN SLOVENIA

### 3.1. Background

The appearance of expansive clays has been recognized in Slovenia for centuries. GTC (1986) limited the use of expansive soils in roads on the basis of simple index tests. Soils with liquid limit,  $w_L > 65\%$ , maximum dry Proctor density  $\rho_{dmax} < 1450 \text{ kg/m}^3$  and linear swelling in the CBR mould after inundation,  $e_{swel} > 4\%$  shall not be used in the sub-grade or as fill material for roads embankments without improvement.

The weak point of these simple indirect methods is that when they are used without direct swelling test, they may lead to erroneous conclusions. The volume change behaviour of unsaturated compacted swelling soils in the presence of water can be observed in two forms: as a heave or a collapse. After wetting, poorly compacted and low saturated soils collapse in the presence of sufficient surcharge pressure, while the same soils swell under lower surcharge pressure. Therefore, it is essential to recognize the behaviour of the compacted expansive soils under different conditions in realistic geo-environment.

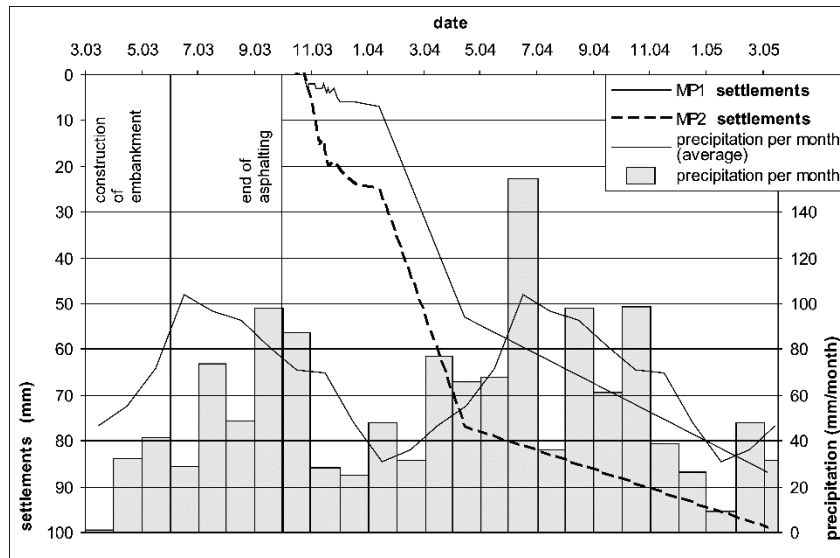
At the East motorway section near Murska Sobota, the only available material for the construction of the 7.5 m high and 320 m long embankment with the volume of  $450,000 \text{ m}^3$  were stiff expansive clays from the nearby motorway cutting. Preliminary tests showed, that the swelling potential can be reduced by the addition of 3-5% in the soils with the liquid limit  $w_L < 85\%$ , compacted at optimum water content or above. Therefore, the use of clays with  $w_L > 85\%$  was not allowed.

Construction started in March 2003 and was finished in August 2003. The Contractor's laboratory controlled daily the properties of clay and daily defined the amount of lime for stabilization. The Client's laboratory daily controlled the Contractor's results and with the independent tests confirmed that all works were in accordance with the design. The period of spring and summer 2003 was one of the driest and warmest ever recorded in the region and all earth works ran faster than it was planned.

The design anticipated the embankment to rest at least 6 months, before the pavement would be allowed to be constructed. Due to the very heavy transit traffic from West to East Europe the authorities decided to finish construction immediately and in the beginning of October the motorway was open for traffic.

Soon after the first rain in September a deformation appeared at the edges, between the kerbstones and the pavement and then progressed to the pavement in the form of cracks and unevenness. In December 2003 the outermost lines were closed for traffic. Settlement indicators (like MP1, MP2 on figure 3) and inclinometers were installed to monitor the development of deformation. The bore hole and the excavation pits were made through the pavement and samples were taken to find out the reasons for deformations. Inside the large excavation pit the stiffness of clayey layers inside the embankment was measured by circular plate. Tests showed that the water content in the core samples were on average up to 5% higher in the upper part and on average up to 3% higher in the lower part of the embankment in comparison with the

water content measured during construction. The stiffness of the layers was reduced by 2-3 times in the upper 4 m of embankment, and the soil matric suction equilibrates at 80–300 kPa. Analysis of the control testing results showed that the mixtures were compacted at water content much lower than optimum. Inclometers did not give any useful information. As the first monitoring system was introduced at the end of October 2003, there is no measuring data to show exactly what kind of deformation induced the pavement damages in September and October 2003. According to the visual inspections the swelling appeared first, followed later on by settlements.



**Figure 3.** Diagram showing the precipitation and settlements of the embankment during winter/spring of 2003/2004 to spring 2005 in connection with the 20-year average of precipitation in the region

The conclusion was that due to lack of pore water the  $Ca^{2+}$  cations from the lime did not come in contact with clay particles properly therefore the effect of lime was much lower than forecasted. During construction the Engineer were focused too much to the inspection of the addition of lime, and to the degree of compaction and stiffness, underestimating the significance of water content and suction of the mixtures during compaction.

### 3.2. New testing approach

To avoid similar damages as described above, additional laboratory investigations were performed. In the first step, natural clay from the cuttings and the lime treated laboratory mixtures were tested following the routine steps. Additionally, the water retention curve and the pH measurements were introduced in the test program. The newly designed mixtures were implemented during the construction of the next motorway sections. During construction of the embankments, special care was taken to the water content and the saturation degree control during compaction. The homogeneity was additionally controlled by the pH and the phenolphthalein indicator testing (Lime, 2004) (figure 4). Phenolphthalein changes from colourless to fuchsia between pH 8.2 and 10 (Wikipedia, 2016). The colour change indicates the location of the bottom of the mixing zone and if no colouration is detected insufficient lime content was added to soil, thus quality control can detect problems and act accordingly.



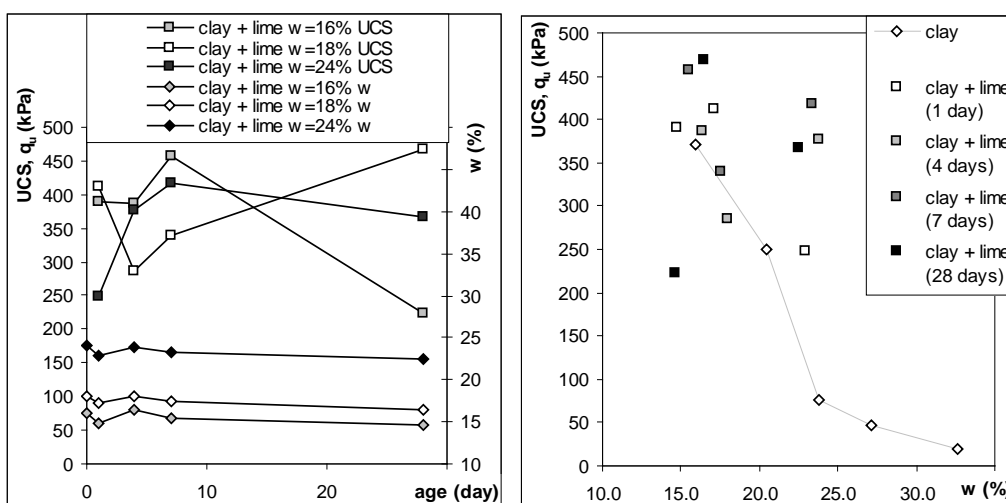
**Figure 4.** Indication of good homogeneity using phenolphthalein test.

At the second step, inspection boreholes were made through the newly constructed embankments and the cores were taken for laboratory tests. The gypsum suction probes were installed into the embankments at different levels for the long term observation of seasonal and permanent suction changes.

### 3.2.1. Results of the laboratory tests

Results of one of the of the test soil series ( $w_L = 53\%$ ,  $I_p = 35\%$ ,  $\rho_{dmax} = 1.65 \text{ t/m}^3$ ,  $\text{pH} = 5.9$ ) are presented in figures 4, 5 and 6. From the tests we concluded:

- The liquid limit changed during the first 4 days and then it remained constant (figure 2).
- The addition of lime increases the UCS significantly only at the water content on the wet side of the Proctor curve (figure 5 right).
- The UCS decreases after 28 days of ageing, in case when the clay-lime mixtures were compacted at water content at the dry side of the Proctor curve (figure 5).
- The addition of lime significantly reduces the swelling deformations (figure 6).
- The main effect of lime on the reduction of swelling was mobilized within the first four days.
- The soil water retention curve for the clay-lime mixture was found to be lower than those for the clay as expected (figure 7). From the soil water retention curves it can be concluded that at the optimum water content the lime treated soil exhibits lower suction (500 kPa) than the pure clay itself (1500 kPa). The difference of water retention curve of the lime treated clay and the pure clay was recognized as an important factor which may influence the swelling/shrinkage behaviour of a lime treated soil. However, based on Maček et al. (2011) findings on compacted clays, the suction was still significant enough to produce up to 4% volume deformations.



**Figure 5.** Change in water content and UCS with time (left) and influence of water content on UCS (right).

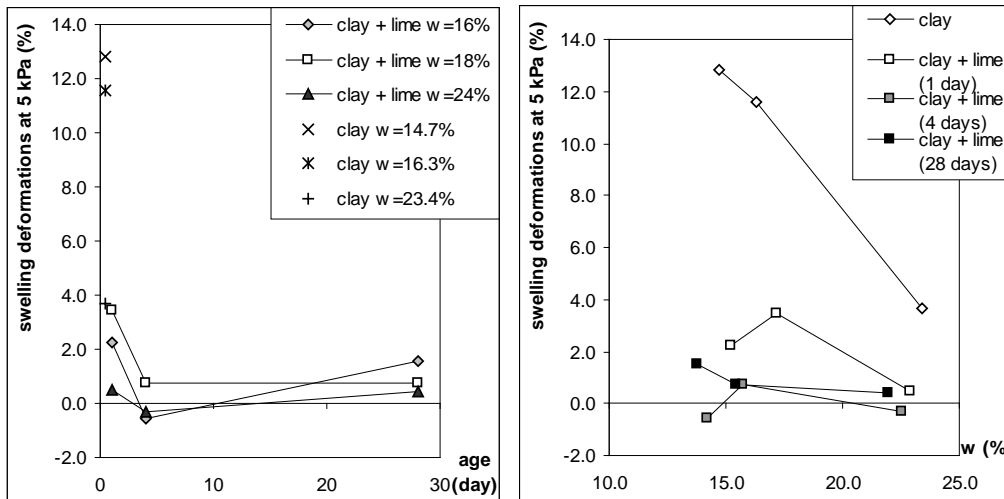


Figure 6. Change in volume deformations after inundation with time (left) and influence of water content on volume deformations (right).

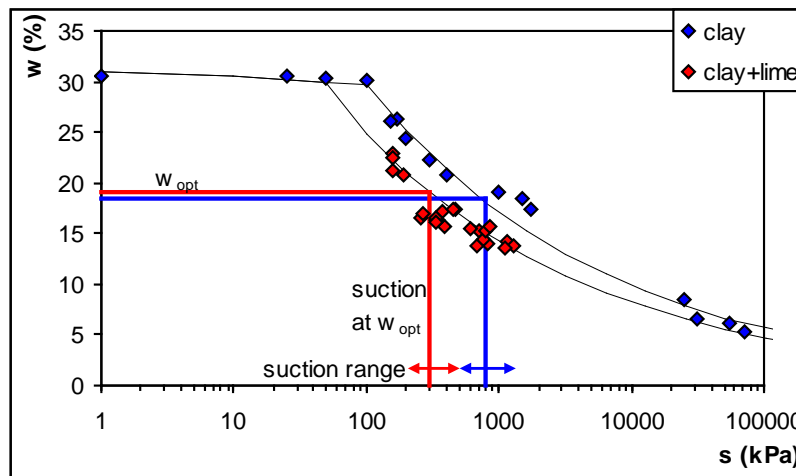


Figure 7. Soil water retention curves of compacted clay and lime treated clay.

### 3.2.2. Post construction monitoring

The construction of new regular and at the same time test embankments, using the lime treated expansive clay started in 2006. During the construction special care was paid to the homogeneity of mixing and moistening. In October 2007 control boreholes were drilled through the finished embankment at 3 different locations of a few kilometres long embankment.

Homogeneity of the mixtures in the core samples was controlled using the phenolphthalein indicator. The phenolphthalein indicator detects soils with pH higher than 10 (also 8.2) (figure 8). The non-coloured sections indicate the appearance of no or low lime content in the mixture, whereas no data means no test was performed. It was found that the appearance of softer parts of the core corresponded well with the non-coloured sections of the core.

The gypsum block suction probes were installed at different depths of the embankments at the same time. When the suction probes were installed, the embankment had already been resting for 15 months at Section 1, 12 months at Section 2 and 6 months at Section 3.

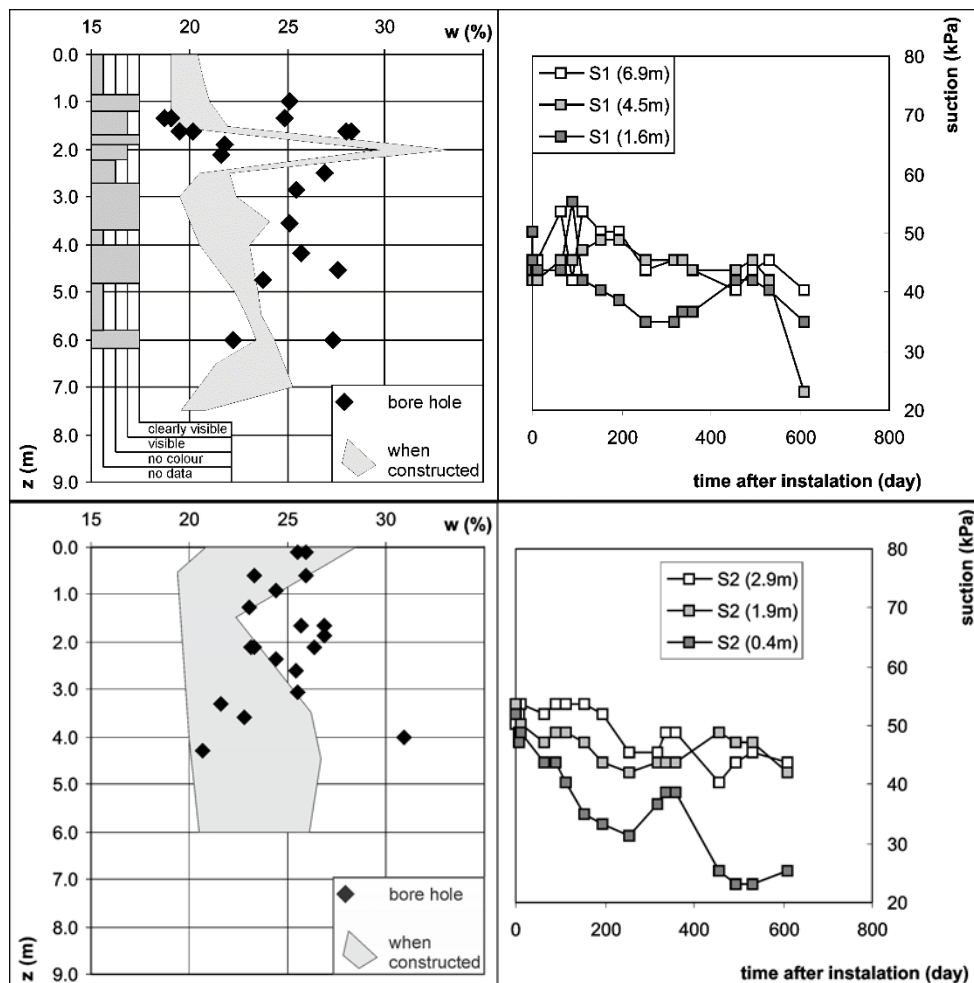
At Sections 1 and 2 the observed suctions remained constant between 30 and 60 kPa for more than five years of the monitoring period. At Section 3 the suction sensor at a shallow depth indicated suctions between 30 and 60 kPa and the sensors at greater depths indicated suction of 400-800 kPa during probes installation. At shallow depths suction remained constant and in greater depths it decreased to approximately 50 kPa during winter and spring months (figure 8, right).

Laboratory tests of cores included water content, the free swelling and the soil suction tests. It was found that the water content of the samples from Section 1 was in general higher than that measured at the same layers during the construction (figure 8, left). In Section 2 the difference in water content was recorded only inside the top 3 m. Samples from Section 3 showed no changes in water content. This is in agreement with field observation, where Section 1 and 2 exhibit equilibration to the surroundings before suction measurements started, and in case of Section 3 only after suction measurements started.

Similar findings to water contents were detected during the suction measurements. The lowest average suction was measured on samples from Section 1 and the highest was recorded on samples from Section 3. Suctions measured in the core samples in the laboratory were higher than those measured by gypsum probes on site, especially on Sections 1 and 2. This discrepancy could be explained by the effects of unloading, the difference between total and matric suction, and drying before the test and in the potentiometer WP4-T during testing.

The soil water retention curves of samples from the boreholes were generally the same as defined during the preliminary laboratory tests. The exception was detected on a sample from Section 1 at a depth of 1.6 m which did not react with the phenolphthalein indicator (figure 9). This sample had higher soil water retention curve and behaved more like untreated natural clay.

The average swelling deformation measured on core samples from all sections was approximately 2% and the highest measured swelling deformation was 4.8%. The samples from bore hole S3 where water content remained roughly the same as during construction had higher swelling deformations, and samples from boreholes S1 and S2, where embankment equilibrated with surroundings exhibit smaller swelling deformations (figure 10 left). The decrease of swelling deformations with increase of pH could also be observed (figure 10 right). When swelling deformations were compared with those from preliminary phase (figure 6), they were higher than expected, but this could be due to generally higher Atterberg limits of Pliocene clay used during construction.



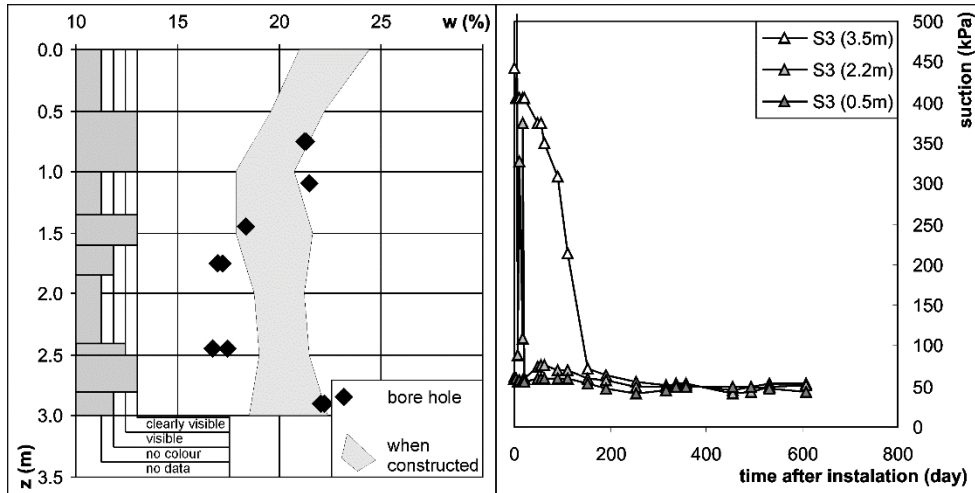


Figure 8. Core sample profile (left) and soil suction measurements at Sections 1, 2 and 3. Index values of phenolphthalein tests are on the left side of the left diagram.

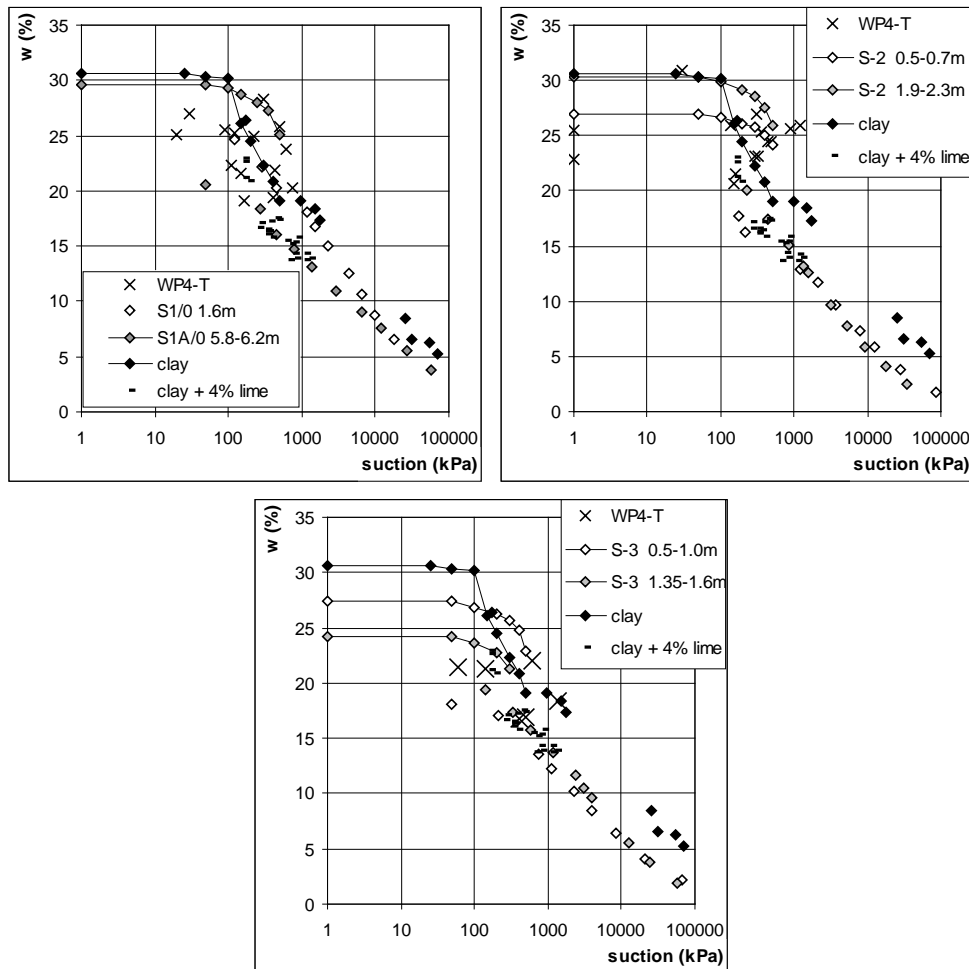


Figure 9. Comparison between water retention curves of clay and core suctions (upper and bottom left); comparison between swelling deformation measured on laboratory mixtures and cores- bore holes (bottom right).

#### 4. CONCLUSIONS

The use of Pliocene expansive clays for motorway embankments brought new challenges for engineers engaged in the earthworks in Slovenia. When using the non-swelling fine grained soils as fill material, the attention is focused mostly to the layer stiffness and the degree of compaction. Therefore, lower water



content than optimum was privileged for the fill material. When the expansive soils and the lime treated expansive soils are used as fill material, the appropriate water content (suction) is decisive.

If lime treated expansive clay possesses high suction during construction, it must be expected that the suction will equilibrate during the road exploitation, which will result in embankment softening. This may lead to the fatal post construction damages on pavements and on the slopes.

Slovenian experiences show that each time that a large volume of geological materials have to be used in demanding earth structures, the suitability of the existing methods to describe the behaviour of these new materials should be checked first and complemented with additional tests if necessary.

Motorway pavements, constructed on embankments, where the lime treated expansive clays were used as a fill material after 2006, have behaved according to the expectations. No swelling/shrinkage deformation has been observed up to now, which proves that the introduction of the soil suction measurements as part of the testing program was the right decision.

## References

- [1] ASTM C 837: 1999. Standard Test Method for Methylene Blue Index of Clay
- [2] ASTM D 4546: 2003. One-dimensional swell or settlement potential of cohesive soils
- [3] DIN 18 132: 1995. Messung der Wasseraufnahme von Boden
- [4] JUS U.E9.026:1982. Rules of execution of lime stabilized soil road base
- [5] Lime (2004). Lime-Treated Soil Construction Manual: Lime Stabilization & Lime Modification, 11th ed. (on-line) available at:  
<http://lime.org/publications/free-downloads/>  
(25.3.16)
- [6] Maček, M., Smolar, J., Bebar, M., Petkovšek, A. (2013). Soil matric suction as an indicator of volume changes in compacted clays modified with lime. *TerDOUEST Colloque Le traitement des sols pour un terrassement durable*, 263-271.
- [7] Maček M.; Majes B.; Petkovšek A. 2011. Influence of mould suction on the volume change behaviour of compacted soils during inundation. *Acta geotechnica Slovenica* 8(2): 67-79.
- [8] Maček, M., Bebar, M., Petkovšek, A. (2010). High embankments from highly plastic, stiff clays in North-East Slovenia. XIVth Danube-European Conference on Geotechnical Engineering, 1-10.
- [9] Petkovšek A., Maček M., Majes B. 2009. A laboratory characterization of soils and clay-bearing rocks using the Enslin-Neff water-adsorption test. *Acta geotechnica Slovenica* 6(2): 67-79.
- [10] Petkovšek A., Maček M., Majes B. 2010. Prispevek k boljšemu prepoznavanju nabrekalnega potenciala v zemljinah in mehkih kamninah = A contribution to the better understanding of swelling in soils and soft rocks. *Geologija*. 53(2): 181-196.
- [11] Posebni tehnični pogoji za zemeljska dela, STC, 1989, SCS Ljubljana, SFRJ.
- [12] SIST EN 14227-11:2006. Hydraulically bound mixtures - Specifications - Part 11: Soil treated by lime.
- [13] Splošni tehnični pogoji za dela na cestah, GTC, 1986, SCS Ljubljana, Zagreb, SFRJ.
- [14] Wikipedia (2016). Phenolphthalein. (on-line) available at:  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Phenolphthalein>  
(25.3.16)
- [15] Žmavc, J. 1970. Priročnik za stabiliziranje materialov. ZRMK Ljubljana, SFRJ, 75 p.

# THEORY AND PRACTICAL EXPERIENCES IN PAVEMENT REHABILITATION USING ASPHALT REINFORCEMENT GRIDS

Fabiana Leite-Gembus<sup>1</sup>, Daniel Hilpert<sup>1</sup>, Marija Bakrac<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Huesker Synthetic GmbH, Fabrikstr. 13-15, 48712 Gescher, Germany

<sup>2</sup> Geoestetika D.O.O., Cetinjska 24, 11000 Belgrade, Serbia

**Abstract:** *The conventional method for rehabilitation of cracked asphalt pavements is the installation of new asphalt layers. This resurfacing is often not an effective solution, as the existing cracks in the old asphalt layers can rapidly propagate to the top of the new overlay. In order to delay the development of reflective cracks, asphalt reinforcement grids have shown outstanding results in addressing the issue of crack propagation, eliminating or delaying the damage caused by water intrusion. Through basic theory and practical experiences this paper will demonstrate the success and extended pavement life that can be achieved by using asphalt reinforcement grids in highway applications. Special attention is given to the performance on site, e.g. the loss of tensile strength due to the paving procedure and the importance of using alkali-resistant materials when in direct contact with concrete or cement stabilized materials. The increased pavement life achieved by the use of this technology not only prevents excessive disruption to traffic flow and local business, but it also demonstrates strong environmental and economic benefits.*

**Keywords:** *asphalt reinforcement grid, pavement rehabilitation, reflective cracking.*

## 1. INTRODUCTION

Geosynthetics have been used all over the world for more than 40 years to delay or even prevent the development of reflective cracks in asphalt layers. Using asphalt reinforcement can clearly extend the pavement service life and therefore increase the maintenance intervals of rehabilitated asphalt pavements [1, 2]. This increase in pavement life does have the positive effect that not only the maintenance costs per year but also the amount of energy used for the maintenance can be significantly reduced. The need for sustainable designs and construction methods is now appearing more and more in corporate and social responsibility statements and could eventually become a criterion for the selection of construction methods.

Therefore the use of appropriate asphalt reinforcement should ideally be considered for future maintenance and rehabilitation surfacing contracts on bound pavements, which have a history of cracking at surface. Currently there are a number of different products and systems made of different raw materials (e.g. polyester, glass fiber, polyvinyl alcohol, carbon fiber, polypropylene) available in the market. It is not disputed that each of these systems has a positive effect in the battle against reflective cracking [3, 4]. However, there are differences in the behavior and effectiveness of each system.

The objective of the paper is to provide the reader sufficient information to introduce the concepts of using appropriate asphalt reinforcement geosynthetics in the rehabilitation or maintenance of bound road surfaces. Additionally typical applications and limits for the use of asphalt reinforcement, described by basic theory and practical experiences, will be demonstrated.

## 2. MECHANISMS OF REFLECTIVE CRACKING

Reflective cracking consists on the propagation of cracks from a deteriorated layer to the surface of a new overlay and is the major modes of failure in rehabilitated pavements [5]. It is well known that cracks appear due to external forces, such as traffic loads combined with temperature variations. The temperature influence leads to the binder content in the asphalt becoming brittle, so that cracking starts at the top of a pavement and propagates down (top-down cracking). On the other hand, high stresses at the bottom of a pavement from external dynamic loads lead to cracks that propagate from the bottom to the top of a pavement (bottom-up cracking).

When a wheel load passes over the road construction, localized bending and shear stresses appear on the existing crack and cause the origin and further development of cracks [1, 4]. The shear action occurs twice by each load application, while the bending action occurs only once (Figure 1).

---

<sup>1</sup> Corresponding author: leite-gembus@huesker.de



**Figure 1.** Critical loading cases in a pavement crack

A conventional rehabilitation of a cracked flexible pavement involves milling off the existing top layer and installing a new asphalt course, but cracks are still present in the existing (old) asphalt layers. As a result of the horizontal and vertical movements at the crack tip, the cracks will propagate rapidly to the top of the rehabilitated pavement.

In a similar case, deteriorated concrete pavements are typically rehabilitated by installing new asphalt layers over the old concrete slabs. The temperature variations lead to a rapid crack propagation especially at the expansion joints to the top of the new asphalt overlay. As summary, it can be stated that simple hot mixed asphalt (HMA) overlays are not cost-effective against reflective cracking [5].

In order to delay the propagation of cracks into the new asphalt layers, there are several techniques to rehabilitate cracked pavements. However, one of the most popular method among new techniques recommended is the use of interlayer systems between the old pavement and the new overlay, such as geosynthetics [6].

### 3. ASPHALT REINFORCEMENT GRIDS

The main function of geosynthetic products used in the construction and rehabilitation of roads and pavements is to reduce the amount of cracking in a new pavement or asphalt overlay. This can be achieved by reinforcement, stress relief and/or interlayer barrier [7]. Certain geosynthetics only perform a single function and others can perform several functions from a single product.

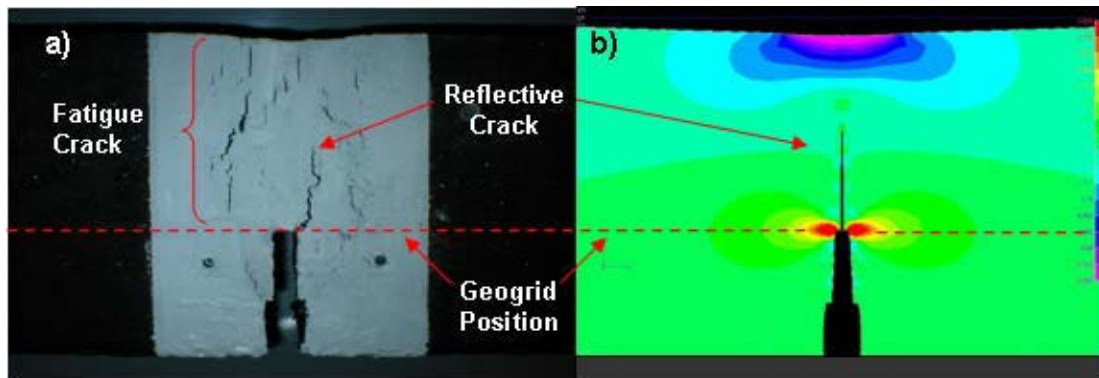
Basically, there are three types of geosynthetics designed for pavement rehabilitation: geotextiles (nonwovens), geogrids (grids) and geocomposites. While the stress relief function concerns to soft products (as nonwovens) to dissipate strain energy by deforming itself, the reinforcement function regards stiff products (as grids) to compensate the lack of HMA's tensile strength [5]. In providing reinforcement, the grid structurally strengthens the pavement section by changing the response of the pavement to loading [8]. The reinforcement increases the resistance of the overlay to high tensile stresses and distributes them over a larger area, thereby reducing the peak shear stresses at the edges of the cracks in the existing old pavement. The reinforcement also provides a normal load to the crack surfaces, thereby increasing the aggregate interlock (shear resistance) between both crack surfaces and thus increasing the resistance to reflective cracking.

Many products have been promoted as a reinforcement when in fact these products serve only a separation, moisture barrier, function. Designers should have a clear understanding of the limitations all the different asphalt interlayer products offer in terms of position and stress-strain characteristics within the pavement structure [13].

With the purpose of analyze and quantify the improvement of the crack resistance when using an asphalt reinforcement, several studies have been developed during the last decades.

Montestruque [1] performed at the Aeronautics Technological Institute in Sao Paulo in Brazil a full testing program to evaluate crack reflection potential. An asphalt wearing course was applied over an existing crack and both the bending mode and the shear mode were investigated under dynamic fatigue loading conditions. Moreover, numerical simulations were performed using the Finite Element Method (FEM) to interpret the results obtained from the tests. The results indicate that a bitumen coated polyester grid considerably delayed the through-penetration of cracks generated due to shear stresses and bending stresses. Compared to the unreinforced material, the reinforced asphalt layer was subjected to up to 6.1 times the number of dynamic loading cycles before a crack reached the surface. The crack pattern clearly shows that the

reinforcement takes up and distributes the tensile forces (Figure 2). The numerical simulation allowed a better understanding of the crack propagation mechanism observed in the laboratory. The asphalt reinforcement grid absorbs part of the applied load, interrupting the propagation of the reflective crack. Once the reflective crack problem is controlled, the durability of the overlay and the appearance of new cracks became a function of the asphalt concrete fatigue characteristics.



**Figure 2.** Comparison between the laboratory and the numerical simulation results [1]

Norambuena-Contreras et al. [4] tested eight different types of geosynthetics used as anti-reflective cracking systems. The reflective cracking test results showed that the use of a geosynthetic produced a reduction on the average crack opening in all cases evaluated. Nevertheless, it was found that geosynthetics that present high tensile strength do not necessarily present a high contribution on retarding the crack propagation in asphalt pavements. Additionally, it has been seen that the resistance to deterioration of materials that composes geosynthetics is a more decisive factor on their subsequent behavior than the material itself.

As found by De Bondt [12], the bonding of the material to the surrounding asphalt plays a critical role in the performance of an asphalt reinforcement. If the reinforcement is not able to sufficiently adopt the high strains from the peak of a crack, the reinforcement cannot be effective. In his research, de Bondt determined an equivalent “bond stiffness” in reinforcement pull-out tests on asphalt cores taken from a trial road section. The equivalent bond stiffness of a bituminous coated polyester grid was found to be the best of all the commercial products investigated.

#### 4. BS EN 15381 AND REQUIRED CHARACTERISTICS

The European Standard BS EN 15381 “*Geotextiles and geotextile-related products - Characteristics required for use in pavements and asphalt overlays*” [7], specifies the relevant characteristics of a geosynthetic for the Declaration of Performance (DoP) and CE-marking. According to the function of the product – reinforcement, stress relief or interlayer barrier – specific characteristics have to be declared. This standard can also be used by designers to define which product functions and conditions of use should be considered in the project, when using asphalt reinforcement grids.

##### 4.1. Tensile strength

The BS EN 15381 [7] specifies that the tensile strength of asphalt reinforcement grids should be carried out according to the EN ISO 10319 “*Geotextiles – Wide-width tensile test*”. If this method is not suitable for a certain product type, it can be tested using a different standard. However, the tensile strength shall be always performed on finished products.

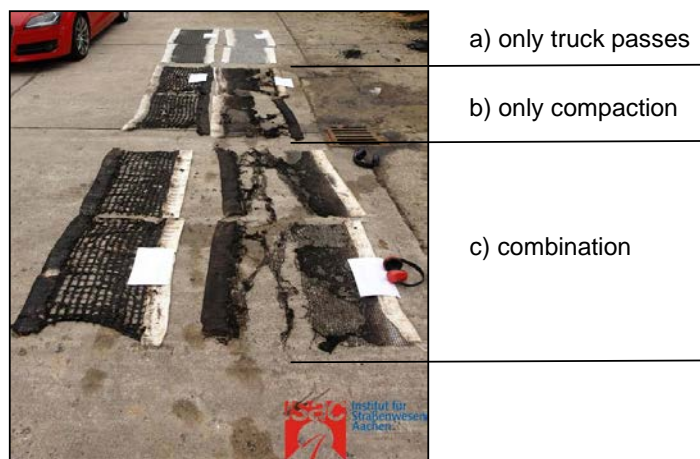
##### 4.2. Installation Damage

According to the BS EN 15381 [7], damage during installation of an asphalt reinforcement grid is influenced by the paving procedure and by the compaction of the asphalt. After an asphalt reinforcement product is placed, many asphalt delivery trucks may have to pass over the grid. Additionally there is the compaction of the hot mix asphalt, during which the individual filaments or strands of the asphalt reinforcement are largely influenced by the movement of aggregates, in particular of coarse and sharp-edged aggregates. Next to the reinforcement characteristics (flexible or brittle raw materials), the degree of installation damage by roller compaction not only depends on the number of passes and the type of compaction (e.g. rubber tired, static,

dynamic). The degree of installation damage is additionally influenced by the weight of the compactor and the condition of the base layer (e.g. smooth, rough or milled).

To successfully counteract reflective cracking, placed reinforcement products must resist the installation influences without damage and as much as possible without serious loss of strength. A detailed research was carried out by the RWTH Aachen University in Germany [9] to analyze and quantify the residual tensile strength of asphalt reinforcement grids after the influence of installation damage. Site tests were performed and two asphalt reinforcement products with different raw materials (polyester and glass fiber) were tested.

The results showed, that the potential of installation damage on asphalt reinforcement materials can vary depending upon the adopted product (Figure 3). The polyester grid lost max. 30% of its tensile strength after loading from truck passes and asphalt compaction. In contrast to this the glass fiber grid showed a loss of strength up to approx. 90%. This revealed that brittle raw materials can be damaged significantly more compared to a polymer grid reinforcement.



**Figure 3.** Results of installation damage test (left: polyester grid; right: glass fiber grid) [9]

Due to this good resistance to mechanical influences, polymer materials can be installed directly on milled surfaces. In contrast, fiber glass grid products usually require an asphalt levelling layer before the installation.

To summarize, all asphalt reinforcement undergoes installation damage caused by the combination of different activities during the pavement construction. This damage has the effect of reducing the available post-construction strength of the reinforcement and, subsequently, it is important to know the residual strength of a product. Installation damage can be simulated by the use of the testing procedure detailed in BS EN ISO 10722 [10].

### 4.3. Durability

The durability of an asphalt reinforcement grid, i.e. its resistance to chemical degradation, will depend mostly on the type of raw material that is used and on the environment conditions. The standard BS EN 15381 [7] specifies some important durability aspects, such as weathering, alkaline resistance and melting point, which should be considered when using asphalt reinforcement grids.

If a product is to be used in direct contact with an unprotected concrete or cement stabilized surface, alkaline resistance is needed. For example, grids made of polyvinyl alcohol (PVA) have a high strength and stiffness and a good resistance to alkalis, lower concentrations of acids, and oils. Otherwise, glass fiber grids are sensitive to hydrolysis and when exposed to concrete, progressive loss of stiffness and weakening of the grid can be expected [11].

Regarding the material stability, polymer products must have a higher melting point than the temperature of the installed asphalt. According to Norambuena-Contreras et al. [4], the resistance to deterioration and installation damage of materials that composes geosynthetics is the most decisive factor on their subsequent behavior in the pavement rehabilitation.

## 5. PRACTICAL EXPERIENCES

The following projects shall give an example of the successful use of asphalt reinforcement in roads.

### **5.1. Municipal Road Rosenstrasse, Ochtrup (Germany)**

The municipal road Rosenstrasse is located in the northwest German town of Ochtrup and is a highly trafficked road. The majority of vehicles are trucks, because the road is one of the main connections to the nearby border of the Netherlands. In 1996, before rehabilitation, the road revealed severe alligator cracking, longitudinal and transverse cracking in large scale. The original design, and budget, called for milling the surface, approx. 50 mm, and installation of a new 50 mm asphalt surface course. Due to the problematic condition of the existing base the expected lifetime of the new surface was just 2 years (Figure 4).

The more durable (but also more expensive) solution was to take up the cracked binder and base course. An alternative solution to the foresaid was the installation of a high modulus polyester grid as asphalt reinforcement over the cracked binder course, in which the thickness of the new wearing course should remain 50 mm. Hence, the economic advantage had to be proven by a longer lifetime, which should be the main goal in most of the applications. The layers shall have the standard thickness, the economic advantage then results from the longer lifetime of the surface over the old cracked area.

After milling off the 50 mm surface course a polyester grid as asphalt reinforcement was installed, and covered again with a 50 mm 0/11 AC asphalt layer. The whole project was finished in summer 1996. In the years 2002, 2009 and in context of a masters-thesis in 2013, a visual assessment of the road condition was carried out.

#### **5.1.1 Assessment in June 2002**

Six years after the repairs were carried out, the Steinfurt District's Chief Executive was asked for a condition report on the Rosenstrasse. In his answer, the responsible clerk commented as follows: "(...) I'm happy to inform you that the repairs at the time to Kreisstrasse 57, Rosenstrasse, using HaTelit® have fully stood the test of time. The use of the asphalt-reinforcement system under the 0/11 asphalt layer has meant that, to this day, no cracks have appeared in the asphalt-concrete surface. This method was chosen at the time to avoid the necessity for replacing the cracked binder and base course (...)"

#### **5.1.2 Assessment in September 2009**

With the permission of Ochtrup municipality, the TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH was commissioned to record the cracking and assess the condition of Rosenstrasse along the length repaired in 1996. The appraisal also compared the current condition with the condition that existed before repairs were carried out in 1996. This comparison permitted conclusions to be drawn about whether the use of the asphalt-reinforcement system was able to delay the occurrence of cracks propagated from the lower courses.

On August 24th 2009, a visual inspection was undertaken in accordance with Working Paper No. 69 by the "Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen" (FGSV: Research Association for Road and Transport in Germany). The LGA used the image documentation of the construction measures prepared in May 1996 as the basis for its assessment. The District's Chief Executive employed by the Steinfurt District at the time also provided additional necessary information.

After 13 years of use, the cracking condition value (ZWRIS) for the section of the road repaired with the polyester asphalt reinforcement in 1996 was determined as being excellent. According to the LGA, the visual inspection of the road surface revealed almost no damage to the substance. Two repair sites were recorded over the entire section; these, however, were due to work carried out on the drainage system. Only a few lateral cracks were discovered on the outer edge of the built-up road.

#### **5.1.3 Site investigation and assessment in March 2013**

In context of the visual assessment in 2013, cracks and settlements in the border area of the road and at some manholes and gullies have been identified (Figure 6). The cause of the cracking lies most likely in the fact that the compaction of underlying layers has not been properly carried out. The redensification of these areas by the traffic loads has led to the cracks at the road surface (Figure 7).

To further investigate the condition, two drill cores have been taken. At one core, the interlayer bond according to Leutner had been checked. Between the asphalt bearing course - Polyester reinforcement - and upper asphalt layer a maximum shear force of 24 kN was measured. The German guideline for asphalt works – ZTV Asphalt-StB 07 – demands a minimum value of 12 kN, so this demand had been fulfilled. After evaluating the whole data record of the Rosenstrasse it was found, that the condition, after a lifetime of 17 years, was still very good (Figure 5).



**Figure 4.** Condition after milling in May 1996



**Figure 5.** Condition in March 2013



**Figure 6.** Cracking resulting from road works



**Figure 7.** Repair works at the road edge in 1996

## 5.2. E75 Rehabilitation, Belgrade (Serbia)

The dual carriageway E75 is one of the most important highways of Serbian road infrastructure. In 2010, the asphalt overlay of a section in Belgrade had become damaged by reflective cracking, likely caused by the cracking of the cement stabilized base (Figure 8). Cement stabilized layers provide excellent support for asphalt surfaces, however, it can lead to shrinkage cracks, which reflect through the asphalt surface.



**Figure 8.** *Reflective cracking from cement stabilized base*

For this reason, the rehabilitation works designer specified an asphalt reinforcement grid to be incorporated into the new bituminous layers to mitigate any future propagation of reflective cracks through the new asphalt layers. The chosen reinforcement material was a polyester grid.

The existing pavement comprised of base, binder and wearing courses. The top two layers were removed to a depth of approximately 150 mm by milling. The milled surface was then brushed clean and a polymer modified emulsion was evenly sprayed onto the milled surface (in accordance with the manufacturer's installation guidelines). After the emulsion had been left to 'break' the installation of the polyester grid was carried out by unrolling the material over the emulsion and then rolling with a light tandem roller. After this the new asphalt layer could be placed directly onto the asphalt reinforcement grid (Figure 9). The road rehabilitation was carried out in July 2010.



**Figure 9.** *Asphalt placement on HaTelit*



**Figure 10.** *E75 pavement condition in 2016*

Almost six years after the rehabilitation, the reinforced area in the highway E75 still does not show any indication of cracking (Figure 10). The use of a polyester grid prevented the propagation of reflective cracks developing from the cement stabilized base, proving to be an effective solution. The technique of introducing a polymeric reinforcement into bituminous pavements has been demonstrated to extend the working life of asphaltic pavements by up to three times. It is therefore anticipated that a similar benefit is expected to be achieved on this project. This will help to minimise any traffic diversions and disruption caused by this type of remedial work, as well as reducing future maintenance costs.

## **6. LIMITS IN USING A REINFORCEMENT GRID**

There are limits in using asphalt reinforcement, with no system available on the market able to increase the bearing capacity. In most cases, the expectation of strength or bearing capacity improvements from the use of these materials is unrealistic [13]. The pavement structure must have sufficient bearing capacity to carry the future traffic loading, alternatively it has to be replaced or strengthened. When having a poor quality



subgrade, it is necessary to carry out other measures, e.g. base reinforcement or increasing the pavement thickness. Moreover, the integrity of the surfacing must be adequate to support the asphalt reinforcement without disintegrating.

It is generally difficult to prevent crack propagation resulting from large vertical movements (e.g. concrete slabs which are not stable in their position, frost heave), even when using an asphalt reinforcement system. At some point a reinforcement can become unnecessary. In such cases it is therefore necessary to eliminate, respectively minimize, the movements prior the installation of a reinforcement grid and the new asphalt layers (e.g. undertake injection below the slabs, or “crack and seat” the slabs to achieve a stress relief).

Although there are a number of laboratory tests, research modeling and trials showing the effectiveness of asphalt reinforcement grids, it is important to understand the possible causes of existing cracks and other pavement distress. Maintenance or rehabilitation should only be instituted once the correct mechanisms that lead to failure / distress have been identified.

## 7. CONCLUSIONS

Reflective cracking can occur in cracked pavements rehabilitated with a simple asphalt overlay. To delay the development of reflective cracks, an asphalt reinforcement grid can be placed before the new asphalt wearing course. In order to choose the proper product for a road rehabilitation, construction conditions and material characteristics must be chosen taking into account.

The presented case studies have showed that the use of an asphalt reinforcement in pavement rehabilitation can be advantageous. Based on the observed performance, it is possible to conclude that the asphalt reinforcement is an effective treatment against reflective cracking in asphalt overlays, resulting in an extension of the service life of a rehabilitated pavement.

## References

- [1] Montestruque, G. E., 2002. *Contribuição para a Elaboração de Método de Projeto de Restauração de Pavimentos Asfálticos Utilizando Geossintéticos em Sistemas Anti-Reflexão de Trincas* (in portuguese). Ph.D.-thesis, Technological Institute of Aeronautics, São José dos Campos, Brazil.
- [2] Monser, C. A., Montestruque, G. E., Silva, A. E. F., 2010. Evaluation of an airport pavement after almost 8 years of overlay rehabilitation with a polyester geogrid asphalt reinforcement. Proceedings of the 9th International Conference on Geosynthetics, Brazil.
- [3] Vanelstraete, A., Francken L., 1996. Laboratory testing and numerical modelling of overlay systems on cement concrete slabs. Proceedings of the Third International RILEM Conference, Maastricht, Netherlands.
- [4] Norambuena-Contreras, J., Gonzalez-Torre, I. 2015. Influence of geosynthetic type on retarding cracking in asphalt pavements. *Construction and Building Materials*, 78: 421-429.
- [5] Elseifi, M. 2015. Presentation 2: Mitigation strategies for reflective cracking in pavements. TRB Webinar – Mechanisms and Mitigation Strategies for Reflective Cracking in Rehabilitated Pavements (August 24, 2015).
- [6] Nejad, F. M., Asadi, S., Fallah, S., Vadood, M. 2016. Statistical-experimental study of geosynthetics performance on reflection cracking phenomenon. *Geotextiles and Geomembranes*, 44: 178-187.
- [7] BS EN 15381:2008. Geotextile and geotextile-related products – Characteristics required for use in pavements and asphalt overlays.
- [8] Koerner, R. M. 2012. *Designing with Geosynthetics*. Xlibris Corporation.
- [9] Sakou L., 2011. *Überprüfung der Wirksamkeit von Asphaltbewehrungssystemen unter Berücksichtigung der Einbaubedingungen* (in german). Diploma Thesis, RWTH Aachen, Institute of Road and Traffic Engineering.
- [10] BS EN ISO 10722:2007. Geosynthetics. Index procedure for the evaluation of mechanical damage under repeated loading. Damage caused by granular material.
- [11] CUR Building and Infrastructure, 2012. Durability of geosynthetics – Publication 243. Netherlands.
- [12] De Bondt, A.H., 1999. *Anti-Reflective Cracking Design of (Reinforced) Asphaltic Overlays*, Ph.D.-thesis, Delft, Netherlands.
- [13] Asphalt Academy, 2008. *Technical Guideline: Asphalt Reinforcement for Road Construction*. TG 3, First Edition, South Africa.

# ANALIZA STABILNOSTI KOSINA METODOM KONAČNIH ELEMENATA

Miloš Šešlija<sup>1</sup>, Nebojša Radović<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, 21000 Novi Sad, [slavijasrb@gmail.com](mailto:slavijasrb@gmail.com)

<sup>2</sup> Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, 21000 Novi Sad, [radovic@uns.ac.rs](mailto:radovic@uns.ac.rs)

**Rezime:** U radu je prikazana analiza stabilnosti kosina za put u nasipu izgrađenom od prirodnih i/ili otpadnih materijala pomoću metode konačnih elemenata (MKE). Modeli za analizu stabilnosti kosina su formirani pomoću programskog paketa PLAXIS 8.0. Analizirani su nasipi u trupu puta različitih visina (podeljenih u dve grupe: visoki i niski nasipi), kao i različitih nagiba kosina. Od prirodnih materijala korišćen je pesak za izradu nasipa, a od otpadnih materijala korišćeni su elektrofilterski pepeo, pepeo sa dodatkom kreča i pepeo sa dodatkom cementa. U zaključku rada prezentirani su rezultati uporedne analize sa aspekta nosivosti nasipa kao i uticaja na životnu sredinu.

**Ključne reči:** put, nasip, stabilnost kosina, metoda konačnih elemenata.

**Abstract:** The paper presents the analysis of slope stability for road embankment built in of natural and/or waste materials using the finite element method (FEM). Models for the analysis of slope stability are created using software package PLAXIS 8.0. The road embankments of different heights (divided into two groups: high and low embankment), as well as different graduation of slopes were analysed. Sand as natural material was used, while fly ash, fly ash with addition of lime and fly ash with addition of cement were used as waste materials for construction of embankments. In conclusion, the results of the comparative analysis in aspects capacity embankment and impact on the environment were presented.

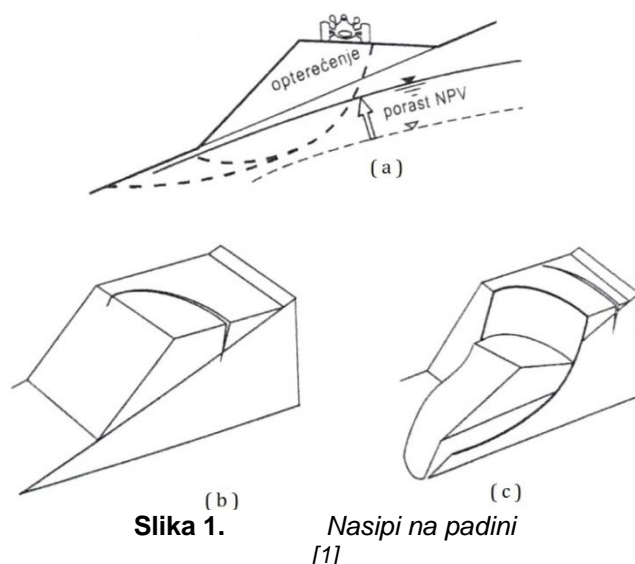
**Key words:** road, embankment, slope stability, finite method element.

## 1. UVOD

Kolovozna konstrukcija može se neželjeno deformisati i iznad prihvatljivih tolerancija zbog nedopustivih pomeranja podloge na kojoj je izvedena (slika 1.). Razlozi za štetne pojave ove vrste mogu biti dvojaki: ili neadekvatnost posteljice neposredno ispod kolovozne konstrukcije (završnog sloja nasipa), ili nestabilnost većih zapremina tla u području saobraćajnice i temeljnog tla. Prva grupa uzroka potiče od lokalizovanih deformacija neposredno u zoni delovanja saobraćajnog opterećenja od vozila i obuhvata relativno malu dubinu reda veličine 0.5 do 1.5m, koja je pod znatnim uticajem lokalnih opterećenja, što spada u problematiku dimenzionisanja gornjeg stroja saobraćajnica, dok se ovde razmatraju samo narušeni uslovi globalne stabilnosti, veće deformacije trupa saobraćajnice, temeljnog tla ili okolnog terena, kojima se narušava kontinuitet mase tla, što izaziva i diskontinuitete u gornjem stroju i velike izmene u podužnom i poprečnom preseku. Ukoliko su deformacije takve da ne dolazi do narušavanja kontinuiteta, ali je red veličine pomeranja kolovozne konstrukcije ili zastora takav da izaziva primetne promene u podužnom i poprečnom profilu puta, kriterijumi stabilnosti izraženi faktorom sigurnosti se samo indirektno mogu povezati sa parametrima čvrstoće, jer se zahteva da faktor sigurnosti za kritičnu kliznu površ ne bude manji od neke unapred date vrednosti, pri čemu se podrazumeva da je na taj način, istina indirektno, zadovoljen i uslov o malim deformacijama, iako se veličine i značaj ovih pojava, u načelu, može opisati i deformacijskim pokazateljima. Deformacije se mogu protezati na udaljenostima od više desetina metara ili stotina metara, obuhvatajući velike mase i zapremine tla. Ova grupa uzroka je najčešće uslovljena i širim lokalnim prirodnim geotehničkim parametrima i topografskim uslovima u kojima se saobraćajnica nalazi. Pomeranja mogu biti više-metarskog reda veličine, a uticaj saobraćajnog opterećenja na ove pojave je od sekundarnog značaja. Ako se ima u vidu da obim zemljanih radova u usecima i nasipima zavisi od nagiba kosina, može se olako braniti ekonomska opravdanost nižih vrednosti faktora sigurnosti u slučaju velikih zemljanih radova.

---

<sup>1</sup> Miloš Šešlija, [slavijasrb@gmail.com](mailto:slavijasrb@gmail.com)



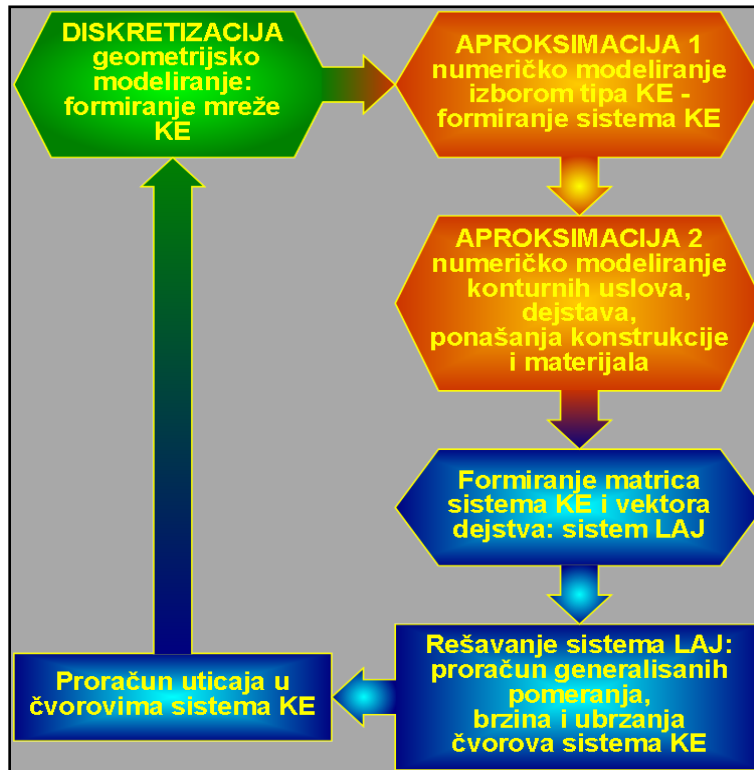
Treba imati u vidu činjenicu da niže vrednosti faktora sigurnosti znače istovremeno i povećanje deformacija tla neophodnih za mobilisanje relativno većeg dela raspoložive čvrstoće. Ukoliko se te deformacije mogu direktno odraziti na pomeranja kolovozne konstrukcije ili nekog drugog objekta, niske vrednosti faktora sigurnosti bi lako izgubile svoje „ekonomsko“ opravdanje.

Uslovi nestabilnosti se pojavljuju iz najmanje dva razloga - usled povećanja opterećenja prirodne padine novim opterećenjem od tela nasipa i usled izmenjenih uslova dreniranja i evaporacije vlage iz padine, što može izazvati povećanje poreznih pritisaka. Stabilnost nasipa zavisi od kvaliteta tela nasipa (u manjoj meri), od parametara čvrstoće padinskog materijala i od početnog prirodnog nivoa podzemne vode (slika 1.a.). Obično se rušenje kosine događa nakon izvesnog vremena po završetku građenja u obliku podnožičnog klizanja, kada dođe do povišenja nivoa podzemne vode. Prvi znaci nestabilnosti se pojavljuju u obliku podužnih pukotina na kolovoznoj površini, (slika 1.b.), nakon toga slede manje denivelacije koje mogu preći u konačno rušenje trupa puta sa delom padine, (slika 1.c.). Analiza stabilnosti se provodi sa parametrima čvrstoće u efektivnim naponima, ali ako je površinski padinski sloj zasićen vodom potrebno je, paralelno, provesti i analizu stabilnosti sa totalnim naponima, vodeći računa o uslovima konsolidacije.

U radu je prikazana analiza stabilnosti kosina za put u nasipu izgrađenom od prirodnih ili otpadnih materija (elektrofilterski pepeo, elektrofilterski pepeo sa dodatkom cementa i kreča), pomoću MKE. Rađeni su nasipi promenljive visine i to sa 1.5 i 6.0m visine, kao i različitih nagiba, odnosno nagiba 1:1, 1:1.5, 1:2 i 1:3, a nivo vode je pretpostavljen da je u nivou terena. Cilj ovog rada jeste prikaz analiziranih rezultata i korišćenje otpadnih materijala za izradu nasipa kolovozne konstrukcije.

## 2. METODA KONAČNIH ELEMENATA

MKE spada u metode diskretne analize. Za razliku od ostalih numeričkih metoda, koje se zasnivaju na matematičkoj diskretizaciji jednačina graničnih problema, MKE se zasniva na fizičkoj diskretizaciji razmatranog područja. Umesto elementa diferencijalno malih dimenzija, osnova svih razmatranja je element konačnih dimenzija, tj. konačni element. Poznati su primeri izračunavanja dužine složenih linija ili površine kompleksnih geometrijskih figura kao zbir dužina ili površina odgovarajućih jednostavnih linija. Postoji više različitih mogućnosti da se prikaže proces modeliranja u analizi konstrukcija primenom MKE. S obzirom na glavnu ideju dosadašnjih izlaganja, ovde se daje dijagram algoritma MKE sa ciljem da se prikažu primarni aspekti metode u numeričkom modeliranju. Na slici 2 da je prikaz faza algoritma primene MKE u analizi konstrukcija



Slika 2. Dijagram algoritma MKE modeliranja u analizi konstrukcija [2]

Prve tri faze u algoritmu (diskretizacija, aproksimacija 1 i aproksimacija 2), a posebno druga i treća, presudno utiču na kvalitet modeliranja ponašanja sistema. Greške načinjene u tim fazama su greške modela (diskretizacije i aproksimacije).

U proračunskim fazama algoritma mogu da se pojave već pomenute greške. Iako su faze veoma značajne za dobijanje upotrebljivog MKE rešenja, smatra se da pripadaju kategoriji rutinskih ili tehničkih poslova u MKE modeliranju. S obzirom na to da izbor numeričkih metoda za različita izračunavanja nije standardna opcija MKE softverskih paketa, jasno je da korisnik nema uticaja na veličinu greške rešenja. Postoje, međutim, specifične situacije, kada može da se utiče na grešku rešenja, izborom nekih parametara metode izračunavanja [2].

## 2.1. PLAXIS

PLAXIS 2D je paket namjenjen za dvodimenzionalnu analizu deformacije i stabilnosti u geotehničkom inženjerstvu. Opremljen je sa karakteristikama za različite aspekte geotehničke konstrukcije i građevinske procese. Sa PLAXIS 2D, geometrija modela terena može lako da se definiše sa različitim vrstama tla. Opremljen je karakteristikama i opcijama koje se bave različitim aspektima geotehničkih konstrukcija. Ulazni podaci programa predstavlja definisanje modela terena pomoću tačaka i linija, koji se crtaju u x i y koordinatnom sistemu. Nakon definisanja veličine modela preko određenih dimenzija, određuje se vrsta tla koja će biti primenjena. Programski paket u sebi sadrži već određene definisane vrste tla koje se mogu uzeti u izradu simulacije terena ili se mogu kreirati sopstvene vrednosti modela terena u slučaju da ne postoji u sklopu programa [3].

Pri definisanju modela tla, za posteljicu je usvojena prašnasta glina, a materijali koji su korišćeni za spravljenje nasipa su pesak, elektrofilterski pepeo, elektrofilterski pepeo sa dodatkom cementa i kreča. Svi potrebni karakteristični podaci su prikazani u tabeli 1.

Tabela 1. Karakteristike materijala

Parametri	Naziv	Glina	Pesak	Elektrofilterski pepeo (EP)	EP sa dodatkom cementa	EP sa dodatkom kreča	Jedinice
Model materijala	Model	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	-
Tip materijala	Tip	Nepropustan	Propustan	Nepropustan	Nepropustan	Nepropustan	-
Zapreminska masa u prirodnom stanju	$\gamma_{\text{unsat}}$	15.00	16.00	8.50	8.60	8.70	kN/m <sup>2</sup>
Zasićena zapreminska težina	$\gamma_{\text{sat}}$	18.00	20.00	12.75	12.90	13.05	kN/m <sup>2</sup>
Horizontalna vodopropustljivost	$k_x$	0.0001	1.00	0.00000079	0.0000063	0.00000027	m/dan
Vertikalna vodopropustljivost	$k_y$	0.0001	1.00	0.00000079	0.0000063	0.00000027	m/dan
Modul elastičnosti	$E_{\text{ref}}$	1000.00	3000.00	155700.00	330300.00	426700	kN/m <sup>2</sup>
Poasonov koeficijent	$\nu$	0.33	0.30	0.26	0.56	0.83	-
Kohezija	$c_{\text{ref}}$	2.00	1.00	98.23	336.54	614.60	kN/m <sup>2</sup>
Ugao unutrašnjeg trenja	$\phi$	24.00	30.00	51.00	46.00	36.00	°
Ugao dilatacije	$\psi$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	°

Sa programom PLAXIS 2D geometrija modela se lako definiše i modelira nakon čega se svaki model može nezavisno ispitivati proučavati. Pravilno modeliran model tla i konstrukcije omogućuje veoma realistično i tačno ispitivanje tla i konstrukcije na ili u tlu. Proračun omogućava realističnu simulaciju ne linearnog i vremenski zavisnog anizotropnog ponašanja tla i/ili stene. Budući da je tlo sastavljeno od više slojeva posebne opcije omogućuju proračun hidrostatičkih poreznih pritisaka u tlu.

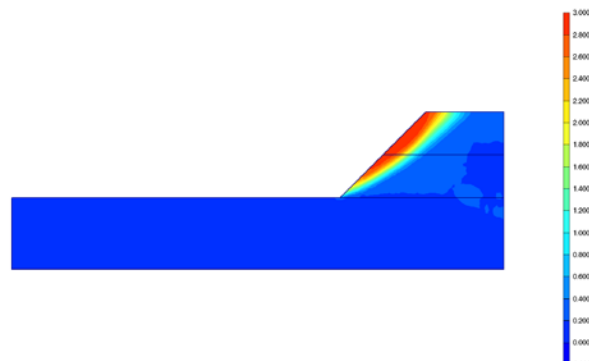
### 3. ANALIZA REZULTATA

Softverski program Plaxis je korišćen za izradu nasipa od raznih vrsta materijala, sa promenljivim nagibom kosina i promenljivom visinom. Modeli nasipa su rađeni kao polovine, jer se druga polovina nasipa smatra simetričnom i da ne bi dolazilo do opterećivanja programa zbog velikog broja konačnih elemenata. Prilikom definisanje mreže, korišćena je progušćena mreža kako bi se dobili što precizniji i bolji rezultati ispitivanja. Na narednim slikama (slika 3-9) prikazani su rezultati istraživanja stabilnosti kosina kod nasipa.

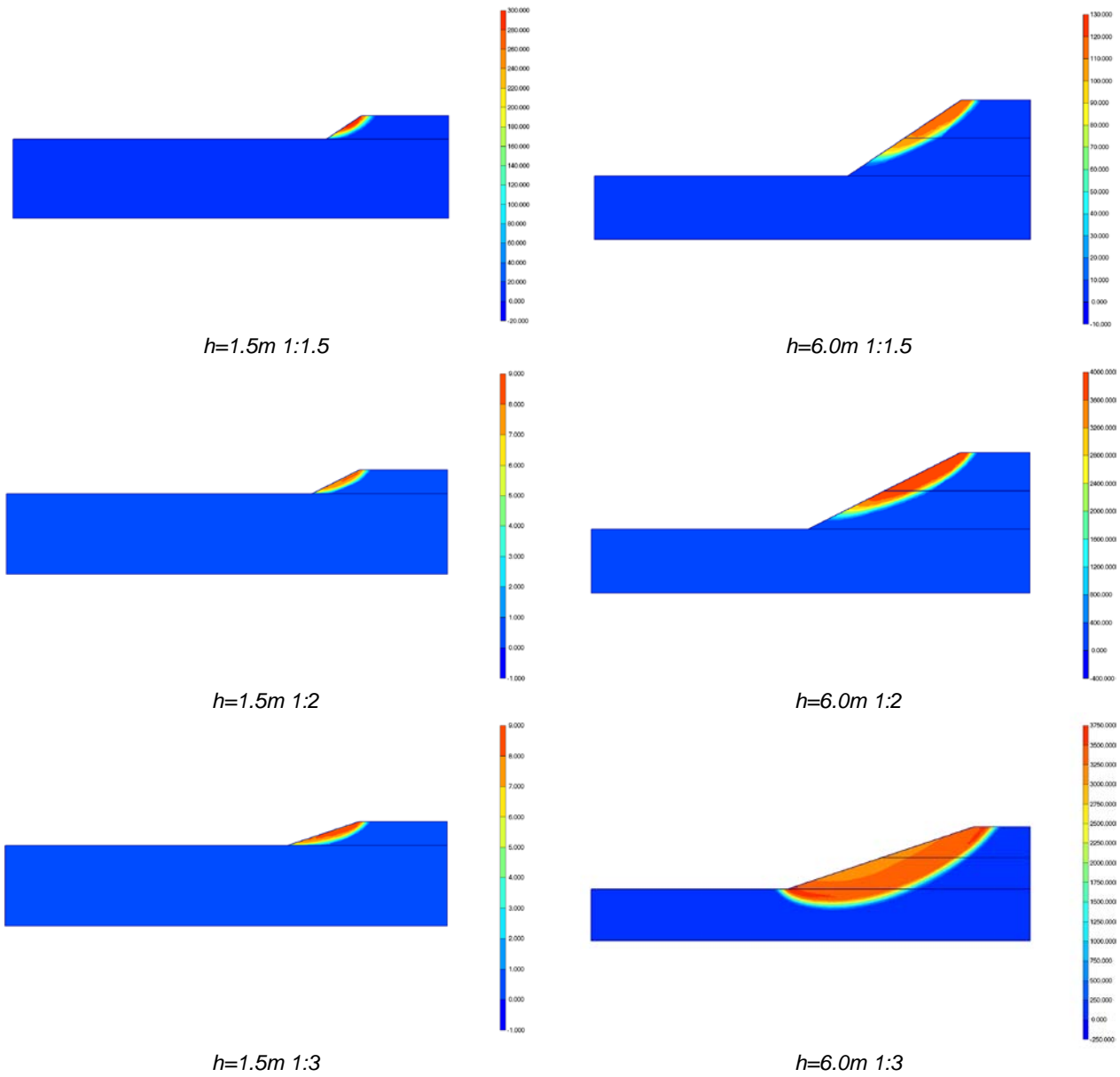
Na slici 3 prikazane su klizne površine kod nasipa od peska sa promenljivom visinom i nagibom kosina. Uglavnom sve klizne površine su kružno cilindričnog oblika, koje su karakteristične za kosine homegenog tla. Pomeranje mase tla ograničeno je jednom sfernom školjkastom kliznom površi koja je u jednom vertikalnom preseku približno kružna, a u drugom elipsoidnog oblika, sa relativno malim distorzivskim deformacijama unutar rotirajućeg kliznog tela. Na osnovu analiziranih rezultata primetno je da maksimalna pomeranja za nasipe visine 1.5m imaju sa kosinom 1:1.5 dok najmanje pomeranje ima nasip sa kosinom 1:3, odnosno za nasipe visine 6.0m maksimalna pomeranja su postignuta kod nasipa sa kosinom 1:2, dok najmanja pomeranja su postignuta sa kosinom 1:1.



h=1.5m 1:1

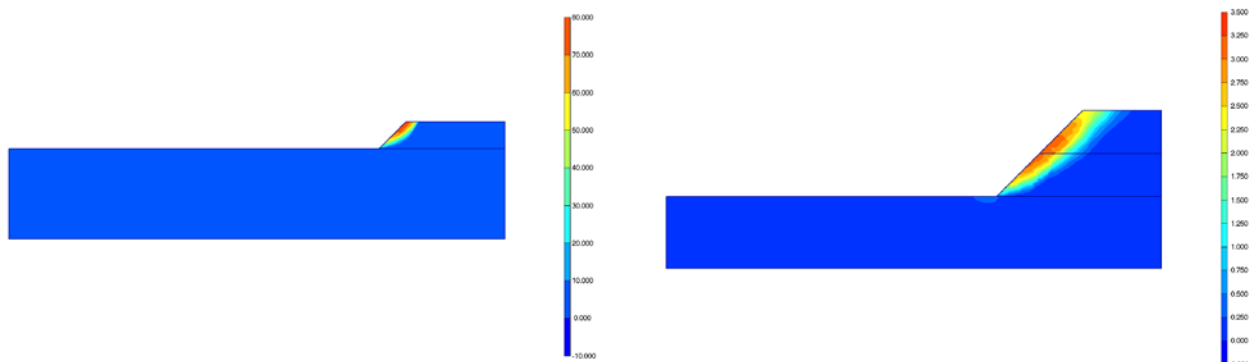


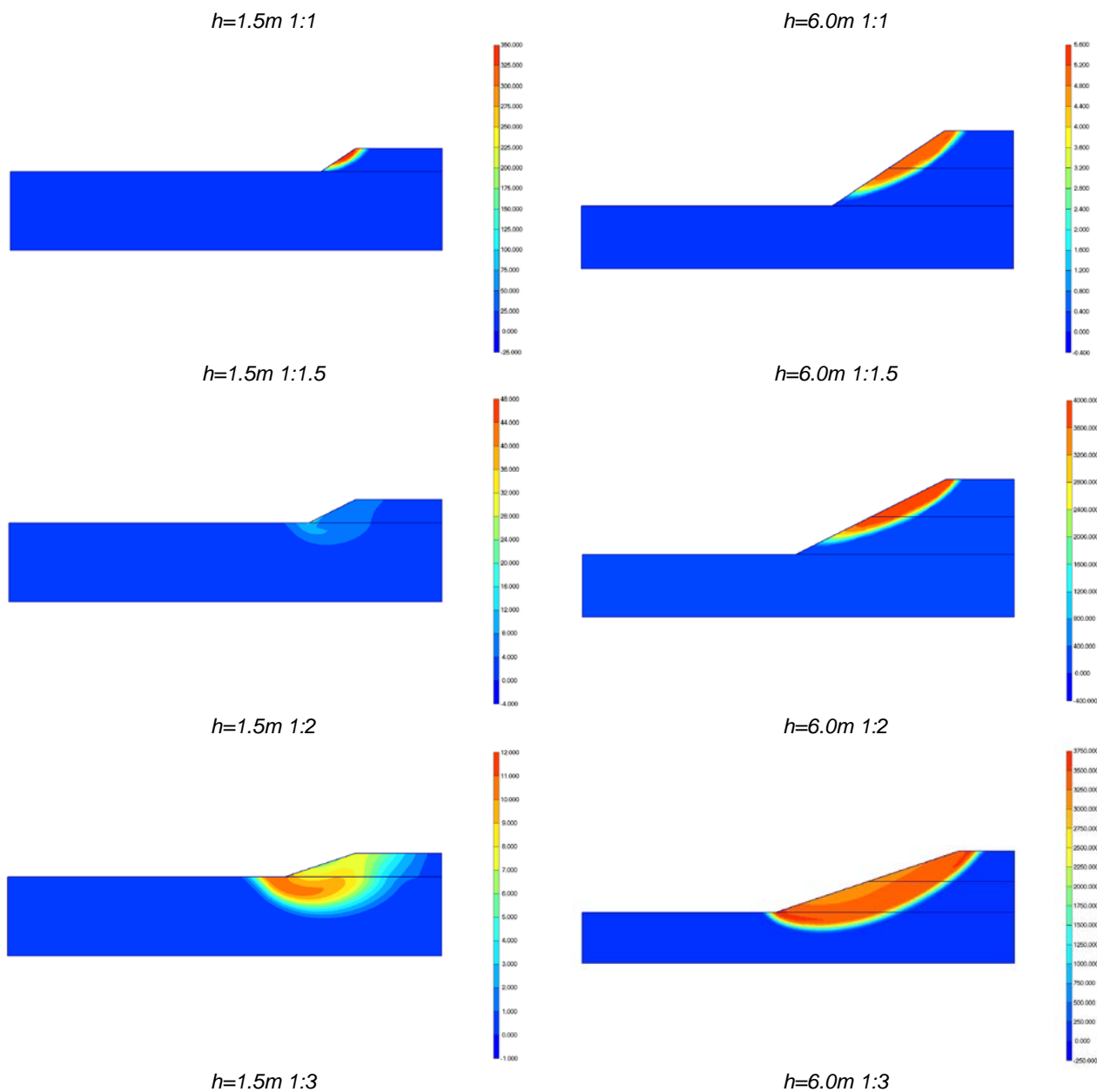
h=6.0m 1:1



**Slika 3.** Stabilnost kosina za nasipe izrađene od prirodnih materijala (peska) sa promenljivom visinom i promenljivim nagibom kosina

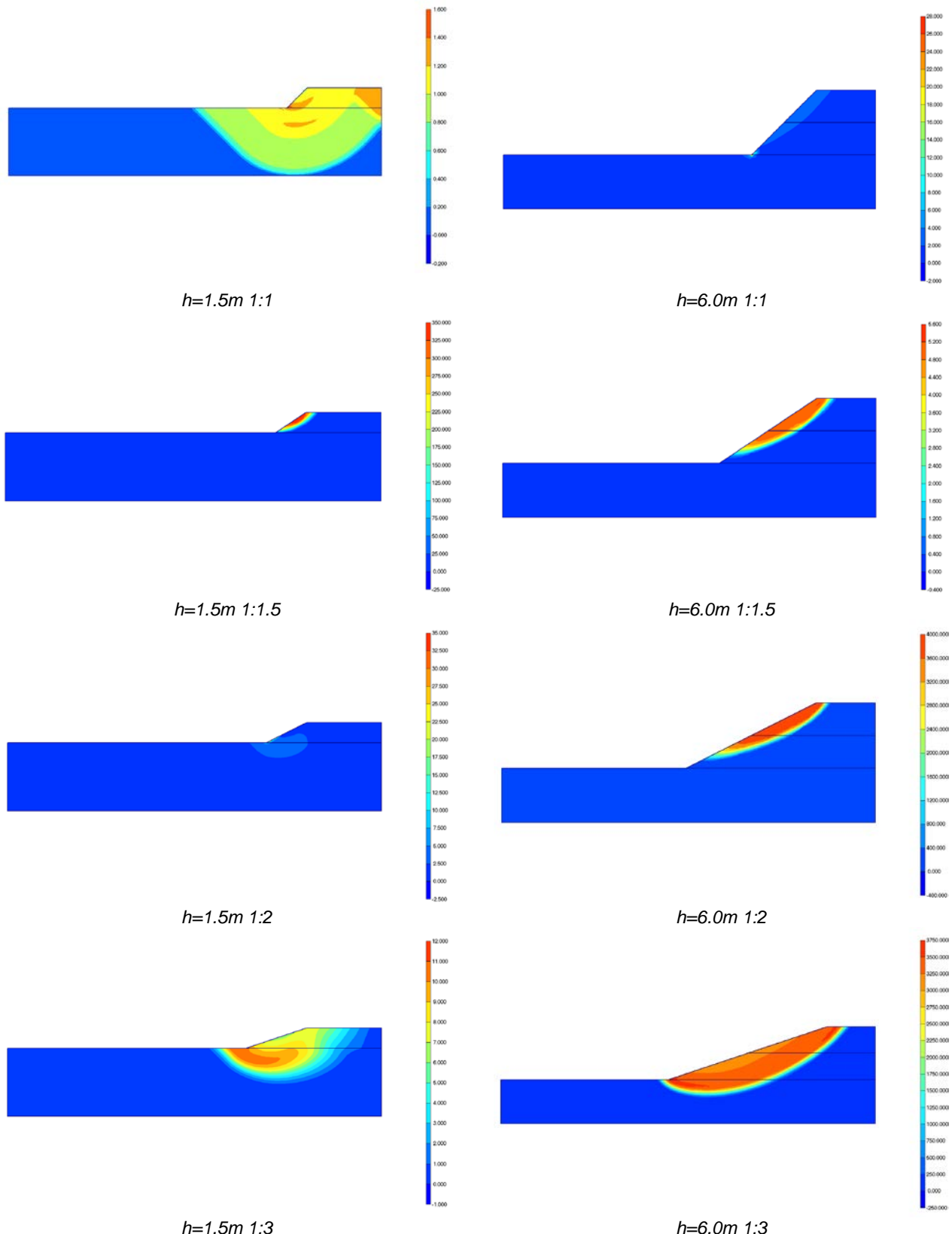
Na slici 4 prikazane su klizne površine kod nasipa od pepela sa promenljivom visinom i nagibom kosina. Na osnovu analiziranih rezultata primetno je da maksimalna pomeranja za nasipe visine 1.5m imaju sa kosinom 1:1.5 dok najmanje pomeranje ima nasip sa kosinom 1:3, odnosno za nasipe visine 6.0m maksimalna pomeranja su postignuta kod nasipa sa kosinom 1:2, dok najmanja pomeranja su postignuta sa kosinom 1:1.





**Slika 4.** Stabilnost kosina za nasipe izrađene od otpadnih materijala (pepeo) materijala sa promenljivom visinom i promenljivim nagibom kosina

Na slici 5 prikazane su klizne površine kod nasipa od pepela sa dodatkom cementa i to sa promenljivom visinom i nagibom kosina. Na osnovu analiziranih rezultata primetno je da maksimalna pomeranja za nasipe visine 1.5m imaju sa kosinom 1:1.5 dok najmanje pomeranje ima nasip sa kosinom 1:1, odnosno za nasipe visine 6.0m maksimalna pomeranja su postignuta kod nasipa sa kosinom 1:2, dok najmanja pomeranja su postignuta sa kosinom 1:1.5.

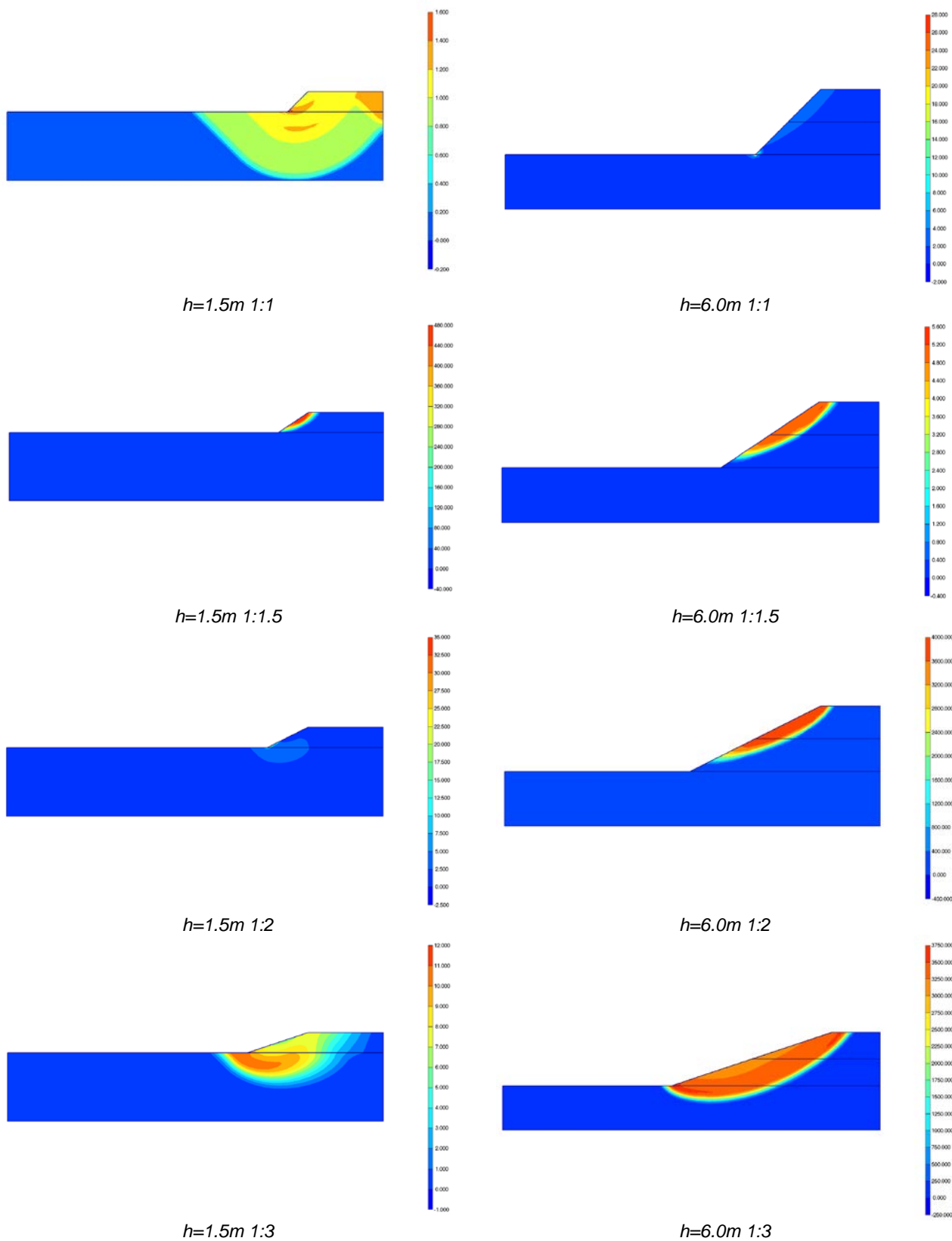


**Slika 5.** Stabilnost kosina za nasipe izrađenih od elektrofilterskog pepela sa dodatkom cementa promenljive visine i promenljivim nagibom kosina

Na slici 6 prikazane su klizne površine kod nasipa od pepela sa dodatkom kreča i to sa promenljivom visinom i nagibom kosina. Na osnovu analiziranih rezultata primetno je da maksimalna pomeranja za nasipe visine 1.5m imaju sa kosinom 1:1.5 dok najmanje pomeranje ima nasip sa kosinom 1:3, odnosno za nasipe

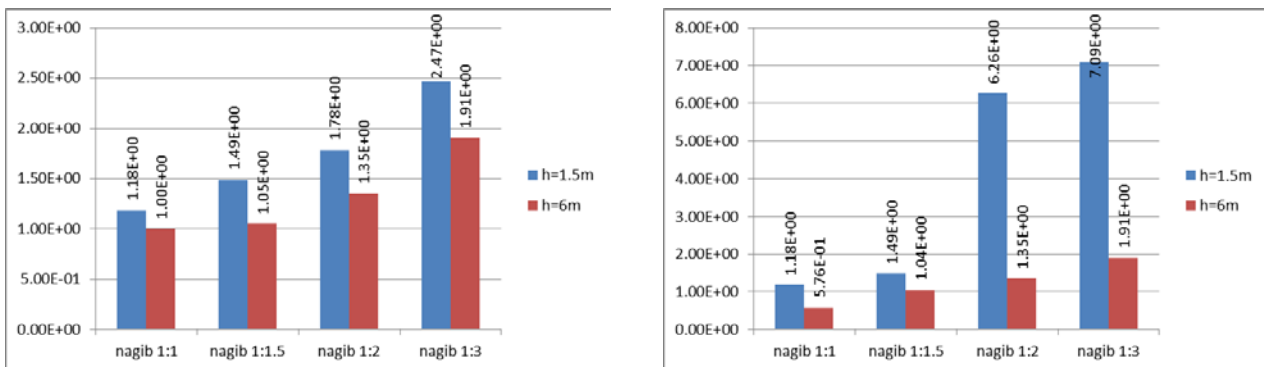


visine 6.0m maksimalna pomeranja su postignuta kod nasipa sa kosinom 1:2, dok najmanja pomeranja su postignuta sa kosinom 1:1.



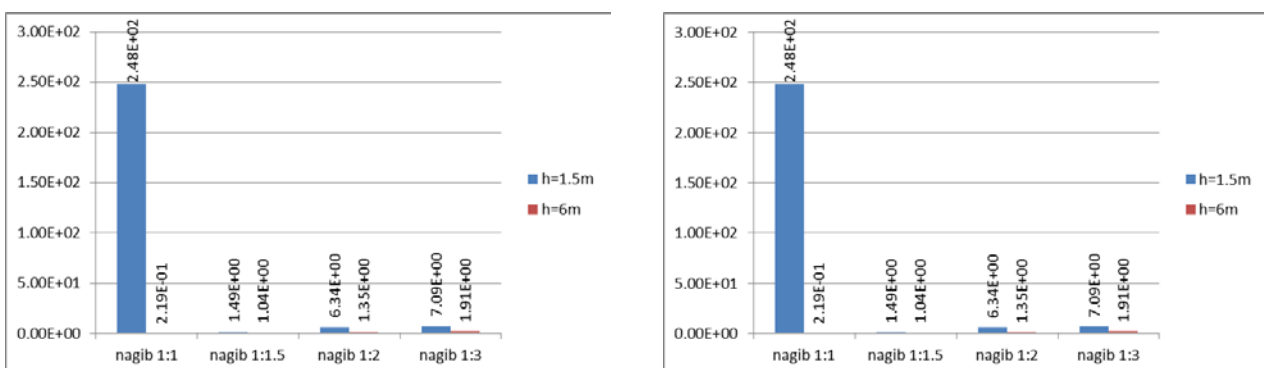
**Slika 6.** Stabilnost kosina za nasipe izrađeni od elektrofilterskog pepela sa dodatkom kreča promenljive visine i promenljivim nagibom kosina

Na slici 7 levo prikazani su rezultati fakotra sigurnosti ( $F_s$ ) za nasipe od peska sa promenljivom visinom i nagibom kosina. Na osnovu prikazane slike, uočava se da je povećavanjem kosina faktor sigurnosti postepeno raste za oba tipa nasipa promenljive visine. Maksimalna vrednost faktora sigurnosti za visoke i niske nasipe postignuta je sa nagibom kosina 1:3. Minimalne vrednosti za oba tipa nasipa promenljive visine je postignuta kod kosina 1:1. Primentno je da su male razlike rezultata faktora sigurnosti kod visokih i niskih nasipa različitih kosina (1:1 i 1:1.5). Na slici 7 desno je prikazan faktor sigurnosti ( $F_s$ ) za nasipe koji su izrađeni od pepela. Maksimalna vrednost faktora sigurnosti za oba nasipa je postignuta kod kosina 1:3, dok minimalna kod nagiba 1:1. Razlike rezultata faktora sigurnosti kod visokih i niskih nasipa je velika za kosine 1:2 i 1:3. Vrednosti faktora sigurnosti su čak do 4 puta veće kod niskih nasipa ( $h=1.5\text{m}$ ) u odnosu na visoke nasipe ( $h=6.0\text{m}$ ).



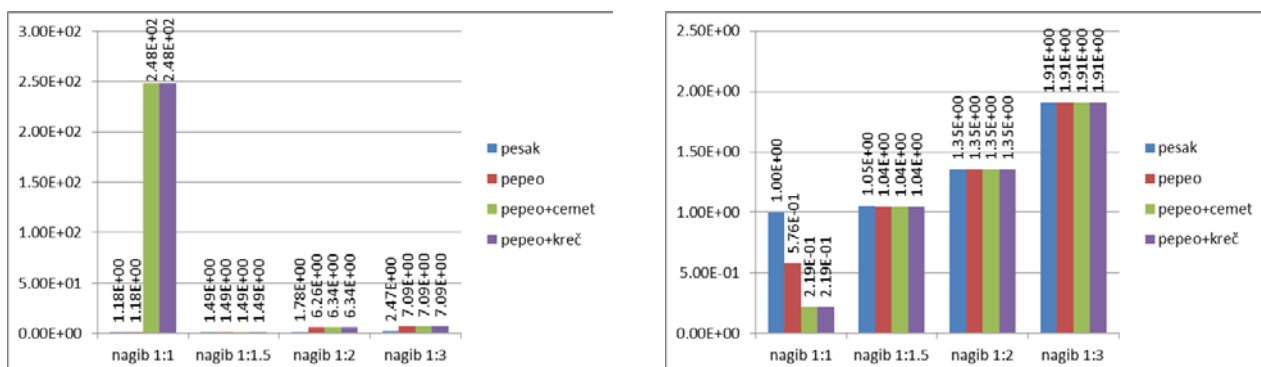
Slika 7. Faktor sigurnosti ( $F_s$ ) za nasipe od peska (leva slika) od pepela (desna slika)

Na slici 8 levo su prikazani rezultat fakotra sigurnosti ( $F_s$ ) za nasipe od pepela sa dodatkom cementa i sa promenljivom visinom i nagibom kosina. Na osnovu prikazane slike, uočava se povećavanje faktora sigurnosti sa smanjenjem nagiba kosina nasipa. Maksimalna vrednost faktora sigurnosti kod oba nasipa (niskih i visokih) je postignuta sa nagibom kosina 1:1, a minimalna vrednost je postignuta sa kosinom 1:1.5. Na slici 8 desno je prikazan faktor sigurnosti ( $F_s$ ) za nasipe koji su izrađeni od pepela sa dodatkom kreča. Maksimalna vrednost faktora sigurnosti za oba nasipa je postignuta sa kosinom 1:1, dok minimalna sa kosinom 1:1.5. Razlike rezultata faktora sigurnosti kod niskih i visokih nasipa je znatno velika u slučaju da se kosine rade sa nagibom 1:1. Vrednosti faktora sigurnosti su čak do 10 puta veće kod niskih nasipa u odnosu na visoke nasipe.



Slika 8. Faktor sigurnosti ( $F_s$ ) za nasipe od elektrofilterskog pepela sa dodatkom cementa (leva slika) za nasipe od elektrofilterskog pepela sa dodatkom kreča (desna slika)

Na slici 9 levo su prikazani rezultat fakotra sigurnosti ( $F_s$ ) za nasipe visine 1.5m (niske nasipe) sa promenljivim kosinama i materijalima. Na osnovu prikazanih rezultata, uočava se da povećavanjem kosina, rezultati faktora sigurnosti opada za sve vrste materijala. Maksimalna vrednost faktora sigurnosti je postignuta kod kosina 1:1 i 1:3, dok minimalna kod nagiba 1:1 i 1:1.5 u zavisnosti od vrste materijala koji je korišćen za modeliranje nasipa. Značajne razlike rezultata faktora sigurnosti su primetne kod nasipa sa kosinama 1:1. Na slici 9 desno su prikazani rezultati faktora sigurnosti ( $F_s$ ) za nasipe visine 6.0m (visoke nasipe) sa promenljivim kosinama i materijalima. Maksimalna vrednost faktora sigurnosti je postignuta kod nasipa sa kosinom 1:3, dok minimalna kod nagiba 1:1. Znatne razlike rezultata faktora sigurnosti je primetna kod nasipa sa nagibom 1:1, dok kod ostalih nagiba kosina, rezultati faktora sigurnosti su isti.



Slika 9. Faktor sigurnosti (Fs) za nasipe visine do 1.5m (leva slika) za nasipe visine do 6.0m (desna slika)

### 3. ZAKLJUČAK

Elektrofilterski pepeo je nazastupljeniji otpadni materijal u Republici Srbiji i cilj ovog rada jeste korišćenje tog elektrofilterskog pepela za izgradnju puteva, jer su putevi veliki linijski građevinski objekti za čiju izgradnju je potrebno obezbediti velike količine prirodnih građevinskih materijala. Dobar deo ovih materijala se može zameniti elektrofilterskim pepelom čime doprinosi zaštitu životne sredine i postiže se značajna ekonomska ušteda obzirom da je pepeo jeftini materijal, jednostavan i brz za ugradnju. Na osnovu prikazanih rezultata i analiza modela stabilnosti kosina nasipa, primetno je da se elektrofilterski pepeo može koristiti za izradu nasipa u putarstvu. Vrednosti faktora sigurnosti su približno isti sa peskom, a u nekim slučajevima sa značajnom većim rezultatom faktora sigurnosti u odnosu na prirodne materijale (pesak). Nasipi izrađeni od pepela sa dodatkom kreča ili cementa imaju iste rezultate kao i pepeo u većini slučajeva, sem kod nagiba kosina 1:1, gde imaju znatna odstupanja u odnosu na pepeo i pesak. Generalni zaključak je da se korišćenjem otpadnih materijala sa ili bez dodataka pospešuje stabilnost i dovodi do dobre nosivosti kao i korišćenjem prirodnih materijala.

### Zahvalnost

U radu je prikazan deo istraživanja koje je pomoglo Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije u okviru tehnološkog projekta TR 36017 pod nazivom: "Istraživanje mogućnosti primene otpadnih i recikliranih materijala u betonskim kompozitima, sa ocenom uticaja na životnu sredinu, u cilju promocije održivog građevinarstva u Srbiji".

### Literatura

- [1] Maksimović, M. 2008. *Mehanika tla*, AGM knjiga, Beograd, Srbija
- [2] Kovačević, D. 2006. *MKE modeliranje u analizi konstrukcija*, Građevinska knjiga, Beograd, Srbija
- [3] Brinkgreve, R. B. J., Al-Khoury, R., Bakker, K. J., Bonnier, P. G., Brand, P. J. W., Broere, W., Burd, H. J., Soltys, G., Vermeer, P. A., Den Haag, D. O. C. 2002. *Plaxis 2D – Version 8*, A. A. Balkema Publishers, a member of Swets & Zeitlinger Publishers, Netherlands
- [4] Šešlija M., Stojanović M., Radović N., Radonjanin V., Malešev M.: Use of fly ash fro embankment construction in road construction with and without binders, 5 Gradjevinarstvo nauka i praksa, Žabljak. Univerzitet Crne Gore, Građevinski fakultet u Podgorici, 17-21 Februar, 2014, pp. 1133-1138, ISBN 978-86-82707-23-3

# УПОТРЕБА ПЕПЕЛА У ПУТОГРАДЊИ

**Иван Андрић**, дипл. инж. грађ.

Резиме: Електрофилтерски пепео који се добија сагоревањем угљене прашине у котловима за сагоревање угља, је фино млевени, прашкасти материјал који се преноси димним гасом. Пепео се сакупља помоћу електростатичких таложника, контејнера за прикупљање прашине или уређаја за механичко прикупљање, попут циклона. Створени пепео се одлаже на депоније у непосредној близини термоелектрана које се као по правилу увек налазе у близини насељених места. Електрофилтерски пепео ствара низ проблема који се посебно негативно одражавају на животну средину. Због мале запреминске масе пепео се лако преноси ваздушним струјањима и расејава, тако да загађује ваздух, тло, површинске и посредно подземне воде, биљни покривач и др., чиме је директно угрожен екосистем. У термоенергетским постројењима Републике Србије годишње се троши 35 - 40 милиона тона лигнита. Као нуспроизвод добијене енергије ствара се 7 - 8 милиона тона електрофилтерског пепела. Укупне количине депонованог пепела и шљаке процењују се на преко 300 милиона тона. Да би се спречили наведени негативни утицаји који потичу од депонованог електрофилтерског пепела, треба учинити посебан напор како би се изнашла решења његове рационалне и масовне примене, и спречило угрожавање животне средине. Најповољније решење је, на бази светских искустава, примена пепела у изградњи путева. Наиме, путеви као велики грађевински објекти захтевају велике количине земљаних и камених материјала тачно дефинисаних својстава. Електрофилтерски пепео и шљака могу заменити све природне материјале који се користе за израду различитих слојева коловозне конструкције, као нпр. везивни и минерални додатак цемент бетону, замена за камено брашно (филер) у асфалт бетону, везиво или допуна везиву у изради стабилизованог носећег слоја, као ситнозрни агрегат и као додатак цементу или његова замена, као материјал за израду насипа или гранулисаних испуна, уместо природних материјала. Овај рад је написан са циљем да се стручна јавност упозна са предностима примене технологије употребе електрофилтерског пепела у путоградњи.

## 1 УВОД

Коришћење електрофилтерског пепела у грађевинарству а нарочито у изградњи путева има широку примену. Велика количина пепела остаје као нуспроизвод од термоелектрана и може да се употреби у изради насипа, изради доњих и горњих носећих слојева, стабилизацији носећих слојева и постељице, асфалт бетону, као везни и минерални додатак цемент бетону. Најважнија ствар је подсетимо стручну јавност да би примена електрофилтерског пепела у путоградњи омогућила смањивање депонија и загађења и контаминације земљишта и подземних вода, као и чување природних минералних сировина.

## 2 ПРЕПОРУКЕ ЗА ПРИМЕНЉИВОСТ ПЕПЕЛА И СТАБИЛИЗОВАНО ЕЛЕКТРОФИЛТЕРСКОГ ПЕПЕЛА У ПУТОГРАДЊИ

### 2.1 Изградња путева са пепелом

За употребу летећег пепела у изградњи и реконструкцији путева, треба размотрити његову примену у везаном и слободном стању. Примене у слободном стању покривају нпр. примену летећег пепела у основним слојевима као испуну, у изградњи брана или побољшању квалитета земљишта. Његове примене у везаном стању покривају коришћење у хидрауличним мешавинама за стабилизацију путева и у бетону за изградњу путева. За наведене примене неопходно је да буду испуњени национални прописи за изградњу путева. Материјали на бази летећег пепела су изузетно погодни за изградњу индустријских простора, паркинг простора, тротоара, али и аутопутева. Разлог за ово лежи у чињеници да такви материјали континуирано очвршћавају и јачају са временом.

Летећи пепео се дуги низ година користи и као додаток у асфалтним мешавинама. Посебне гранулације летећег пепела се данас користе у изузетно квалитетним асфалтним мешавинама у Европи и САД, заједно са влакнима и полимерима.

Према подацима UKQAA (United Kingdom Quality Ash Association) из Велике Британије, која има огромно искуство у примени летећег пепела, пепео се може уградити од стабилизације, преко бетонског и асфалтног дела, до косина, које је на крају потребно само још покрити мањом количином земље и затравити.

Према подацима истраживања Института за путеве из Београда и Геотехнике из Прага, Чешка Република (КОРИШЋЕЊЕ ЕЛЕКТРОФИЛТЕРСКОГ ПЕПЕЛА И ШЉАКЕ ПРОИЗВЕДЕНИХ У ТЕРМОЕЛЕКТРАНАМА "НИКОЛА ТЕСЛА А и Б" И ТЕРМОЕЛЕКТРАНАМА "КОСТОЛАЦ А и Б" ЗА ПОТРЕБЕ ПУТОГРАДЊЕ), за изградњу насипа од летећег пепела висине 3 до 8m на носивом тлу, при изградњи пута ширине 10m, по километру се може уградити око 100.000t летећег пепела. То значи да је у дужини до 100km (колико се условно рачуна да је исплатив транспорт пепела), могуће уградити **око 10 милиона тона** летећег пепела. У односу на конвенционалне материјале уштеда при таквом поступку је од 30 до 80%.

### 3 НАСИП ИЛИ ИСПУНА

Електрофилтерски пепео се, нарочито у Европи, већ неколико деценија користи, као материјал за израду насипа или гранулисаних (структурних) испуна, уместо природних материјала. Пепео који се користи за ту сврху мора да се депонује и чува у условима оптималне влажности. У случају сувљег материјала долази до подизања прашине, а влажнији пепео је неподесан за уградњу. Провером носивости на терену утврђено је да пепео збијен под условима оптималне влажности има исте геомеханичке карактеристике као добро збијено тло. Овде се анализирају могућности примене електрофилтерског пепела узетог непосредно из производње, без додатка везива и са везивом. Насипи се врло често граде на мало носивом тлу, са високим нивоом подземне воде који осцилује у времену. При пројектовању конструкције насипа, потребно је анализирати релевантне геотехничке параметре подтла и стабилизованог материјала познатих карактеристика од пепела без везива и пепела са везивом од креча или цемента.

Према подацима Америчког удружења за угљени пепео, друга најраспрострањенија употреба електрофилтерског пепела, после производње бетона, је у изради насипа и гранулисаних испуна. За изградњу насипа се највише користи пепео добијен сагоревањем антрацита или битуменизованог угља. Електрофилтерски пепели из лигнита или делимично битуменизованог угља су обично самовезујући и додавањем влаге могу прерано да очврсну, што ствара проблеме у обради и немогућност да се достигне жељени степен збијања. Употреба овог материјала у изради насипа и гранулисаних испуна је доживела пробој 50-их година у Великој Британији као алтернативни материјал из позајмишта за доњи строј железница.

Стандардни водич за пројектовање и израду гранулисаних испуна са електрофилтерским пепелом, ASTM E2277-03, упућује на примену овог материјала у насипима и испунама. Стандард обухвата упутства за извођење теренских испитивања попут: геолошких и хидролошких испитивања, процедуре испитивања у лабораторији, као и разматрање пројектовања, метода и изградње.

Такође употреба електрофилтерског пепела се односи на његов учинак, технолошке захтеве, контролу влажности, техничка својства, однос влажности и запреминске тежине, гранулометријски састав, чврстоћу на смицање, консолидацију, чврстоћу на притисак, водопропустљивост.

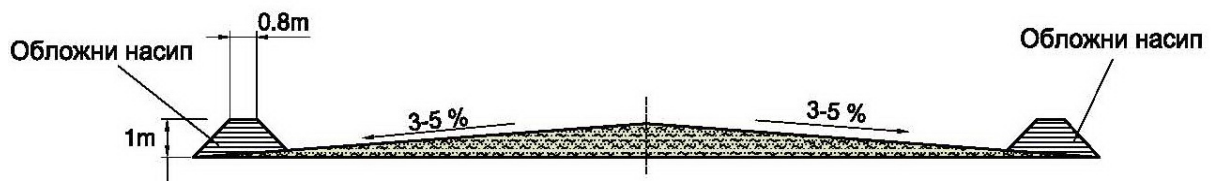
Стандард обухвата пројектовање насипа и испуна, дренажу локације, стабилност косина, анализу контроле ерозије, носивост тла, климатске услове, заштита подземних цеви и бетонских елемената, процедуре током изградње, руковање материјалом и складиштење, уградња и збијање, контрола квалитета, контрола прашине, дренажа заштита од ерозије, заштита животне средине.

### 3.1. Насипи од електрофилтерског пепела

Са до сада испитаним карактеристикама пепела имајући у виду његове физичко –механичке карактеристике као и утицај на животну средину, постављени су параметри који се морају испоштовати при пројектовању и изradi насипа:

- Пепео у конструкцији насипа може се применити без додатака везива (креча или цемента).
- Насип изграђен од пепела без везива, мора бити "затворен", након обраде подтла, заптивним - водонепропусним слојем од глине. Водонепропусни слој треба урадити са нагибом 3 – 5 % од средине обрадиве подлоге ка крајевима, као што је приказано на слици.

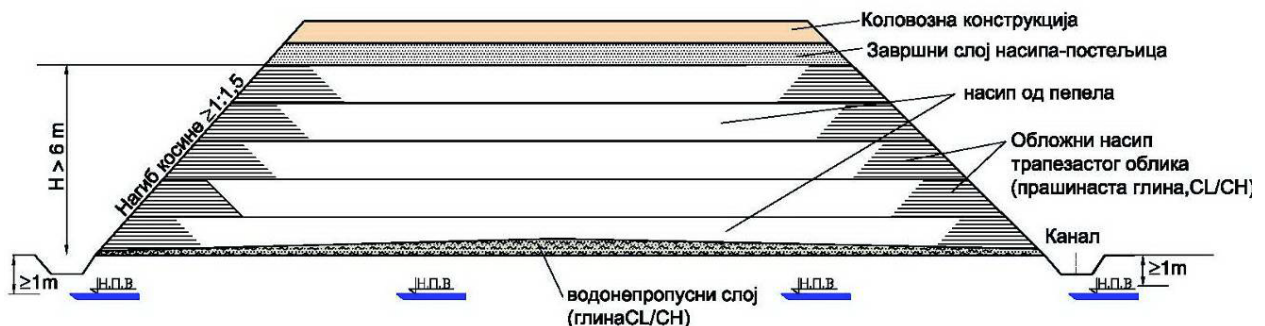
#### ОБРАДА ПОДЛОГЕ



Слика 3.1.: Детаљ израде заптивног - водонепропусног слоја са земљаним трапезима са стране

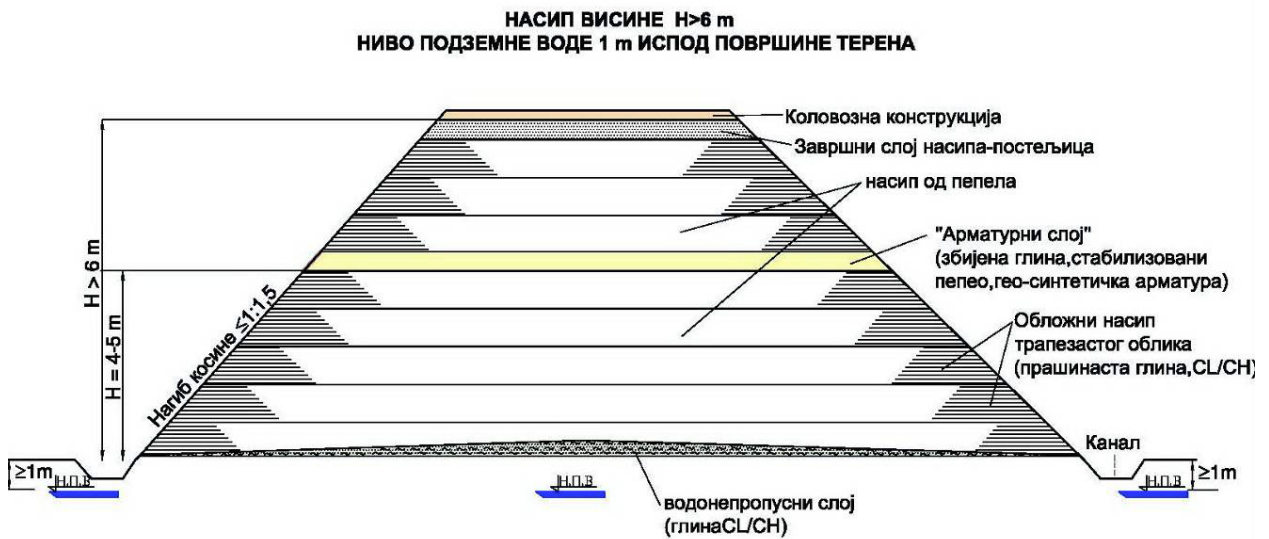
- Заптивни - водонепропусни слој треба уградити од глиновитог материјала
- Коефицијент филтрације материјала од којег се ради водонепропусни слој треба да буде  $k > 10^{-5} \text{cm/s}$ .
- Евентуално процеђена вода из насипа, преко водонепропусног слоја, спроводи се у бочне канале који морају бити такође водонепропусни, поред насипа и одводи на пречишћавање
- Бочно се насипи од пепела затварају обложним прашинасто - глиновитим насипом трапезастог облика. Један сегмент насипа је висине 1 м, ширине у круни 0,8 м и изводи се у нагибу 1:1,5 или мање – приказ на сликама 3.1. до 3.6.
- За израду обложног насипа може се употребити ситнозрни материјал
- На висини од једног трапеза уграђују се три слоја насипа. Приближна дебљина слоја износи 30 см у збијеном стању.
- Могућност изградње насипа од пепела, без употребе везива директно зависи од висине насипа. Уколико је висина насипа  $H \leq 6 \text{ m}$ , насип се може извести од пепела без везива, по унапред описаном поступку, до постеличног слоја, слика 3.2.

#### НАСИП ВИСИНЕ $H < 6 \text{ m}$ НИВО ПОДЗЕМНЕ ВОДЕ 1 м ИСПОД ПОВРШИНЕ ТЕРЕНА



Слика 3.2.: Израда насипа од пепела  $H < 6 \text{ m}$

Уколико је насип висине  $H \geq 6$  m, потребно је на висини од 4 - 5 m извести слој од стабилизованог пепела (пепео са везивом од креча или цемента), слика 3.3.



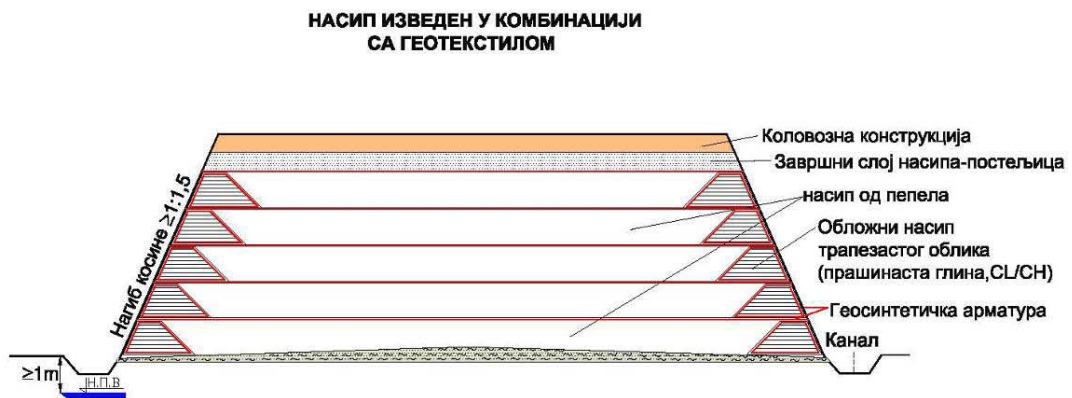
Слика 3.3.:Израда насипа од пепела  $H > 6$  m (ниво подземне воде 1 m испод површине терена)

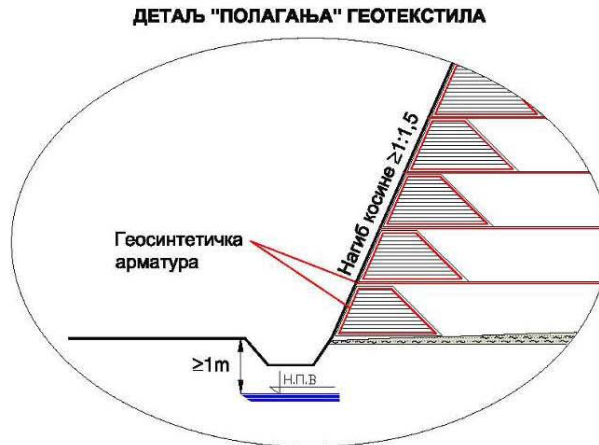
У нивоу слоја од стабилизованог пепела није потребна израда обложног - бочног насипа од прашинасте глине, трапезастог облика, слика 3.3.

- Даља изградња насипа, до постељичног слоја, може се извести по истој технологији, од електрофилтерског пепела са обложним - бочним насипом од прашинасте глине трапезастог облика.
- Завршни слој насипа – постељични слој, потребно је због стабилности насипа извести од стабилизованог пепела са цемента или кречом. Процент креча може у овој зони бити повећан и на 4%.

### 3.2. Насипи од пепела без везива у комбинацији са геотекстилом

Уколико је потребна израда насипа са нагибима већим од 1 : 1,5, а изводи се од пепела без додатка цемента или креча, могуће га је извести у комбинацији са геотекстилом, слика 3.4.





Слика 3.4.: Израда насипа са пепелом и геотекстилом

- Геотекстил који се примењује потребно је да буде ткани и полаже се и на заптивни слој који се изводи у свему по горе описаном поступку.
- На сваком сегменту насипа висине 1 m, прво се изведе обложни насип трапезастог облика који се обмотава са геотекстилом, а затим се између изводе минимално три слоја насипа од пепела.
- Геотекстил се након тога полаже на задњи збијени слој пепела и следи поново израда насипа у сегментима - није потребна израда стабилизованог слоја на висини 4 – 5 m.
- Постељични слој насипа се изводи у свему по предходно описаној технологији.
- Израда бочних канала, као и одвођење воде се изводи као и код израде насипа од пепела без геотекстила.

### 3.3. Насипи од пепела са везивима

Овај тип насипа је више примењљив у урбаним подручјима, где је потребно заузети што мањи простор при изградњи. Такви насипи морају бити стрмијег нагиба од 1:1.5. Изводе се по следећем поступку:

- Процент везива (креча или цемента) одређује се предходним испитивањима, утврђено је да се насипи могу извести са мах 2% додатог цемента или креча.
- Нагиби косина насипа могу бити 2:1 до 3:2.
- При изради ових насипа није потребна израда обложних насипа од прашинасто-песковите глине трапезастог облика, с тим што је потребно да се предвиди накнадно хумузирање косина насипа.
- Израда водонепропусног, заптивног слоја и бочних канала као и постељични слој се изводи у свему по горе описаном поступку израде насипа од пепела без употребе везива.

### 3.4. Насипи у специфичним геотехничким условима градње

Врло често се при извођењу насипа срећемо са проблемима мало носивог тла или високог нивоа подземне воде.

#### 3.4.1. Санација мало носивог тла

Приликом израде насипа на недовољно носивом тлу потребно је извршити санацију подтла испод насипа.

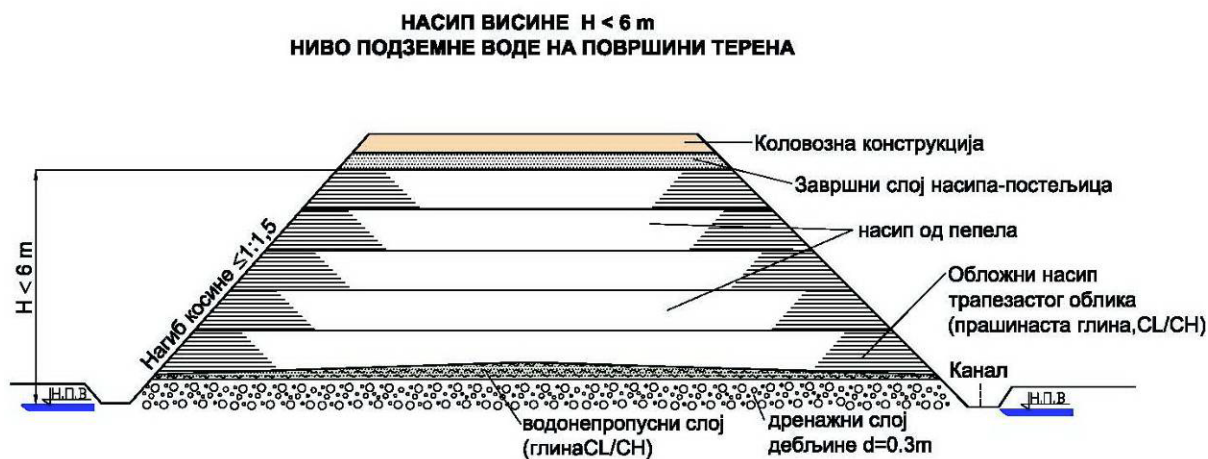
Тип санације је у функцији више параметара, као што су:

- висина насипа, материјал од кога се гради насип и својства тла на које се поставља насип.

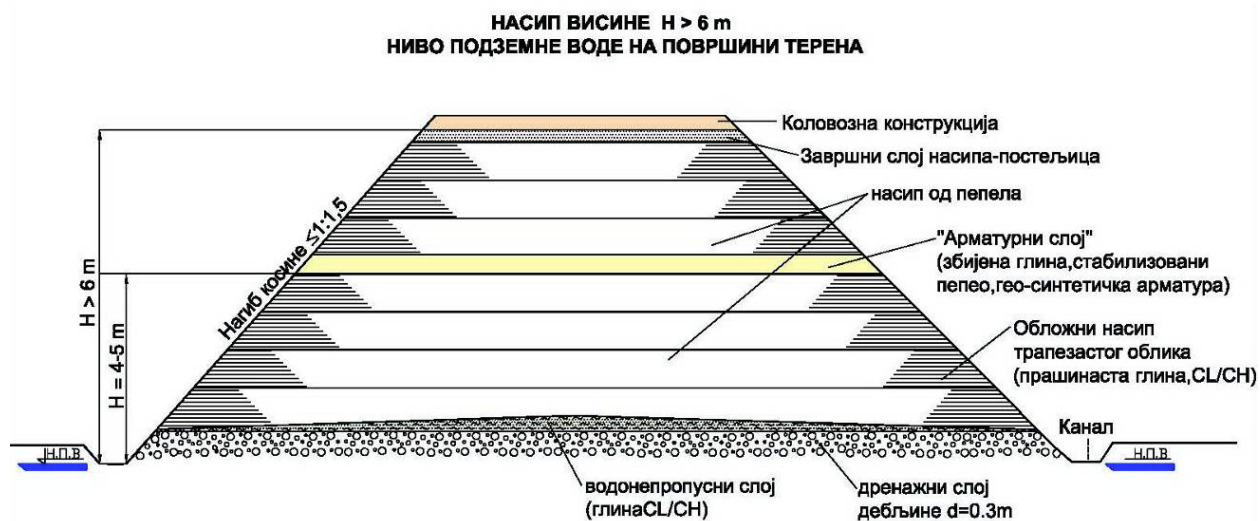


Високи насипи знатно оптерећују и онако мало носиво тло, зато је битно да материјал од којег се гради насип, има што мању тежину. Пепео је, са те стране, идеалан материјал. У односу на песак или шљунак је знатно лакши, јер има мању запреминску тежину око 2 до 3 пута.

На сликама 3.5 и 3.6. приказани су насипи висине  $H > 6$  m и  $H < 6$  m, изграђени од пепела на терену са нивоом подземне воде на површини.



Слика 3.5.: Израда насипа од пепела  $H < 6$  m  
(ниво подземне воде на површини терена)



Слика 3.6.: Израда насипа од пепела  $H > 6$  m  
(ниво подземне воде на површини терена)

## 4 СТАБИЛИЗОВАН НОСЕЋИ СЛОЈ И ПОСТЕЉИЦА

### 4.1 Стабилизван носећи слој – допуна везиву

Стабилизвани горњи или доњи носећи слојеви су мешавине агрегата и везива, као што је портланд цемент који повећава чврстоћу, носивост, и издржљивост доњег слоја коловозне конструкције. Због способности да испољи пуцоланске особине, или својства самовезивања, електрофилтерски пепео се успешно користи као везиво или допуна везиву у изради стабилизованог горњег носећег слоја коловозне конструкције. Лабораторијска и теренска испитивања су показала да се електрофилтерски пепео може користити у стабилованим горњим или доњим носећим слојевима, односно укључити у прорачун флексибилних коловозних конструкција.

Кад се користи пуцолански тип пепела класе Ф, мора се додати активатор како би се подстакла пуцоланска реакција. Најчешће коришћени активатори, или хемијска везива у пуцоланом стабилованом материјалу (pozzolan-stabilized base - PSB), су креч и портланд цемент. Самовезујући пепео класе Ц не захтева активатор и тако нуди економичније алтернативе за широк спектар примена у стабилизацији.

Електрофилтерски пепео се често користи као компонента у мешавинама за израду стабилизованог носећег слоја и постељице. Може се користити пепео од битуменизираног (пуцолански), делимично битуменизираног угља и лигнита. Битуменизирани пепео (класа Ф) се меша са хемијским реагенсима или реакторима, агрегатом и водом. Да би се добио производ са везивним својствима морају се употребити активатори попут портланд цемента или креча. Код већине крупно гранулисаних агрегата количина електрофилтерског пепела ће, обично, бити између 8% и 20%. Код песковитих агрегата количина износи од 15% до 30%. Пепео од делимично битуменизираног угља или лигнита (класа Ц), који је обично самовезујући, не захтева хемијске реагенсе или активаторе. Он се меша са агрегатима и водом, али због својства брзог слегања, количина пепела је обично између 5% и 20%. Самовезујући пепео се може користити самостално као везивни слој без икаквих агрегата.

Употреба електрофилтерских пепела у градњи стабилизованог носећег слоја и постељице датира још од 1950-их, када је први пут развијена и патентирана мешавина за израду носећег слоја коловозних конструкција, позната као Poz-o-Pac (мешавина креча, пепела и агрегата). Пошто су почетком 70-их истекла патентна права на Poz-o-Pac, развијене су бројне варијације основног облика ове мешавине. Реализована су решења за стабиловање горњег носећег слоја које садрже портланд цемент, а која су се развила из мешавине земља - цемент. Све ове мешавине садрже електрофилтерски пепео и могу се свести под општу ознаку „пуцоланске стабилизације“ (pozzolan-stabilized base - PSB).

Главна компонента већине пуцоланских стабилизација је агрегат. За прве примењене мешавине Poz-o-Pac у коловозним конструкцијама пројектованим за велико саобраћајно оптерећење коришћен је локално доступан дробљени камени агрегат високог квалитета (као што је кречњак, туцаник или гранит), песак и шљунак, или згура високих пећи. PSB мешавине су примењиване у изградњи сервисних саобраћајница на градилиштима, улица у стамбеним зонама и локалних путева коришћењем агрегата из термоелектрана (пепео са дна или згура из котлова), агрегата граничних карактеристика (укључујући неке нестандартизоване материјале), отпадака од угља и рекултивисаних материјала за израду застора. Овакви алтернативни агрегати су често доступни и економични за употребу у областима где је слабо снабдевање високо квалитетним агрегатима.

Слично примени електрофилтерског пепела као везивног слоја је и стабилована рециклажа по хладном поступку на лицу места (cold-in-place recycling - CIR). Овај поступак се, по правилу, састоји од скидања и млевења постојећег застора и мешања рециклиране масе са асфалтном емулзијом као стабилизатором. CIR обезбеђује високо квалитетну основу за израду новог асфалтног коловозног застора, мада може да послужи и сам као завршни слој коловозне

конструкције у поступку рециклаже. Заменом асфалтне емулзије електрофилтерским пепелом у поступку CIR, остварују се слични ефекти. Електрофилтерски пепео у стабилизацијама подразумева такође учинак, технолошке захтеве, контролу влажности, техничка својства, пројектовање састава мешавине за пуцоланске стабилизације (PSB), статички прорачун, процедуре током изградње, руковање материјалом и складиштење, мешање уградња и збијање пуцоланских стабилизација, неговање стабилизација, вансезонска изградња, самовезујући електрофилтерски пепео (класа Ц), контрола појаве пукотина, заштита животне средине.

## **5 АСФАЛТ БЕТОН Асфалт бетон – камено брашно**

Електрофилтерски пепео се годинама користи као замена за камено брашно (филер) у мешавинама за израду асфалтног коловозног застора. Он побољшава кохезионе карактеристике везног слоја (односно битумена) и стабилност мешавине. Већина врста електрофилтерског пепела задовољава гранулометријске карактеристике (фракције зрна испод 0,075 мм) и друге релевантне физичке (непластичност) и хемијске (садржај органских материја) захтеве спецификација за камено брашно.

Асфалт бетонска мешавина је композитни материјал који се састоји од битуменског везива и минералног агрегата. Поставља се у слојевима и збија до одређене густине која обезбеђује стабилност на динамичка оптерећења у саобраћају. За аутопутеве и авионске писте се најчешће користи асфалт бетон изведен по врућем поступку (hot mix asphalt - HMA) који се производи загревањем агрегата на око 150°C и битумена на 90°C пре мешања. Флексибилни коловози чине већи део путева у Србији и повећана употреба електрофилтерског пепела у овакве сврхе би значајно смањила количине пепела на депонијама, што би, вероватно, довело до снижења трошкова. Електрофилтерски пепео се може користити као минерална испуна (филер) за попуњавање шупљина и повезивање крупнијих зрна агрегата у асфалт бетонским мешавинама. Могућност примене пепела у ову сврху регулисана је стандардима ASTM D242 и AASHTO M-17, који прописују карактеристике које филер треба да задовољи. Употребљивост минералних испуна се састоји у порасту чврстоће битуменског малтера, повећању отпорности на појаву колотрага и продужењу трајности коловозне конструкције. За израду асфалтних мешавина са пепелом треба обратити пажњу на учинак, технолошке захтеве, сушење, складиштење, техничка својства, пројектовање мешавине, статички прорачун, процедуре током изградње, руковање материјалом и складиштење, заштита животне средине.

## **6 БЕТОН ОД ПОРТЛАНД ЦЕМЕНТА**

### **6.1 Бетон од портланд цемента – допуна везиву**

Електрофилтерски пепео се користи као везивни и минерални додатак бетону од портланд цемента. Око 50% рециклираног електрофилтерског пепела се користи у производњи бетона и бетонских префабриката, што чини највећу засебну употребу ове сировине. Квалитет електрофилтерског пепела треба строго пратити. Најбитније карактеристике овог материјала које утичу на примену у бетону су финоћа, садржај влаге, губитак при жарењу и хемијски састав. Пепео који се користи у бетону мора, такође, да поседује довољно пуцоланске реактивности и мора да буде постојаног квалитета.

### **6.2 Производња бетона са додатком пепела**

Летећи пепео се успешно користи за производњу бетона широм света већ више од 50 година. У Европи и САД се приближно 30 % произведеног летећег пепела користи као додатак у бетону замењујући део цемента неопходног за производњу бетона. Технички захтеви за коришћење летећег пепела у бетону су дати у Европском стандарду EN 450 "Fly Ash for Concrete". Стандард се односи само на силикатни пепео, какав је и летећи пепео произведен у термоелектранама у нашој земљи.

Када је помешан са кречом и водом, летећи пепео има особине веома сличне портланд цементу (пуцоланска својства).

Летећи пепео побољшава особине и квалитет бетона. Испуњава поре, а сферичне честице пепела се понашају као куглице у лежајевима побољшавајући обрадљивост бетона.

Брзина очвршћавања бетона са додатком пепела је успорена што омогућава дужу обрадљивост код транспортних бетона.

Летећи пепео утиче на пластичне особине бетона смањујући сегрегацију и крвављење (излуживање калцијум хидроксида из бетона) и снижавајући топлоту хидратације у бетону. Повећава коначне чврстоће бетона, густину, смањује пропустљивост, корозију арматуре, повећава сулфатну отпорност и смањује могућност алкално-агрегатне реакције.

### 6.3 Корист од коришћења летећег пепела за производњу бетона

Применом оваквог бетона би се омогућила потрошња летећег пепела у огромним количинама и до више милиона тона годишње.

Веома важна технологија грађења, а посебно насутих брана и насипа, је технологија ваљаних бетона. Овај проблем се тешко решава јер је портланд цемент прејак, а креч преслабо везиво за израду ваљаних бетона. Применом летећег пепела из термоенергетских постројења се могу добити хидраулична везива посебно конципирана да задовоље услове нискоградње за израдом квалитетних ваљаних бетона и ваљаних насипа.

Стабилност разних депонија се може значајно побољшати изградњом насипа и косина са ваљаним бетоном.

Са друге стране ЕПС као „произвођач“ пепела треба да предузме мере пре свега да би летећи пепео довео на ниво да задовољава захтеве стандарда EN 450-1 као минерални додатак типа II за бетоне, малтере, инјекционе смесе. Поред обавезне измене процесних параметара у смислу корекције финоће пепела, мора се успоставити и фабричка контрола производње у складу са EN 450-1, како би пепео могао бити сертификован.

Замена цемента електрофилтерским пепелом је од начина да се редукује емисија гасова стаклене баште и тако допринесе одрживом развоју.

Електрофилтерски пепео се користи у бетону од портланд цемента (PCC) као минерални додатак. Као примеса, пепео функционише као делимична замена за портланд цемент или као његов додатак и додаје се директно у готову бетонску смешу у фабрици бетона.

Стандардом ASTM C595 су дефинисана два производа од мешаног цемента који садрже електрофилтерски пепео: 1) портланд-пуцолан цемент (Тип IP), садржи 15 до 40% пуцолана и 2) пуцолански модификовани портланд цемент (Тип I-PM), који садржи мање од 15% пуцолана.

Стандардом ASTM C618 су дефинисане две класе пепла који се користе у бетону: 1) класа Ф са ниским садржајем калцијума, који се обично добија сагоревањем антрацита или битуменизованог угља и 2) класа Ц са високим садржајем калцијума, који се обично добија сагоревањем лигнита или делимично битуменизованог угља. Овим стандардом су утврђена физичка, хемијска и механичка својства ове две класе електрофилтерског пепела. Класа Ф је пуцолан, који самостално има веома мала везивна својства, или их нема уопште. Класа Ц има карактеристику самовезивања, као и пуцоланске особине. Електрофилтерски пепео у бетону подразумева учинак, технолошке захтеве, контролу порекла, сушење и влажење, контролу квалитета, финоћу, пуцоланску активност (хемијски састав и минералогiju) губитак при жарењу (LOI), проценат влаге, уградљивост, житкост, време везивања, вишак воде, прираст чврстоће, температура хидратације, хидраулична проводљивост, отпорност на дејство мрза, отпорност на сулфатну корозију, алкално силикатна реакција, затим пројектовање, статички прорачун, процедуре током изградње, руковање материјалом и складиштење, мешање уградња и збијање, неговање бетона, контрола квалитета.

## 7. ЗАКЉУЧЦИ

На основу добијених резултата истраживачко – развојног пројекта „Коришћење електрофилтерског пепела и шљаке произведених у термоелектранама Никола Тесла А и Б и термоелектранама Костолац А и Б за потребе путоградње“ могу се извести следећи закључци:

- Електрофилтерски пепео и шљака су најзаступљенији отпад – секундарни материјал у Републици Србији. На депонијама површине 1.639 ha, депоновано је око 300 милиона тона пепела и шљаке.
- У термоелектранама и термоенергетским постројењима годишње се у Републици Србији потроши 35- 40 милиона тона угља, при чему се као нуспроизвод добијања електричне и топлотне енергије, произведе око 7 милиона тона отпада – секундарног материјала, пепела и шљаке, који се одлаже на депоније. Очекује се, да ће се у наредном периоду, на бази садашњег стања експлоатационих резерви угља, добити најмање око 700 милиона тона пепела и шљаке.
- Депоније електрофилтерског пепела и шљаке, и ако су под сталним надзором и мониторингом, изазивају знатно ремећење животне средине: заузимају велике обрадиве или зелене површине, загађују површинске и подземне воде, ваздух, тло, биљни свет, угрожавају здравље људи и утичу на промену екосистема у непосредном окружењу.
- Приоритетан циљ у наредном периоду, како термоелектрана и термоенергетских постројења на угаљ, тако и свих релевантних институција у Републици Србији, је на основу резултата систематских истраживања, претварање електрофилтерског пепела и шљаке, као секундарног отпада у секундарну сировину.
- Истраживачко-развојни пројекат „Коришћење електрофилтерског пепела и шљаке произведених у термоелектранама „Никола Тесла А и Б“ и термо-електранама „Костолац А и Б“ за потребе путоградње“ је конкретан истраживачки посао валоризације отпадног материјала, електрофилтерског пепела и шљаке у секундарну сировину – путно- грађевински материјал.
- У циљу дефинисања својстава електрофилтерског пепела и шљаке, као путно грађевинског материјала, спроведена су, према нашим и европским стандардима, сва прописана истраживања.
- Резултати истраживања показују да електрофилтерски пепео и шљака имају променљива минералозна, хемијска, физичка и механичка својства, која проистичу из нехомогеног састава угља који сагорева у термоелектранама.

Резултати добијени лабораторијским испитивањима показују да:

- Физичко - механичке карактеристике пепела и стабилизованог пепела са додатком цемента и креча из термоелектрана "Обреновац" и "Костолац", налазе се у распонима вредности које овај материјал потврђују као повољан за изградњу саобраћајница и др. инфраструктурних (елемената) система (насипи, испуне ровова, испуне иза објеката и сл.).
- Електрофилтерски пепео и шљаку треба уграђивати у труп пута у сегментима, изолованим од утицаја површинских и подземних вода, јер се тиме, у условима експлоатације пута, спречава испирање хемијски штетних састојака из пепела и шљаке и њихово уношење у водоносне средине.
- За утврђивање нултог стања квалитета подземних вода и њихових евентуалних промена, потребно је обезбедити адекватан мониторинг у току експлоатације пута;
- Спроведена анализа структуре трошкова грађења насипа са чистим електрофилтерским пепелом и пепелом са 2% креча на носивом и мало носивом терену, висине насипа од 3 m и 8 m, упоређена са трошковима грађења са класичним прашинасто - глиновитим и песковито - шљунковитим материјалима, показује да је израда насипа од пепела, по m<sup>3</sup> у зависности од врсте насипа јефтинија од 30 - 80%.

– На основу постигнутих резултата истраживачко - развојног пројекта може се констатовати да је примена електрофилтерског пепела и шљаке у путоградњи, могућа под условима који су у овом пројекту дефинисани.

– Резултати у истраживачко - развојном пројекту указују на могућност употребе пепела и шљаке и у изградњи носећих слојева коловозних конструкција, зашта су потребна додатна истраживања.

Сагледавањем комплетних резултата добијених кроз наведену Студију и примере из ЕУ, не поставља се више питање може ли се пепео, без обзира да ли је у питању летећи или пепео са депонија, користити у грађевинској индустрији, већ се може констатовати да он мора наћи своју употребу у грађевинарству и грађевинској индустрији. Неопходно је ангажовање и сазревање свести и државе и комплетног друшта како би се обезбедила реализација пројекта који укључују коришћење пепела, едукација извођача и пројектаната везана за предности коришћења пепела.

Помоћ државе је потребна како са законодавног аспекта тако и са аспекта различитих стимуланса за коришћење пепела, јер његовим искоришћењем имамо вишеструке користи

- Смањиће се депоније пепела а самим тим и опасност од загађења и контаминације земљишта и подземних вода у њиховој околини
- Смањиће се потрошња природних минералних сировина – природних ресурса што представља битан фактор како у економском тако и у смислу доприноса одрживом развоју
- Грађевински материјали произведени са пепелом у неким аспектима имају боље особине него исти материјали без пепела
- Уградњом пепела у грађевинске материјале он постаје потпуно неопасан по околину чак и ако се догоди да као отпадни грађевински материјал поново доспе на неку депонију.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Табаковић Б.:** МОГУЋНОСТ ПРОИЗВОДЊЕ ЛАКОГ АГРЕГАТА ЗА БЕТОНЕ ОД ГЛИНА, ШЉАКА И ЛЕТЕЋЕГ ПЕПЕЛА, Изградња, бр 11, 1962, пп 21-24
2. **Ђуран Ј., Стефановић М.:** УКАЗАТИ ПОВЕРЕЊЕ ПРИМЕНИ ЛЕТЕЋЕГ ПЕПЕЛА У ИЗГРАДЊИ ПУТЕВА ИЛИ ПРОБЛЕМЕ ОСТАВИТИ ЗА БУДУЋНОСТ, Зборник радова са научно – стручног саветовања, Аранђеловац, јун 2000. год., 1962, пп 277-281
3. **Пројекат:** РАЗВОЈ ТЕХНОЛОГИЈЕ ДОБИЈАЊА РЕТКИХ И ДРУГИХ МЕТАЛА ИЗ ПЕПЕЛА ДОМАЋИХ УГЉЕВА, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Београд, 1967
4. **Ивковић С.:** ПРИМЕНА ЛЕТЕЋЕГ ПЕПЕЛА И ГРАНУЛИРАНЕ ЗГУРЕ ПРИ ГРАЂЕЊУ ПУТЕВА У ФРАНЦУСКОЈ, КАО И ЊЕГОВА ПРИМЕНА ЗА ДРУГЕ СВРХЕ, Изградња, бр 12, 1968, пп 33-38
5. **Тодоровић Б.:** ИЗРАДА НОСЕЋИХ СЛОЈЕВА КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ ОД СТАБИЛИЗОВАНИХ ЗЕМЉАНИХ МАТЕРИЈАЛА ЦЕМЕНТОМ И ЛЕТЕЋИМ ПЕПЕЛОМ, Зборник радова са Симпозијума Коришћење летећих пепела за стабилизацију тла, израду савремених коловоза и хидротехничке радове, Београд, фебруара 1970, пп 1-18
6. **Џмавс Ј.:** ISKUSTVA ZAVODA ZA RAZISKAVO MATERIJALA IN KONSTRUKCIJ, ЉУБЉАНА, У СТАБИЛИЗАЦИЈИ ТЛА И ИЗГРАДЊИ НОСЕЋИХ СЛОЈЕВА КОЛОВОЗА УПОТРЕБОМ ЛЕТЕЋИХ ПЕПЕЛА, Зборник радова са Симпозијума Коришћење летећих пепела за стабилизацију тла, израду савремених коловоза и хидротехничке радове, Београд, фебруара 1970, пп 1 - 15 (19-34)
7. **Стаменковић В.:** ИСКОРИШЋЕЊЕ ЛЕТЕЋЕГ ПЕПЕЛА КАО КОМПОНЕНТНЕ МАСЕ ЗА ИЊЕКТИРАЊЕ ТЛА, Зборник радова са Симпозијума Коришћење летећих пепела за стабилизацију тла, израду савремених коловоза и хидротехничке радове, Београд, фебруара 1970, пп 1 - 16 (35-51)
8. **Светел Д.:** ПРИМЕНА ЛЕТЕЋЕГ ПЕПЕЛА КАО ФИЛТЕРА У АСФАЛТНИМ МЕШАВИНАМА, Зборник радова са Симпозијума Коришћење летећих пепела за стабилизацију тла, израду савремених коловоза и хидротехничке радове, Београд, фебруара 1970, пп 1 – 101 (53-154)
9. **L. John Minnick, G & W.H. Coson:** РЕАКЦИЈЕ ХИДРАТИСАНОГ КРЕЧА СА ЛЕТЕЋИМ ПЕПЕЛОМ ДОБИЈЕНИМ САГОРЕВАЊЕМ СПРАШЕНОГ УГЉА, Зборник радова са Симпозијума Коришћење летећих пепела за стабилизацију тла, израду савремених коловоза и хидротехничке радове, Београд, фебруара 1970, пп 1 - 57 (155-212)
10. **Група аутора:** КОРИШЋЕЊЕ ЛЕТЕЋЕГ ПЕПЕЛА ЗА СТАБИЛИЗАЦИЈУ ТЛА, ИЗРАДУ САВРЕМЕНИХ КОЛОВОЗА И ХИДРОТЕХНИЧКЕ РАДОВЕ, Београд, 1970, Зборник радова са Симпозијума, Биро за грађевинарство
11. **Пројекат:** ИСКОРИШЋЕЊЕ ЛЕТЕЋЕГ ПЕПЕЛА ИЗ ТЕРМОЕЛЕКТРАНА ЗА ИЗРАДУ МЕШАВИНА ЗА ПОВЕЋАЊЕ НОСИВОСТИ ТЛА; КЊИГА 2, Рударски институт - Београд, 1971.
12. **Киклић М.:** ИНДИКАТИВНА ПРОУЧАВАЊА МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ЕЛЕКТРО-ФИЛТЕРСКОГ ПЕПЕЛА ТЕРМОЕЛЕКТРАНЕ "НИКОЛА ТЕСЛА А" - ОБРЕНОВАЦ - КАО ПУТНОГРАЂЕВИНСКОГ МАТЕРИЈАЛА - I ФАЗА, Институт за путеве, Београд, 1979.
13. **Пројекат:** ИСТРАЖИВАЊЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ЕЛЕКТРОФИЛТЕРСКОГ ПЕПЕЛА И КАРБИДНОГ КРЕЧА У ПРОИЗВОДЊИ ГРАЂЕВИНСКИХ БЛОКОВА, Београд, 1984.
14. **Павловић В., Матко З.:** "РЕКУЛТИВАЦИЈА ДЕГРАДИРАНОГ ПРОСТОРА РЕИК КОЛУБАРА", реферат на саветовању "Геолошка истраживања у привредном и просторном развоју Београда", пп 564-584, Београд, 1984.
15. **Кнежевић Д. В.:** "УГАЉ КОЛУБАРСКОГ БАСЕНА КАО НАЈВАЖНИЈА ЕНЕРГЕТСКА БАЗА БЕОГРАДСКОГ РЕГИОНА", реферат на саветовању "Геолошка истраживања у привредном и просторном развоју Београда", пп 324-337, Београд, 1984.
16. **Светел Д., Цмиљанић С.:** МАРГИНАЛНИ МАТЕРИЈАЛИ И ЊИХОВА СВОЈСТВА И ПРИМЕНА У ПУТОГРАДЊИ У СВЕТУ И У НАШОЈ ЗЕМЉИ, XX Конгрес Савеза друштва за путеве Југославије, Будва, 1986, пп 17-19
17. **Брауновић П.:** ЕЛЕКТРОФИЛТЕРСКИ ПЕПЕО У САНАЦИЈИ ОШТЕЋЕНИХ КОЛОВОЗА ПРИ ВЛАЖНОМ ВРЕМЕНУ, Београд, 1988, часопис "Пут и саобраћај" бр 2/88.
18. **Монографија:** ИНДУСТРИЈСКО-ЕНЕРГЕТСКИ КОМБИНАТ КОСТОЛАЦ 1870-1990., Индустијско - енергетски комбинат "Костолац", Издавачка кућа "Књижевне новине",

1990.

19. **UN – ECA:** By-Product Utilization and Waste Management from Treatment and Combustion, Status Report, Conference Papers, Wien, 1991

20. **Пројекат:** ПРИМЕНА ПЕПЕЛА ИЗ ТЕРМОЕЛЕКТРАНА У ПРОИЗВОДЊИ ЦЕМЕНТА; Рударски институт - Београд, 1995

21. **Пројекат:** ИСТРАЖИВАЊА МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ЕЛЕКТРОФИЛТЕРСКОГ ПЕПЕЛА И ШЉАКЕ ИЗ ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИХ ПОСТРОЈЕЊА СРБИЈЕ ЗА ИЗРАДУ ДОЊЕГ СТРОЈА И КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА ПУТЕВА, Институт за путеве Београд, 1995

22. **Цмиљанић С.:** ИСТРАЖИВАЊА МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ЕЛЕКТРОФИЛТЕРСКОГ ПЕПЕЛА И ШЉАКЕ ИЗ ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИХ ПОСТРОЈЕЊА СРБИЈЕ ЗА ИЗРАДУ ДОЊЕГ СТРОЈА И КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА ПУТЕВА, Пројекат истраживања, Институт за путеве, Београд, 1995

23. **Влајчић А., Поповић Д.:** СИСТЕМ ОТПЕПЕЉИВАЊА И ЊЕГОВ УТИЦАЈ НА РАСПОЛОЖИВОСТ И ПОУЗДАНОСТ БЛОКА СНАГЕ 620 MW, Реферат на Саветовању са међународним учешћем "ТЕНТ 2000", часопис "Техника" 4/5, Београд, 2000, пп 115-118

24. **Живојиновић Р.:** БИТНИ АСПЕКТИ УТВРЂИВАЊА ЕКСПЛОАТАЦИОНОГ КВАЛИТЕТА УГЉА У КОЛУБАРСКОМ УГЉОНОСНОМ БАСЕНУ НАМЕЊЕНОМ СНАБДЕВАЊУ "ТЕНТ" У ОБРЕНОВЦУ, Реферат на Саветовању са међународним учешћем "ТЕНТ 2000", часопис "Техника" 4/5, Београд, 2000, пп 119-124

25. **Петровић Д.:** ПРОЦЕНА СКЛОНОСТИ ЛИГНИТА "ТАМНАВА - ЗАПАДНО ПОЉЕ" КА ЗАШЉАКИВАЊУ, Реферат на Саветовању са међународним учешћем "ТЕНТ 2000", часопис "Техника" 4/5, Београд, 2000, пп 129-132

26. **Целетовић Ж.:** МОГУЋНОСТ ЗА УСАВРШАВАЊЕ ПОСТОЈЕЋЕГ ПОСТУПКА БИОЛОШКЕ РЕКУЛТИВАЦИЈЕ ОДЛАГАЛИШТА ПЕПЕЛА И ШЉАКЕ ТЕРМОЕЛЕКТРАНА КОЈЕ САГОРЕВАЈУ КОЛУБАРСКИ ЛИГНИТ, Реферат на Саветовању са међународним учешћем "ТЕНТ 2000", часопис "Техника" 4/5, Београд, 2000, пп 163-167

27. **Цмиљанић С.:** ЗНАЧАЈ СТАНДАРДИЗАЦИЈЕ ЕЛЕКТРОФИЛТЕРСКОГ ПЕПЕЛА ЗА ШИРОКУ ПРИМЕНУ У ПУТОГРАДЊИ, Electra I - ISO 14000, Аранђеловац, 2000, пп 274-276

28. **Кисић Д., Жбогар З., Боти - Раичевић Е.:** УТИЦАЈ ДЕПОНИЈА ПЕПЕЛА И ШЉАКЕ ТЕ "НИКОЛА ТЕСЛА" НА ЖИВОТНУ СРЕДИНУ, Реферат на Саветовању са међународним учешћем "ТЕНТ 2000", часопис "Техника" 4/5, Београд, 2000, пп 168-171

29. **Јанићијевић Б., Боти - Раичевић Е., Жбогар З., Кисић Д.:** ПРЕДНОСТИ ТРАНСПОРТА И ДЕПОНОВАЊА ХИДРОМЕШАВИНЕ (ПЕПЕО - ШЉАКА) У ВИДУ ГУСТЕ ПУЛПЕ У СЛОБОДНЕ ПРОСТОРЕ ПОВРШИНСКИХ ОТКОПА УГЉА СА АСПЕКТА ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ, Electra I, Аранђеловац, 2000

30. **Елаборат:** СИРОВИНСКА БАЗА ЛИГНИТА ИЗ КОЛУБАРСКОГ УГЉЕНОГ БАСЕНА ЗА ПОТРЕБЕ ПРОДУЖЕЊА РАДНОГ ВЕКА ТЕРМОЕЛЕКТРАНЕ "НИКОЛА ТЕСЛА „А" У ОБРЕНОВЦУ, Д.П. "Колубара - пројект", Лазаревац, 2001

31. **Елаборат:** ПРАЋЕЊЕ УТИЦАЈА ОТПАДНИХ ВОДА ТЕ "НИКОЛА ТЕСЛА" А НА ПОВРШИНСКЕ И ПОДЗЕМНЕ ВОДЕ, Институт за општу и физичку хемију Београд, 2001 - 2005

32. **Цмиљанић С.:** ПРИМЕНА ЕЛЕКТРОФИЛТЕРСКОГ ПЕПЕЛА У ПУТОГРАДЊИ, Пројекат истраживања - предлог пројекта "Quick Start" Project Proposal Regional Environmental Reconstruction Program for SEE (Re ReP), Београд, 2001

33. **Смиљанић С.:** APPLICATION OF FLY IN THE ROAD CONSTRUCTION, "Quick Start" Project Proposal, Regional Environmental Reconstruction Program for SEE (Re ReP) for South Eastern Europe, Belgrade, 2001

34. **Брзаковић П.:** ПОВРШИНСКИ КОПОВИ И ТЕРМОЕЛЕКТРАНЕ У КОСТОЛЦУ - ПРОИЗВОЂАЧИ УГЉА, ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ И ДРАГОЦЕНИХ МАТЕРИЈАЛА И СИРОВИНА ЗА ГРАЂЕВИНА-РСТВО, Електропривреда, бр. 4, 2002, пп 59-74

35. **Брзаковић П.:** ЛЕТЕЋИ ПЕПЕЛИ ИЗ ЈУГОСЛОВЕНСКИХ ТЕРМОЕЛЕКТРАНА - ИНДУСТРУЈСКИ ОТПАДАК ИЛИ ДРАГОЦЕНА СИРОВИНА ЗА ПРОИЗВОДЊУ ГРАЂЕВИНСКИХ МАТЕРИЈАЛА, часопис Изградња, бр. 55, Београд, 2002, пп 5 – 22

36. ПРОСТОРНИ ПЛАН ПОДРУЧЈА ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ КОСТОЛАЧКО - КОВИНСКОГ ЛИГНИТСКОГ БАСЕНА - СТРАТЕГИЈА РАЗВОЈА, УРЕЂЕЊА И РЕВИТАЛИЗАЦИЈЕ ПОДРУЧЈА, Документациона основа - радна верзија, ИАУС, новембар 2002, Београд

37. **Петровић Д., Антонијевић Љ.:** КАРАКТЕРИСТИКЕ И РЕЗЕРВЕ УГЉА КОСТОЛАЧКОГ БАСЕНА, Енергетски комплекс Костолац и животна средина, 2002, пп 17-22

38. **Петровић Д.:** ГЕОМЕХАНИЧКЕ ОСОБИНЕ ПЕПЕЛИШТА, Енергетски комплекс Костолац и



животна средина, 2002, пп 23-26

39. **Мишић Н.:** ИНСТАЛИСАНИ КАПАЦИТЕТИ, КОЛИЧИНЕ ПЕПЕЛА И ШЉАКЕ ДОБИЈЕНЕ ГОДИШЊОМ ПРОИЗВОДЊОМ ТЕКО И ПЛАНОВИ ЕПС-а, Енергетски комплекс Костолац и животна средина 2002, пп 27-28

40. **Ђорђевић - Милорадовић Ј.:** ЕКОЛОШКЕ ПОСЛЕДИЦЕ ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ УГЉА И ИЗГРАДЊЕ ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИХ ПОСТРОЈЕЊА У КОСТОЛЦУ, Енергетски комплекс Костолац и животна средина, 2002, пп 29-32

41. **Рогожарски З.:** УТИЦАЈ ТЕРМОЕНЕРГЕТСКОГ КОМПЛЕКСА КОСТОЛАЦ НА КВАЛИТЕТ ВАЗДУХА У ОКОЛНИМ НАСЕЉИМА, Енергетски комплекс Костолац и животна средина, 2002, пп 45-50

42. **Лончар Р., Попов Г.:** ЈАВНО МЊЕЊЕ ГРАЂАНА СЕЛА СТАРИ КОСТОЛАЦ О ЗАГАЂЕНОСТИ ЊИХОВЕ РАДНЕ И ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ, Енергетски комплекс Костолац и животна средина, 2002, пп 55-58

43. **Мартић М., Влајковић М., Ђорђевић - Милорадовић Ј.:** НИВО РАДИОАКТИВНОГ ЗРАЧЕЊА У КОСТОЛАЧКОМ УГЉЕНОМ БАСЕНУ: ИЗВОРИ И ПОСЛЕДИЦЕ, Енергетски комплекс Костолац и животна средина 2002, пп 59-62

44. **Милојковић Љ.:** УТИЦАЈ ТЕРМОЕЛЕКТРАНА КОСТОЛАЦ "А" И "Б" НА КВАЛИТЕТ ВАЗДУХА У ОКОЛИНИ, Енергетски комплекс Костолац и животна средина 2002, пп 63 -64

45. **Милојковић Љ., Рогожарски З., Милановић Р.:** УТИЦАЈ ОТПАДНИХ ВОДА ИЗ ТЕРМОЕЛЕКТРАНА "А" И "Б" - КОСТОЛАЦ И ПЕПЕЛИШТЕ НА КВАЛИТЕТ ПОВРШИНСКИХ И ПОДЗЕМНИХ ВОДА, Енергетски комплекс Костолац и животна средина 2002, пп 65-78

46. **Ђулаковић Г., Јаковљевић Ј., Ђулаковић В.:** ПРАВЦИ ЗАШТИТЕ ЧОВЕКОВЕ ОКОЛИНЕ СА ГЛЕДИШТА ДЕГРАДАЦИЈЕ ЗЕМЉИШТА И САНАЦИЈЕ ПЕПЕЛИШТА ТЕ КОСТОЛАЦ, Енергетски комплекс Костолац и животна средина 2002, пп 105-108

47. **Грубетић И.:** ОТПЕПЕЉИВАЊЕ И ТРАНСПОРТ ПЕПЕЛА И ШЉАКЕ ТЕКО "А" И "Б" И ПРОБЛЕМАТИКА У ВЕЗИ СА ПОСТОЈЕЋИМ НАЧИНОМ ТРАНСПОРТОВАЊА И ОДЛАГАЊА ПЕПЕЛА И ШЉАКЕ, Енергетски комплекс Костолац и животна средина 2002, пп 109-110

48. **Грубетић И.:** САГЛЕДАВАЊЕ МОГУЋИХ НОВИХ РЕШЕЊА ЗА ТРАНСПОРТОВАЊЕ И ОДЛАГАЊЕ ПЕПЕЛА И ШЉАКЕ, Енергетски комплекс Костолац и животна средина 2002, пп 111-112

49. **Гавриловић М., Чанак А.:** АКТИВНОСТИ И ПЛАНОВИ ЕПС-а НА РЕШАВАЊУ ПРОБЛЕМА ПРИКУПЉАЊА, ТРАНСПОРТА И ОДЛАГАЊА ПЕПЕЛА ТЕ "КОСТОЛАЦ", Енергетски комплекс Костолац и животна средина 2002, пп 113-116

50. **Андрејевић В., Јанчић С.:** НАЧИН, МЕСТО И ПРОБЛЕМАТИКА ТРАНСПОРТОВАЊА И ОДЛАГАЊА ПЕПЕЛА И ШЉАКЕ ТЕ "КОСТОЛАЦ", Енергетски комплекс Костолац и животна средина 2002, пп 117-122

51. **Игрутиновић Д.:** КАРАКТЕРИСТИКЕ ПРОСТОРА ЗА ОДЛАГАЊЕ ПЕПЕЛА И ШЉАКЕ ИЗ КОСТОЛАЧКИХ ТЕРМОЕЛЕКТРАНА, Енергетски комплекс Костолац и животна средина 2002, пп 123-128

52. **Илић М., Милетић С., Нешић Љ., Катић М.:** КОРИШЋЕЊЕ ЧВРСТОГ ОТПАДА ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИХ ПОСТРОЈЕЊА У ЕНЕРГЕТИЦИ, ГРАЂЕВИНАРСТВУ И ИНДУСТРИЈИ ГРАЂЕВИНСКОГ МАТЕРИЈАЛА, Енергетски комплекс Костолац и животна средина 2002, пп 129-134

53. **Митровић А., Ђуричић Р., Миличић Љ.:** КОРИШЋЕЊЕ ПЕПЕЛА ИЗ УГЉА ЗА ПРОИЗВОДЊУ ЦЕМЕНТА У СРБИЈИ, Енергетски комплекс Костолац и животна средина 2002, пп 135-138

54. **Брзаковић П.:** ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ И СИСТЕМАТИЗАЦИЈА ПЕПЕЛА ИЗ ТЕРМОЕЛЕКТРАНА "КОСТОЛАЦ", Енергетски комплекс Костолац и животна средина 2002, пп 139-142

55. **Кузмановић У.:** ДОСАДАШЊИ РАДОВИ НА РЕКУЛТИВАЦИЈИ ДЕПОНИЈА ПЕПЕЛА У КОСТОЛЦУ - РЕЗУЛТАТИ И ПРЕДЛОЗИ ОПТИМАЛНИХ РЕШЕЊА, Енергетски комплекс Костолац и животна средина 2002, пп 155-158

56. **Ђуран Ј.:** ОПЦИЈЕ ПРИМЕНЕ ЕЛЕКТРОФИЛТЕРСКОГ ПЕПЕЛА У ПУТОГРАДЊИ - СТРАХОВИ ИЛИ ИЗАЗОВИ И МОГУЋНОСТИ, Енергетски комплекс Костолац и животна средина 2002, пп 163-166

57. **Марковић М, Петковић Д., Грдић З.:** ГРАЂЕВИНСКИ СИСТЕМ У ВИСОКОГРАДЊИ ЧИЈА ЈЕ ОСНОВА ПЕПЕО ИЗ ТЕ КОСТОЛАЦ, Енергетски комплекс Костолац и животна

средина 2002, пп 171-174

58. **Палаврић М.:** ПРОДУКЦИЈА ПЕПЕЛА И ШЉАКЕ У ТЕ "ТУЗЛА" И ЕКОЛОШКИ УТИЦАЈ НА ОКОЛИНУ КОД ЊИХОВОГ ЗБРИЊАВАЊА, Савјетовање о примјени електрофилтерског пепела и шљаке у изградњи путне инфраструктуре, Тузла 2003, пп 1-6

59. **Бешлагич С., Бегич З.:** МОГУЋНОСТ УПОТРЕБЕ ЕЛЕКТРОФИЛТЕРСКОГ ПЕПЕЛА, Савјетовање о примјени електрофилтерског пепела и шљаке у изградњи путне инфраструктуре, Тузла 2003, пп 1-4

60. **Имамовић А., Зенуновић Д.:** ПРОИЗВОДЊА МЈЕШАВИНА ПЕПЕЛА, КРЕЧА И КАМЕНА, ОПРЕМА И ТЕХНОЛОГИЈА ПРИМЈЕЊЕНА У СВИЈЕТУ, Савјетовање о примјени електрофилтерског пепела и шљаке у изградњи путне инфраструктуре, Тузла `03, пп 1-6.

61. **Имамовић А., Османовић Х., Љаљич М.:** ЛАБОРАТОРИЈСКА И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСТРАЖИВАЊА ПРИМЈЕНЕ ЕЛЕКТРОФИЛТЕРСКОГ ПЕПЕЛА И ШЉАКЕ У ИЗГРАДЊИ САОБРАЋАЈНИЦА, Савјетовање о примјени електрофилтерског пепела и шљаке у изградњи путне инфраструктуре, Тузла 2003, пп 1-10

62. **Хајдаревић Ш.:** ЕКОНОМСКА АНАЛИЗА ПРОИЗВОДЊЕ СТАБИЛИЗАЦИОНЕ МАСЕ ОД ШЉАКЕ И ПЕПЕЛА ИЗ ТЕ "ТУЗЛА", Савјетовање о примјени електрофилтерског пепела и шљаке у изградњи путне инфраструктуре, Тузла 2003, пп 1-3

63. **Стојановић Б.:** БАЛАСТ ПЕПЕО, ПОГОДНА СИРОВИНА ЗА ГРАДЊУ ПУТЕВА, Савјетовање о примјени електрофилтерског пепела и шљаке у изградњи путне инфраструктуре, Тузла `03, пп 1-5

64. **Цмиљанић С., Вујанић В.:** ПРОБЛЕМИ У ПРИМЕНИ ЕЛЕКТРОФИЛТЕРСКОГ ПЕПЕЛА И ШЉАКЕ У ИЗГРАДЊИ ПУТЕВА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ, Савјетовање о примјени електрофилтерског пепела и шљаке у изградњи путне инфраструктуре, Тузла `03, пп 1-13

65. **Митровић П.:** МОГУЋНОСТ ПРИМЕНЕ ЕЛЕКТРОФИЛТЕРСКОГ ПЕПЕЛА ЗА ИЗРАДУ САМОУГРАДИВОГ МАЛТЕРА ЗА ИСПУНУ РОВОВА ИСПОД ГРАДСКИХ САОБРАЋАЈНИЦА (ПРИМЕР ПЕПЕО ИЗ КОСТОЛЦА), Савјетовање о примјени електрофилтерског пепела и шљаке у изградњи путне инфраструктуре, Тузла 2003, пп 1-7

66. **Димтер С.:** ТЛАЧНА ЧВРСТОЋА СТАБИЛИЗАЦИЈСКИХ МЈЕШАВИНА СА УДЈЕЛОМ ЛЕТЕЋЕГ ПЕПЕЛА У БЕЗИВУ, Савјетовање о примјени електрофилтерског пепела и шљаке у изградњи путне инфраструктуре, Тузла 2003, пп 1-8\_\_

67. **Sustersic J., Riček F., Zajec A., Sajna A.:** OPTIMIZACION OF USE OF FLY ASH IN THE CONCRETE PRODUCTION, Савјетовање о примјени електрофилтерског пепела и шљаке у изградњи путне инфраструктуре, Тузла 2003, пп 1-9

68. **Елаборат:** ПРАЋЕЊЕ УТИЦАЈА ОТПАДНИХ ВОДА ТЕ "НИКОЛА ТЕСЛА" А НА ПОВРШИНСКЕ И ПОДЗЕМНЕ ВОДЕ, Рударски Институт Земун, 2003

69. **Студија:** РЕШАВАЊЕ ЕКОЛОШКИХ ПРОБЛЕМА НАСТАЛИХ РАДОМ "ТЕРМО-ЕЛЕКТРАНА НИКОЛА ТЕСЛА А И Б", књига I - СОЦИЈАЛНИ РАЗВОЈ И УСЛОВИ ЖИВЉЕЊА СТАНОВНИШТВА И ДОМАЋИНСТАВА НА ПОДРУЧЈУ УТИЦАЈА ТЕНТ, Холдинг Институт за општу и физичку хемију, Београд, 2003

70. **Елаборат:** ИНДУСТРИЈСКА ИСПИТИВАЊА УСЛОВА ТРАНСПОРТА И ДЕПОНОВАЊА ПЕПЕЛА ТЕ "НИКОЛА ТЕСЛА - Б", ОБРЕНОВАЦ У ВИДУ ГУСТЕ ХИДРОМЕШАВИНЕ, РУДАРСКИ ИНСТИТУТ - Београд, 2004

71. **Ђеран Н.:** ПРОГРАМ ЕКОЛОШКЕ МОДЕРНИЗАЦИЈЕ ТЕРМОЕЛЕКТРАНА "НИКОЛА ТЕСЛА" ОБРЕНОВАЦ, Прво Саветовање о депонијама пепела и шљаке термоелектрана, Обреновац, 2005, пп 1-12

72. **Ђеран Н.:** ПРЕЗЕНТАЦИЈА ДОНАТОРСКОГ ПРОЈЕКТА EAR-a Emission, Прво Саветовање о депонијама пепела и шљаке термоелектрана, Обреновац, 2005, пп 13-18

73. **Кнежевић Д.:** ПРАКСА И ПРОБЛЕМИ ТРАНСПОРТА И ДЕПОНОВАЊА ПЕПЕЛА И ШЉАКЕ У СРБИЈИ И ЦРНОЈ ГОРИ, Прво Саветовање о депонијама пепела и шљаке термоелектрана, Обреновац, 2005, пп 19-28

74. **Максимовић М.:** БЕЛЕШКА \_\_\_\_\_ О АНАЛИЗИ СТАБИЛНОСТИ КОСИНА ОДЛАГАЛИШТА

ПЕПЕЛА, Прво Саветовање о депонијама пепела и шљаке термоелектрана, Обреновац, 2005, пп 29-38

75. **Глоговац Д., Пушара Н., Милошевић М., Беатовић С., Милидраг Г.:** ДЕПОНОВАЊЕ ПЕПЕЛА ТЕРМОЕЛЕКТРАНЕ "ГАЦКО", Прво Саветовање о депонијама пепела и шљаке термоелектрана, Обреновац, 2005, пп 71-84

76. **Митровић Д., Костовић Н.:** РЕКОНСТРУКЦИЈА СИСТЕМА ЗА ТРАНСПОРТ И ДЕПОНОВАЊЕ ПЕПЕЛА И ШЉАКЕ ТЕ "НИКОЛА ТЕСЛА Б" - ТЕХНОЛОШКЕ ОПЦИЈЕ

- ТРАНСПОРТА И ДЕПОНОВАЊА, Прво Саветовање о депонијама пепела и шљаке термоелектрана, Обреновац, 2005, пп 93-102
77. **Симоновић Б.Р., Гајинов С., Кисић Д., Филипковић - Ројка З.:** УТИЦАЈ ДЕПОНИЈА ПЕПЕЛА ТЕНТ-а НА ПОДЗЕМНЕ ВОДЕ И ПОВРШИНСКЕ ВОДЕ, Прво Саветовање о депонијама пепела и шљаке термоелектрана, Обреновац, 2005, пп 103-116
78. **Борели - Здравковић Ђ., Дамјановић М.:** ОТПАДНЕ ВОДЕ ДЕПОНИЈА ПЕПЕЛА - ЕЛЕМЕНТИ ЗА РАЗМИШЉАЊЕ, Прво Саветовање о депонијама пепела и шљаке термоелектрана, Обреновац, 2005, пп 117-120
79. **Кнежевић Д., Јовичић Ж.:** ОСМАТРАЊА ДЕПОНИЈА ПЕПЕЛА У СРБИЈИ - ЈУЧЕ, ДАНАС И СУТРА, Прво Саветовање о депонијама пепела и шљаке термоелектрана, Обреновац, 2005, пп 121-128
80. **Иветић М., Јаћимовић Н., Дражовић Д., Костовић Н.:** ДЕПОНИЈА ПЕПЕЛА ТЕНТ-Б СА СТАНОВИШТА КВАЛИТЕТА ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ - ОЦЕНА СТАЊА И МОГУЋНОСТИ УНАПРЕЂЕЊА, Прво Саветовање о депонијама пепела и шљаке термоелектрана, Обреновац, 2005, пп 129-138
81. **Видојковић В., Џуцелија Н., Кнежевић Д., Ковачевић Б., Ковачевић О., Благојевић С., Симоновић Б.:** ПРИМЕНА "HYDROSTATINA" У СУЗБИЈАЊУ ЕОЛСКЕ ЕРОЗИЈЕ СА ДЕПОНИЈА ПЕПЕЛА, Прво Саветовање о депонијама пепела и шљаке термоелектрана, Обреновац, 2005, пп 139-150
82. **Ставретовић Н., Цокић З., Кисић Д., Ђеран В.:** МЕТОДЕ БИОТЕХНИЧКЕ САНАЦИЈЕ ДЕПОНИЈА ПЕПЕЛА, Прво Саветовање о депонијама пепела и шљаке термоелектрана, Обреновац, 2005, пп 151-156
83. **Кисић Д., Ђеран В., Цокић З.:** УНАПРЕЂЕЊЕ ТЕХНОЛОГИЈА РЕКУЛТИВАЦИЈЕ ДЕПОНИЈА ПЕПЕЛА И ШЉАКЕ У ТЕНТ-у ОБРЕНОВАЦ, Прво Саветовање о депонијама пепела и шљаке термоелектрана, Обреновац, 2005, пп 161-166
84. **Тодоровић Д., Јоксић Ј., Раденковић М.:** РАДИОАКТИВНОСТ ПЕПЕЛА И ШЉАКЕ ТЕРМОЕЛЕКТРАНА „НИКОЛА ТЕСЛА", Прво Саветовање о депонијама пепела и шљаке термоелектрана, Обреновац, 2005, пп 167-172
85. **Јоксић Ј., Тодоровић Д., Раденковић М.:** КОНТРОЛА РАДИОАКТИВНОСТИ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ У ОКОЛИНИ ТЕРМОЕЛЕКТРАНА, Прво Саветовање о депонијама пепела и шљаке термоелектрана, Обреновац, 2005, пп 173-178
86. **Еремић - Савковић М., Пантелић Г., Танасковић И., Јаворина Љ., Вулетић В.:** АКТИВНОСТ ПЕПЕЛА И ШЉАКЕ НА ДЕПОНИЈАМА ТЕРМОЕЛЕКТРАНЕ КОСТОЛАЦ I И II У ПЕРИОДУ 1996. - 2004. ГОДИНА, Прво Саветовање о депонијама пепела и шљаке термоелектрана, Обреновац, 2005, пп 187-190
87. **Петковић Д., Грдић З., Топличић - Ђурчић Г., Мијалковић М.:** ИСТРАЖИВАЊЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ЕЛЕКТРОФИЛТЕРСКОГ ПЕПЕЛА У ПЕОИЗВОДЊИ ГРАЂЕВИНСКИХ ЕЛЕМЕНАТА, Прво Саветовање о депонијама пепела и шљаке термоелектрана, Обреновац, 2005, пп 197-204
88. **Костовић М., Илић И., Симивић И., Костовић Н.:** МОГУЋНОСТ ДОБИЈАЊА НОВИХ ТИПОВА ЦЕМЕНАТА МЕШАЊЕМ ЕЛЕКТРОФИЛТЕРСКОГ ПЕПЕЛА ИЗ ТЕРМО-ЕЛЕКТРАНА СА ПОРТЛАНД - ЦЕМЕНТОМ, Прво Саветовање о депонијама пепела и шљаке термоелектрана, Обреновац, 2005, пп 205-210.
89. **Милетић С., Илић М., Нешић Љ.:** ИСКОРИШЋЕЊЕ ЛЕТЕЋЕГ ПЕПЕЛА У ГРАЂЕВИНАРСТВУ И ИНДУСТРИЈИ ГРАЂЕВИНСКОГ МАТЕРИЈАЛА, Прво Саветовање о депонијама пепела и шљаке термоелектрана, Обреновац, 2005, пп 211-216
90. **Стефановић Г., Секулић Ж., Ђојбашић Љ.:** УТИЦАЈ САДРЖАЈА СаО У ЛЕТЕЋЕМ ПЕПЕЛУ НА КАРАКТЕРИСТИКЕ ЦЕМЕНТНЕ ПАСТЕ НАСТАЛЕ МЕШАЊЕМ ПОРТЛАНД ЦЕМЕНТА И ЛЕТЕЋЕГ ПЕПЕЛА, Прво Саветовање о депонијама пепела и шљаке термоелектрана, Обреновац, 2005, пп 217-225
91. УРЕДБА О МЕРИЛИМА И УСЛОВИМА ЗА ПОВРАЋАЈ, ОСЛОБАЂАЊЕ ИЛИ СМАЊЕЊЕ ПЛАЋАЊА НАКНАДЕ ЗА ЗАГАЂИВАЊЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ И УРЕДБА О ВРСТАМА ЗАГАЂИВАЊА, КРИТЕРИЈУМИМА ЗА ОБРАЧУН НАКНАДЕ ЗА ЗАГАЂИВАЊЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ И ОБВЕЗНИЦИМА, ВИСИНИ И НАЧИНУ ОБРАЧУНАВАЊА И ПЛАЋАЊА НАКНАДЕ, Сл. гласник бр. 113, 2005
92. **Чудић В., Кисић Д.:** ПЕПЕО ИЗ ТЕРМОЕЛЕКТРАНА КАО СЕКУНДАРНА СИРОВИНА, Научно-стручни Скуп: Загреб, 2006
93. ЕНЕРГЕТСКИ БИЛАНС ЕЛЕКТРИЧНЕ И ТОПЛОТНЕ ЕНЕРГИЈЕ, 2004. И 2005. ГОДИНЕ, Радни документ, Република Србија – Републички завод за стаистику;

Београд, септембар 2006., бр. 53

94. **Кисић Д., Цокић З., Грујић М., Ристовић И.:** РЕКУЛТИВАЦИЈА ДЕПОНИЈА ТЕ "НИКОЛА ТЕСЛА" Б У СКЛАДУ СА НОВОМ ТЕХНОЛОГИЈОМ МАЛОВОДНОГ ТРАНСПОРТА И ОДЛАГАЊА ПЕПЕЛА И ШЉАКЕ, *Ecologica* br.48, 2006, pp 39-46
95. **Елаборат:** ПРАЋЕЊЕ УТИЦАЈА ОТПАДНИХ ВОДА ТЕ "НИКОЛА ТЕСЛА - А" НА ПОВРШИНСКЕ И ПОДЗЕМНЕ ВОДЕ, Холдинг Институт за општу и физичку хемију, Београд, 2007
96. **Елаборат:** ПРАЋЕЊЕ УТИЦАЈА ОТПАДНИХ ВОДА ТЕ "НИКОЛА ТЕСЛА - Б" НА ПОВРШИНСКЕ И ПОДЗЕМНЕ ВОДЕ, Холдинг Институт за општу и физичку хемију, Београд, 2007
97. **Кисић Д.:** ИЗВЕШТАЈ КОНТРОЛА КВАЛИТЕТА ВАЗДУХА У ОКОЛИНИ ТЕ „НИКОЛА ТЕСЛА" А И Б У ТОКУ АПРИЛА 2007. ГОДИНЕ
98. **Елаборат:** КОНТРОЛА РАДИОАКТИВНОСТИ У РАДНОЈ И ЖИВОТНОЈ СРЕДИНИ ТЕ "КОСТОЛАЦ" У 2006. ГОД., Институт Винча, Лабораторија за заштиту од зрачења и заштиту животне средине, Београд, 2007.
99. EUROPEAN STANDARD EN 12457-2 (September 2002): Characterisation of waste - Leaching – Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges - Part 2: One stage batch test at a liquid to solid ratio of 10l/kg for materials with particle size below 4 mm (without or with size reduction)\_\_\_
100. EUROPEAN STANDARD EN 12506 (June 2003): Characterization of waste - Analysis of eluates - Determination of pH, As, Ba, Cd, Cl, Co, Cr, CrVI, Cu, Mo, Ni, NO<sub>2</sub>, Pb, total S, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, V and Zn
101. Физичка и хемијска својства пепела и шљаке: Семинар о примени пепела Уједињених нација, Економска комисија за Европу, Пољска, 1980 (Превод Р. Босиљчић, ТЕНТ Обреновац 1997)
102. ENERGOPROJEKT - ENTEL A.D.: Студија оправданости и идејни пројекат реконструкције система за транспорт и одлагање пепела и шљаке ТЕ Никола Тесла Б; књига 2: Студија оправданости, Април, 2006
103. **Кисић Д., Жбогар З., Маринковић С., Костић - Пулек А., Цмиљанић С.:** Могућност коришћења електрофилтерског пепела ПД ТЕНТ д.о.о. Обреновац у ниској и високој градњи, реферат саопштен на првој регионалној научно - стручној конференцији о управљању индустријским отпадом, Копоник 22 - 25 октобар 2007; Зборник радова у припреми, издавач: Форум квалитета, Београд
104. **Herle V., Kresta F.:** Pomoc kod korišćenja letećeg pepela iz elektrana za građenje konstrukcija saobraćajnih puteva u Srbiji - Izveštaj, Ostrava 2007

## PRIMJENA ČELIČNIH SPIRALNIH CIJEVI HelCor® NA SANACIJI PROPUSTA U REKONSTRUKCIJI CESTA NA POPLAVLJENOM PODRUČJU UZ RIJEKU SAVU

**Autor stručnog referata:**  
**Mario Bogdan ing.građ.**

Protekta d.o.o.

Ivana šibla 9

10000 Zagreb, Hrvatska

GSM +385 91 1229 703

e-mail: [mario.bogdan@protekta.hr](mailto:mario.bogdan@protekta.hr)

**Koautor stručnog referata:**  
**Adam Czerepak Civ.Eng.**

ViaCon Sp. z o.o.

ul.Przemysłowa 6

64-130 Rydzyna, Poland

GSM +48 607 394 387

e-mail: [adam.czerepak@viacon.pl](mailto:adam.czerepak@viacon.pl)

**Koautor stručnog referata:**  
**Hrvoje Pandžić dipl.ing.građ.**

Agenor d.o.o.

Brune Bušića 11

32 233 Opatovac, Hrvatska

GSM +385 98 195 1006

e-mail: [agenor.hrvoje@gmail.com](mailto:agenor.hrvoje@gmail.com)

### Rezime:

*Tehnologija gradnje i rekonstrukcije propusta čeličnim spiralnim cijevima do sada je sporadično primijenjena na našim prostorima te je zvana "nova" iako datira iz druge polovine 19. stoljeća. Uvjetovani izvanrednim situacijama, uzrokovanim katastrofalnom poplavom u svibnju 2014. godine na području Vukovarsko – Srijemske županije, projektanti su u projektnoj dokumentaciji primijenili ovu tehnologiju gradnje sukladno stečenim iskustvima u prethodnim projektima a nastavno na vremenske, tehnološke i financijske prednosti u odnosu na "stare" – konvencionalne načine gradnje. Na rekonstrukciji cestovne mreže na poplavljenom području ova tehnologija gradnje primijenjena je u svim projektima rekonstrukcije propusta. U ovom članku opisana su iskustva i postupci u primjeni čeličnih spiralnih cijevi u projektiranju i izgradnji propusta kao i prednosti njihove primjene.*

*Ključne riječi: čelične spiralne cijevi, propusti, tehnologija gradnje, projektiranje, iskustva, prednosti*

### 1 Uvod

Sukladno Zakonu o saniranju posljedica katastrofe na području Vukovarsko – srijemske županije (NN 77/2014). jedan od najopsežnijih zahvata u cestovnoj mreži Republike Hrvatske u 2014. i 2015. godini nesumnjivo je Projekt rekonstrukcije cestovne mreže na poplavljenom području. U ovom su projektu po dinamici gradnje zahtjevne sve faze po pitanju regulacije prometa a nastavno na osnovne zahtjeve projektiranja u smjeru povećanja prometno – tehničke i sigurnosne razine usluge cesta. Od svih elemenata koji čine obnovu državnih cesta (poboljšanje horizontalnih i vertikalnih elemenata trase, poboljšanje elemenata poprečnog presjeka, povećanje nosivosti kolničke konstrukcije, saniranje postojećeg sustava odvodnje, obnova odnosno zamjena prometne signalizacije i njeno usklađenje s važećim zakonima i pravilnicima, ...) [3] [4] [5] najzahtjevniji dio je obnova propusta, jer direktno izvođenjem radova u trupu ceste utječe na postavljene zahtjeve a u vrijeme izvođenja ostalih radova na saniranju posljedica katastrofalne poplave.

### 2 Stanje propusta nakon katastrofalne poplave na području Vukovarsko – srijemske županije



Slika 1. i 2. Oštećenje na raskrižju prije graničnog prijelaza - Gunja;

Obilaskom cestovne mreže neposredno nakon djelovanja katastrofalne poplave vidljiva su oštećenja na kolniku, te elementima poprečnog presjeka u pojasu ceste. Podaci potrebni za procjenu stanja kolničke konstrukcije i ocjena stanja nosivosti kolničke konstrukcije pribavljeni su geotehničkim i geodetskim istražnim radovima te u konzultacijama s predstavnicima Uprave za ceste Vukovarsko – srijemske županije [3] [4] [5].

Do oštećenja propusta je u većini slučajeva došlo:

- Na mjestima spoja između stare konstrukcije propusta (najčešće zidani svođeni ili pločasti AB propusti) i nove konstrukcije koja je izvedena tijekom posljednje rekonstrukcije ceste, a koja je najčešće izvedena od betonskih cijevi.
- Na zidu upornjaka vidljiva su stepenasta raspucavanja ziđa po rubovima, što je vjerojatno uzrokovano nejednolikim slijeganjem tla ispod temelja, potrebno je provesti ispitivanje temelja, provjeriti pomake, tip spoja sa zidom, ispitati nasip iza zida i poboljšati drenažu, te sanirati ziđe upornjaka, ...
- Na kolničkoj ploči, na rubnim dijelovima s obje strane ploče vidljivo je odlamanje betona s korozijom armature, potrebno je sanirati gornji dio ploče ispod zaštitne ograde i sanaciju podgleda rasponske ploče, ...



**Slika 3. i 4.** Oštećenje uz kolnik na bankini i propustu - Gunja;

U zaključcima o stanju konstrukcija navedeno je kako su građevine u lošem stanju konstruktivnih elemenata. Konstrukcije postojećih zidanih nadsvođenih, AB pločastih, ... propusta su uglavnom i predimenzionirane. Konstrukcije betonskih cijevnih propusta također se nalaze u vrlo lošem stanju zbog dotrajalosti, nedovoljnih dimenzija protočnog profila kako odabranog tako i zbog zamuljenja – djelomične zatrpanosti, neprikladne dogradnje, te dodatnih oštećenja izazvanih poplavom [3] [4] [5].

### **3 Izrada projektne dokumentacije**

#### **3.1 Smjernice za projektiranje**

Sukladno navedenim potrebnim radovima i potrebom za dodatnim proširenjima sa potrebnim zaštitnim pojasevima financijski povoljnije i tehnološki jednostavnije je uklanjanje postojećih propusta i izrada novih propusta. Osim gore navedenih uvjeta za izradu novih propusta vrijeme izgradnje građevina je, sukladno osnovnim zahtjevima projektiranja u smjeru povećanja prometno – tehničke i sigurnosne razine usluge cesta a prema Zakonu o saniranju posljedica katastrofe na području Vukovarsko – srijemske županije, vrlo bitan element za odabir rješenja o sanaciji propusta.

Predviđena rekonstrukcija i sanacija odnosi se i na ulice u naseljima na nerazvrstanim cestama a u skladu sa osiguranim sredstvima za sanaciju. Naglasak je stavljen na rješavanje odvodnje oborinskih voda, te sanaciji kolnika [3] [4] [5].

S obzirom na ograničena sredstva ovim projektima nisu predviđeni značajniji zahvati na sanaciji kolnika. Uvidom u stanje na terenu, te nakon izvršenih geomehaničkih ispitivanja, radovi na sanaciji propusta, obala i pješačkih prijelaza uz propuste preko kanala Konjuša, Padež, Kratinci, ..., se mogu označiti kao primarni prilikom izvođenja sanacije u infrastrukturi državnih, županijskih i lokalnih cesta ali isto tako i sporednih ulica u naseljima [4] [5].



Slika 5. i 6. Oštećenje propusta zbog nedovoljne protočnosti;



Slika 7. i 8. Oštećenje propusta zbog nedovoljne protočnosti;

### 3.2 Odabir građevne tehnologije za rekonstrukciju propusta

Prema dobivenim vodopravnim uvjetima i hidrauličkim proračunima svi odabrani profil kao i kote dna kanala su usuglašeni sa Hrvatskim vodama. Nekoliko je tipova propusta koji će zamijeniti postojeće propuste a svojstva su definirana sukladno hidrauličkoj, statičkoj i funkcionalnoj zahtjevnosti istih.

#### 3.2.1 Projektiranje cijevnih propusta

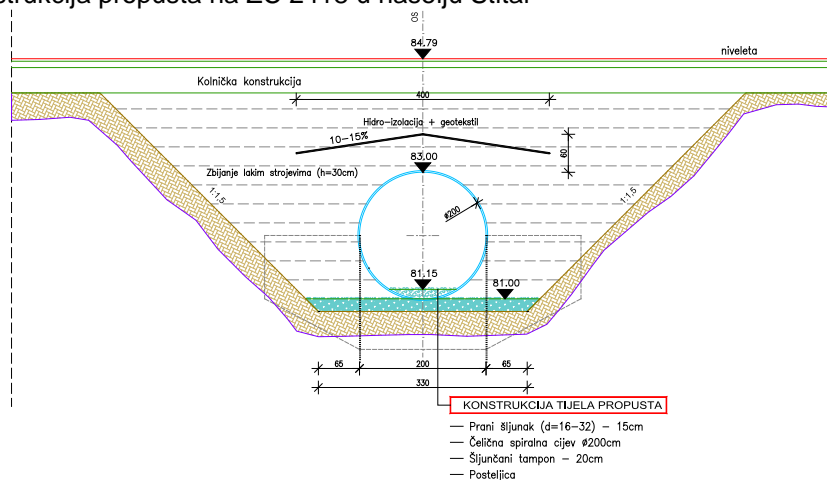
Jedan od načina izrade propusta predviđen je u izvedbenim projektima, uglavnom za manje zahtjevne propuste, sa betonskim cijevima promjera do  $\varnothing 120\text{cm}$ .

Izradom usporednih kalkulacija troškovničkih stavki i dinamičkog plana sa svim ostalim tehnologijama gradnje propusta, dokazima o klasama, normama i standardima u skladu s propisima EU i preko petnaestogodišnjem iskustvu iz Hrvatske uz referentno izvedene građevine [5] [6] [7] dokazane su prednosti tehnologije gradnje propusta čeličnim spiralnim cijevima u financijskom, tehnološkom i vremenskom smislu [8] [9] na ovom Projektu rekonstrukcije cestovne mreže na poplavljenom području. Primjena ove tehnologije gradnje građevina u cestovnoj infrastrukturi, sa preko sto dvadeset godišnjim iskustvom u Svijetu, preko sedamdeset godišnjim iskustvom u Europi te primjenom u Hrvatskoj uz dokazano niske troškove, kratko vrijeme gradnje do uspostave prometnog opterećenja, zadovoljenje pravila tehničke struke, mogućnosti velikih nosivosti sa svim opterećenjima u gradnji cesta i željeznica do brzina od 200 km/h, lako produljenje, mogućnosti jednostavne rekonstrukcije i dogradnje, fleksibilnosti rješenja, veliki izbor oblika i raspona - promjera, male težine cijevi i konstrukcije, visoki stupnjem zaštite od korozije sa projektiranim vijekom trajanja od preko 100 godina, uvjetovali su prihvaćanje investitora, nadzornih tijela i inženjera, projektanata i izvođača za primjenom čeličnih spiralnih cijevi u projektiranju i gradnji propusta sa zahtjevnije postavljenim uvjetima.

### 3.2.2 Primjena čeličnih spiralnih cijevi u projektiranju propusta

Projektanti, iz tvrtki za projektiranje: RENCON d.o.o. Osijek, ZAVOD ZA URBANIZAM I IZGRADNJU Osijek d.d., ĐAKOVOPROJEKT d.o.o. Đakovo, ORION PROJEKT d.o.o. Vinkovci, sukladno provedenoj analizi gore navedenih prednosti te na osnovu obilaska terena, prethodnih istražnih geomehaničkih i geodetskih radnji i vodopravnih uvjeta a uz suglasnost Hrvatskih Voda su primijenili tehnologiju gradnje propusta čeličnim spiralnim cijevima u izradi izvedbenih projekata na projektima:

- Rekonstrukcija državne ceste D214 od km 20+000 do km 28+000 (granični prijelaz Gunja),
- Obnova nerazvrstanih cesta - k.o. Gunja I - štete od poplava,
- Obnova županijske ceste Ž4232 na dionici kroz Rajevo Selo duljine 2,6 km,
- Rekonstrukcija ŽC 4230 – Vrbanja,
- Obnova LC46050 od ŽC4172,
- Rekonstrukcija LC 46053,
- Obnova LC 46057 dionica od ŽC 4231 u Račinovcima do granice sa Republikom Srbijom,
- Obnova ŽC 4172 u dionici kroz naselje Gunja od D 214 do izlaska iz naselja u duljini od 5 km i
- Rekonstrukcija propusta na ŽC 2418 u naselju Štitar



**Slika 9.** Poprečni presjek propusta od čelične spiralne cijevi HC DN 2000 s prikazom radne jama

Zahtjevnost postavljenih parametara za geometriju oblika propusta od čeličnih spiralnih cijevi uvjetovala je odabir više različitih profila kako u poprečnom tako i u uzdužnom presjeku propusta.

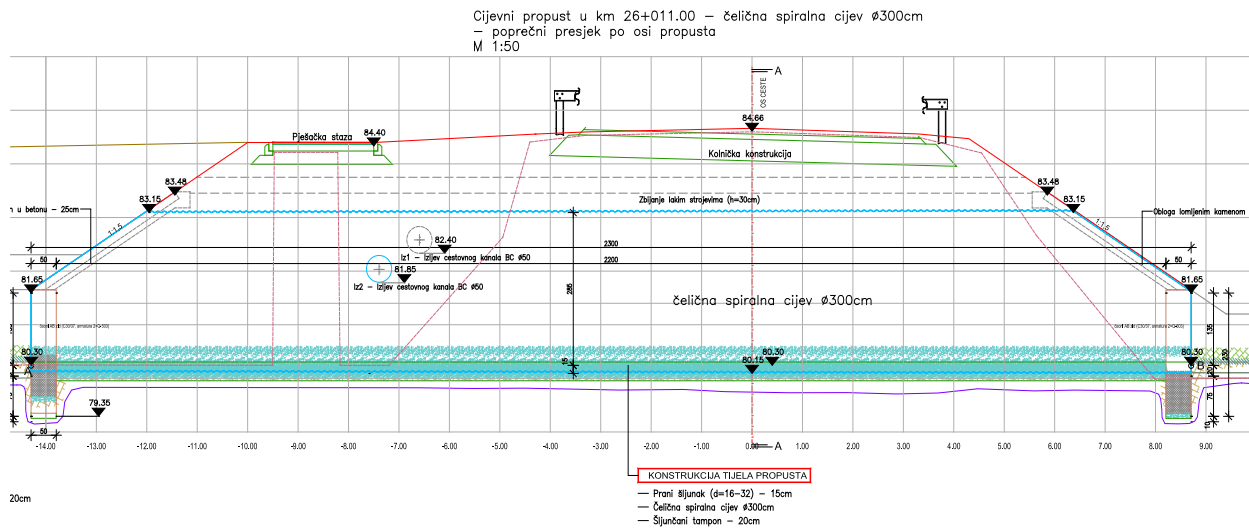
Poprečni presjek kao i kota dna uvjetovani su hidrauličkim elementima odnosno vodopravnim uvjetima što je produciralo odabir sljedećih tipova čeličnih spiralnih cijevi HelCor® DN 1200, DN 1600, DN1800, DN2000, DN2200, DN2400 i DN 3000. Kod profila DN 3000 je zbog potrebe za specijalnim transportom urađena dodatna analiza troškovničkih stavki te potvrđena opravdanost primjene. Osim cijene koštanja gotove građevine dodatna prednost, koja je nekoliko puta povoljnija u korist ove tehnologije gradnje pred svim ostalim tehnologijama, je brzina izvođenja radova [5] [6] [7]. Kod odabira uzdužne geometrije oblika čelične spiralne cijevi uz zadovoljenje gore navedenih uvjeta neophodno je predvidjeti uklapanje uljeva i izljeva u pokose nasipa ceste [3] [5], vertikalne zidove uljeva i izljeva, oblaganje pokosa nasipa i kanala, uljeve moguće kanalske ili cijevne odvodnje u propust, prodore infrastrukturnih instalacija kao i moguća dodatna zacjevljenja ispod pješačkih staza ili drugih objekata.



**Slika 10.** Specijalni transport i istovar čelične spiralne cijevi HC DN 3000, DN2200 i DN2000



# PRIMJENA ČELIČNIH SPIRALNIH CIJEVI HelCor® NA SANACIJI PROPUSTA U REKONSTRUKCIJI CESTA NA POPLAVLJENOM PODRUČJU UZ RIJEKU SAVU

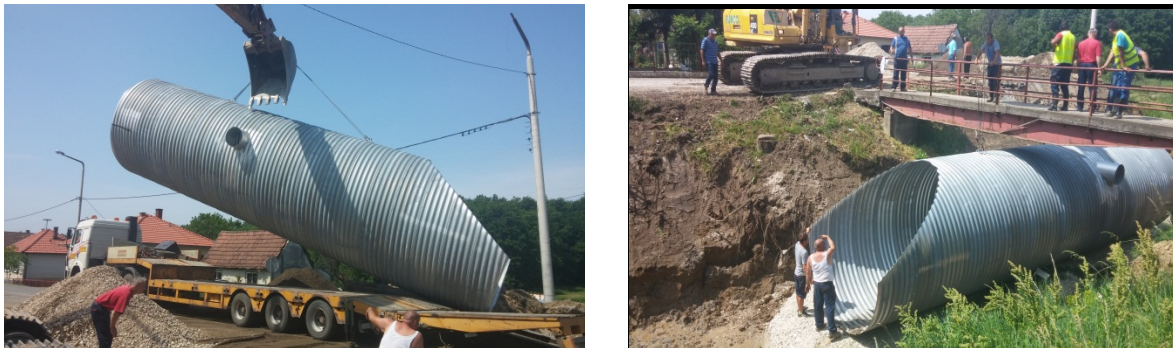


**Slika 10.** Uzdužni presjek propusta (L=23m<sup>1</sup>) od čelične spiralne cijevi HC DN3000 – D214 u km 26+011 sa zacijevljenjem ispod pješačke staze i uljevima kanalske odvodnje zacijevljene HDPE cijevima DN500

## 4 Postupci i iskustva u izgradnji propusta od čeličnih spiralnih cijevi

### 4.1 Dostava na gradilište i priprema za montažu

Izvođači radova CESTORAD d.d. Vinkovci, GRADNJA d.o.o. Osijek, CESTAR d.o.o. Slavonski Brod i SOKOL Vinkovci na gradnji propusta od čeličnih spiralnih cijevi na gore navedenim projektima izgradili su propuste od čeličnih spiralnih cijevi u predviđenim rokovima sve prema izvedbenim projektima, uputama i nadzoru nadzornih inženjera te nadzoru od strane projekatanta i investitora.



**Slika 9. i 10.** Transport i istovar HC DN3000 kod dobro pripremljene dinamike je ujedno i montaža čeličnih cijevi na ranije pripremljenu šljunčano – pjeskovitu podlogu pri gradnji propusta;

### 4.2 Montaža i gradnja propusta

U izvrsnoj koordinaciji investitora, projekatanta, nadzora i izvođača a uz tehničku podršku inženjera od strane proizvođača sa dobro planiranim dinamičkim planovima istovar je ujedno i montaža čeličnih spiralnih cijevi na ranije pripremljenu podlogu. Izvođač se morao pažljivim ispitivanjem uvjeriti da je nosivost podloge propusta i ispune osigurana, kako u geološkom tako i u mehaničkom pogledu. Nadalje trebalo je paziti, da se vezivna tla za vrijeme gradnje ne navlaže niti omekšaju. Da bi se čelična konstrukcija besprijekorno ukopala nasipan je na donji ustroj sloj šljunka i pijeska debljine cca. 10-20 cm. Ovaj sloj se može uračunati u minimalne debljine podloge propusta. Zbijanje u međuprostorima urađeno je pažljivo ručnim nabijačem ili vibratorom. Zbog zatrpavanja međuprostora sa svake strane konstrukcije potrebno je ostaviti radni prostor od 0,65 - 0,80 m. U neposrednom području zatrpavanja propusta ne smije biti djelovanja nikakvih vanjskih sila (npr. temelji), što je čest slučaj kod rekonstrukcije ili rušenja nefunkcionalnih AB propusta. Zatrpavanje sa zbijanjem je rađeno istovremeno s obje strane cijevi u ravnomjernim slojevima debljine 20 - 30 cm po cjelokupnoj širini građevinske jame lakim građevinskim strojevima – žabama ili pločama.



**Slika 9. i 10.** Polaganje i spajanje HC DN3000 na ranije pripremljenu podlogu;



**Slika 11. i 12.** Montaža i spajanje čeličnih spiralnih cijevi sa spojnicama na HC DN3000 - Gunja;

Spajanje cijevi spojnicama je vremenski zanemarivo i obavlja se u tijeku zatrpavanja i zbijanja. Neposredno nakon što zatrpavanje uz zbijanje prijeđe vrijednosti od 60cm iznad tjemena moguće je uspostaviti promet na trasi predmetne dionice ceste [5] [6] [9]. Brzom uspostavom prometa znatno je olakšana komunikacija kako na gradilištu predmetnih cesta tako i ostalih sudionika koji su radno aktivni na sanaciji posljedica katastrofe uz zadovoljenje osnovnih zahtjeva projektiranja.



**Slika 13. i 14.** Zatrpavanje i zbijanje HC DN2200 i DN2000;



**Slika 15. I 16.** Gotovi propust od čelične spiralne cijevi HC DN3000 – Gunja – D214;

Rušenje starih nefunkcionalnih propusta i gradnja novih propusta od čeličnih spiralnih cijevi sve do uspostave prometnog opterećenja trajalo je 2 - 4 dana po pojedinom propustu. U isto vrijeme su izgrađeni vertikalni zidovi a nakon toga uređene obloge uljeva i izljeva propusta, pokosa nasipa i kanala, urađeno asfaltiranje te montirana oprema (rukohvatne i odbojne ograde, ...). Primjenom tehnologije gradnje propusta čeličnim spiralnim cijevima na projektima rekonstrukcije cestovne mreže na poplavljenom području koji su do sada realizirani izgrađeno je četrnaest novih propusta.

#### 4 Zaključak

Primjena čeličnih valovitih limova u gradnji prometnica poznata je više od 120 godina. Prve takve ploče proizvedene su 1784. godine, dok je njihova masovna proizvodnja započela tek 1890. godine i to najčešće u zemljama s razvijenom čeličnom industrijom i skupom radnom snagom [1]. Korištenjem dugogodišnjih iskustava u Svjetskim i Europskim razmjerima [8] [9] te na području Hrvatske [5] [6] [7] u svim fazama realizacije saniranja posljedica katastrofe na području Vukovarsko – srijemske županije u svim projektima primijenjena je ova tehnologija gradnje propusta. Koordinacija i stečena iskustva svih sudionika u investiranju, projektiranju, nadzoru i gradnji građevina sa čeličnim spiralnim cijevima i konstrukcijama od valovitih limova producirali su visoku razinu kvalitete građevina uz zadovoljenje pravila struke, nekoliko puta kraće vrijeme gradnje [5] [6] [7] i znatnu financijsku uštedu u odnosu na ostale načine rekonstrukcije i gradnje propusta.

- [1] Dragčević, V. & Rukavina, T.: Donji ustroj prometnica, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2006.
- [2] D. Lukačević i Miroslav Prelić, Izvedbeni projekt. Rekonstrukcija državne ceste D214 od km 20+000 do km 28+000 (granični prijelaz Gunja), Rencon d.o.o., lipanj 2014.
- [3] V. Jukić, D. Stanić, Izvedbeni projekt, Rekonstrukcija propusta na županijskoj cesti Ž4218 u naselju Štitar, Zavod za urbanizam i izgradnju d.d., Osijek, siječanj 2015.
- [4] K. Bajš, Z. Trogrlić, Izvedbeni projekt, Obnova lokalne ceste LC 46057 dionica od ŽC 4231 u Račinovcima do graničnog prijelaza sa Republikom Srbijom, Đakovoprojekt d.o.o., Đakovo, prosinac 2014.
- [5] M. Bogdan, Priručnik, tehnička svojstva i smjernice za gradnju, Protekta d.o.o., Zagreb, ViaCon Poljska, 2013.
- [6] Denis Šimenić, Damir Lukačević, Tomislav Glavaš, Modernizacija D38 na dionici Ruševo – Levanjska Varoš, Zbornik radova, 4. Hrvatsko savjetovanje o održavanju cesta, Hrvatske Ceste, listopada 2009
- [7] M. Bogdan, Zamjena dotrajalog mosta Požeška Koprivnica 4 novim mostom, Građevinar, 61, 2009.
- [8] Technical Data Sheet, [www.viacon.pl](http://www.viacon.pl)
- [9] Katalog HelCor®, <http://viacon.pl/en/download>

# PRIMENA VEŠTAČKIH NEURONSKIH MREŽA ZA ANALIZU OTPORNOSTI ASFALTNIH MEŠAVINA NA TRAJNU DEFORMACIJU

Irena Ištoka Otković<sup>1</sup>

Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Građevinski fakultet, Osijek, Hrvatska, [iirena@gfos.hr](mailto:iirena@gfos.hr)

Jelena Ćirilović

Institut IMS, Beograd, [jelena.cirilovic@institutims.rs](mailto:jelena.cirilovic@institutims.rs)

Goran Mladenović

Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd, [emladen@imk.grf.bg.ac.rs](mailto:emladen@imk.grf.bg.ac.rs)

**Rezime:** Kolotrazi predstavljaju jedno od najčešćih oštećenja asfaltnih zastora kolovoznih konstrukcija, pogotovo u poslednje vreme zbog sve češćih visokih ekstremnih temperatura koje su rezultat klimatskih promena i povećanih osovinskih opterećenja. Stoga je u savremenoj evropskoj regulativi za projektovanje i ispitivanje asfaltnih mešavina uveden i opit ispitivanja otpornosti mešavina na trajnu deformaciju. Osetljivost asfaltne mešavine na kolotrage zavisi od vrste mešavine, vrste i sadržaja bitumena, granulometrijskog sastava mineralne mešavine i zapreminske strukture asfaltne mešavine. U radu je prikazan razvoj modela za osetljivost asfaltnih mešavina na kolotrage na bazi ispitivanja više asfalt betonskih i SMA (skeletni mastiks asfalt) mešavina, sa običnim i polimer modifikovanim bitumenom, koje se koriste za noseći ili habajući sloj kolovoznih konstrukcija sa maksimalnom veličinom zrna od 11 do 32 mm. U modelu je korišćeno devet ulaznih parametara: vrsta asfaltne mešavine, maksimalna veličina zrna agregata, vrsta bitumena, prolazi na sitima 0.09, 2 i 4 mm, sadržaj bitumena, sadržaj šupljina u asfaltnoj mešavini i šupljina ispunjenih bitumenom. Kao izlazni parametri su korišćeni proporcionalna dubina kolotruga i nagib krive deformacije. Za oba izlazna parametra se kao naznačajniji ulazni parametri izdvojili sadržaj šupljina u asfaltnoj mešavini i maksimalna veličina zrna agregata. Za proporcionalnu dubinu kolotruga su još među značajnijim parametrima i prolaz na situ 0.09 mm, a za nagib krive deformacije vrsta bitumena.

**Ključne reči:** asfaltna mešavina, trajna deformacija, model predikcije, neuralne mreže.

## 1. UVOD

Predviđanje i optimizacija ponašanja kolovoza u fazi eksploatacije predstavlja jednu od najvažnijih oblasti istraživanja u domenu kolovoznih konstrukcija. Za fleksibilne kolovozne konstrukcije ključni parametri vezani za ponašanje su otpornost na zamor usled saobraćajnog opterećenja i otpornost na pukotine pri niskim temperaturama, kao i otpornost na trajnu deformaciju. Kolotrazi predstavljaju jedno od najčešćih oštećenja asfaltnih zastora kolovoznih konstrukcija, pogotovo u poslednje vreme zbog sve češćih visokih ekstremnih temperatura koje su rezultat klimatskih promena i povećanih osovinskih opterećenja.

U savremenoj evropskoj regulativi za projektovanje i ispitivanje asfaltnih mešavina uvedeni su opiti pomoću kojih se može definisati otpornost asfaltne mešavine na zamor, kao i otpornost na pukotine pri niskim temperaturama. Što se tiče otpornosti na trajnu deformaciju, postoji mogućnost da se primeni simulacioni test (tzv. opit točkom prema standardu SRPS EN 12697-22 [1]) ili da se fundamentalne karakteristike mešavine odrede ispitivanjem pod cikličnim opterećenjem u triaksijalnom aparatu, prema SRPS EN 12697-25 [2].

Osetljivost asfaltne mešavine na kolotrage zavisi od više parametara, uključujući vrstu mešavine, vrstu, tip i sadržaj bitumena, granulometrijski sastav mineralne mešavine i njenu zapreminsku strukturu. Cilj ovog rada je da prikaže razvoj modela za predviđanje trajne deformacije asfaltne mešavine u funkciji više ulaznih parametara primenom veštačkih neuronskih mreža.

## 2. PODACI O ISPITIVANJU OTPORNOSTI ASFALTNIH MEŠAVINA NA TRAJNU DEFORMACIJU

U Laboratoriji za kolovozne konstrukcije na Građevinskom fakultetu u Beogradu se već niz godina sprovodi ispitivanje otpornosti asfaltnih mešavina na trajnu deformaciju primenom simulacionog testa – opita točkom u skladu sa standardom SRPS EN 12697-22. Ovim ispitivanjima bile su obuhvaćene asfaltne mešavine za habajuće i noseće slojeve kolovoznih konstrukcija, spravljene po principu asfalt-betona, ili skeletnih mastiks

---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju

asfalta (SMA) sa maksimalnom veličinom agregata od 11 do 32 mm. Asfaltne mešavine su najčešće bile urađene sa nemodifikovanim, putnim bitumenom BIT 50/70, ili sa polimer modifikovanim bitumenom PmB 45-80/65.

Za razvoj modela su korišćeni podaci o ispitivanju ukupno 42 različite asfaltne mešavine za koje su bili dostupni kompletni podaci o ispitivanju mešavine, uključujući granulometrijski sastav i zapreminsku strukturu.

### 3. NEURONSKE MREŽE

Neuronske mreže su često korišćen alat u mnogim sferama naučnog i stručnog rada. Potencijal neuronskih mreža prepoznat je u području klasifikacije, analitike, predikcije, simulacije, konceptualizacije, filtriranja, upravljanja procesima i područja primene se kontinuirano proširuju. Veštački stvorene neuronske mreže razvijene su na analogiji sa biološkim nervnim sistemom [3]. Pojednostavljeno, neuron dobija ulazni signal kao informaciju koju prima od drugog neurona ili iz eksternog izvora, prerađuje informaciju i prenosi je drugom neuronu ili eksternom izlazu. Sposobnost primanja impulsa, procesuiranja kroz funkciju aktivacije i prenošenja (ili neprenošenja) izlaznog signala ostalim neuronima, čini složenu komunikacijsku mrežu, u mnogome sličnu biološkom nervnom sistemu. Bazična analogija sa ljudskim mozgom, kao najsloženijem biološkim sistemom prema dosadašnjim saznanjima, je sposobnost veštački stvorenih neuronskih mreža da uče i generaliziraju na osnovu iskustva.

Neuronske mreže su primenjive za veliki broj praktičnih problema čije rešavanje zahteva znanja koja je teško specificirati ili za sisteme čiji odnos između ulaznih podataka i izlaznih rezultata ima evidentnu, ali ne i jasno teorijski i matematički opisanu vezu. Dobre rezultate postižu u analizi i predikciji rezultata nelinearnih sistema, kakvi, činjenica je, realni sistemi u većini i jesu.

Karakteristična struktura ili **arhitektura mreže** sastoji se od:

- ulaznog sloja sa brojem neurona u ulaznom sloju koji je, konvencionalno, jednak broju ulaznih parametara,
- određenog broja skrivenih slojeva sa skrivenim neuronima,
- izlaznog sloja sa brojem neurona koji odgovara broju izlaznih rezultata mreže.

Odabir broja neurona u ulaznom i izlaznom sloju u funkciji je konkretnog problema koji se razmatra. Broj skrivenih slojeva, broj neurona u skrivenim slojevima i veze između neurona i slojeva imaju ključnu ulogu u uspešnoj primjeni neuralnih mreža.

Veza ulaznog i izlaznog sloja bez skrivenih slojeva daje linearan model mapiranja. Za složeno, nelinearno mapiranje između ulaznog i izlaznog sloja potreban je određen broj skrivenih slojeva. Jedan skriveni sloj može predstaviti veliki broj funkcija preslikavanja iz jednog konačnog skupa u drugi konačan skup. Neuronske mreže sa dva skrivena sloja mogu aproksimirati glatko mapiranje, teorijski gledano, željene preciznosti [4].

Broj neurona u skrivenim slojevima nije egzaktno određen. Mali broj neurona smanjuje sposobnost učenja i generalizacije, a preveliki broj neurona povećava opasnost pretreniranja<sup>2</sup> mreže i povećava vreme učenja mreže. Pretreniranje je stepen treniranosti mreže u kojem opada sposobnost generalizacije mreže, mreža radije pamti podatke iz trening seta podataka, nego da na njima uči. Nedovoljna treniranost daje veću grešku predikcije, a pretreniranost veliku varijabilnost u predikciji. Praktično - tokom učenja greška predikcije na test setu podataka (set podataka za validaciju) pada sve do trenutka kada mreža ne postane pretrenirana, a zatim počinje rasti, dok na trening setu greška predikcije i dalje pada. Neki od načina prevencije pretreniranosti su optimalan izbor arhitekture mreže, dovoljno velika baza i varijabilnost trening seta podataka, nezavisnost barem dela ulaznih parametara (ako ulazni podaci imaju visoki stepen međusobne korelacije, nastaje problem u određivanju težinskih koeficijenata neurona [5]), ranije zaustavljanje treninga i dr. Optimalno stanje treniranosti smatra se ono koje daje minimalnu grešku predikcije na validacionom skupu podataka (najbolji rezultat generalizacije mreže).

---

<sup>2</sup>Statistički gledano, kada se broj parametara modela povećava, stepen slobode modela opada i javlja se mogućnost pretreniranja na trening setu podataka [4].

Metode odabira arhitekture mreže su kompleksne i ne garantuju optimalan rezultat [4]. Optimalna arhitektura neuronske mreže je ona koja u eksperimentalnom postupku postigne najbolje rezultate, pa je najčešće usvojena metoda odabira strukture mreže metoda pokušaja i simulacija. Veza između neurona u slojevima i slojeva međusobno, fundamentalno određuje ponašanje mreže u postupku učenja i generalizacije. U NeuroShell2 programu veze između neurona i slojeva određene su odabirom tipa mreže koji se trenira. Funkcija aktivacije (funkcija transformacije) određuje odnos između ulaznog i izlaznog signala svakog neurona mreže. Teorijski, sve derivabilne funkcije mogu biti funkcije aktivacije. Procesuiranje ulaznog signala neurona kroz funkciju aktivacije daje izlazni rezultat za svaki neuron, ali svaki neuronski izlaz u mrežnom sistemu komunikacije između neurona, ima svoj težinski koeficijent (pojednostavljeno rečeno - "rangiranje važnosti informacije").

Treniranje mreže je nelinearan problem minimizacije u kojem se iterativno mijenjaju težinski koeficijenti neurona, sa ciljem smanjenja razlike u željenim i dobijenim vrednostima izlaznih rezultata mreže. Za backpropagation tip mreža opisan je proces učenja. U svakoj iteraciji težinski koeficijent svakog neurona se modifikuje u skladu sa ciljnim vrednostima ukupnog rezultata predikcije iz trening skupa podataka. Iz ukupne greške mreže (razlike između postignutog i očekivanog rezultata predikcije) izračunava se greška svakog pojedinog neurona, pomoću težinskih koeficijenata. Modifikacija težinskih koeficijenata radi se na osnovu derivacije funkcije aktivacije, a detaljno objašnjenje matematičkih postavki dato je u [3]. U postupku korekcije težinskih koeficijenata uvodi se i koeficijent brzine učenja mreže, odnosno korak iteracije ( $\eta$ ). Iskustveno, kada je odabrana vrednost koeficijenta brzine učenja velika, proces učenja mreže postaje nestabilan, a kada je mala, mreža sporo konvergira.

Baza podataka (skup podataka) na kojoj mreža uči za složenije probleme se deli na dva skupa podataka. Trening skup (set) podataka je skup podataka koji služi za učenje mreže. Test skup (set) podataka su podaci koji mreži nisu dostupni tokom učenja, a služe za validaciju mreže, odnosno ocenu sposobnosti generalizacije trenirane mreže. Odabir veličine skupa podataka za validaciju (test skup) zavisi o veličini raspoložive baze podataka i o konkretnom problemu koji se razmatra. Za nelinearan problem potrebno je izdvojiti minimalno 20% podataka za uspešnu evaluaciju generalizacije mreže [4].

#### 4. MODEL ZA ANALIZU OSETLJIVOSTI ASFALJNIH MEŠAVINA NA TRAJNU DEFORMACIJU

Neuronske mreže su često korišteni alat u rešavanju inženjerskih problema [6]. Interes naučne javnosti za primenu neuronskih mreža [7] i neuro-fuzzy logike [8] u predikciji ponašanja kolovoznih konstrukcija ne jenjava. Neuronske mreže se koriste u analizi ponašanja kolovoza pod opterećenjem [9, 10], u predikciji zamora asfaltnih mešavina [11] i akumulirane deformacije kod asfaltnih mešavina sa modifikovanim bitumenom [12]. U analizi trajnih deformacija asfaltnih mešavina koriste se modeli bazirani na primeni genetskog programiranja [13], neuro-fuzzy metodologije [14] i neuronskih mreža [15].

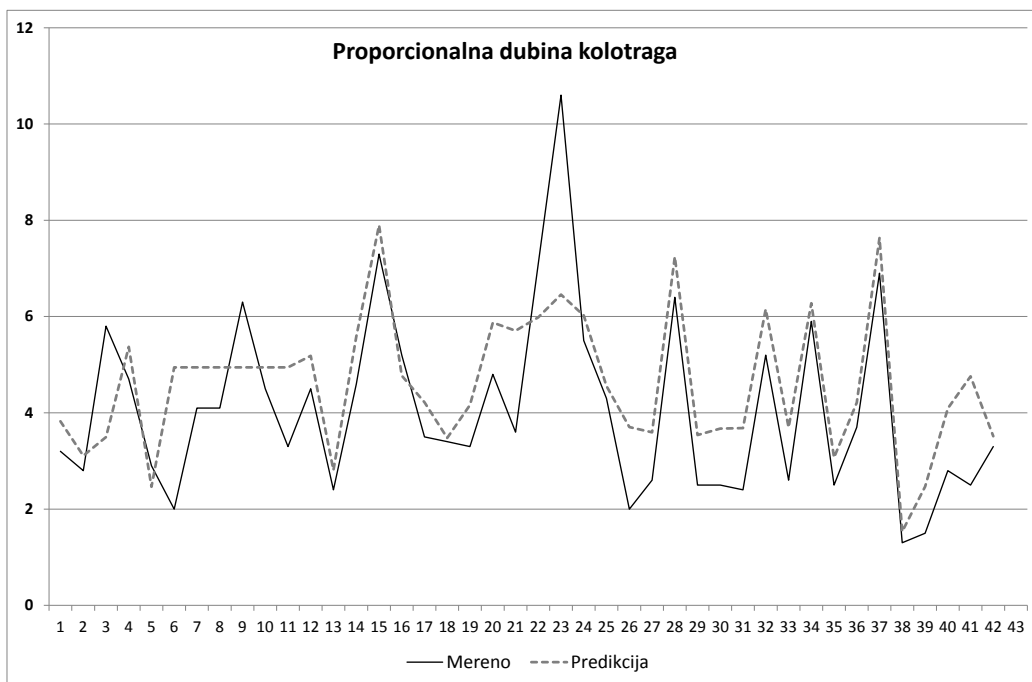
U okviru ovog rada prikazani su rezultati modela za analizu osetljivosti asfaltnih mešavina na trajnu deformaciju koji je napravljen primenom neuronskih mreža. Odabrani ulazni parametri modela su:

1. vrsta mešavine (AB ili SMA- skeletni mastiks asfalt, pri čemu AB obuhvata AB i BNS),
2. nominalna maksimalna veličina zrna u mešavini,
3. vrsta bitumen (običan ili polimer modifikovani),
4. granulometrijski sastav – prolaz na situ 0.09 mm,
5. granulometrijski sastav – prolaz na situ 2 mm,
6. granulometrijski sastav – prolaz na situ 4 mm,
7. sadržaj bitumena,
8. sadržaj šupljina, i
9. sadržaj šupljina u mineralnom materijalu.

Izlazni parametric modela su:

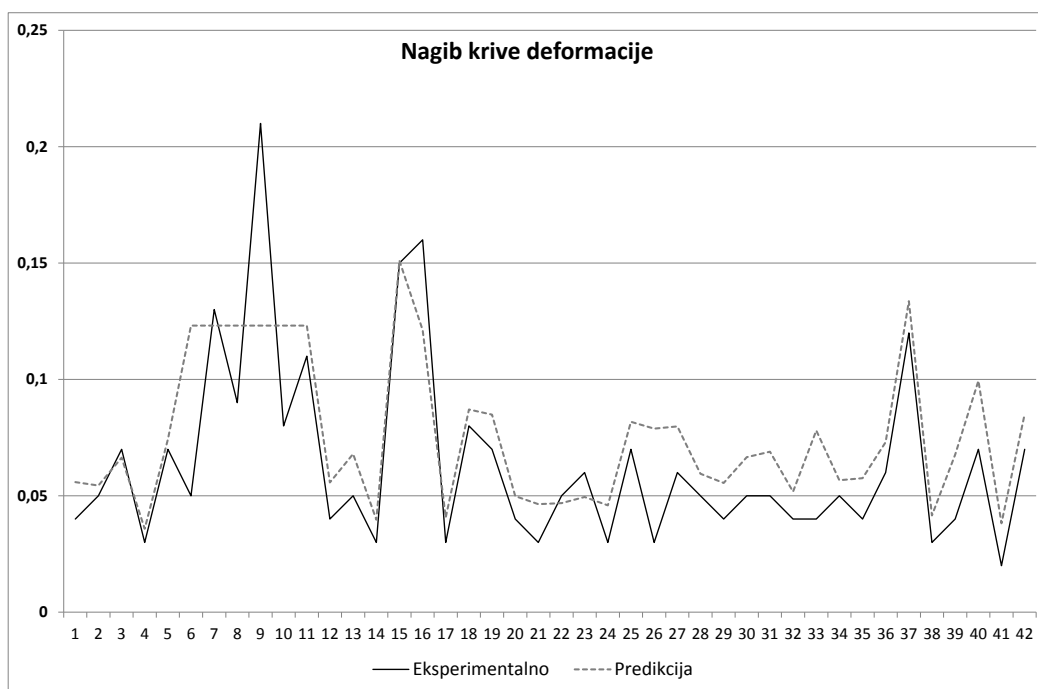
1. proporcionalna dubina kolotruga
2. nagib krive deformacije.

Usvojena je koncepcija modela da jedna neuronska mreže daje predikciju za oba izlazna rezultata. Ispitano je 20-tak različitih konfiguracija neuronskih mreža u NeroShell2 programu i najbolji odziv dala je backpropagation Ward net neuronska mreža sa jednim skrivenim slojem i 24 neurona u skrivenom sloju. Za proporcionalnu dubinu kolotruga dobijena je korelacija od 78%, a za nagib krive deformacije 81%. Odnos izmerenih rezultata proporcionalne dubine kolotruga i predikcije koju je dala neuronska mreža prikazan je na dijagramu na slici 1.



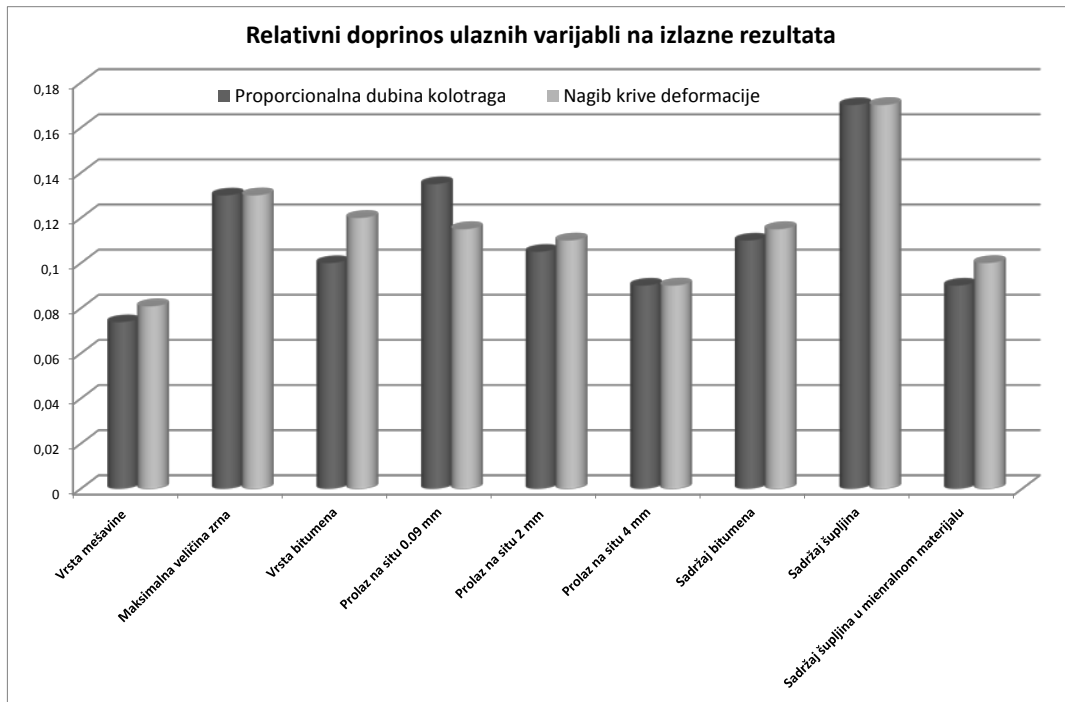
**Slika 1.** Proporcionalna dubina kolotruga izmereno vs. predikcija modela

Odnos eksperimentalno dobijenih rezultata nagiba krive deformacije i predikcije koju je dala neuronska mreža prikazan je na dijagramu na slici 2.



**Slika 2.** Nagib krive deformacije eksperimentalno vs. predikcija modela

Backpropagation neuronska mreža daje koeficijent relativnog doprinosa ulaznih parametara na izlazne rezultate modela, što daje mogućnost da se u drugoj iteraciji modela izostave svi oni ulazni parametri čiji uticaj nije značajan. Na slici 3 prikazan je dijagram koeficijenata relativnog doprinosa ulaznih parametara na oba izlazna rezultata modela.



Slika 3. Koeficijenti relativnog doprinosa ulaznih parametara na izlazne rezultate modela

Iz dijagrama na slici 3 jasno se vidi da svi ulazni parametri imaju uticaj na rezultate modela. Za oba izlazna parametra su se kao najznačajni ulazni parametri izdvojili sadržaj šupljina u asfaltnoj mešavini i maksimalna veličina zrna agregata. Posredno, preko sadržaja šupljina jasno je izražen uticaj sadržaja bitumena u asfaltnoj mešavini. Za proporcionalnu dubinu kolotruga su još među značajnijim parametrima i prolaz na situ 0.09 mm, a za nagib krive deformacije vrsta bitumena.

## 5. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan razvoj modela za predviđanje trajne deformacije asfaltnih mešavina optiom točkom primenom veštačkih neuronskih mreža. Model se zasniva na rezultatima ispitivanja 42 asfaltne mešavine. Ulazni parametri uključuju tip mešavine, vrstu i količinu bitumena, kao i zapremisnku strukturu mešavine i njen granulometrijski sastav, ukupno devet parametara. Rezultati su bili izraženi kroz proporcionalnu dubinu kolotruga i nagib krive deformacije. Kao najznačajniji parametri za oba modela su se izdvojili sadržaj šupljina u asfaltnoj mešavini i maksimalna veličina agregata. Proporcionalna dubina kolotruga još najviše zavisi od sadržaja kamenog brašna, dok nagib krive deformacije primarno zavisi od toga da li je korišćen običan ili modifikovan bitumen.

Inicijalno istraživanje najbolje konfiguracije neuronske mreže dalo je najbolje rezultate za Ward net backpropagation neuronsku mrežu sa jednim skrivenim slojem i 24 neurona u skrivenom sloju. Rezultati pokazuju da ovakav model ima potencijal, jer su dobijene korelacije za proporcionalnu dubinu kolotruga od 78%, a za nagib krive deformacije 81%. Nastavak istraživanja trebao bi biti u pravcu pronalaženja konfiguracije neuronske mreže koja će dati još bolju korelaciju sa eksperimentalnim podacima i smanjiti srednju grešku predikcije. Postojeći model ima za oba izlazna parametra manje od 20% rezultata sa srednjom greškom predikcije koja se od eksperimentalno dobijenih vrednosti razlikuje za manje od 10%, što svakako ostavlja prostor za poboljšanje modela. U narednim fazama rada razmotriće se proširenje skupa novim rezultatima, kao i eventualno razmatranje novih potencijalno značajnih promenljivih.



## Literatura

- [1] SRPS EN 12697-22:2012. Asfaltne mešavine – Metode ispitivanja asfaltnih mešavina proizvedenih vrućim postupkom – Deo 22: Ispitivanje na osnovu kolotruga točka, Institut za standardizaciju Srbije, Beograd
- [2] SRPS EN 12697-25: 2012. Asfaltne mešavine – Metode ispitivanja asfaltnih mešavina proizvedenih vrućim postupkom – Deo 25: Ispitivanje pri cikličnom pritisku, Institut za standardizaciju Srbije, Beograd
- [3] Basheer, I.A.; Hajmeer, M. 2000. Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application, *Journal of Microbiological Methods* 43: 3–31
- [4] Zhang, G.; Patuwo, B.E.; Hu, M.Y.1998. Forecasting with artificial neural networks: The state of the art, *International Journal of Forecasting* 14: 35-62
- [5] Hyvärinen, A.; Oja, E. 2000. Independent Component Analysis: Algorithms and Applications, *Neural Networks* 13(4-5): 411-430
- [6] Adeli, H. 2001. Neural Networks in Civil Engineering: 1989–2000, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 16: 126–142
- [7] Attoh-Okine, N.O. 1999. Analysis of learning rate and momentum term in backpropagation neural network algorithm trained to predict pavement performance, *Advances in Engineering Software*30(4): 291–302 [doi:10.1016/S0965-9978\(98\)00071-4](https://doi.org/10.1016/S0965-9978(98)00071-4)
- [8] Bianchini, A.; Bandini, P. 2010. Prediction of Pavement Performance through Neuro-Fuzzy Reasoning, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 25: 39–54  
[DOI: 10.1111/j.1467-8667.2009.00615.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-8667.2009.00615.x)
- [9] Ghanizadeh, A. R.; Ahadi, M. R. 2015. Application of Artificial Neural Networks for Analysis of Flexible Pavements under Static Loading of Standard Axle, *International Journal of Transportation Engineering* 3 (1): 31-43
- [10]Rodriguez, C. M. 2015. Predicting pavement performance under traffic loading using genetic algorithms and artificial neural networks to obtain resilient modulus values, Doctoral dissertation, The Ohio State University
- [11]Xiao, F.; Amirkhani, S.; Juang, C. H. 2009. Prediction of Fatigue Life of Rubberized Asphalt Concrete Mixtures Containing Reclaimed Asphalt Pavement Using Artificial Neural Networks, *Journal of Materials in Civil Engineering* 21:253-261  
[DOI: 10.1061/ ASCE 0899-1561 2009 21:6 253](https://doi.org/10.1061/ASCE_0899-1561_2009_21:6_253)
- [12]Tapkın S.; Çevik, A.;Uşar, U.2009. Accumulated strain prediction of polypropylene modified Marshall specimens in repeated creep test using artificial neural networks, *Expert Systems with Applications* 36: 11186-11197 [doi:10.1016/j.eswa.2009.02.089](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.02.089)
- [13]Gandomi, A. H.; Alavi, A. H; Mirzahosseini, M. R.; Nejad, F. M. 2011. Nonlinear Genetic-Based Models for Prediction of Flow Number of Asphalt Mixtures, *Journal of Materials in Civil Engineering* 23(3): 248-263[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000154](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000154)
- [14]Moghaddam,T.B.; Soltani, M.; Karim, M.R.; Shamshirband,S.; Petković, D.;Baaj, H. 2015. Estimation of the rutting performance of Polyethylene Terephthalate modified asphalt mixtures by adaptive neuro-fuzzy methodology, *Construction and Building Materials* 96: 550-555<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.043>
- [15]Shafabakhsh, G.H.; Ani, O. J.; Talebsafa, M. 2015. Artificial neural network modelling (ANN) for predicting rutting performance of nano-modified hot-mix asphalt mixtures containing steel slag aggregates, *Construction and Building Materials*85: 136–143  
[doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.03.060](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.060)

## APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR THE ANALYSIS OF RUTTING RESISTANCE OF ASPHALT MIXTURES

Irena Ištoka Otković<sup>1</sup>, Jelena Ćirilović<sup>2</sup>, Goran Mladenović<sup>3</sup>

<sup>1</sup> University J. J. Strossmayer in Osijek, Faculty of Civil Engineering, Osijek, Croatia, [iirena@gfos.hr](mailto:iirena@gfos.hr)

<sup>2</sup> IMS Institute, Belgrade, [jelena.cirilovic@institutims.rs](mailto:jelena.cirilovic@institutims.rs)

<sup>3</sup> University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Belgrade, [emladen@imk.grf.bg.ac.rs](mailto:emladen@imk.grf.bg.ac.rs)

*Summary: Rutting is one of the most common distresses of asphalt pavements, especially in recent times due to the increasingly frequent extreme high temperatures as a result of climate change and increased axle loads. Therefore, the modern European regulations for the design and testing of asphalt mixtures introduced a test for resistance to permanent deformation. Sensitivity to rutting of asphalt mixtures depends on the type of mixture, the type and content of bitumen, particle size distribution of mineral mixture and volumetric composition of asphalt mix. The paper presents the development of a model for sensitivity to rutting of bituminous mixtures based on tests more asphalt concrete and SMA (stone mastic asphalt) mixture, with neat and polymer modified bitumen, used for wearing or base course layers with a maximum aggregate size of 11 up to 32 mm. The model used nine input parameters: the type of asphalt mix, the maximum size of aggregate, bitumen type, passing at sieves 0.09, 2 and 4 mm, bitumen content, the air void content in asphalt mixture and percentage of voids filled with bitumen. As output parameters are used proportional rut depth and slope of rutting deformation. For both output parameters the most significant input parameters are air void content in the asphalt mixture, and the maximum aggregate size. For proportional rut depth the passing at 0.09 mm sieve is also significant, while the slope of rutting deformation depends also on the type of bitumen.*

Key words: asphalt mix, permanent deformation, prediction model, neural networks.

# KVANTIFIKACIJA RIZIKA U JAVNO-PRIVATNIM PARTNERSTVIMA ZA PUTEVE SA NAPLATOM PUTARINE

**Nevena Vajdić<sup>1</sup>**

*Aerodrom Nikola Tesla, Beograd, nevena.vajdic@gmail.com*

**Goran Mladenović**

*Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, emladen@imk.grf.bg.ac.rs*

**Cesar Queiroz**

*Konsultant, queiroz.cesar@gmail.com*

**Rezime:** *Učešće privatnog sektora u realizaciji putnih projekata sa naplatom putarine zastupljeno je širom sveta. Ovaj model koristi znanje i iskustvo privatnog sektora u upravljanju putnim projektima i mobilise privatni kapital kroz javno-privatno partnerstvo (JPP). Jedna od najznačajnijih karakteristika JPP projekata je podela rizika između javnog i privatnog partnera. Kvantifikacija rizika i procena finansijske osnovanosti projekta, ključnog faktora za učešće privatnog sektora, osnovni je proces celokupnog razvoja projekta sve do zaključenja finansijskog aranžmana za projekat.*

*U ovom radu predstavljen je model za ranu kvantifikaciju rizika za JPP putne projekte sa naplatom putarine. Ovaj pristup koristi unapred definisana finansijska ograničenja godišnji racio pokriva duga, interne stope rentabilnosti projekta i interne stope povraćaja uloženog kapitala sa jedne strane, i rizike projekta kao što su nestabilnost obima saobraćaja, varijacije u troškovima izgradnje, i varijacije u troškovima upravljanja i održavanja, sa druge strane. Model izračunava putarinu koja zadovoljava finansijska ograničenja. Rezultat ovog modela je opseg visine putarine koji pokriva moguća scenarija rizika. Ovi rezultati mogu da posluže kao osnova za komparativnu analizu socijalno prihvatljive visine putarine, pretpostavljajući da je poznata, i finansijski zahtevane putarine. Očekuje se da rana identifikacija razlike između ove dve vrednosti putarine predstavlja značajnu informaciju za sve učesnike u projektu. Ova razlika omogućava da se sagledaju potrebe za dodatnim finansijskim instrumentima, kao što su garancije ili subvencije, kako bi se realizovao projekat koji je prihvatljiv i za javnog i za privatnog partnera, investitore, banke i korisnike.*

**Ključne reči:** *putarine, javno-privatno partnerstvo, finansijska analiza.*

## 1. UVOD

Jedan od modela koji omogućava realizaciju kompleksnih putnih projekata u uslovima ograničenih budžeta je javno-privatno partnerstvo (JPP). Iako ne postoji konzesus o definiciji JPP-a, generalno se JPP može opisati kao ugovor između javnog entiteta i privatnog sektora koji omogućava veće učešće privatnog sektora u realizaciji i finansiranju projekata saobraćajne infrastrukture [1]. Ovakva partnerstva služe kao model za prevazilaženje nedostatka budžetskih sredstava, tj. za prevazilaženje razlike između potreba javnog sektora i dostupnih fondova za realizaciju tih potreba. Saobraćaj je jedan od glavnih sektora u kojim je implementacija ove vrste ugovora postala uobičajan pristup u rešavanju infrastrukturnih pitanja.

Usled velikog broja tehničkih, finansijskih, pravnih i ekonomskih parametara, JPP ugovori su relativno složeni. Na primer, za finansijski aspekt, alat za JPP za puteve i autoputeve, razvijen od strane Svetske banke i Public-Private Infrastructure Advisory Facility (PPIAF) [2], može da se koristi za preliminarnu analizu u ranim fazama JPP projekta. Čak i za ovu pojednostavljenu analizu, 18 ulaznih parametara je potrebno za finansijski model. U okviru alata, svi ulazni parametri su determinističke vrednosti.

Definisanje dugoročnih prava i obaveza javnog sektora i privatnog partnera u ovim kompleksnim ugovorima zahteva detaljnu analizu rizika. Iz ovog razloga, određivanje mnogobrojnih rizika i odgovarajućih strategija za raspodelu rizika između ugovornih strana se smatra najbitnijim delom JPP ugovora. Na primer, Svetska banka [3] identifikuje 12 vrsta rizika u JPP putnim projektima: rizik projektovanja, rizik lokacije, rizik izgradnje, rizik više sile, rizik prihoda, operativni rizik i rizik održavanja, rizik performanse, eksterni rizik, tržišni rizik, politički rizik, rizik od neizvršenja obaveza, i strateški rizik.

Procena finansijske osnovanosti projekta, ključnog faktora za učešće privatnog sektora, osnovni je proces celokupnog razvoja projekta sve do zaključenja finansijskog aranžmana za projekat. Ističe se važnost sagledavanja rizika čak i u ranim fazama finansijske analize obzirom da ova informacija pomaže u

---

<sup>1</sup>Autor zadužen za korespondenciju: nevena.vajdic@gmail.com

identifikaciji potencijalnih finansijskih rizika i asistira svim ugovornim stranama da adekvatno pripreme dogovor. Parametri koji se često koriste za procenu finansijske opravdanosti projekta su godišnji ratio pokrivača duga, interna stopa rentabiliteta projekta i interna stopa povraćaja uloženog kapitala.

Generalno, javni sektor potražuje visinu putarine koja je socijalno prihvatljiva i koja će privući korisnike da koriste put. Sa druge strane, privatni sektor potražuje visinu putarine koja će obezbediti finansijsku opravdanost projekta i omogućiti adekvatni finansijski povraćaj. Problem određivanja socijalno prihvatljive putarine je kompleksan i uključuje analizu velikog broja parametara povezanih sa socijalnom percepcijom vrednosti puta sa naplatom putarine u smislu korisnikove spremnosti plaćanja usluge i korisnikove vrednosti vremena. Problem se može pojaviti ako je socijalno prihvatljiva vrednost putarine manja nego zahtevana minimalna vrednost potrebna za finansijski opravdan projekat, što je i cilj investitora i banaka.

Ovaj rad predstavlja model za ranu kvantifikaciju rizika za JPP putne projekte sa naplatom putarine. Ovaj pristup koristi unapred definisana finansijska ograničenja kao što su godišnji ratio pokrivača duga, interne stope rentabiliteta projekta i interne stope povraćaja uloženog kapitala sa jedne strane, i rizike projekta kao što su nestabilnost obima saobraćaja, varijacije u troškovima izgradnje, i varijacije u troškovima upravljanja i održavanja, sa druge strane. Model izračunava putarinu koja zadovoljava finansijska ograničenja. Rezultat ovog pristupa je opseg visine putarine koji pokriva moguća scenarija rizika. Ovi rezultati mogu da posluže kao osnova za komparativnu analizu socijalno prihvatljive visine putarine, pretpostavljajući da je poznata, i finansijski zahtevane putarine. Očekuje se da rana identifikacija razlike između ove dve vrednosti putarine predstavlja značajnu informaciju za sve učesnike u projektu. Ova razlika omogućava da se sagledaju potrebe za dodatnim finansijskim instrumentima, kao što su garancije ili subvencije, kako bi se realizovao projekat koji je prihvatljiv i za javnog i za privatnog partnera, investitore, banke i korisnike.

## 2. PREGLED LITERATURE

Postoje nekoliko dostupnih modela za analizu i procenu JPP putnih projekata. Ovi modeli poseduju širok spektar alata i uputstava koji mogu da pomognu učesnicima u JPP projektima od ranih faza razvoja projekta do zaključenja finansijskog aranžmana za projekat. Neki od alata uključuju razne rizike i koriste modele verovatnoće i raspodele slučajnih promenljivih kao ulazne podatke.

Kancelarija za inovativne programe Federalne administracije za puteve (Federal Highway Administration-FHWA) je objavila 2013. godine novi alat P3-Value (Public-Private Partnership Value-for-Money Analysis for Learning and Understanding Evaluation) [4]. Iako je glavna namena alata pomoć donosiocima odluka u analizi "vrednost za novac", ovaj alat pokriva i druge važne aspekte JPP-a kao što su procena rizika i finansijska opravdanost projekta. Ovaj alat se sastoji iz četiri modula: analiza rizika, komparator troškova javnog sektora, skrivena ponuda, i finansijska analiza. Modul analize rizika omogućava korisnicima da, za utvrđene rizike, mogu da izaberu ravnomernu ili trougaonu raspodelu. U okviru ulaznih parametara, korisnik ima mogućnost da koristi jednostavan scenario putarine (putarine se mogu dodeliti tipu vozila i deonici) ili promenljiv scenario putarine (putarine se mogu dodeliti tipu vozila, periodu dana ili nedelje i deonici puta). Saobraćaj je predstavljen kao broj vozila po godini, i korisnik može da unese podatak za svaku godinu koncesije.

Svetska banka i Public-Private Infrastructure Advisory Facility (PPIAF) su razvile alat za JPP za puteve i autoputeve [2]. Osnovni cilj alata je da se donosiocima odluka u zemljama u razvoju i tranziciji obezbedi adekvatno uputstvo i resursi za pripremu i primenu JPP putnih projekata. Alat se sastoji iz šest modula: pregled i dijagnostika, ključni elementi, upravljanje i planiranje, zakonski okvir i ugovor, primena i praćenje, i ratni alati. Svi ulazni podaci su determinističke vrednosti.

Saobraćajni institut Teksasa (Texas Transportation Institute, TTI) objavio je 2012. godine alat baziran u Microsoft Excel-u za ranu procenu prihoda na putevima sa naplatom putarine [5]. Ovaj alat omogućava korisnicima da specificiraju nekoliko ulaznih parametara: generalne karakteristike projekta, saobraćajni podaci, i podaci o putarini. Za saobraćajne podatke, početni saobraćaj je predstavljen kao slučajna promenljiva i korisnik može da izabere između dve vrste raspodele: normalna i trougaona. Za period koncesije, saobraćaj se može korigovati za koeficijent rasta saobraćaja na svakih pet godina. Takođe, ovaj alat razmatra dve klase vozila: putničke automobile i kamione. Jedna od karakteristika koju ovaj alat omogućava je određivanje maksimalnog kapaciteta puta koji predstavlja gornju granicu u simulacijama saobraćaja. Putarina, koja se definiše za putničke automobile i kamione odvojeno, koriguje se tokom trajanja koncesije za stopu inflacije.

Ministarstvo finansija Indije je objavilo internet alat čiji je osnovni cilj poboljšanje procesa odlučivanja u aranžmanima JPP-a za infrastrukturne projekte [6]. Ovaj alat ima pet modula koji pokrivaju pet sektora: državne autoputeve, vodovod i kanalizaciju, luke, upravljanje čvrstim otpadom, i gradski prevoz. Za državne autoputeve, postoje tri pod-modula: osnovni JPP modul, modul JPP postupka, i modul alata i resursa. Svi ulazni podaci su determinističke vrednosti. Rezultati se sastoje od niza računovodstvenih pokazatelja, kao što su racio pokrivača duga, interna stopa povraćaja uloženog kapitala i sl. Za saobraćajnu prognozu, korisnici mogu navesti do pet različitih kategorija vozila, i karakteristike putne deonice (dužina, broj saobraćajnih traka, broj naplatnih rampi). Rast saobraćaja se može definisati po kategoriji vozila. Korisnici takođe mogu definisati elastičnost potražnje, tj. procenat po kom će se saobraćajna potražnja promeniti ako se cena putarine promeni za 1%. Putarina se može definisati po kategoriji vozila. Popust za korisnike se može uzeti u obzir definisanjem vrednosti popusta (na primer, za mesečne propusnice), kao i definisanjem procenta broja korisnika koji koriste ove popuste.

Razne studije pronađene u literaturi pokazuju širok spektar elastičnosti putarine. Na primer, analizom elastičnosti saobraćajne potražnje, Hirschman et.al. primenjuje linearnu regresiju na vremenske serije obima saobraćaja na mostovima i tunelima u Njujorku [7]. Analiza je pokazala veoma niske vrednosti elastičnosti putarine ukazujući da povećanje putarine nema značajan uticaj na obim saobraćaja, što se čini karakterističnim za saobraćaj u gradu, kao što je uglavnom slučaj za tunele i mostove u Njujorku. Matas i Raymond su pronašli da elastičnost putarine na autoputevima u Španiji variraju od -0.21 do -0.83 [8]. Zaključili su da prosečna elastičnost putarine ne može da se koristi za procenu ili predviđanje.

Chow i Regan koriste stohastički proces, geometrijsko Braunovo kretanje (GBK), kao model prognoze saobraćaja u analizi realnih opcija za fleksibilno upravljanje investicijama u infrastrukturi [9]. Za vrednovanje fleksibilnosti u procesu donošenja odluka za koncesije autoputeva, Galera i Soliño koriste saobraćaj na autoputevima kao osnovno sredstvo u ugovorima o realnim opcijama [10]. Za prognozu obima saobraćaja, tj. prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja (PGDS), korišćen je GBK. Osim toga, hipoteza da obim saobraćaja prati GBK proces je testirana na španskim autoputevima sa naplatom putarine [11]. Uzorak od 11 koncesija, sa podacima o PGDS-u koji su bili na raspolaganju za period od 30 godina, je korišćen za testiranje hipoteze. Rezultati su pokazali da nulta hipoteza ne može biti odbijena.

Procena troškova izgradnje, posebno u ranim fazama razvoja projekta, je kompleksan zadatak. Uključeno je mnogo neizvesnosti, i procene zahtevaju pažljivo razmatranje i analizu. Prepoznajući ovo pitanje, Odsek za saobraćaj u državi Vašington je razvio Proces za validaciju procene troškova koji se koristi za ranu procenu troškova izgradnje autoputeva uzimajući u obzir različite rizike [12]. Primena ove metodologije na devet studija slučaja megaprojekata autoputeva pokazuje da za neke projekte ukupna cena izgradnje ima krivu raspodele u obliku zvona. Iako se najčešće koristi verovatnoća i Monte Carlo simulacija za procenu ukupnih troškova izgradnje, činjenica da su neke od komponenti troškova izgradnje u korelaciji se često ignoriše [13].

Flyvbjerg et al. su sprovedli opsežnu statističku analizu troškova izgradnje koja pokriva 258 projekata saobraćajne infrastrukture u periodu od skoro 70 godina [14]. Njihov cilj je bio da se testira da li se realizacija troškova odvija prema planu. Rezultati su pokazali da eskalacija troškova izgradnje, koji se obračunava kao razlika između stvarne i planirane troškove izražena kao procenat u odnosu na planirane troškove, je prisutna u svim vidovima saobraćaja koje su obuhvaćene uzorkom: železnice, tuneli i mostovi, i putevi. Kriva raspodele eskalacije troškova je kriva u obliku zvona. Za puteve, eskalacija troškova ima srednju vrednost od 20% sa standardnom devijacijom od 30%. Analiza je pokazala da se prognoza troškova izgradnje nije poboljšala tokom vremena i da se magnituda prekoračenja troškova izgradnje takođe nije smanjila tokom vremena.

Operativni troškovi se mogu odrediti kao procenat godišnjih prihoda ili kao procenat troškova izgradnje. Na primer, Peng et al. su usvojili kao grubu procenu operativnih troškova 7% od godišnjeg prihoda od saobraćaja [15]. Alat FHWA koristi pretpostavku da su godišnji operativni troškovi jednaki određenom procentu troškova izgradnje; ista pretpostavka je korišćena i za tekuće, periodične ili preventivne troškove održavanja [16]. Troškovi održavanja se mogu proceniti kao funkcija obima saobraćaja i troškove izgradnje. Na primer, Heggie koristi funkciju obima saobraćaja za procenu tekućih troškova održavanja [17]. Peng al. koriste obe funkcije, i troškova izgradnje i obima saobraćaja, za procenu godišnjih troškova održavanja [15].

### 3. RAZVOJ MODELA

Za razvoj modela, finansijski modul alata za JPP za puteve i autoputeve Svetske banke i PPIAF-a je korišćen kao polazna tačka [2]. Finansijski modul je dostupan u dva oblika, grafički i numerički. Grafički model se koristi za preliminarne procene, dok je numerički model detaljniji i može se koristiti za prve analize projekta na nivou prethodne studije opravdanosti.

Grafički model uključuje 18 ulaznih parametre i svi su determinističke vrednosti. Ovi parametri se mogu podeliti u četiri različite grupe: tehnički parametri projekta (trajanje koncesije, troškovi izgradnje, period izgradnje, distribucija radova tokom perioda izgradnje, operativni troškovi, početni saobraćaj, rast saobraćaja, i cena putarine), finansijska struktura projekta (procenat državnih subvencija i procenat uloženog kapitala), struktura duga (dospeće duga, kamatne stope, tip otplate duga, i grejs period), kao i ekonomski parametrima države (stopa inflacije, poreske stope, diskontna stopa, i stopa poreza na dodatu vrednost). Grafički model izračunava nekoliko finansijskih pokazatelja: godišnji racio pokrivača duga, interna stopa rentabiliteta projekta i interna stopa povraćaja uloženog kapitala. Korisnik može dobiti minimalnu vrednost putarine probanjem, tako da su finansijski pokazatelji iznad minimalnih zahtevanih vrednosti. U finansijskom modelu alata može da se uzme u obzir elastičnost potražnje, ali korisnik mora da proceni uticaj putarine na saobraćajnu potražnju samostalno ili korišćenjem drugih alata.

Formule korišćene u alatu za izračunavanje pomenutih finansijskih pokazatelja su modifikovane tako da korisnik može da definiše vrednosti finansijskih pokazatelja kao ulazne veličine, i vrednost putarine se direktno izračunava umesto određivanja putem probanja. Ovaj pristup je poslužio kao osnova za uvođenje neizvesnosti projekta u model. Obim saobraćaja, troškovi izgradnje, i operativni i troškovi održavanja su predstavljeni kao slučajne promenljive, uvodeći na taj način u model glavne rizike projekta. Visina putarine je predstavljena kao uzorak mogućih vrednosti, umesto do sada jedne determinističke vrednosti. U sledećem koraku, stohastički model je uveden kao model za predstavljanje saobraćajne neizvesnosti.

Prva pretpostavka u modelu za kvantifikaciju rizika je da se saobraćaj može da predstaviti kao stohastički proces, tj. kao geometrijsko Braunovo kretanje (GBK). Saobraćaj se može definisati pomoću sledeće diferencijalne jednačine:

$$dPGDS = \mu_1 PGDS dt + \sigma_1 PGDS dW_t \quad (1)$$

gde je  $PGDS$  prosečni godišnji dnevni saobraćaj, tj. vrednost obima saobraćaja na deonici,  $\mu_1$  je koeficijent rasta saobraćaja,  $\sigma_1^2$  je varijansa, i  $dW_t = \sqrt{dt} \varepsilon_t$  je Vinerov proces gde je  $dt$  vremenski prirast i  $\varepsilon_t \sim N(0,1)$ . Budući obim saobraćaja se može definisati sa početnim  $PGDS$ -om, očekivanim rastom  $\mu_1$  i volatilnošću  $\sigma_1$ . Pretpostavka da je poznata vrednost početnog obima saobraćaja, koji se može koristiti za projekte za koje postoje prethodni podaci o saobraćaju, tzv. "brownfield" projekti, se može korigovati predstavljanjem ove vrednosti kao slučajne promenljive. U ovom radu, početni  $PGDS$  je predstavljen kao deterministička vrednost. Galera i Soliño su predvideli da se stopa rasta i varijabilnost obima saobraćaja može usvojiti iz sličnih projekata [10]. U ovom radu se pretpostavlja da su ovi parametri konstantni tokom perioda trajanja koncesije.

Rizik troškova izgradnje je predstavljen kao varijacija ukupnih troškova izgradnje, odnosno kao varijacija kapitalnih troškova. Da bi se uspostavila veza između procenjene vrednosti ukupnih troškova izgradnje i realizovanih troškova preuzetih iz literature, distribucija eskalacije troškova je usvojena kao pristup za procenu srednje vrednosti i varijanse procenjenih ukupnih troškova izgradnje. Eskalacija troškova  $Y$  je definisana kao razlika između stvarnih ( $A$ ) i procenjenih troškova ( $E$ ) u odnosu na procenjene troškove ( $E$ ), tako da sledeći izraz može da se definiše  $A = E * Y + E$ . Pod pretpostavkom da je eskalacija troškova kontinualna slučajna promenljiva  $Y$ , tj. da može da se definiše normalnom raspodelom  $Y \sim N(\mu_Y, \sigma_Y^2)$ . Ova pretpostavka može da se izmeni koristeći neki drugi tip raspodele. Stvarni troškovi  $A$  je slučajna promenljiva sa normalnom raspodelom sa srednjom vrednošću  $E\mu_Y + E$  i standardnom devijacijom  $E\sigma_Y$ .

Sledeća pretpostavka je da su operativni troškovi jednaki zbiru dva elementa: procenat od troškova izgradnje koji predstavljaju fiksne godišnje operativne troškove i promenljivi deo koji je uslovljen obimom saobraćaja:

$$OC = p * CC + q * 365 * PGDS \quad (2)$$

gde su  $OC$  operativni troškovi,  $p$  je procenat od troškova izgradnje i  $q$  je cena po vozilu na godišnjem nivou. Oba parametra  $p$  i  $q$  se mogu proceniti iz sličnih projekata ili stručnom procenom. Za model u ovom radu, troškovi tekućeg održavanja su preuzeti iz rada Heggie [17]:

$$MC = 1700 + 0.5 * PGDS \quad (3)$$

gde je  $MC$  finansijski trošak tekućeg održavanja na dvotračnom putu. Obzirom da su i troškovi izgradnje i obim saobraćaja predstavljene kao slučajne promenljive, iz jednačina (2) i (3) se može zaključiti da su i operativni troškovi i troškovi održavanja takođe slučajne promenljive.

Monte Carlo tehnika simulacije, koja predstavlja metod ponovljenog uzorkovanja vrednosti iz distribucije verovatnoće, je korišćena za pravljenje uzorka slučajnih promenljivih za saobraćaj  $PDGS(t)$  i realizovanih troškova izgradnje ( $CC$ ), tj. eskalaciju troškova  $Y$ . Operativni troškovi i troškovi održavanju su funkcije ovih promenljivih. Sagledavajući problem pronalaženja finansijski potrebne visine putarine, rešenje predstavlja raspodela verovatnoće visine putarine. Ova raspodela je usvojena iz uzorka visine putarine generisanih procesom simulacije.

Procesom simulacije dobija se slučajni uzorak veličine  $n$  sa podacima o visini putarine, posle čega može da se primeni statistička analiza osnovne raspodele i određivanje statističkih pokazatelja. Problem pronalaženja raspodele verovatnoće putarine je suštinski problem testiranja hipoteze da li osnovna raspodela može da predstavlja ukupnu populaciju sa prihvatljivom greškom [18]. Jedan od korisnih metoda testiranja je grafički metod. Histogram može pomoći u vizuelnoj identifikaciji oblika osnovne raspodele, ali greška može biti značajna ako je veličina uzorka mala. Dijagrami verovatnoće omogućavaju vizuelno sagledavanje da li se podaci uklapaju u razmatranu raspodelu. Drugi metod je testiranje stepena podudaranja kojim se testira da li se razmatrana raspodela može usvojiti kao raspodela populacije.

#### 4. STUDIJA SLUČAJA - KONCESIJA OLYMPIA ODOS MOTORWAY, GRČKA

Grčka ima dugu istoriju implementacije JPP projekata. Jedan od prvih primera je Kanal Korint koji je dodeljen 1881. kao koncesija na 99 godina [19]. Dve velike koncesije su dodeljene ranih 70-tih: vodovod i proizvodnja i distribucija električne energije. Tokom 90-tih, grčke vlasti i Evropska komisija pripremili su pravni okvir sa ciljem maksimiziranja učešća privatnog sektora u realizaciji projekata saobraćajne infrastrukture. Slične odredbe su napravljene i u okviru sledećeg okvira u ranim 2000-tim i, od nedavno, u okviru Nacionalnog strateškog plana koji je realizovan u periodu 2007 - 2013.

Implementacija JPP u sektoru saobraćaja karakteriše mali broj kapitalnih projekata dodeljenih u dva talasa [19]. Prva grupa projekata je dodeljena kasnih 1990-tih i obuhvata Međunarodni aerodrom u Atini, atinski prsten Attica Tollway, i most Rio-Antirio. Druga grupa projekata je dodeljena u periodu 2007-2008 i uključuje tzv. puteve "ose razvoja": autoput Maliakos-Kleidi (Aegean Motorways), Elefsina-Korint-Patra-Tsakona (Olympia Odos), autoput Antirio-Ioannina (Ionia Odos), autoput u centralnoj Grčkoj (autoput E65), i autoput Korint-Tripoli-Kalamata (Moreas). Koncesija za terminal u luci Pirej je takođe dodeljena u drugom talasu. Autoput Egnatia Odos, koji povezuje istočni i zapadni deo severne Grčke, je jedini autoput u poslednjih nekoliko godina koji je realizovan iz budžeta.

Uticaj finansijske krize na JPP projekte u saobraćajnom sektoru u Grčkoj je značajan [19]. Prihodi od projekta su značajno opali usled smanjenja saobraćajne potražnje, a korisnici su pokazali značajnu elastičnost u odnosu na visinu putarine. Obzirom da se koncesije u Grčkoj uglavnom baziraju na sistemu naplate putarine direktno od korisnika, projekti koji su u fazi implementacije su se suočili sa problemima u servisiranju svojih dugova. Projekti koji su u fazi izgradnje su morali da prekinu građevinske radove jer je značajan deo budžeta za izgradnju planiran od prihoda sa postojećih deonica sa naplatom putarine. Koncesije su bile predmet pregovora sa grčkom vladom. U aprilu 2013., objavljeni su uslovi novog okvira koji je uključivao smanjenje ugovorenog obima, povećanu finansijsku pomoć javnog sektora, kao i isplatu odštetnih zahteva.

Koncesija Olympia Odos je autoput koji se nalazi na severu Peloponeza (Slika 1) [20]. Dužina autoputa je oko 365 km i sastoji se od četiri deonice koja su mešavina "brownfield" deonica i novih deonica [21,22]:

- Deonica Elefsina - Korintos je postojeća deonica autoputa u dužini od 63,6 kilometara. PGDS je 30.000 vozila po pravcu. Postojeći poprečni presek ima 3 saobraćajne trake i jednu traku

za interventna vozila, nekoliko tunela ukupne dužine 4.5 km i dve naplatne rampe, Elefsina i Istmos, koje su planirane za potpunu rekonstrukciju kako bi odgovarale važećim propisima;

- Deonica Korintos-Patra je postojeći put sa lošim geometrijskim karakrestikama i visokom stopom saobraćajnih nezgoda. Dužina deonice je 120 km. PGDS varira od 7.500 do 11.000 vozila po pravcu sa visokim sezonskim varijacijama (u toku letnje sezone) do 30.000 vozila po pravcu. Nova deonica autoputa planirana je da se izgradi duž starog puta;
- Deonica obilaznice oko Patre je postojeća deonica puta sa dve saobraćajne trake i jednom trakom za interventna vozila po smeru. Dužina je 18,3 km i obuhvata niz tunela ukupne dužine 4.7 km. PGDS je oko 8.000 vozila po pravcu sa sezonskim varijacijama do 15.000 vozila po pravcu. Putarina se ne naplaćuje na ovoj deonici za vreme trajanja koncesije. Planirana je rekonstrukcija sa ciljem ispunjenja važećih propisa za autoputeve;
- Deonica Patra-Pirgos-Tsakona je potpuno nova deonica dužine 163.3 km. Nova deonice autoputa je planirano je da se izgradi duž starog puta.



**Slika 1.** Mapa Olympia Odos

(Izvor: <http://en.academic.ru/dic.nsf/enwiki/10915063>, pristupljeno 23.03.2015.)

Projekat Olympia Odos je započet pre 1998. godine [20], a poziv za predkvalifikacije je objavljen 2001. Usledio je poziv ponuđačima za podnošenje ponuda 2006. godine. Ukupan budžet za projekat je bio € 2.2 milijardi koji je obuhvatio projektovanje i izvođenje radova, finansiranje, i operativne troškove za vreme izvođenja radova. Finansiranje je strukturirano na sledeći način: kapital akcionara € 160 miliona; dug € 1,140 miliona, od kojih je € 990 miliona dug sa rokom otplate od 13 godina [23]; državni i EU fondovi € 500 miliona; i putarine dobijene od postojećih deonica sa očekivanim prihodom od € 400 miliona. Trajanje koncesije je 30 godina. Finansijski aranžman je postignut 2008. godine, a izgradnja je bila planirana da bude završena u 2014. Građevinski radovi su bili podeljeni u dve faze: prva faza za izgradnju deonice Korintos-Patras 3,5 godine, a druga faza je planirana još 2,5 godine za izgradnju deonice Patra-Pirgos-Tsakona [22]. U toku ugovaranja, državni dug Grčke je imao rejting AA [20].

Obzirom da neke od potrebnih informacija za model nisu mogle da se preuzmu iz literature, nekoliko ulaznih podataka, tj. njihove vrednosti su pretpostavljene. Poziv za podnošenje ponuda je objavljen 2006. godine, tako da je pretpostavljeno da je godina izrade prethodne studije opravdanosti bila 2005. godina. Operativni troškovi su usvojeni da se sastoje iz dva segmenta: procenat od troškova izgradnje  $p = 10\%$  i troškovi transakcije po vozilu  $q = € 0.05$ . Troškovi održavanja su procenjeni pomoću modifikovane formule preuzete od Heggie [17]. Rast saobraćaja je usvojen na osnovu predviđene prosečne godišnje stope rasta BDP-a za



za period od 2001. do 2020. godine koja je 3,8% [24]. U ovoj studiji slučaja usvojeno je da je stopa rasta saobraćaja 4%. Na osnovu stope inflacije za period 2004-2005, usvojena stopa inflacije je 3% [25]. Stopa PDV-a u 2005. godini iznosila je 19% [26], a porez na dobit za preduzeća je 32% [27]. Pošto je rejting bio AA u toku perioda ugovaranja, usvojena je nominalna kamatna stopa od 6%. Usvojen je grejs period od 2 godine.

Početni  $PGDS$  je proračunat kao udeo  $PGDS$ -a svake deonice uprosečen prema ukupnoj dužini autoputa:

$$PGDS_0^{av} = \frac{\sum_{i=1}^4 PGDS_i * L_i}{L}$$

gde je  $PGDS_0^{av}$  prosečan početni saobraćaj,  $PGDS_i$  je prosečan godišnji dnevni saobraćaj na svakoj deonici,  $L_i$  je dužina deonice izražena u kilometrima, i  $L$  je ukupna dužina autoputa u kilometrima. Realizovan  $PGDS_i$  je određen na osnovu brojanja saobraćaja na naplatnim rampama kada je projekat pušten u saobraćaj [28]. Ipak, koncesionar je prijavio pad u obimu saobraćaja od 30% u poređenju sa saobraćajnim prognozama [29]. Dakle,  $PGDS$  korišćen u modelu je povećan kako bi izražavao projektovane vrednosti, tj. vrednosti sa kojima se ušlo u proračun finansijske opravdanosti.  $PGDS_0^{av}$  je usvojen kao 39,300 vozila po danu, i pretpostavljena volatilnost saobraćaja kroz vreme je 0.2. Početni saobraćaj je usvojen kao deterministička vrednost obzirom da za tri deonice od ukupno četiri ima podataka o saobraćaju, tj. tri deonice su "brownfield".

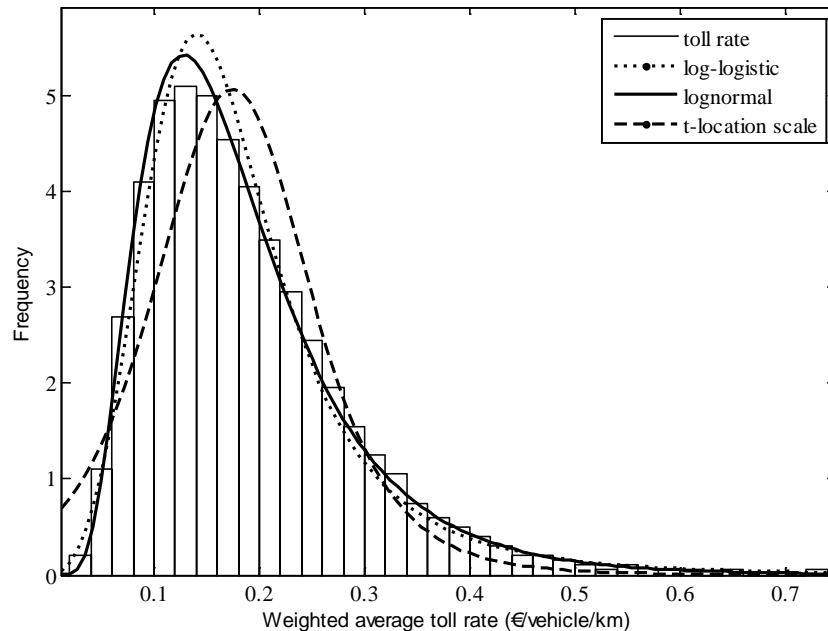
Varijacije u proceni troškova izgradnje, na osnovu podataka iz literature, su primenjene u ovoj studiji slučaja. Bazirajući se na Flyvbjerg et al. i Cantarelli et al. [14,30], prosečna eskalacija troškova usvojena za ovu studiju slučaja je 20% sa standardnim devijacijom od 30. Prema tome, troškovi izgradnje su slučajna promenljiva sa normalnom raspodelom sa srednjom vrednošću od €2,64 milijardi i standardnom devijacijom od €0,66 milijardi. Na osnovu obavljenih razgovora sa stručnjacima, usvojena su sledeća finansijska ograničenja: godišnji racio pokrića duga je 1.2, interna stopa rentabiliteta projekta je 0.12 i interna stopa povraćaja uloženog kapitala je 0.16. Tabela 1 predstavlja pregled ulaznih vrednosti sa naznakom da li je vrednost pretpostavljena ili usvojena iz literature.

**Tabela 1.** Pregled ulaznih vrednosti za studiju slučaja Olympia Odos (bazna godina 2005)

<b>A. Parametri projekta</b>	<b>Naznaka*</b>
Trajanje koncesije = 30 godina	L
Ukupna investicija = €2,640 milijardi	L
Standardna devijacija ukupne investicije = €0.66 milijardi	P
Period izgradnje = 6 godina	L
Distribucija radova u toku perioda izgradnje: prva godina 15%, druga godina 20%, treća godina 20%, četvrta godina 15%, peta godina 20%, šesta godina 10%	P
$PGDS_0^{av} = 39,300$ vozila po danu	L
Standardna devijacija $PGDS$ -a = 0.2	P
Rast saobraćaja = 4%	L
Broj traka = 4	L
Dužina autoputa = 365km	L
Uloženi kapital = 7% od ukupne investicije	L
Udeo države u ukupnim troškovima = 41% od ukupne investicije	L
Inflacija = 3% godišnje	P
Porez na dodatu vrednost (PDV) =19%	L
Porez na dobit = 32%	L
<b>B. Struktura duga</b>	
Nominalna kamatna stopa = 6% godišnje	P
Tip otplate = godišnji anuiteti (osnovica + kamata = konstantno)	P
Grejs period= 2 godine	P
Period otplate = 13 godina	L
<b>C. Finansijska Ograničenja</b>	
Finansijska interna stopa rentabiliteta projekta $\geq 12\%$	P
Interna stopa povraćaja uloženog kapitala $\geq 16\%$	P
Godišnji racio pokrića duga $\geq 1.2$	P

\*L-vrednosti preuzete iz literature, P-pretpostavljene vrednosti

Broj generisanih vrednosti obima saobraćaja tokom vremena i troškova izgradnje je  $n = 1.000$ , a broj simulacija za proračun visine putarine je  $r = 1.000$ . Generisani podaci vektora visine putarine  $T_r^{fin}$  su podeljeni ukupnom dužinom projekta ili, u ovom slučaju, dužinom projekta na kom se naplaćuje putarina. Za studiju slučaja Olympia Odos to je ukupno 346,7 km tako da podaci predstavljaju ponderisane prosečne cene putarine izražene u € po vozilu po kilometru. Histogram visine putarine je prikazan na slici 2. Tri raspodele su izabrane na osnovu njihove podudarnosti sa podacima: lognormalna, log-logistička i t-raspodela. Njihove funkcije gustine verovatnoće su takođe prikazane na slici 2.



**Slika 2.** Histogram rezultata i funkcije gustine verovatnoće za Olympia Odos

Tabela 2 predstavlja prikaz ocene parametara za izabrane raspodele. Log likelihood value ima najvišu vrednost za lognormalnu raspodelu, ukazujući na najbolju podudarnost.

**Tabela 2.** Ocene parametara za putarine izabranih raspodela za Olympia Odos (€/voz-km)

Raspodela	Srednja vrednost	Std. greška	Varijansa	Std. greška	Log likelihood
log-logistička	0.192	0.016	0.015	0.008	1054.43
Lognormalna	0.188	0.016	0.010	0.011	1065.01
t-raspodela	0.174	0.003	0.009	0.009	969.49

Izabrane raspodele su takođe testirane primenom testa stepena podudaranja i korišćenjem hi-kvadratnog testa i Kolmogorov-Smirnov testa. Nulta hipoteza je da vektor sa podacima  $T_r^{fin}$  odgovara izabranoj raspodeli. Testiranje da li se nulta hipoteza prihvata ili odbacuje je urađena na nivou značajnosti od 5%. Rezime rezultata je predstavljen u tabeli 3.

**Tabela 3.** Rezime rezultata testiranja stepena podudaranja za Olympia Odos

Raspodela	Hi-kvadratni test	p-vrednost	Kolmogorov-Smirnov test	p-vrednost
log-logistička	Odbacuje se	0.0128	Prihvata se	0.8512
Lognormalna	Prihvata se	0.7136	Prihvata se	0.9917
t-raspodela	Odbacuje se	1.117e-13	Odbacuje se	0.0002

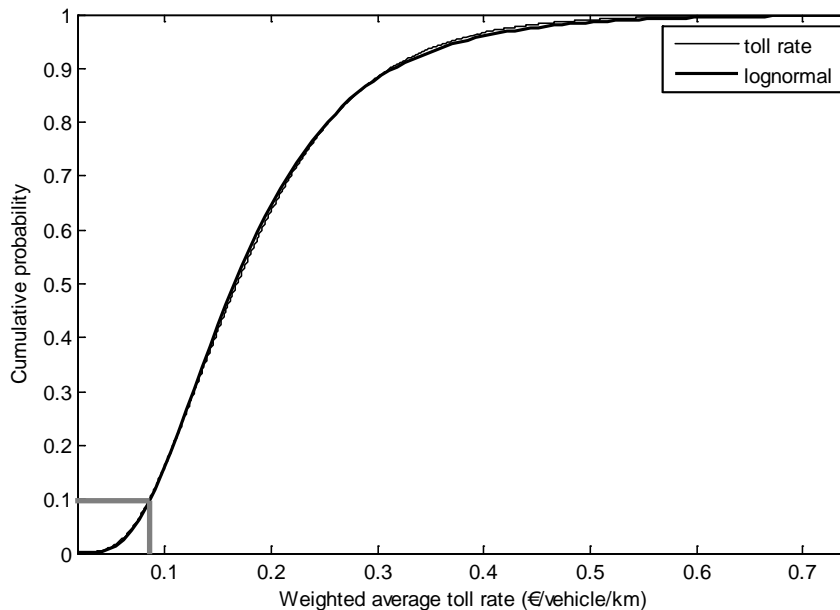
Na osnovu prikazanih rezultata, lognormalna raspodela je izabrana za dalju analizu. Srednja vrednost lognormalne raspodele u stvari predstavlja procenu prosečne ponderisane cene putarine  $wa_t$ , od €0.188 po vozilu po kilometru. Dobijena srednja vrednost  $wa_t$  je upoređena sa realnom visinom putarine koja se

naplaćuje na Olympia Odos. Putarine koje se naplaćuju korisnicima su definisane po kilometru i svake godine se povećavaju prema uslovima iz ugovora o koncesiji [31]. Cena po kilometru je postavljen na € 0.04 po kilometru za automobile, bez PDV-a, za baznu 2003. godinu. Pretpostavlja se da putnički automobili imaju najveći udeo u ukupnom saobraćaju, mada se može očekivati da i kamioni takođe značajno učestvuju u saobraćaju obzirom da je Patra velika luka koji povezuje Grčku i Italiju. Odnos između visine putarine za četiri kategorije vozila je izračunat na osnovu visine putarine koja se naplaćuje na naplatnim rampama [32]. Tabela 4 predstavlja rezime analize i poređenje visine putarine koja je definisana 2003. godine i izračunate srednje vrednosti visine putarine na osnovu stohastičkog modela.

**Tabela 4. Poređenje  $wat_r$  za studiju slučaja Olympia Odos**

	I Motori	II Vozila sa ili bez prikolice visine do 2,20 m	III Vozila sa ili bez prikolice sa dve ili tri osovine i visine do 2,20 m	IV Vozila sa ili bez prikolice sa četiri ili više osovine i visine preko 2,20m
Pretpostavljena struktura saobraćaja	2%	70%	2%	26%
Odnos između visine putarine po kategorijama vozila	0.7	1	2.5	3.5
Prosečna ponderisana cena putarine $wat_r$ , €/voz/km (prognozirana, bez PDV-a, bazna godina 2003)	0.082			
Prosečna ponderisana cena putarine $wat_r$ , €/voz/km (srednja vrednost, bez PDV-a, bazna godina 2005)	0.188			

Kao što se može uočiti, početna visina putarine planirana za koncesiju Olympia Odos je manja od srednje vrednosti dobijene simulacijom stohastičkog modela. Za dati skup ulaznih vrednosti, raspodela visine putarina pokazuje da postoji verovatnoća od 0,5 da je prosečna ponderisana cena putarine od 0.188 € po vozilu finansijski dovoljna, za pretpostavljene rizike saobraćajnog opterećenja i troškova izgradnje. Visina putarine za automobile, proračunata iz modela, je €0.112 po vozilu, što je 2,24 puta više nego usvojena visina putarine za putnička vozila od €0.050 (sa PDV-om) koja je utvrđena pre nego što je koncesija otvorena za saobraćaj. Slika 3 predstavlja kumulativnu raspodelu vektora visine putarine  $T_r^{fin}$  i izabranu lognormalnu raspodelu.



**Slika 3. Kumulativna raspodela visine putarine za Olympia Odos sa predefinisanom putarinom**

U sledećem koraku, socijalno prihvatljiva visina putarine je upoređena sa usvojenom raspodelom. Drugim rečima, određena je verovatnoća da će socijalno prihvatljiva visina putarine biti i finansijski dovoljna. U ovom slučaju, visina putarine usvojena u ugovoru je upoređena sa vrednostima putarine izabrane lognormalne raspodele. Verovatnoća da zadata ponderisana prosečna visina putarine je finansijski dovoljna uzimajući u obzir pretpostavljene rizike iznosi 0,1 (siva linija na slici 4). Ovaj rezultat danas i nije iznenađujuću obzirom da je projekat već predmet pregovaranja sa vladom usled realizacije nekih od rizika (smanjeni obim saobraćaja, suprostavljanje korisnika naplati putarine, itd).

U vreme kada je projekat ugovaran, ekonomska situacija u Grčkoj je bila značajno drugačija, sa drugačijim ekonomskim i finansijskim okruženjem. Iako je vlada obezbedila značajne subvencije za projekat, finansijska kriza je izazvala opštu nestabilnost u zemlji koja je za rezultat imala pad saobraćajne potražnje i smanjenje spremnosti korisnika da plaća uslugu za korišćenje autoputeva. Rezultati su pokazali da čak i kada je projekat podržan sa direktnom investicijom koja pokriva značajne kapitalne troškove, projekat je finansijski neodrživ u svojoj operativnoj fazi zbog smanjenja saobraćaja, tj. usled realizacije rizika saobraćaja.

## 5. ZAKLJUČAK

Danas je poznato da dugoročni ugovori i obaveze koje proizilaze iz tih ugovora su predmet brojnih rizika koji su dinamičan u svojoj prirodi. Neki od njih mogu imati veliki uticaj na projekat, kao što je npr. svetska finansijska kriza imala značajan uticaj na ekonomsku i finansijsku stabilnost Grčke i samim tim i projekte u zemlji. Pouka koja se može naučiti iz ove studije slučaja je da postojeći procesi procene rizika treba da se nadgrade i obuhvate razvijenije modele, kao što su stohastički modeli, koji su u mogućnosti da realnije prikažu različite realizacije rizika tokom vremena. Ovo omogućava bolje razumevanje dinamičkog ponašanja projekta tokom vremena za sve zainteresovane strane i omogućava blagovremeni razvoj odgovarajućih strategija upravljanja rizicima.

Primenjeni model, kao što je prikazano, može da opiše nesigurnosti i pruži važne informacije o ponašanju projekta pod različitim okolnostima. Makroekonomske neizvesnosti je teško prikazati i obuhvatiti na nivou jednog projekta, ali stohastički pristup kao model realizacije saobraćaja tokom vremena može biti dobar pristup za prikaz sistemskih rizika. Ekstremni događaji koji su izvan okvira upravljanja projektom mogu se opisati čak i u ranim fazama razvoja projekta. Ova informacija je važna u procesu blagovremene identifikacije potencijalnih rizika i omogućava pravovremeni razvoj odgovarajuće strategije za upravljanje rizikom.

Ako je JPP projekat odobren, ali se rizici ne procenjuju i ne analiziraju čak i u ranim fazama razvoja projekta, slika uspeha projekta koja se stiče nije realna i može navesti donosiocima odluka na kontroverzne odluke. Čak i ako je realizacija projekta podržana državnim subvencijama, projekat može biti ugrožen i operativno i finansijski usled realizacije rizika. Pravovremene i razumljive informacije o potencijalnim scenarijima rizika su ključne u podizanju svesti kod donosioca odluka i ključnih učesnika o mogućim skupim promašajima.

### Literatura

- [1] Federal Highway Administration (FHWA) (2013a). P3-Value: Public Sector Comparator Tool User Manual. Innovative Program Delivery, U.S. Department of Transportation.
- [2] World Bank and Public-Private Infrastructure Advisory Facility (PPIAF) (2009). *Toolkit for PPP in roads and highways*. World Bank, Washington D.C., USA, available at: <http://www.ppiaf.org/ppiaf/sites/ppiaf.org/files/documents/toolkits/highwaystoolkit/index.html> [12.02.2014]
- [3] World Bank (2008). *Matrix of Risks Distribution – Roads*. PPP in Infrastructure Resource Center for Contracts, Laws and Regulations (PPPIRC), World Bank Group, Washington, D.C., USA, available at: [http://ppp.worldbank.org/public-private-partnership/sites/ppp.worldbank.org/files/documents/roadriskmatrix\\_1.pdf](http://ppp.worldbank.org/public-private-partnership/sites/ppp.worldbank.org/files/documents/roadriskmatrix_1.pdf) [07.05.2012.].
- [4] Federal Highway Administration (FHWA) (2013b). Public Private Partnerships, Innovative Program Delivery, U.S. Department of Transportation. available at: <http://www.fhwa.dot.gov/ipd/p3/defined/> [14.01.2014.]
- [5] Beaty, C., and Lieu, H. (2012). *Development of an Early-Stage Toll Revenue Estimation Model*. UTCM project #09-22-02, Texas Transportation Institute, College Station, TX, USA.

- [6] Government of India (2010). *PPP Toolkit for Improving PPP Decision-Making Processes*. Public Private Partnerships in India, Department of Economic Affairs, Ministry of Finance, Government of India. available at: <http://toolkit.pppinindia.com/> [16.02.2014.].
- [7] Hirschman, I., McKnight, C., Pucher, J., Paaswell, R.E., and Berechman, J. (1995). "Bridge and tunnel toll elasticities in New York: some recent evidence." *Transportation*, 22(2), 97-113.
- [8] Matas, A., and Raymond J.L. (2003). "Demand Elasticity on Tolled Motorways." *Journal of Transportation and Statistics*, 6(2/3), 91-108.
- [9] Chow, J. Y. J., and Regan, A. (2009). "Real option pricing of continuous network design investment." *Transportation Research Board 88th Annual Meeting*, Compendium of Papers DVD, Washington D.C.
- [10] Galera, A.L.L., and Soliño, A.S. (2010). "A real options approach for the valuation of highway concessions." *Transportation Science*, 44(3), 416-427.
- [11] Soliño, A.S., and Galera, A.L.L. (2012). "Unit root analysis of traffic time series in toll highways." *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 6(12), 1641-1647.
- [12] Molenaar, K.R. (2005). "Programmatic cost risk analysis for highway megaprojects." *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(3), 343-353.
- [13] Touran, A. (1993). "Probabilistic cost estimating with subjective correlations." *Journal of Construction Engineering and Management*, 119, 58-71.
- [14] Flyvbjerg, B., Holm, M.K.S., and Buhl, S.L. (2003). "How common and how large are cost overruns in transport infrastructure projects?" *Transport Reviews*, 23(1), 71-88.
- [15] Peng, W., Cui, Q., and Chen, J. (2014). "An Option Game Model for Optimizing Concession Length and Public Subsidies on Public-Private Partnerships." *Transportation Research Board 93rd Annual Meeting*, Compendium of Papers DVD, Washington D.C.
- [16] Federal Highway Administration (FHWA) (2013c). *P3-Value: Risk Assessment Tool User Manual*. Innovative Program Delivery, U.S. Department of Transportation.
- [17] Heggie, I.G. (1995). *Management and Financing of Roads: An Agenda for Reform*. World Bank, Technical Paper No. 275, Washington D.C.
- [18] Montgomery, D.C., and Runger, G.C. (2007). *Applied Statistic and Probability for Engineers: Fourth edition*. John Wiley & Sons, N.J.
- [19] Roumboutsos, A. (2013). "Greece" COST Action TU1001 Public Private Partnerships in Transport: Trends & Theory (P3T3), 2013 Discussion Papers, Part II: Country Profiles, ed. K. Verhoest, N. Carbonara, V. Lember, O. H. Petersen, W. Scherrer, M. van den Hurk, COST Office.
- [20] Roumboutsos, A., and Nikolaidis, N. (2013). "Olympia Odos Motorway, Greece." COST Action TU1001 Public Private Partnerships in Transport: Trends & Theory (P3T3), 2013 Discussion Papers, Part II: Case Studies, ed. A. Roumboutsos, S. Farrell, C. L. Liyanage and R. Macário, COST Office.
- [21] Koklas, G., Papandreou, K., and Handanos, Y. (2011). "Access Management at Peak Hours on an Interurban Corridor under Construction. The case of `Korinthos-Patra` Section of Olympia Odos." Proceedings of 1<sup>st</sup> International Conference on Access Management, 15-17 Jun, Athens, Greece.
- [22] Akademski rečnik i enciklopedija, Olympia Odos, available at: <http://en.academic.ru/dic.nsf/enwiki/10915063> [23.03.2015.]
- [23] Ferron-Hugonnet, E. (2008). "VINCI Has Completed the Financing of the Athens-Tsakona Motorway Concession, the Largest Ever Won by the Company Outside France". Business Wire. available at: [http://www.businesswire.com/portal/site/google/?ndmViewId=news\\_view&newsId=20080807005997&newsLang=en](http://www.businesswire.com/portal/site/google/?ndmViewId=news_view&newsId=20080807005997&newsLang=en) [24.03.2015.]
- [24] TEN-STAC (2004). "Traffic, Bottlenecks and Environmental Analysis on 25 Corridors." D6 Deliverable Part I, Scenarios, Traffic Forecasts and Analysis of Corridors on the Trans-European Network.
- [25] Worldwide Inflation Data (2015). *Inflation Greece 2005*. available at: <http://www.inflation.eu/inflation-rates/greece/historic-inflation/cpi-inflation-greece-2005.aspx> [24.03.2015.]
- [26] Living in Greece (2010). available at: <http://livingingreece.gr/2010/07/01/vat-fpa-taxes-greece/> [24.03.2015.]

- [27] Trading Economics (2015). available at: <http://www.tradingeconomics.com/greece/corporate-tax-rate> [24.03.2015.]
- [28] Musso, A., Godard, G., Lapeyre, A., Papandreou, K., Piccioni, C., and Tozzi, M. (2013). "The Impact of Fuel Price Changes on Traffic Demand: the Case of a Greek Motorway Corridor." 13<sup>th</sup> the World Conference on Transport Research - WCTR, July 15-18, Rio de Janeiro, Brazil.
- [29] Lambropoulos, S., Petroutsatou, K., and Trezou, S. (2012). "Greek Motorway Concession Contracts in Progress under Financial Stress: a Rebalancing Proposal." *Transport Research Arena 2012*, 48, 2150-2158, 23-26 April, Athens, Greece.
- [30] Cantarelli, C.C., Flyvbjerg, B., and Buhl, S.L. (2012). "Geographical Variation in Project Cost Performance: The Netherlands versus Worldwide." *Journal of Transport Geography*, 24, 324-331.
- [31] Olympia Odos (2015a). "Tolls." available at: <http://www.olympiaodos.gr/EN/index.php?ID=tolls> [26.03.2015.]
- [32] Olympia Odos (2015b). "FAQ: Will toll prices increase? How much? When?" available at: <http://www.olympiaodos.gr/EN/index.php?ID=faq> [27.03.2015.]

# RISK QUANTIFICATION IN TOLL ROAD PUBLIC PRIVATE PARTNERSHIPS

**Nevena Vajdic**

*Airport Nikola Tesla, Belgrade, nevena.vajdic@gmail.com*

**Goran Mladenovic**

*Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, emladen@imk.grf.bg.ac.rs*

**Cesar Queiroz**

*Consultant, queiroz.cesar@gmail.com*

**Abstract:** *Private participation in the delivery of toll road projects has been used worldwide. It is a model which incorporates private sector knowledge and experience in the management of highway projects as well as the mobilization of private capital through Public-Private Partnerships (PPP). One of the most prevailing characteristics of PPP projects is risk sharing between the public and the private partner. Risk quantification and corresponding evaluation of project's financial soundness, a crucial factor for the private sector involvement, represents the basic underlying process during the project's development until the project reaches financial closure.*

*This paper presents a model for an early quantification of project's risks for PPP toll road projects. This approach takes into account predefined financial constraints ADSCR, IRR and ROE on one side, and project's uncertainties such as traffic volumes, construction costs and operation and maintenance costs on the other side. Model calculates toll rates needed to fulfill financial constraints. Results provide the range of toll rates covering possible risks scenarios. These results can serve as a basis for a comparative analysis of the socially acceptable toll rate, assuming it is known, and the financially required toll rate. It is anticipated that the early identification of the possible gap between these two values represents valuable information for all parties involved in the project. This gap helps in the identification of the need for additional financial instruments such as guarantees or subsidies in order to implement a project that is acceptable for the private and the public partners, equity investors, lenders and users.*

**Key words:** *toll rates, public-private partnership, financial analysis.*

# ZAŠTITA DRUMSKIH SAOBRAĆAJNICA U USLOVIMA SPOLJAŠNJIH DESTRUKTIVNIH UTICAJA

**Žarko Grujić<sup>1</sup>**

*Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka*

**Doc. dr Igor Jokanović, dipl.građ.inž.**

*Univerzitet u Novom Sadu, Građevinski fakultet Subotica, Subotica*

**Dragana Zeljić, dipl.građ.inž.**

*Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka*

**mr Bojana Grujić, dipl.građ.inž.**

*Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka*

**Rezime:** *Bezbjednost drumskog saobraćaja podrazumijeva primjenu tehničkih mjera kojima se usklađuju međusobni odnosi učesnika u odgovarajućim uslovima vozne dinamike i prohodnosti. Intenzivni uticaji bez izražene zakonitosti djelovanja u dužem vremenskom periodu, kojima se značajno degradira ili potpuno uništava drumska saobraćajnica, ne spadaju u navednu kategoriju dimenzionisanja prema uslovima dinamike. Namjerom izazvani incidenti na kritičnim tačkama drumске saobraćajnice (teroristički napad), dejstvo požara u manevarski ograničenom prostoru, nepravilno upravljanje različitim vidovima prevoznih sredstava su mogući destruktivni uzročnici. Projektovanje i kontrola saobraćajne infrastrukture u pomenutom okruženju zahtijeva pristup koji objedinjuje dizajn, tehničku funkcionalnost i psihološki prihvatljiva rješenja od strane korisnika. Prema intenzitetu potencijalne štete se određuje i nivo zaštite objekta, a time i obim ulaganja.*

**Ključne reči:** *sigurnost, incidentna opterećenja, napad, nadzor saobraćajnice*

## 1. UVOD

Današnja bezbjednosna slika svjetske scene prati obrazac prisutan kroz cjelokupno postojanje civilizacije. Želja jednih za uspostavljanjem dominacije, nametanjem ideologije, osvajanjem teritorija i resursa neminovno dovodi do protivljenja onih prema kojima je usmjerena. U takvom stanju sukobi predstavljaju nezaobilazan faktor na koji je potrebno računati i planirati korake razvoja i zaštite države. Zone sukoba same po sebi predstavljaju područje gdje se kvalitet života u potpunosti degradira i kao takve imaju jasnu odrednicu neprestane opasnosti.

Trenutni problem nije samo u velikom broju sukoba skoncentrisanih na međusobno nezavisnim lokacijama, već težnja za njihovim širenjem na oblasti koje sa izvornim sukobom nemaju nikakve veze. Najčešći vid jesu teroristički napadi, sabotaze i podmetanje požara, ali se u tako ciljanim područjima opasnosti ipak ne mogu karakterisati kao konstantan oružani sukob. Ideja povremenog djelovanja ima za cilj da demilitarizovane zone učini nesigurnim za život, što zbog vremenske i prostorne neujednačenosti može stvoriti ogroman psihološki pritisak na stanovništvo i rad državnog aparata.

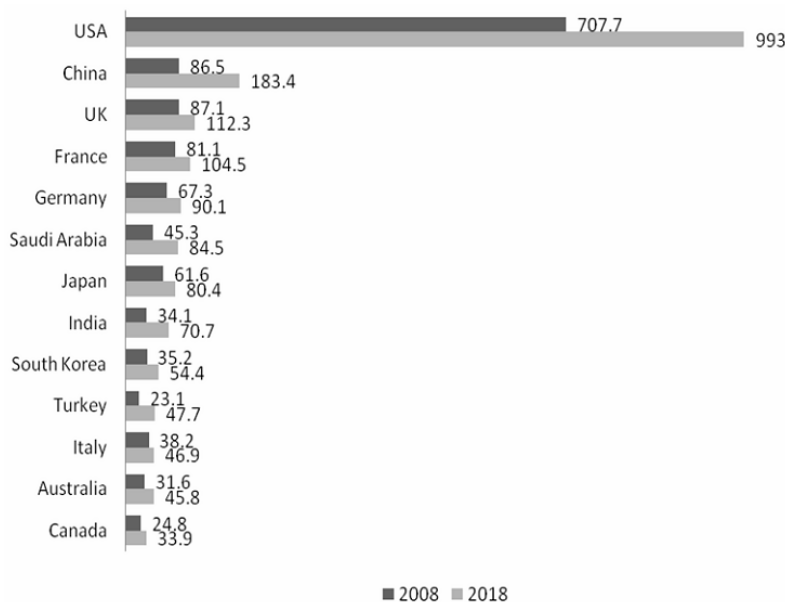
Pojedinačni napadi zbog relativno male udarne moći imaju ograničen obuhvat djelovanja. Cilj takvih napada u prvom redu i ne mora da bude veliki nivo destrukcije koliko izazivanje straha i objava prisustva neprijateljskih elemenata. "Značaj" djelovanja se višestruko povećava izborom cilja. Objekti kojima se obezbjeđuje funkcionisanje društvenih sistema ili nekog njegovog dijela u pogledu administracije, zdravstva, bezbjednosti, ekonomije, energetskog sektora, saobraćaja, komunikacija predstavljaju izuzetno pogodnu ciljnu grupu za terorističko djelovanje i kao takvi označavaju pojam kritične infrastrukture. Kako su ovi podsistemi obično oslonjeni jedni na druge, narušavanjem bilo koje od poluga javlja se zastoj ili blokada u radu ostalih. U cilju povećanja sigurnosti i obezbjeđivanja većeg stepena zaštite, neophodno je u sve društvene aktivnosti ugraditi mjere koje se direktno suprodstavljaju navedenim destruktivnim faktorima ili svojim prisustvom indirektno utiču na odvrćanje opasnosti.

U svjetlu novog razvoja situacije na polju bezbjednosti, ekonomski razvijene zemlje pokazuju tendenciju zaštite svoje infrastrukture kroz ulaganja u preventivne mjere zaštite. Na slici 1 je prikazan obim izdvojenih i planiranih sredstava u razvijenim zemljama za vremenski period od deset godina [1].

---

<sup>1</sup> Žarko Grujić: zgrujic@agfbl.org





Slika 1. Uložena sredstva za zaštitu kritične infrastrukture (US\$ 10<sup>6</sup>)  
Izvor: Škero, M., Atelević, V. (2015)

## 2. SAOBRAĆAJNA INFRASTRUKTURA KAO DIO KRITIČNE INFRASTRUKTURE

Protok ljudi i robe čini dobar temelj u razvoju i jačanju društva, uokvireno unutar državnih granica ili gledano na globalnom nivou. Važnost saobraćaja definisana je i kroz Direktivu Savjeta Evrope 2008/114/ES [2]. Prema ovom dokumentu, objekti kritične infrastrukture prisutni su između ostalog i u sektoru transporta koji je podijeljen na podsektore: drumski, željeznički, vazdušni, transport unutrašnjim plovnim putevima, prevoz okeanom i morima. Pripadnost nekog od sektora kritičnoj infrastrukturi ne podrazumijeva automatski da je kompletno njegovo gradivno tkivo uključeno u ovu definiciju. Zadatak državnih institucija koje se bave sigurnošću, ali i upravljača pojedinačnih sektora, jeste identifikovanje onih segmenata koji su ključni za funkcionisanje i mogu predstavljati potencijalni cilj. To svakako treba da budu mjesta čijim se ispadanjem iz sistema gubi na funkcionalnosti ili izaziva potpuni zastoj, kako jednog sektora tako i države u cjelini. Međusobna isprepletanost djelovanja više sektora nameće potrebnu određivanja nivoa zastupljenosti jednog unutar drugog i doprinos u njegovom funkcionisanju. Ovim usklađenjem bi se definisale i nadležnosti upravljača i granice djelovanja. Obim intervencija je relativan u zavisnosti od važnosti objekata.

Osim značaja za državu, njena infrastruktura može biti dio i internacionalne mreže. Objekti uključeni u takav vid međunarodnih veza podliježu posebnim pravilima, usklađenim odgovarajućim ugovorima. Kroz ugovore je definisan prioritet i težnja svih potpisnika za ostvarivanjem zajedničke koristi. Razuđenost infrastrukture u većem broju država zahtijeva usklađivanje sa odredbama ugovora. Nacionalne strategije upravljanja i zaštite je potrebno prilagoditi specifičnosti zahtjeva novih funkcija.

Saobraćajna mreža je najbolji primjer funkcionisanja u više nivoa. Putni pravci, značajni za međunarodni transport, u hijerarhiji upravljanja biće iznad domaćih što uz sebe povlači i veću opasnost od ljudskog faktora izazivanja nesreće. Kao takvi čine prvu stepenicu pri definisanju objekata uključenih u kritičnu infrastrukturu. U zavisnosti od ekonomskog značaja države i njene uloge u međunarodnim konfliktima variraće i stepen rizika na unutar državnoj mreži i putevima nižeg reda. Dobra medijska pokrivenost i brz protok informacija, ponekad nekontrolisan i neprovjeren, učiniće da i nezgode manjih razmjera ostvare veliki učinak na opštu nestabilnost i narušavanje normalnih društvenih procesa.

Specifičnost saobraćajnica, i linijskih objekata uopšte, je nemogućnost sagledavanja lokacije iz perspektive prisustva na terenu, a u vremenu prihvatljivom za reagovanje na opasnost. Dominantna dužina uz sebe veže raznolik topografski sklop sa pozitivnim i negativnim sigurnosnim posljedicama. "Oblačenje" cijele dionice u bezbjedonosnu košulju svakako je najbolje, ali ne i najprihvatljivije rješenje. Glavni razlog neprihvatanja bi bio odnos utrošenih finansijskih sredstava naspram dobiti koja bi mogla biti ostvarena. Prihvatljivije rješenje je definisanje potencijalnih ciljnih zona kojima bi se posvetila posebna pažnja u procesu projektovanja ili naknadnog osiguranja na već postojećim objektima.

### 3. METODOLOGIJA ODREĐIVANJA KRITIČNIH OBJEKATA

Određivanje zone opasnosti na saobraćajnoj infrastrukturi sprovodi se kroz sveobuhvatnu analizu njenih pojedinačnih elemenata. Svaki objekat svojom konstrukcijom, izgledom, dostupnošću i važnosti u mreži ukazuje na potencijalno mjesto djelovanja što i čini polaznu osnovu za analizu. Tačna odrednica da li će, kada i kako biti iskorištene njegove mane ne postoji ni prema jednom pravilu. Ono što je u fazi preventivnog djelovanja moguće, jeste posmatranje ciljne zone iz ugla onoga ko želi da izvede napad kako bi se približnije predstavila slika na mjestima gdje su naznačeni parametri na niskom stepenu. Pozitivan efekat ovom pristupu daje to što je na strani upravljača poznavanje funkcija i mogućnosti infrastrukture, postojanje zaštite i način njenog djelovanja, ali i nesavršenosti koje prate funkcionisanje, odnosno eksploataciju.

Sučeljavanje svih negativnih uticaja koje je realno očekivati na nekom području sa mogućnostima infrastrukture da ih podnese bez značajnijih zastoja u radu i sa što manje štete, predstavlja osnovnu ideju u planiranju zaštite od rizika izazvanih ljudskim faktorom. Njena primjenljivost u realnom okruženju osigurava se kroz raščlanjivanje na ulazne faktore i pojedinačne osobine cilja. Ulaznim faktorima se smatraju svi potencijalni uzročnici destrukcije objekata, njihova rasprostranjenost, mogućnost djelovanja kroz različite oblike kao što su podmetanje eksplozivnih naprava i požara, napad projektilima, presjecanje staza evakuacije nakon izazvanog incidenta. Smještanjem navedenih parametara u realno okruženje pojavljuje se širok spektar mogućnosti na predmetnim objektima. Poredeći tako dobijene varijante razaranja sa posljedicama na postojećem stanju, moguće je uočiti stepen ranjivosti infrastrukture i obim sredstava koja je potrebno uložiti u njeno dovođenje na prvobitni nivo. Ljudske žrtve su svakako nemjerljiv gubitak koji ne spada u kategoriju izražavanja novčanim jedinicama. Ugrađivanjem preventivnih mjera na postojeće objekte, ili njihovom primjenom još u procesu projektovanja novih, te poređenjem sa prethodnom analizom dobija se odgovor u kojoj mjeri je moguće uticati na proces aktivnog djelovanja neprijateljski nastrojenih struktura. Usporedna analiza pruža uvid i u odnos uloženi sredstava u preventivno djelovanje naspram onih koje bi bilo potrebno uložiti za sanaciju nakon izvedenih napada.

Izlazni rezultat slijedi iz niza koraka kojima se opisuju pojedinačne zakonitosti i osobine branjenog sistema, onih faktora od kojih se taj sistem brani i na kraju rješenja kojima se poboljšava funkcionalnost. Organizovani su kroz:

- 1) Procjenu kritičnosti i atraktivnosti,
- 2) Procjenu ranjivosti,
- 3) Matricu zajedničkog uticaja i
- 4) Zaštitne mjere.

#### 3.1. Procjena kritičnosti i atraktivnosti

Procjena sigurnosti saobraćajnica, u odnosu na namjerno izazvane destruktivne uticaje, obavlja se na nivou mreže i pojedinačnih objekata u okviru jedne dionice. Drumske saobraćajnice svoju funkcionalnost ostvaruju preko čvorova i dionica mreže. Gradske sredine mogu se posmatrati kao čvorovi, ali i kao mreža u zavisnosti od hijerarhijskog nivoa naselja. U slučaju razmatranja infrastrukture na državnom ili međudržavnom nivou, gradovi imaju ulogu čvornih mjesta, dok na nivo mreže prelaze prilikom definisanja saobraćajnih veza između pojedinih gradskih zona. Procjena sigurnosti zahtjeva detaljan pristup čime se i gradovi predstavljaju svojom mrežom.

##### 3.1.1. Kritičnost

Putni pravci od značaja za državu, ili kao dio međunarodne mreže, predstavljaju prvi izbor korisnika u planiranju rute, a ujedno su i na vrhu hijerarhijske ljestvice. Održavanje njihove normalne prohodnosti i funkcija mreže prioritetan je zadatak upravljača, što je i indirektna meta terorističkih aktivnosti. Onesposobljavanjem jednog saobraćajnog koridora posljedice se lančano osjete na susjednim koji su prinuđeni da preuzmu njegovu ulogu. Kritičnost saobraćajnice definisana je mogućnošću ostatka mreže da nadomjesti funkciju nedostajućeg dijela sa što manje poremećaja.

Uticajna zona potencijalno kritičnog pravca, određena je brojem zamjenskih na koje je moguće preusmjeriti saobraćaj. Osim broja, na ocjenu kritičnosti utiče i nova dužina kojom je moguće savladati prvobitno planirani put na kojem se očekuje problem, kao i stanje kolovoza. Kako obično alternativa nema isti nivo usluge, uz dodatak preusmjerenog saobraćaja postojećem, javlja se osjetan pad ovog pokazatelja kvaliteta. Jasno je da se ovim povećavaju troškovi korisnika, a time i društva uopšte.

Sa porastom frekvencije vozila podiže se kritičnost saobraćajnice i to prema zavisnosti koja bi u uslovima u regionu mogla da se opiše sljedećim graničnim opterećenjima:

- PGDS preko 15000 vozila izuzetno kritične,
- PGDS od 12000 do 15000 kritične,
- PGDS manje od 12000 manje kritične.

Osim ukupnog broja vozila definisanog kroz PGDS, značajnu ulogu ima i procenat teških teretnih vozila kao i vozila za poseban transport. Ovaj vid prevoza pod posebnom je pažnjom zbog svojih fizičkih karakteristika koje je moguće iskoristiti u svrhu terorističkog djelovanja. Zbog toga se njihovo prisustvo sa više od 15% u PGDS-u tretira kao kritično [3].

### 3.1.2. Atraktivnost

Mjera "kvaliteta" izvedenog napada je obim štete i dužina trajanja otklanjanja posljedica. Preventivni korak definisanja precizne lokacije, zasnovan na ovim pretpostavkama, u prvi plan ističe mostove i tunele. Eventualna oštećenja zemljanih dijelova saobraćajnice (nasipi ili usjeci) u kombinaciji sa ograničenim radijusom dejstva, ne predstavljaju veliki problem za sanaciju. Specifičnost mostova i tunela su velika novčana ulaganja, dug vremenski period i komplikovana tehnologija gradnje, te oblik njihove konstrukcije kojima savladavaju raspon. Izbacivanjem iz funkcije nekog od ovih objekata, diskontinuitet saobraćajnice nije moguće prevazići bez obimnog angažovanja sva tri navedena parametra.

Međusobne razlike u konstrukcijama istih tipova objekta definišu i prioritete prilikom postavljanja uslova odbrane. Mostovi preko 100 m i tuneli preko 1000 m dužine imaju veću mogućnost napada od onih manjih dimenzija. Relativno lako zamjenljive konstrukcije kao što su mostovi do 15 m, ne podliježu razmatranju. Montažnim elementima se pomenuti rasponi savladavaju u kratkom vremenskom roku tako da potencijalni napad nema velikog efekta na prekid komunikacije.

Osim što zbog svojih opštih tehničkih karakteristika privlače napadače, mostovi i tuneli mogu biti značajni i prema drugim pokazateljima. Kao dobra "reklama", pojedincima ili organizacijama neprijateljski nastrojenim prema nekoj državi, može poslužiti napad na ove objekte od izuzetnog istorijskog ili kulturnog značaja. Iako ih je fizički moguće zamijeniti, gubitak je trajan.

Nenadoknadivi gubici su i ljudski životi. Mogućnost izazivanja što većeg broja žrtava najčešći je motiv terorističkih napada. Uklopljeni sa mogućnošću da to bude izvedeno na nekom od navedenih objekata povećavaju učinak koji se po svaku cijenu mora spriječiti. Velika frekvencija ljudi najčešće se veže za PGDS koji je ocijenjen kroz kritičnost.

Metodologijom nije predviđeno kvantifikovanje atraktivnosti već samo individualna procjena u zavisnosti od navedenih parametara, a objekti mogu biti veoma atraktivni, atraktivni i malo atraktivni.

### 3.2. Procjena ranjivosti

Objekti označeni kao moguće mete svojim tehničkim karakteristikama suprostavljaju se destruktivnom dejstvu čime mogu uticati na obim štete. Nivo otpora koji se pruža u takvim situacijama zavisi od dva parametra. Prvi je vezan za samu konstrukciju i poznat je, dok drugi potiče od izbora metode napada i spretnosti napadača. Variranjem drugog i stavljanjem nasuprot postojećih mogućnosti objekta dobijaju se očekivane razmjere posljedica. One mogu biti izražene i stanjem konstrukcije nakon napada i vremenom neupotrebljivosti.

Mogućnost napada zavisi od dostupnosti materijala kojim je moguće nanijeti štetu, procjene i dostavljanja potrebne količine na kritičnu lokaciju, te odluke o najosjetljivijoj poziciji djelovanja. Uz sve navedeno jasno je da za ostvarenje cilja mora postojati i odgovarajući nivo tehničkog znanja iz oblasti na koju je usmjeren napad. U tabeli 1 prikazani su načini kojima je moguće djelovati na mostove i tunele u cilju prekida njihovih funkcija [4].

Obim prekida zavisi od tipa konstrukcije na koju je primjenjen neki od navedenih faktora i predstavlja potencijal rušenja izražen u vremenskim jedinicama, najčešće mjesecima. Bez obzira na neprijateljsko djelovanje, neke od nezgoda su prisutne i u svakodnevnoj eksploataciji objekta i njih je potrebno ugraditi u plan zaštite. To su eksplozije, većeg ili manjeg obima, čije je porijeklo najčešće iz redova uobičajenog

## ZAŠTITA DRUMSKIH SAOBRAĆAJNICA U USLOVIMA SPOLJAŠNJIH DESTRUKTIVNIH UTICAJA

saobraćaja. Ostali uticaji su evidentno posljedica ljudskog faktora i mogućnost pojave se definiše kroz političke, ekonomske i ostale društvene odnose.

*Tabela 1 Destruktivni faktori na kritične objekte*

tunel				most			
Eksplzija	Vatra	Mehanički udar	Kriminalne aktivnosti	Eksplzija	Vatra	Mehanički udar	Kriminalne aktivnosti
mala eksplozija (20 kg TNT)	podmetanje požara	projektil	sabotaža	mala eksplozija (20 kg TNT)	podmetanje požara	projektil	sabotaža
srednja eksplozija (100 kg TNT)	veliki požar (150-200 MW)	udar	sajber napad	srednja eksplozija (100 kg TNT)		udar	sajber napad
velika eksplozija (2 t TNT)				velika eksplozija (2 t TNT)			
razaranje (18 t propana)							

*Izvor: Kammerer, H., Haardt, J., (2014)*

Različitosti u građevinskim mjerama objektu pružaju veći ili manji stepen otpornosti. Unutar istog tipa, sredina u kojoj se nalazi, dužina, način oslanjanja i sklopovi veza i materijal čine da on varira u granicama od relativno sigurnog do izuzetno kritičnog. Širok spektar otpornosti definisan je kroz kategorisanje prema navedenim uslovima. U tabelama 2 i 3 prikazan je jedan prijedlog kategorija mostova i tunela [5].

*Tabela 2 Kategorizacija mostova*

sistem	raspon/visina	materijal	poprečni presjek	tip	
statički određen	mali	beton	pun	M1	
		prednapregnuti beton	pun	M2	
		kompozit/čelik	ošupljen	M3	
statički neodređen	umjeren	beton	pun	M4	
		prednapregnuti beton	pun	M5	
		kompozit/čelik	pun	M6	
	veliki	prednapregnuti beton	ošupljen	poduprt	M7
			pun		M8
			pun		M9
kompozit/čelik	veliki	ošupljen		M10	
		pun		M11	
		poduprt		M12	
obješen	veliki	prednapregnuti beton	ošupljen	M13	
			pun	M14	
		kompozit/čelik	ošupljen	M15	
			pun	M16	
pokriven zemljom	mali	čelik	-	M17	
		beton	-	M18	
pokretan	umjeren	-	-	M19	

*Izvor: Krieger, J., Kohl, B., Žibert, M., Dolenc, D., (2013)*

U tabeli 3 su posebno navedene lokalne baze za upravljanje tunelima, te jedinice za održavanje normalnih uslova pomoću ventilatora iz razloga što to nisu tunnelske konstrukcije, ali njihovim oštećenjima ni tunel neće imati svoju funkciju. Zbog toga ih je potrebno uzeti u proračun pri svakoj analizi rizika, pod uslovom da fizički postoje na terenu.

Tabela 3 Kategorizacija tunela

dominantna geotehnička struktura	metod izgradnje	hidrogeološki uslovi	jednostruka/ dvostruka obloga	jedna cijev/više cijevi	tip	
stijena bez pukotina	konvencionalna ili tunelskom glodalicom	suvo, vrlo mala pojava vode	jednostruka	-	T1	
			dvostruka	-	T2	
		konstantna pojava vode, rizik od poplave	jednostruka	-	T3	
			dvostruka	-	T4	
slaba stijena, lokalno otkidanje, nediruta bez potpore	konvencionalna ili tunelskom glodalicom	suvo, vrlo mala pojava vode	jednostruka	-	T5	
			dvostruka	-	T6	
		konstantna pojava vode, rizik od poplave	jednostruka	-	T7	
			dvostruka	-	T8	
	usjecanje i nasipanje	suvo, vrlo mala pojava vode	jednostruka	jedna cijev	T9	
				više cijevi	T10	
			dvostruka	jedna cijev	T11	
				više cijevi	T12	
		konstantna pojava vode, rizik od poplave	jednostruka	jedna cijev	T13	
				više cijevi	T14	
			dvostruka	jedna cijev	T15	
				više cijevi	T16	
	miniranje	konstantna pojava vode, rizik od poplave	jednostruka	jedna cijev	T17	
				više cijevi	T18	
	lokalne baze za upravljanje tunelima					T19
	ventilacione jedinice za izbacivanje dima					T20

Izvor: Krieger, J., Kohl, B., Žibert, M., Dolenc, D., (2013)

Iako kategorizacija daje podjelu objekata prema njihovim karakteristikama, istom nije prikazan pokazatelj koji bi se operativno mogao iskoristiti pri određivanju stepena ranjivosti. Raznorodnost kriterijuma, međusobno neuporedivih, kojih je kod mostova četiri, a kod tunela pet, potrebno je objediniti na jedan mjerljiv. Najjednostavniji način je izražavanje ranjivosti objekta brojem, što zahtjeva određeni stepen subjektivnosti.

Tabela 4 prikazuje opšti primjer obrasca za proračun ranjivosti tunela proizvoljne kategorije (T1-T20). Ovim postupkom date su sve vrste napada u funkciji mogućnosti njegovog izvođenja i ostvarenih posljedica. Mogućnosti napada se definišu kroz dva parametra koji označavaju prisustvo, odnosno odsustvo mogućnosti, i upisuju se u njima odgovarajući dio tabele. Vrijednosti ovih parametara su 0 (odsustvo mogućnosti) i 1 (prisutna mogućnost). Njihov ukupan zbir, umnožen vrijednošću potencijalne štete daje ranjivost objekta za datu vrstu napada. Potencijalna šteta prikazuje vrijeme u mjesecima za koje objekat nije operativan kao posljedica incidentnih uticaja. Suma svih pojedinačnih ranjivosti, uključujući i one na T19 i T20 kod tunela, daje konačan rezultat za poređenje. Izbor između vrijednosti 0 i 1 je određen trenutnim stanjem definisanim kroz opštu bezbjedonosnu situaciju, kontrole pristupa opasnim materijama, postojanju nekog vida zaštite objekta koji bi predupredio dejstvo, topografije terena. Princip proračuna za mostove je identičan.

Jasno je da se ovim pristupom dobija samo relativna slika otpornosti građevina. Obimniji, ali precizniji postupak zahtijeva detaljan proračun pokazatelja kojima se može okarakterisati stanje konstrukcije prije i poslije dejstva. Ideja se zasniva na određivanju procentualnog smanjenja nosivosti konstrukcije mosta (ili obloge tunela) nakon simulacije djelovanja pojedinačnih incidentnih opterećenja na više različitih pozicija prema izrazu (1) [6].

$$V(S, D) = \frac{\Phi[S] - \Phi[S, d^*]}{\Phi[S]} \quad (1)$$

Gdje je S karakteristika sistema (npr. nosivost), dok je  $d^*$  vrsta djelovanja (eksplozija, požar, mehanički udar i sabotaza) koje izaziva najveći mogući negativni uticaj. Podatak o najvećem negativnom uticaju moguće je dobiti proračunom nakon promjene položaja dejstva svakog od parametara.

Tabela 4 Obrazac za proračun ranjivosti tunela

		TIP TUNELA - Ti					
		potencijalna šteta [mjesec]	mogućnost napada				ranjivost
			tehničko znanje o objektu	nabavka materijala	pristup i transport	mogućnost djelovanja	
eksplozija	mala						
	srednja						
	velika						
	razaranje						
požar	veliki (150-200 MW)						
	podmetanje						
mehanički udar	projektil						
	udar						
sabotaža							
napad T19							
napad T20							
						ukupno	

Izvor: Krieger, J., Kohl, B., Žibert, M., Dolenc, D., (2013)

### 3.3. Matrica zajedničkog uticaja

Svrha svih navedenih procjena je pravljenje baze za donošenje konačne odluke o potrebi zaštite infrastrukturnih objekata. U tabeli 5 dat je prikaz matrice zajedničkih uticaja.

Tabela 5 Matrica zajedničkih uticaja

nivo mreže		nivo objekta		
dionica	kritičnost	broj objekta	atraktivnost	ranjivost
dionica 1	kritičnost 1	objekat 1_1	atraktivnost 1_1	ranjivost 1_1
		objekat 1_2	atraktivnost 1_2	ranjivost 1_2
		...	...	...
		objekat 1_m	atraktivnost 1_m	ranjivost 1_m
dionica 2	kritičnost 2	objekat 2_1	atraktivnost 2_1	ranjivost 2_1
...	...	...	...	...
dionica n	kritičnost n	objekat n_1	atraktivnost n_1	ranjivost n_1

Izvor: Krieger, J., Kohl, B., Žibert, M., Dolenc, D., (2013)

Pošto nije obavezno da istovremeno bude zadovoljen uslov maksimalne kritičnosti, atraktivnosti i ranjivosti, neophodno je i ovdje uvesti subjektivni faktor donosioca odluke (ili grupe). Pri odlučivanju je moguće prioritet dati dvjema karakteristikama uz zanemarivanje treće. Tako se u kombinaciji za prioritete mjere zaštite mogu naći:

- Kritičnost i atraktivnost,
- Kritičnost i ranjivost,
- Atraktivnost i ranjivost.

Svaka od navedenih kombinacija ima za posljedicu određen stepen greške, te je potrebno u plan upravljanja ugraditi i štetu koja bi nastala zanemarivanjem trećeg činioca.

### 3.4. Zaštitne mjere

Obavljena analiza trebalo bi da ukaže na kojim mjestima su intervencije prioritete i koji obim zahtijevaju. Kroz ranjivost objekata definisana je uloga postojećih sistema zaštite i preventivnog djelovanja. Na mjestima gdje oni ne postoje ili njihov obim nije dovoljan, potrebno je predvidjeti mjere kojima se potencijalni napadi odvrćaju ili smanjuje njihova efikasnost. Mjere mogu biti tehničke i edukativne. Pri projektovanju novih objekata, svakako bi ih trebalo uključiti.

Edukativne su, prije svega, upoznavanje državnih struktura koje su nadležne za upravljanje i sigurnost sa rezultatima koje pojedini objekti mogu da izazovu svojim izbacivanjem iz upotrebe, interesima terorističkog djelovanja i nivou uspješnosti na saobraćajnoj infrastrukturi.

Tehničke mjere odnose se isključivo na primjenu fizičkih zahvata kojima se poboljšava fleksibilnost mreže i stanje konstrukcije. Pod fleksibilnošću se podrazumijeva izgradnja saobraćajnica istog ili sličnog ranga u kritičnim zonama, te omogućavanje „rezervne“ varijante u slučaju mostova i tunela. Opravdanost ovog postupka ima smisla ukoliko se pojavljuju saobraćajne potrebe privrede i stanovništva koje gravitira datom području, ali građenje samo radi smanjenja kritičnosti nije opravdano.

U zavisnosti od tipa razmatranog objekta i oblik zahvata imaće svoje specifičnosti. U slučaju mostova preporuka je da se, tamo gdje programski uslovi saobraćaja dozvoljavaju, grade odvojene konstrukcije za svaki smjer vožnje. Eventualnim oštećenjem jedne, saobraćaj bi se uz određene korekcije mogao preusmjeriti na drugu. Kontrolom pristupa je potrebno onemogućiti parkiranje ispod konstrukcije i ograničiti aktivnosti kao što su skladištenje materijala, u tu svrhu je potrebno razmotriti i podizanje nivele mosta kako bi se smanjio uticaj od potencijalnog napada eventualnog prolaznog saobraćaja ispod mosta. Kao i automobilima, i pješačkim kretanjima je potrebno uskratiti određeni stepen slobode kretanja u zonama koje mogu biti iskorištene za djelovanje. To se najlakše postiže zaštitnim ogradama u zonama oko ključnih nosivih elemenata. Topografiju terena u što je moguće većoj mjeri trebalo bi prilagoditi sistemu nadzora kroz otvaranje vidnog polja u širokom pojasu oko konstrukcije. Nadzor bi trebalo upotpuniti i video sistemom čime bi slika u realnom vremenu bila dostupna službama sigurnosti i brzog djelovanja. Odbrana od eksplozivnih naprava je i najteža, ali u kombinaciji sa kontrolom pristupa moguće je postaviti eksplozivne barijere koje bi prve na sebe primile oslobođenu energiju bez prenošenja na konstrukciju.

U fazi projektovanja prednost je na strani statički neodređenih konstrukcija zbog mogućih preraspodjela uticaja ukoliko neki dijelovi pretrpe štetu. Oslonci kao najosjetljiviji dio moraju biti posebno zaštićeni. U slučaju da se nalaze u koritu rijeke, vodeni put je mogući pravac djelovanja. S tim u vezi oblik stubova bi trebalo prilagoditi mogućim eksplozijama, a oko njih napraviti vještačko ostrvo. Time bi se spriječilo eventualno namjerno udaranje u oslonce na plovnim rijekama. U konstrukcijama je neophodno koristiti materijal visokih otpornosti na dinamičke uticaje. To je prije svega mikroarmirani beton. Ukoliko su u pitanju čelični mostovi, posebnu pažnju obratiti na elemente koji bi na visokim temperaturama izgubili stabilnost. Takva mjesta treba obezbijediti sistemom protivpožarne zaštite.

Tuneli zbog svoje specifične konstrukcije imaju povećanu osjetljivost i pri manjim fizičkim napadima. Ograničen prostor evakuacije i protoka vazduha u takvim slučajevima glavni je faktor rizika. Kontrolom teškog i specijalnog saobraćaja smanjuje se nivo opasnosti po ostale učesnike. Dovoljna fizička udaljenost tunelskih cijevi, ukoliko ih ima dvije, utiče da se manje eksplozivne snage prenosi na susjednu cijev. Zbog konstatnog pritiska stijenske mase, bilo koji mehanički udar izaziva narušavanje primarnog stanja nosivosti. Preventivno djelovanje zahtjeva prisustvo sekundarne obloge i u slučajevima gdje prema proračunu nije neophodna, te njeno mjestimično ojačavanje ukoliko je projektom predviđena. Kao i kod mostova, mikroarmirani beton pruža bolju zaštitu od klasičnog armiranja, dok je potrebno predvidjeti i njegovu visoku otpornost na temperaturne uticaje. Fiksirani i dobro zaštićeni protivpožarni sistem je neizbježan dio svakog tunela. Prioritet u njegovom radu je rano otkrivanje opasnosti u cilju što bržeg aktiviranja putem detektora za dim. Nadzornim kamerama unutar građevine se upotpunjava kontrola koju je potrebno sprovesti i prije samog ulaska u tunel. Zaštita ljudi u incidentnom okruženju je primarni zadatak, pa je i njihova evakuacija dio plana odbrane. U tu svrhu se projektuju posebne nezavisne staze za tunele duže od 1000 m.

#### **4. ZAKLJUČAK**

Narastajuće nasilje koje prožima sve segmente društva, neminovno uvodi novi pristup u djelatnostima i ponašanju ljudi. Privlačnost u ovom smislu saobraćajnice duguju svojom ulogom spone među važnim funkcionalnim jedinicama. Finansijske i posljedice po živote ljudi koji su u neposrednoj vezi sa ovim vidom infrastrukture zahtijevaju hitan proces unapređenja postojećih mjera zaštite, te obaveznu praksu u svim budućim koracima projektovanja. Preventivno ulaganje, ostvareno prema navedenoj procjeni položaja i intenziteta mogućih destruktivnih uticaja, daće povoljniji ishod u odnosu na ulaganje u sanaciju objekata uz koju je nemoguće nadoknaditi ljudske živote. Iako su ovakve pojave stohastičkog karaktera zavisne uglavnom od političkih aktivnosti, njihova pojava ima trend rasta. S tim u vezi bi i prateću regulativu koja se odnosi na domen projektovanja, organizacije i upravljanja, trebalo dopuniti mjerama zaštite.

**Literatura**

- [1] Škero, M., Ateljević, V., (2015) Zaštita kritične infrastrukture i osnovni elementi usklađivanja sa Direktivom Saveta Evrope 2008/114/es, Vojno delo 3: 192-207.
- [2] -, (2008). COUNCIL DIRECTIVE 2008/114/EC on the identification and designation of European critical infrastructures and the assessment of the need to improve their protection, dostupno na: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:345:0075:0082:EN:PDF>
- [3] Kaundinya, I., Mayer, G., Krieger, J., Rothenpieler, S., (2014). Security of Road Transport Networks - Identifying and Assessing Critical Road Infrastructure, Transport Research Arena, Paris, dostupno na: [http://tra2014.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014\\_Fpaper\\_17827.pdf](http://tra2014.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014_Fpaper_17827.pdf)
- [4] Krieger, J., Kohl, B., Žibert, M., Dolenc, D., (2013). Security manual for European road infrastructure, SecMan Consortium, dostupno na: <http://www.secman-project.eu/>
- [5] Kammerer, H., Haardt, J., (2014). Methodology for the assessment of transport infrastructure, Transport Research Arena, Paris, dostupno na: [http://tra2014.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014\\_Fpaper\\_16296.pdf](http://tra2014.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014_Fpaper_16296.pdf)
- [6] Latora, V., Marchiori, M., 2005. Vulnerability and Protection of infrastructure networks, Physical Review 71



# EVALUATION OF THE ROUGHNESS OF PAVEMENT SURFACE AT THE CROSSROAD „MOMIN POTOK“ IN SKOPJE

Goran Mijoski<sup>1</sup>, Andrej Lepavcov

<sup>1</sup>Faculty of civil engineering, „S’s Cyril and Methodius“ University - Skopje, Republic of Macedonia, mijoski@gf.ukim.edu.mk

**Summary:** For road users unevenness of the pavement surfaces is of special interest and is one of the first features of the road we perceive. Roughness of the pavement surface is one of the main indicators for evaluation of the pavement condition and its pavement characteristics. There are two kinds of roughness – transversal and longitudinal. Heavy traffic load, poor dimensional pavement structure, quality of the used materials and quality of the construction work are main reasons for pavement surface deformation.

**Key words:** Pavement structure, pavement surface, longitudinal and transversal roughness, IRI, rut depth

## 1. INTRODUCTION

### 1.1. Uneven pavement surfaces

The roughness of the road is of special interest, because it is the first features, road users perceive. Depending on the speed and performance of the vehicle, the roughness significantly act on the oscillations of the vehicle (excites the oscillations) and cause further increased dynamic load of the road surface and the vehicle (which affects the cost of transport). It also causes decreased pavement comfort, and most important it reduce traffic safety [1].The impact of the longitudinal and transverse unevenness on the vehicle and pavement surface is schematically shown in Fig. 1 [2].

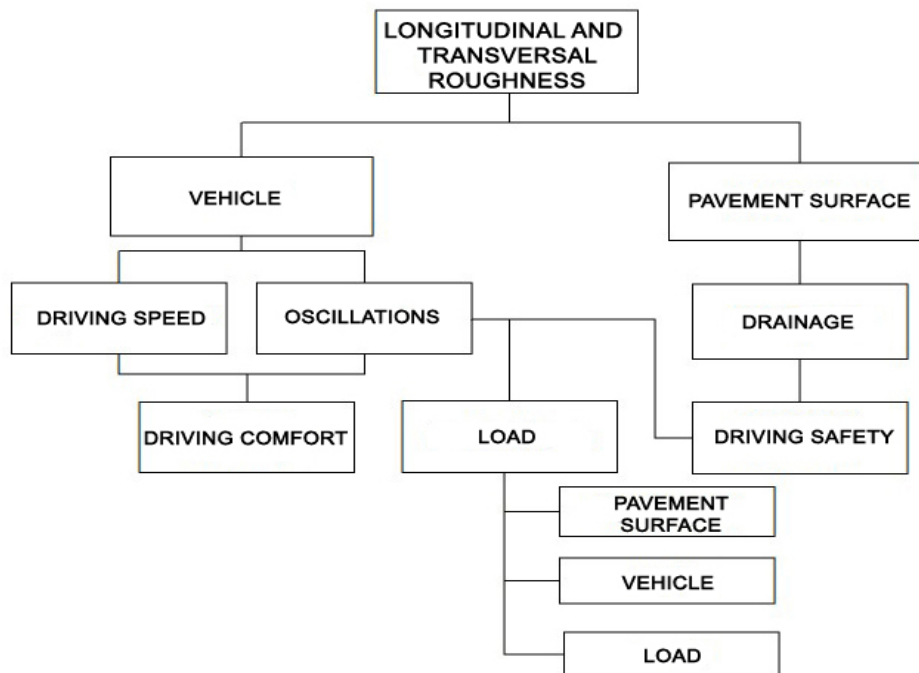
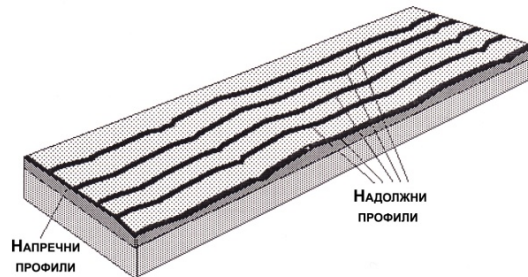


Figure 1. Scheme of the influence of roughnesses, their significance and dependencies

<sup>1</sup>mijoski@gf.ukim.edu.mk

The roughness of the pavement surface has great influence, and also change the terms of the contact between the wheels of the vehicle and the pavement surface, to such an extent, so that the major irregularities can cause altered conditions of suspension of the wheels. It can lead to a significant reduction in exploitation of the existing friction capacity of the pavement surface, even in dry pavement, can result in consequences from reduced security. It is significant to note that roughness or unroughness of the pavement surface, can be in longitudinal and cross-section profile of the pavement surface [3].



**Figure 2 .** Two types of roughness (longitudinal and transverse)

Deformations that appear on the pavement surface are usually caused by the large traffic load, the movement of heavy vehicles, inadequately selected and dimensioned structure of the pavement construction, the quality of the materials from which it is built, as well as the quality of the construction works. It was concluded that the impact of unevenness is reflected in:

- Alteration - increase of the load,
- Influence on pavement safety - and traffic,
- Influence on the comfort - the comfort of pavement.

### **1.2. Longitudinal roughness of the pavement surfaces**

In practice, the ideal area of the pavement surface cannot be reached. Pavement surfaces are generally built with larger or smaller discrepancies from projected values for height, resulting in roughness of the pavement surface. To evaluate the condition of the pavement area in terms of roughness, we are measuring their effect on vehicles and passengers. The shape and size of the wheels (height, depth and length), the schedule and direction of the roughness (in relative to the axis of the road) have highest influence.

The reasons that are causing the wavy profile of the pavement surface are numerous and varied. They include irregular density of the underlying layer of the road, insufficient and irregular density of the layers of pavement construction, insufficient load capacity of the substructure of the road body, inhomogeneous structure of the materials in the substructure, improper compressing, and overrunning of the traffic load and more.

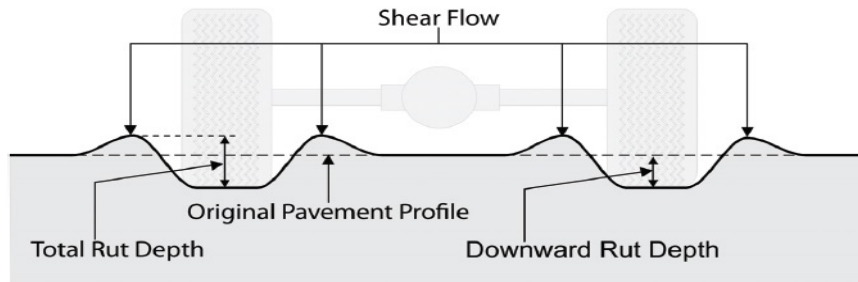
Following factors have influence in achieving the required longitudinal roughness:

- The surface (lower bearing layers of road construction);
- The selected project solution for road construction (type of asphalt, defects in the pavement surface, constructions on the road infrastructure);
- Performance of asphalt layer
- Traffic overload and more.

Measuring the longitudinal evenness is done with different devices, ranging from the simplest - measuring bar, 4 meters long, to the most contemporary - inertial high speed profiler. Evaluating the roughness of the longitudinal pavement surface is with the IRI (International Roughness Index), expressed in [m/km].

### 1.3. Transverse roughness of pavement surfaces

Transverse roughness of the pavement surfaces is one of the indicators for assessing the condition of the road, used for regulating their pavement features. Modern technology for monitoring the condition of the roads and organization of maintenance service in the System for road management is of particular relevance to the current situation and usability of pavement. This is the way for fair assessment and evaluation of the condition of the pavement surface [4]. In order to eliminate the roughness, it is important to have their location, the place where they appear, the geometric parameters and their unsuitability to the existing standards. Typical damage that is detected by measuring of the transverse evenness in asphalt pavement construction is plastic deformation, so called „Rut“ [5].



**Figure3.** Display of a total depth rut and depth rut

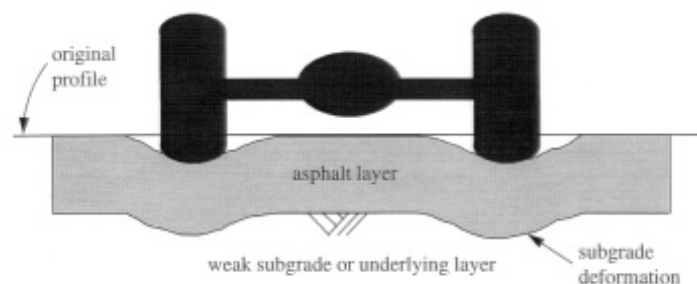
Transverse roughness can manifest consequences which may be the same, and in some cases even higher than the longitudinal flatness. Characteristic effects due to insufficient transverse roughness are [6]:

- Keeping the vehicles moving on the same track;
- Collecting water in the rut
- Uneven reliance of the vehicle wheels to the pavement surface.

Transverse roughness is extremely important for the safety and comfort of pavement, as well as for the assessment of the condition of pavement surfaces and rut depth. It collects and retains water (instead of draining), and the depth or the height of retained water on the pavement surface, has a crucial influence on the creation of aquaplaning and disruption of traffic safety [7]. The main factors for appearing of the ruts on the road surface are traffic load, the temperature of the pavement surface, the quality and type of materials used and the quality of construction of the pavement construction. [8]

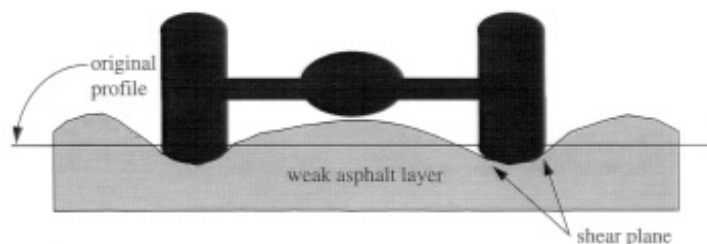
There are two deformation types depending from the layer they occur in, and the reason for appearance of the ruts [9]:

- Deformation in the lower layer—insufficient load capacity of pavement construction (occurs due to insufficient loading capacity of the substrate or underlying layer, insufficient thickness and/or laying capacity and poor drainage. The appearance of ruts in the lower layers, is then reflected on the pavement surface) Fig. 4.



**Figure 4.** Ruts of the subgrade and underlying layer

- Deformation of the asphalt layers (occurs due to poor grain size, too much binding material, bitumen or filler, the wrong type of bitumen, water damage, heavy traffic and high temperatures road) Fig. 5.



**Figure 5. The ruts in the asphalt layers**

## 2. EXPERIMENTAL SECTION

A rehabilitation of the surface on the crossroad „Momin Potok“, form the boulevards „Nikola Karev“ and „8<sup>th</sup> September“ was done. Twelve meters of extension on „8<sup>th</sup> September“ street are built. According to the project, the solution for pavement construction consists of two parts: scraping the layer of asphalt concrete with a thickness of 6 cm (if necessary further scraping will be implemented), and asphaltting with following dimensions in two layers (BNS 32SA polymer modified bitumen 7 cm and AB 16S asphalt concrete with polymer modified bitumen 5 cm).

With over 30,000 vehicles (AADT) per day, of which about 30% is heavy traffic, the regulation of this crossroads with high intensity of traffic is with traffic lights [10]. After 7 years in June 2014, we performed measurement of the transverse roughness and rut depth with measurement bar of 4 m, with the following objectives:

- To evaluate the current state of the pavement surface,
- To ascertain changes in pavement construction,
- To monitor the state of the pavement construction and
- To make conclusions and recommendations that will contribute to improve the solutions in Skopje.

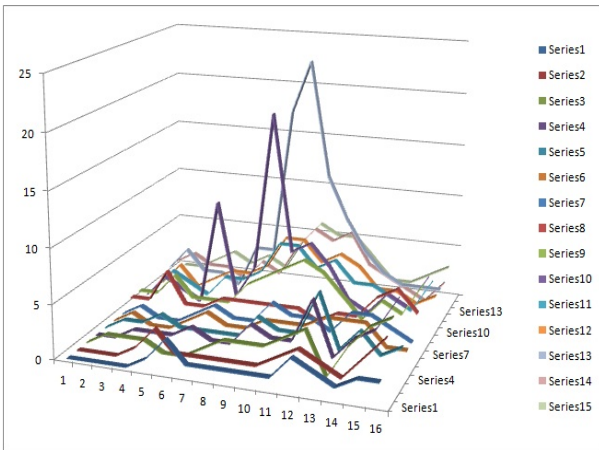
The rehabilitation aims to improve the management of urban road network, and to extend the lifespan of the pavement construction, which will result in savings of budgetary funds. Measurements were performed on the streets „Nikola Karev“ (in two sections) and „8<sup>th</sup> September“, and 660 data for the state of the pavement surface were collected [11].

**Table 1. Results from measurements on „Nikola Karev“ str. Section 1 (profile 0 - 15)**

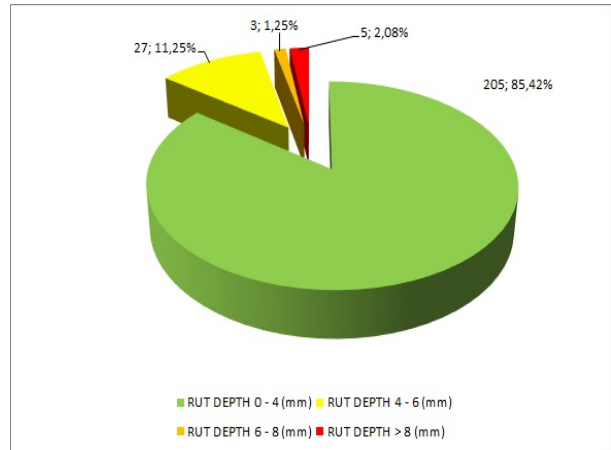
Minimum	Average	Maximum	St. Dev	80%	95%	Br.na pod.
0,00	2,43	23,00	2,74	3,20	5,00	240

Source: (custom measurements)

EVALUATION OF THE ROUGHNESS OF PAVEMENT SURFACE AT THE CROSSROAD „MOMIN POTOK“ IN SKOPJE



**Figure 6. Rut depth**  
Source: (custom measurements)

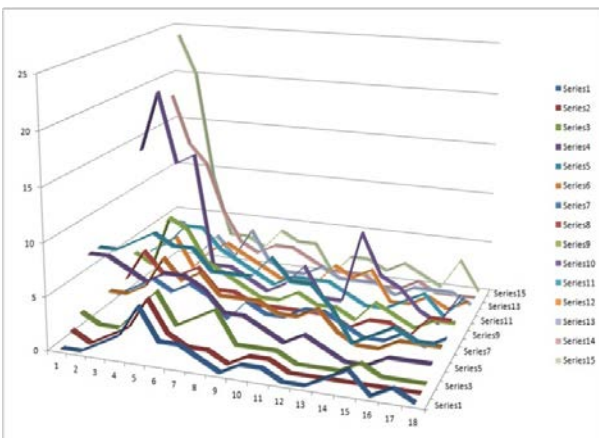


**Figure 7. Evaluation of the condition**  
Source: (custom measurements)

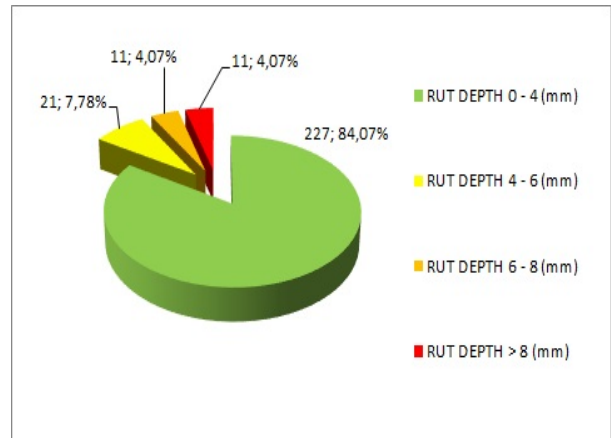
**Table 2. Results from measurements on „Nikola Karev“ str. Section 2 (profile 16 - 33)**

Minimum	Average	Maximum	St. Dev	80%	95%	Br.na pod.
0,00	2,63	24,00	3,33	4,00	8,00	270

Source: (custom measurements)



**Figure 8. Ruth depth**  
Source: (custom measurements)

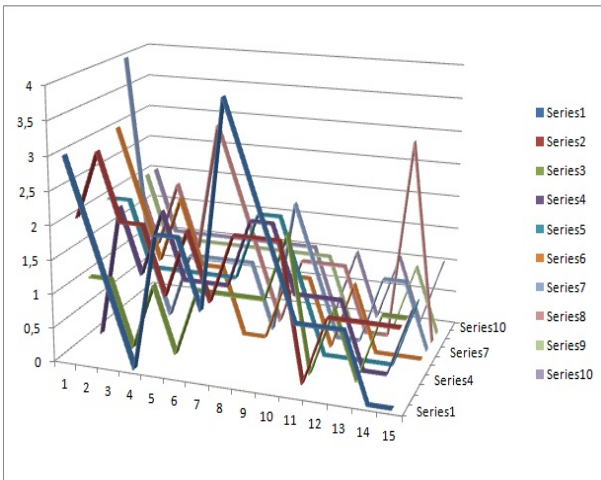


**Figure 9. Evaluation of the condition**  
Source: (custom measurements)

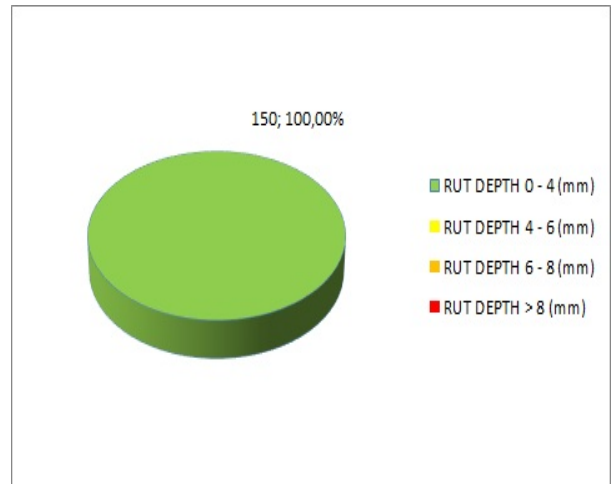
**Table 3. Results from measurements on „8<sup>th</sup> September“ str. Section 1 (profile 0 - 16)**

Minimum	Average	Maximum	St. Dev	80%	95%	Br.na pod.
0,00	1,06	4,00	0,85	2,00	2,55	150

Source: (custom measurements)



**Figure 10. Ruth depth**  
Source: (custom measurements)



**Figure 11. Evaluation of the condition**  
Source: (custom measurements)

**3. PHOTOGRAPHS FROM THE MEASUREMENT SECTION**

Photos of the characteristic points of crossroad „Momin Potok“, are presented below. There are visible deformities - the appearance of ruts with different size, on all sections of the crossroad „Momin potok“ [12].



**Figure 12. Crossroad „Momin Potok“**  
Source: (custom measurements)



**Figure 13. Ruts measuring**  
Source: (custom measurements)



**Figure 14. No ruts on the speed track**  
Source: (custom measurements)



**Figure 15. Deep ruts near the traffic lights**  
Source: (custom measurements)

#### 4. CONCLUSIONS

We can conclude from the measured values, as well from the evaluation of the condition of the pavement surface, that plastic deformations - ruts, appeared on all sections, but the situation is quite stable. Ruts depth ranges from 0,00 mm to 24,00 mm (measured on the street „Nikola Karev“ section 2, profile 16). The appearance of ruts is more expressed in front of the traffic light, due to breaking and stopping of vehicles. The pavement tracks with higher heavy traffic and the crossroad area have deep ruts also, while in the other parts of road, pavement surface behaves quite stable and without large plastic deformations.

The factors that adversely affect the appearance of transverse roughness – ruts depth are: traffic load, climatic conditions, the quality of the displayed road structure and quality of materials used. Addition of additives (Polymers) in the asphalt mixture - modified asphalt concrete, contribute and improve durability of these asphalt mixtures. They possess higher resistance to creating ruts on certain temperatures, than conventional asphalt mixtures [13].

Added bitumen additives and size of the mineral aggregate also influence the lifespan of the pavement, and is increasing the resistance to creating ruts. Asphalt mixtures with larger aggregate grains have a higher resistance to creating plastic deformations – ruts [14].

The possibility of the creation of aquaplaning and ruts, are in proportional dependence. The higher the rut depth, the greater amount of water retained in them. The amount of water on the pavement surface is a precondition for creating of aquaplaning. The danger of aquaplaning is that, if it occurs once, it will not stop, even if the thickness of the water layer on the pavement surface become significantly lower [1].

As a recommendation that will contribute to improving the condition of the road network in the City of Skopje, following measures can be applied. Adoption of the criteria for determining the rut depth, regular measurements of roughness – rut depth, evaluation of the condition of the transverse roughness, as well as taking measures for their rehabilitation, use of modified asphalt concrete and improving the drainage capability of the pavement surfaces. These factors can adversely affect the creation of the plastic deformation on the pavement surface - ruts, which will finally result in reducing of the possibility of aquaplaning and will increase the safety of the roads.

#### References:

- [1] Мижоски Г.: „Интегрален пристап кон оценката на атрибутите и индикаторите на возната површина“, Докторска дисертација, Градежен факултет – Скопје, Скопје 2010, 328 стр.
- [2] Radojković Z.: „Sistemi upravljanja kolovozima“ (Građevinska knjiga - Beograd, 1990)
- [3] Sayers W.M. and Karamihas M.S.: „The Little Book of Profiling“ (Basic information about measuring and interpreting road profiles, University of Michigan – USA, 1998)
- [4] Krakutovski, Z. Todorovski, Lj. Mijoski, G. Study and published book „Recommendations for the development of road and rail infrastructure in the Republic of Macedonia“ („OHRID“ Institute for Economic Strategies and International Affairs, Skopje, June 2009, ISBN 978-9989-2812-9-7, COBISS.MK – ID 78378762)
- [5] Cvetanovic, A. and Banic, B. Popravke kolovoznih konstrukcija (Akademska misao, Beograd 2011, ISBN 978-86-7466-395-0)

- [6] Mijoski, G. and Palosi, V. Rutting and aquaplaning as factors which reduce road safety (Ministry of Internal Affairs of The Republic of Macedonia and Republic Council on Road Traffic Safety: International specialized workshop for road traffic safety, Skopje June 2010)
- [7] Rabbira, G. (2002). Permanent deformation properties of asphalt concrete mixtures (doctoral thesis, Chapter 2, Department of road and railway engineering – Norwegian university of science and technology NTNU, August 2002).
- [8] Lenfant, M. (2012). High rutting resistant asphalt pavement (Tipco asphalt PCL, Department of highways, Seminar 2012)
- [9] Santucci, L. Rut resistant asphalt pavement (The Pavement Research Center, Institute of Transportation Studies - University of California, Berkeley, 2004)
- [10] Главен проект за реконструкција на Крстосница „Момин поток“ (Балкан Консалтинг, Бр. 1174/ Скопје 2007)
- [11] Резултати од извршените мерења на длабочината на колотрази (Скопје, јуни 2014)
- [12] Сопствени фотографии од извршеното мерење на состојбата на коловозната површина (Скопје, јуни 2014)
- [13] Jun, Y. Haibin, Z. Jun, C. Guochao, Q. Weiyu, P. and Yiewen, Y. Study of The Rutting Resistance of Asphalt Surfacing Mixtures (Proceedings of the 24<sup>th</sup> Southern Transport African Transport Conference, Pretoria, July 2005, ISBN Number 1-920-01712-7)
- [14] Moghaddam, T.B. Karim, M.R. and Abdelaziz, M. A. Review on fatigue and rutting performance of asphalt mixes (Scientific Research and Essays Vol. 6(4), Academic Journals, ISSN 1992-2248 © 2011)



# STANDARDIZACIJA SMERNICA ZA PREGLED I ODRŽAVANJE DRUMSKIH MOSTOVA NA EVROPSKOM NIVOU I PRAKSA U REPUBLICI SRBIJI

Snežana Mašović<sup>1,a</sup>, Momčilo Veljović<sup>b</sup>, Nikola Tanasić<sup>a</sup>, Rade Hajdin<sup>a,c</sup>

<sup>a</sup>Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, [smasovic@grf.bg.ac.rs](mailto:smasovic@grf.bg.ac.rs), [nikola@imk.grf.bg.ac.rs](mailto:nikola@imk.grf.bg.ac.rs), [rade.hajdin@grf.bg.ac.rs](mailto:rade.hajdin@grf.bg.ac.rs), <sup>b</sup>JP Putevi Srbije, [momcilo.veljovic@putevi-srbije.rs](mailto:momcilo.veljovic@putevi-srbije.rs), <sup>c</sup>Infrastructure Management Consultants, Ciri

**Rezime:** U sklopu evropskog COST projekta TU1406 pod nazivom "Quality specifications for roadway bridges, standardization at a European level" održana je konferencija u Beogradu u periodu 30.03.2016 - 01.04.2016. Na ovom skupu su učestvovali istraživači sa akademskih institucija kao i predstavnici agencija koje se bave upravljanjem drumskom infrastrukturom, među kojima su aktivno učestvovali predstavnici JP "Putevi Srbije". To je bila prilika da se stručnjaci iz ove oblasti detaljnije upoznaju sa tehničkim rešenjima koja se koriste u zemljama EU a i šire, i pri tome razmene iskustva. U ovom radu je dat prikaz pomenutog, veoma aktuelnog, evropskog projekta sa posebnim osvrtom na dosadašnju praksu kod pregleda i održavanja drumskih mostova u republici Srbiji. Takođe, ovde se navode i očekivani pozitivni efekti koji proizilaze iz aktivnog učestvovanja predstavnika Srbije na ovom projektu.

**Ključne reči:** drumski mostovi, COST TU1406, standardizacija, baza podataka o mostovima.

## 1. UVOD

Kako bi se postojeća infrastruktura održala na adekvatnom nivou neophodno je uspostaviti strategiju upravljanja ovom imovinom. Adekvatna procena stanja drumske infrastrukture i mostova kao njenog posebno osetljivog dela, se obavlja kako bi se donele odluke o potrebnim intervencijama. U tu svrhu, posebno je sačiniti plan upravljanja infrastrukturom, koji pored definisanja ciljeva sagledava materijalne potrebe za održavanjem kao i kriterijume za uspostavljanje prioriteta u održavanju. Ovde je neophodno definisati strategiju kojom se maksimizira nivo usluge uz minimiziranje troškova.

Iako upravljanje mostovima spada u domen javne službe, njihovo održavanje može biti preuzeto od strane javnih preduzeća ili po modelu javno-privatnog partnerstva. Ulaganje u održavanje bi trebalo da bude pažljivo planirano, usmereno i tehnički podržano od strane odgovarajućeg sistema upravljanja. Među najznačajnije ishode pravilno implementirane strategije održavanja spadaju:

- Pобољшanje kvaliteta usluge na zadovoljstvo korisnika;
- Garancija potrebnog nivoa bezbednosti saobraćaja;
- Dugoročno planiranje, i
- Mogućnost upravljanja rizikom.

Širom sveta je potreba za upravljanjem drumskim mostovima dovela do razvoja sistema upravljanja mostovima (eng. Bridge management system – BMS) tako da mnoge države poseduju/razvijaju svoje sisteme. Iako slični, ovi sistemi se međusobno razlikuju npr. prema procedurama za procenu stanja mostova. Ono što je zajedničko za postojeće BMS je da sadrže skup pokazatelja učinka<sup>2</sup> (eng. performance indicator) koji se definišu za komponente mosta. Ovi pokazatelji mogu biti kvalitativnog ili kvantitativnog karaktera, i mogu se dobiti na osnovu rezultata inspekcija: putem vizuelnog pregleda, ispitivanjem sa/bez razaranja i privremenog/trajnog sistema za monitoring. Dobijene vrednosti pokazatelja se mogu uporediti sa ciljnim/graničnim vrednostima, radi ostvarivanja zahtevanog kvaliteta usluge odvijanja saobraćaja. Postoje značajne razlike u pogledu načina definisanja pomenutih pokazatelja u Evropi. Uočeno je takođe da se procesi odlučivanja pa stoga i planovi o potrebnim merama intervencije na mostovskim konstrukcijama razlikuju od države do države, a ponekad i unutar iste države. Takva praksa predstavlja značajan problem jer dovodi do neusaglašenog kvaliteta drumskih mostova na putnim mrežama u Evropi. Potreba za normiranjem postupaka procene ponašanja i usaglašavanjem nivoa održavanja drumskih mostova, a u cilju zadovoljenja ekonomskih i socijalnih potreba evropskih zemalja, rezultirala je projektom COST TU 1406. U sklopu procesa upravljanja drumskim mostovima, identifikacija potreba za održavanjem je znatno efikasnija ako bi se obavljala na usaglašeni način. Dakle, diskusija i razmena iskustava na evropskom nivou ima za cilj da se postigne standardizovani pristup u ovoj oblasti.

U tom kontekstu, prvi korak ka utemeljenju adekvatnih smernica za pregled i održavanje drumskih mostova je prikupljanje i klasifikacija pokazatelja učinka (stanja) mostova koji se koriste u evropskim državama učesnicima projekta. U drugom koraku predviđeno je da se jasno definišu ciljne vrednosti za prethodno

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: [smasovic@grf.bg.ac.rs](mailto:smasovic@grf.bg.ac.rs)

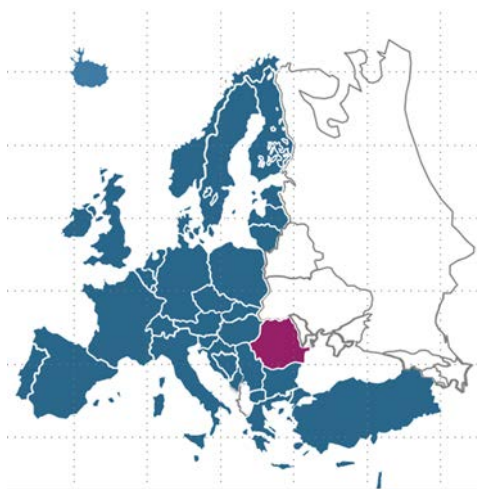
<sup>2</sup> U praksi je to često indikator stanja koji ukazuje na ponašanje tj. učinak mosta ili celog putnog pravca.

utvrđene pokazatelje. Čitav projekat treba da rezultira smernicama za izradu adekvatnih planova za pregled i održavanje (eng Quality control plans – QC plans) drumskih mostova. Za ovako definisan zadatak, projekat okuplja po prvi put istraživače sa akademskih institucija i inženjere iz prakse kako bi se ubrzao čitav proces izrade evropskih smernica. Poštujući koncept održivog razvoja predviđeno je da se u ovim smernicama definišu parametri za ocenu socio-ekonomskih karakteristika kao i parametri vezani za zaštitu životne sredine.

U radu se promoviše evropski projekat TU1406 kako bi se stručna javnost u Srbiji informisala o napretku u ovoj oblasti. Takođe je dat prikaz postojeće baze podataka o mostovima u republici Srbiji (BPM), te su predloženi dalji koraci u njenom unapređenju i razvoju u skladu sa praksom u drugim evropskim zemljama.

## 2. PROJEKAT TU1406

Evropski projekat TU1406: Quality Specifications for Roadway Bridges, Standardization at a European Level [1] je zvanično započeo sa realizacijom 16.04.2015. godine sa predviđenim trajanjem od 4 godine. Prvi sastanak upravljačkog komiteta (Management Committee) [2] je održan u Briselu gde su potvrđeni nominovani učesnici iz 37 zemalja. Geografska distribucija je prikazana na Slici 1. Zemlje posmatrači su: Australija, Čile, Japan, Južnoafrička republika i Sjedinjene Američke Države.



**Slika 1.** Zemlje učesnice projekta TU1406

Izvor: (Management Committee meeting - prezentacija José Matos-a [2])

U ovom projektu aktivno učestuju članovi akademske zajednice iz Srbije, koji se nalaze među predlagačima projekta, kao i predstavnici JP „Putevi Srbije“ i „Instituta za puteve“. Na prvom sastanku je ustanovljen plan rada za koji je predviđeno da se odvija u radnim grupama i određeni su rukovodioci ovih radnih grupa:

- WG 1: Pokazatelji učinka (rukovodilac Alfred Strauss (Austrija), Ana Mandić (Hrvatska) ko-rukovodilac).
- WG 2: Ciljane vrednosti za pokazatelje karakteristika (rukovodilac Irina Stipanović (Holandija), Lojze Bevc (Slovenija) ko-rukovodilac).
- WG 3: Uspostavljanje planova kontrole kvaliteta (rukovodilac Rade Hajdin (Srbija), Matej Kušar (Slovenija) ko-rukovodilac).
- WG 4: Implementacija studija slučajeva (rukovodilac Amir Kedar (Izrael), Sander Sein (Estonija) ko-rukovodilac).
- WG 5: Standardizacija (izrada priručnika/preporuka) (rukovodilac Vikram Pakrashi (Izrael), Helmut Wenzel (Austrija) ko-rukovodilac).
- WG 6: Diseminacija (rukovodilac Gudmundur Gudmundsson (Island), Stavroula Pantazopoulou (Kipar) ko-rukovodilac).

Nakon prvog sastanka održana su još tri sastanka radnih grupa: 21-22 septembra 2015. u Ženevi, 29. Januara 2016. u Budimpešti i 30. Marta – 01. aprila u Beogradu.

Na konferenciji u Beogradu prikazani su rezultati dosadašnjeg napretka, pre svega radne grupe WG 1, koja je, na osnovu sačinjenog upitnika poslatog zemljama članicama akcije, prikupila dokumentaciju od gotovo svih zemalja učesnica kako bi se identifikovali svi pokazatelji učinka mosta koji se koriste u zemljama članicama. Od 37 zemalja 30 ih je dostavilo dokumenta koja su u zvaničnoj upotrebi pri pregledima i ocenjivanju stanja mostova. Na osnovu ovoga, za sada je identifikovano oko 200 različitih pokazatelja. Pokazatelji učinka definišu se kao merljivi parametri koji opisuju stanje mosta i nivo usluge a koji se mogu

direktno uporediti sa ciljnom vrednošću, ili se mogu koristiti u svrhu rangiranja mostova u okviru planova kontrole kvaliteta. Međutim, neizvesno je da li se mogu svi identifikovani pokazatelji iskoristiti za upravljanje, odnosno donošenje odluka koje uključuju ekonomske resurse.

Predviđeno je da se naredni sastanak održi u Delft-u 20. i 21. oktobra 2016. Na ovom sastanku će biti razmatrane sledeće teme:

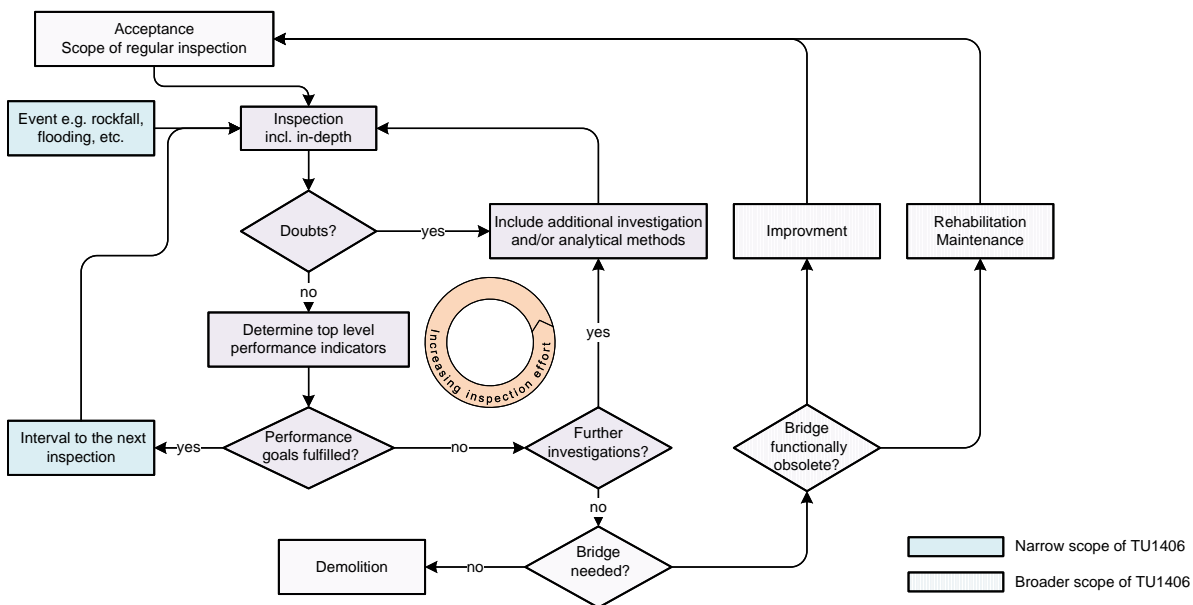
- Evaluacija karakteristika mosta (granične vrednosti, zahtevi, ciljevi);
- Tehnički, održivi i ekonomski pokazatelji mostova;
- Procena životnog ciklusa mostova;
- Plan pregleda i održavanja mostova.

Detaljnije informacije u vezi ovog projekta zainteresovani mogu naći na <http://www.tu1406.eu/>.

### 1.1. Učešće Srbije u projektu TU1406 i radna grupa WG 3

Nakon uvida u praksu zemalja okupljenih oko ovog projekta učesnici iz Srbije mogu sa zadovoljstvom da konstatuju da u našoj zemlji trenutno postoji razvijeno tehničko rešenje za bazu podataka o mostovima, koje se već oko dve decenije primenjuje za rangiranje mostova u procesu odlučivanja o aktivnostima održavanja. U skladu sa time učesnici iz Srbije su bili direktno zainteresovani za zadatke koji stoje pred radnom grupom WG 3, odnosno za definisanje i uspostavljanje planova kontrole kvaliteta. Može se reći da je zadatak ove radne grupe okosnica čitavog projekta.

Radi efikasnosti rada, na sastanku u Beogradu su definisani zadaci i imenovani rukovodioci pojedinih zadataka. Na Slici 2. prikazana je predložena šema procedure kontrole kvaliteta [2] sa kojom su se učesnici radne grupe WG 3 složili.



**Slika 2.** Predložena šema procesa upravljanja mostom  
Izvor: (WG3 Meeting, Beograd - prezentacija Rade Hajdin [3])

Iako se u procesu odlučivanja o merama održavanja mostova u republici Srbiji ovakav pristup već primenjuje, proceduralno nije precizno definisan.

U narednom tekstu dat je prikaz baze podataka o mostovima (BPM) koja je u nadležnosti JP „Putevi Srbije“ i koja se koristi pri planiranju aktivnosti održavanja.

## 2. TRENUTNO STANJE U UPRAVLJANJU MOSTOVIMA U REPUBLICI SRBIJI

U Srbiji je 1990.god. započet posao na osnivanju baze podataka o mostovima, kao prvi korak uvođenja Sistema upravljanja mostovima (Bridge management system). Baza je planirana da bude sastavni deo budućeg integrisanog informacionog sistema o putevima. Cilj formiranja baze je bio prvenstveno u tome da

se prikupe i objedine sve raspoložive informacije o mostovima na državnim putevima u Republici Srbiji kako bi se iskoristile za potrebe tadašnje Republičke direkcije za puteve u službi upravljanja putevima odnosno u užem smislu upravljanja mostovima.

Srbija je jedna od malobrojnih zemalja koja raspolaže samostalno razvijenom bazom podataka za mostove i samostalno razvijenim sistemom rangiranja mostova za potrebe održavanja.

Baza podataka o mostovima se razvija i ažurira u Sektoru za upravljačko informacione sisteme u JP "Putevi Srbije". Baza o mostovima se razvija kao otvoren sistem i sadrži segmente:

- inventarski podaci
- podaci o stanju
- podaci o nosivosti (postojećih mostova)
- podaci o planiranim i izvršenim radovima
- evidencija prelaska vanrednih tereta
- drugi podaci

Do sada su realizovana tri osnovna segmenta baze:

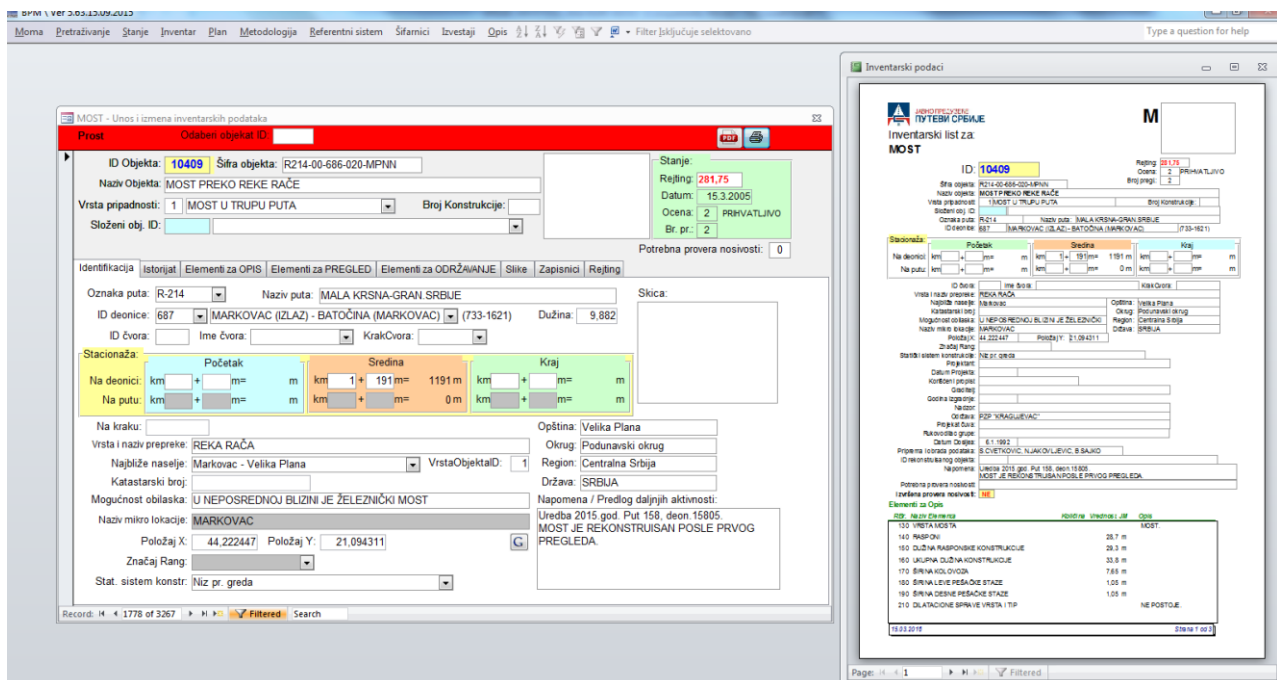
- Inventar
- Stanje mostova
- Nosivost postojećih mostova

## 2.1. Inventarski podaci o mostovima

Osnovni segment Baze podataka o mostovima je INVENTAR mostova. Inventar svakog mosta je zbir informacija stalnog, odnosno uslovno stalnog karaktera. Mogu se izdvojiti sledeće grupe inventarskih podataka:

- o lokaciji mosta (vrsta i broj puta, stacionaža...),
- geometriji mosta (rasponi, širina kolovoza i pešačkih staza...),
- konstrukciji (statički sistem, materijali),
- pratećim sadržajima (ograde, ivičnjaci...),
- odgovornostima i nadležnostima (projektant, izvođač, nadzor, održavanje),

Podaci inventarskog karaktera su predstavljeni u obliku teksta, u obliku grafičkih priloga i u obliku fotografija. Za svaki od navedenih oblika propisuju se procedure za prikupljanje podataka, način obrade i prezentacije prikupljenih podataka i način čuvanja podataka. Ove su procedure detaljno opisane u dokumentima [4] i [5] koja predstavljaju uputstvo za pregled i vrednovanje (ocenjivanje) elemenata mosta, ali i uputstvo za popunjavanje formulara o pregledu. Na Slici 3. je prikazan ekran segmenta INVENTAR i izgled izveštaja.



**Slika 3.** Ekran segmenta INVENTAR i izgled izveštaja  
Izvor: (Uvodno izlaganje na COST konferenciji, Beograd -M. Veljović[6])

Posebnu teškoću pri formiranju inventarskih podataka o mostovima predstavljala je činjenica da za veliki broj mostova ne postoji projektna dokumentacija u arhivama. Sa inicijalnim pregledima (koji su obavljani 1990. - 1992. god.), a kako bi se za svaki most otvorio dosije, za gotovo sve mostove je ustanovljeno stanje na terenu i izrađena skromna grafička dokumentacija. Inventarski podaci koji se odnose na: projektanta, izvođača, godinu izvođenja, korišćene propise su nepoznati za veoma veliki broj konstrukcija mostova.

## 2.2. Grafička i foto dokumentacija

Kao dopuna tekstualnim informacijama, uz bazu podataka postoje elektronski zapisi koji sadrže grafičku i/ili foto dokumentaciju za gotovo sve mostovske konstrukcije. Ova dokumentacija se sastoji od skeniranih segmenata projektne dokumentacije, pod uslovom da takva postoji, kao i fotografija sa obavljenih pregleda mostovskih konstrukcija. Međutim, softverska aplikacija baze podataka nema direktnu vezu sa ovim skupom podataka tako da je rad sa njima prilično otežan. Ovo povezivanje je jedan od neophodnih zadataka pri razvoju nove verzije baze podataka.

## 2.3. Podaci o stanju mostova

Pored inventara, baza podataka sadrži i segment STANJE mostova, utvrđeno pri prvom, a zatim i pri svim narednim pregledima mostova. Podaci o stanju svakog mosta su zbir informacija privremenog karaktera koje se odnose na sledeće parametre:

- parametri konstrukcije,
- parametri saobraćajnog profila,
- parametri veze puta i mosta i parametri okoline mosta,
- parametri saobraćajnih karakteristika i okolnosti,
- dopunski parametri.

Podaci koji opisuju stanje mosta mogu se predstaviti u obliku teksta, u vidu grafičkih priloga (skica oštećenja) i u vidu fotografija oštećenja. Za svaki od navedenih oblika propisuju se procedure za prikupljanje podataka, za način obrade i prezentacije prikupljenih podataka, za način čuvanja podataka.

Pošto se stanje mosta tokom eksploatacije menja, potrebno je i stanje pratiti saglasno zahtevima Pravilnika o održavanju magistralnih i regionalnih puteva, koji predviđa obavljanje povremenih (kontrolnih) i redovnih pregleda.

Po metodologiji koja je trenutno u upotrebi most se može posmatrati kao skup od 28 parametara, od kojih su 10 parametri konstrukcije. Na Slici 4. prikazan je ekran segmenta STANJE i izgled izveštaja.

The screenshot displays the 'STANJE OBJEKTA' (Object Status) screen in a software application. The interface is divided into several panels. The top panel shows the object ID (10409) and name (MOST PREKO REKE RAČE). The middle panel shows a table of inspection records with columns for ID, date, report number, rating, and category. The bottom panel shows a detailed view of the object status, including a table of elements with columns for ID, element name, description, rating, and number of damages. The right panel shows a summary of the object status, including the rating (281.75) and category (PRIHVATLJIVO).

**Slika 4.** Ekran segmenta STANJE i izgled izveštaja  
Izvor: (Uvodno izlaganje na COST konferenciji, Beograd -M. Veljović[6])

## 2.4. Rejting sistem

Osnovni koncept sistematskog pregleda mosta sastoji se u tome da se svaki od 28 parametara – elemenata oceni prema uputstvu datom u [4,5].

Tehničko rešenje (metodologija) implemetirano u bazu podataka polazi od opredeljenja da najveći značaj imaju elementi konstrukcije, odnosno njihovo stanje, pa su ti elementi dobili i najveći faktor značaja (težinski koeficijent u konačnoj sumi rangiranja). Skala ocenjivanja stanja ovih parametara ima 5 odnosno 7 stepena gradacije. Parametri su podeljeni u 6 grupa prema njihovom značaju u odnosu na sposobnost mosta da prihvati opterećenje od saobraćaja. Ovim grupama pripisani su faktori značaja.

Nakon unosa rezultata pregleda mosta, određuje se, kao krajnji rezultat proračuna karakterističan broj - rejting mosta kao i odgovarajuća klasa rejtinga mosta. Ovaj pokazatelj - rejting se određuje kao ponderisana (težinska) suma ocene stanja elemenata mosta:

$$R = \sum_{i=1}^{28} a_i \cdot b_i$$

Gde su:

- $a_i$  – faktor značaja (težinski koeficijent)
- $b_i$  – ocena stanja elementa ustanovljena na pregledu.

Pri tome nisu kod svih mostova zastupljeni svi elementi koji se ocenjuju, već broj elemenata zavisi od statičkog sistema i konstruktivnog rešenja. Kako bi se mogla uspostaviti lista prioriteta za sve mostove u putnoj mreži, granice ovako sračunatog rejtinga izvedene su zavisno od statičkog sistema.

Tokom primene ovakvog tehničkog rešenja, ukazala se potreba da se ovako jedinstveno iskazano stanje mosta, dodatno okarakterise razdvajajući elemente koji se ocenjuju u okviru sledećih grupa:

- elementi konstrukcije – parcijalni rejting R1
- preteći elementi koji utiču na mogućnost daljeg propagiranja oštećenja konstrukcije – parcijalni rejting R2
- elementi koji utiču na odvijanje saobraćaja – parcijalni rejting R3
- dodatni elementi koji karakterišu značaj mosta u mreži te daju prednost u konačnom određivanju prioriteta – parcijalni rejting R4.

Na Slici 5 prikazan je izgled ekrana rejting kao i odgovarajući izveštaj.

The screenshot shows the 'Rejting - MOST' window in the BPM software. It contains a table with columns: ID, Naziv, Datum, Šif. st., and Ocena. Below this is a detailed report window titled 'REJTING LISTA' for the 'VRSTA OBJEKTA: MOST'. The report table has columns: ID, Naziv objekta, Datum, Šifra stanja, Ocena stanja, Ocena Rejting, R1, R2, R3, R4. The report lists 28 bridge entries with their respective ratings and parameters.

ID	Naziv objekta	Datum	Šifra stanja	Ocena stanja	Ocena Rejting	R1	R2	R3	R4
10982	MOST PREKO REKE VETERNICE (1)	6.12.2004	O3	OPASNO	6	9702,4	9340,5	200,35	226,5
10983	MOST PREKO REKE VETERNICE (2)	6.12.2004	O3	OPASNO	6	7598,1	7160,8	237,75	162,5
15109	SRUŠENI MOST U JAMENI	1.5.2002	O3	OPASNO	6	6236,2	5923	148,2	141,1
10500	MOST PREKO REKE CRNICE U SELU SISEVAC	12.1.1992	O3	OPASNO	6	6225,7	5910	203,5	172,5
10714	MOST PREKO TIMOKA U ZAJEČARU	7.1.1993	O3	OPASNO	6	5762,1	5463,5	173,9	90,8
10496	MOST PREKO REKE RESAVE (1)	11.1.2005	O3	OPASNO	6	5305,9	5023,3	153	160,55
10901	MOST PREKO LOMNIČKE REKE	5.1.1993	O3	OPASNO	6	5197,3	4889	153	129,3
10728	MOST PREKO REKE PEK (5)	8.12.2004	O3	OPASNO	6	5113,3	4794	187,35	157,9
13759	MOST PREKO MIRIČKE REKE	23.8.2006	O3	OPASNO	6	4434,2	4193,3	113,7	107,2
10717	MOST PREKO KURVINOŠ POTOKA	6.9.2004	O3	OPASNO	6	4303,2	4002	154,5	164,8
10744	MOST PREKO SIKOLSKJE REKE	13.9.2004	O3	OPASNO	6	4207	4001	117	144,95
10503	MOST PREKO REKE RAVANICE U SELU SENJE	2.3.2005	O3	OPASNO	6	4263,5	3945,5	153	142,95
10835	MOST PREKO REKE KAMENICE	15.12.2004	O3	OPASNO	6	4256,9	3979	159,5	102,25
10523	MOST PREKO REKE KAMENICE U SELU TOPOLA	26.6.2006	O3	OPASNO	6	4212,7	3822,5	154	136,5
14773	MOST PREKO REKE ŠTIRE 6	17.12.2004	O3	OPASNO	6	4143,4	3843,8	149	136,6
15106	MOST PREKO SIVNOŠ POTOKA	1.5.2002	O3	OPASNO	6	3965,5	3685,6	111,2	170,8
1507	MOST PREKO SIVNE PREPREKE	20.4.2004	N9	NEPOVOLJNO	3	3968,1	3685,6	181,25	95,2
10698	MOST PREKO REKE DAVDOVICE	27.10.2008	D6	DOBRO	1	3955,1	3712,5	123,25	113,2
10146	MOST PREKO REKE KOŠTANICE U SELU HRUŠAR	11.1.1992	N9	NEPOVOLJNO	3	3917,8	3591,2	222,4	124,5
10143	MOST PREKO GLAVIČANŠKINOG I DUBOŠKOG POTOKA	11.1.1992	O3	OPASNO	6	3898,1	3511	126,9	220,5
10512	MOST PREKO REKE JASENICE	12.1.1992	O3	OPASNO	6	3639,2	3303,5	239,5	154,5

**Slika 5.** Ekran segmenta REJTING i izgled izveštaja  
Izvor: (Uvodno izlaganje na COST konferenciji, Beograd -M. Veljović[6])

Parcijalni karakteristični broj R1 sadrži ocene stanja glavnih nosećih elemenata konstrukcije (9 elemenata), ali i ocenu stanja korozije ovih elemenata čime se daje na značaju pojavi najčešćeg uzroka propadanja konstrukcija. Parcijalni karakteristični broj R2 sadrži ocene hidroizolacije, dilatacija, područja ispod mosta ili

vodotoka, kao i ocenu opšteg utiska o mostu. Parcijalni karakteristični broj R3 sadrži ocene kolovoza, opreme (ograda, ivičnjaka, pešačkih staza, instalacija i signalizacije) kao i elemente kolovoza na spoju mosta i nasipa (klinovi, prelazne ploče, kegle). Parcijalni karakteristični broj R4 sadrži ocene položaja i geometrije mosta kao i podatke o prosečnom godišnjem saobraćaju. Formiranje rang listi je moguće prema ukupnom stanju mosta, bilo kom željenom parametru ili grupi parametara. Od vrednosti ovog broja zavisi mesto mosta na listi prioriteta (u održavanju odnosno popravkama i rekonstrukcijama mostova). Na vrhu liste se nalaze najviše oštećeni mostovi. Veličina rejtinga upućuje na kategoriju mera koje treba primeniti u tretmanu mosta i na njihovu hitnost.

Slično kao i ocene pojedinih elemenata, i sam rejting, kao i parcijalni rejtinzi su klasifikovani u 6 klasa koje definišu tip potrebnog održavanja. U Tabeli 1. prikazan je opis stanja po ovim klasama rejtinga kao i uopšteni opis radova koji pojedinim klasama rejtinga odgovaraju.

**Tabela 1. Klase rejtinga prema Srpskoj metodologiji**

Klasa rejtinga mosta	Stanje objekta	Kategorija mera
1	Ispravan	Redovna kontrola
2	Zanemaren	Redovna kontrola i redovno održavanje
3	Manje oštećen	Intenzivno redovno održavanje
4	Oštećen	Vanredni pregled i investiciono održavanje
5	Vrlo oštećen	Specijalni pregled i planiranje sanacije
6	Preti rušenje	Neodložna sanacija ili rekonstrukcija

Izvor: (Predlog postupka određivanja prioriteta u održavanju mostova, Dragan Bebić, [7])

## 2.5. Nosivost mostova

Segment baze "NOSIVOST MOSTOVA" odnosi se na sposobnost mostova da prihvate i bezbedno "prevedu" preko prepreke, bez posledica po objekat, vozila, terete i lica. Da bi uopšte bilo moguće proveravati nosivost mostova, pripremljen je za usvajanje „Pravilnik o utvrđivanju nosivosti postojećih mostova na državnim putevima“.

Ovim Pravilnikom propisuje se način utvrđivanja nosivosti postojećih mostova kao i mere i aktivnosti koje će se preduzeti ukoliko se utvrdi da određeni most ne ispunjava zahteve u pogledu nosivosti u odnosu na teška teretna vozila. To je veoma važan i specifičan segment baze podataka pa zahteva i veoma stručan i ozbiljan rad u svim fazama osnivanja segmenta.

U skladu sa Pravilnikom se vrši proračun nosivosti mosta i rezultati se unose u formular koji je sastavni deo Pravilnika a takođe se smeštaju i u Bazu podataka o mostovima. JP "Putevi Srbije" dužno je da preko kvalifikovane organizacije utvrdi najpre nosivost mostova na kojima su prilikom poslednjeg pregleda utvrđena oštećenja konstruktivnih elemenata te vrste i obima da se osnovano sumnja u pad nosivosti u odnosu na radnu nosivost.

U Srbiji je specifična situacija da je najpotrebnija provera nosivosti kod mostova koji su u veoma lošem stanju. Postoji veliki broj takvih mostova a zbog nedostatka sredstava nije izvesno kada će biti popravljani. Zbog toga je od izuzetnog značaja proveriti da li je njihova nosivost umanjena i u kojoj meri da se pristupilo planiranju aktivnosti na tim mostovima.

Ukoliko proračunom pokazuje da neki most ima nedovoljnu radnu nosivost, po Pravilniku se sprovede sledeće mere i aktivnosti:

- Ograničenje saobraćaja (od ograničenja ukupne mase vozila pa sve do potpune zabrane korišćenja mosta za sva vozila).
- Vršenje radova, od manje popravke mosta pa sve do rekonstrukcije mosta.

Posebna teškoća pri proveri nosivosti je da postoji veliki broj mostova koji u arhivi ne poseduju projektну dokumentaciju i za koje nisu poznati propisi po kojima su projektovani pa zato nije poznata ni njihova projektovana nosivost. Uslov za primenu Pravilnika kod mostova bez postojeće projektne dokumentacije je izrada kontrolnog statičkog proračuna sa neophodnim istražnim radovima koje je potrebno izvršiti da bi se utvrdila nosivost tih mostova. Obim istražnih radova, u okviru projekta kontrolnog statičkog proračuna, za svaki most se određuje u odnosu na specifičnosti konstrukcije. To je skup, ali neophodan posao pa je zato ažuriranje ovog segmenta u bazi ujedno i najsporije. Na Slici 6 je prikazan ekran segmenta NOSIVOST i izgled izveštaja.

The screenshot shows a software interface for bridge inspection reports. The main window, titled 'MOST - Pretraga', contains a search form with fields for 'ID Objekta' (10916), 'Šifra objekta' (R245-00-857-040-MAKP), and 'Naziv objekta' (MOST PREKO RASTOVNIČKE REKE). Below this is a detailed report form for 'Izveštaj o provereni nosivosti mosta'. The report includes fields for 'Nosivost ID', 'Datum provere nosivosti', 'Povod za proveru', 'Datum dokumenta', 'Broj izveštaja', 'Partner', 'Datum pregleda', and 'Vrsta pregleda'. A table lists 'Merodavan kritični elementi' with values for 'GLAVNI NOSAČI', 'Inventarska dozvoljena težina vozila', 'Inventarsko dozvoljeno osovinsko opterećenje', 'Radna dozvoljena težina vozila', and 'Radno dozvoljeno osovinsko opterećenje'. A 'Napomena' section provides technical details about the bridge's condition and safety. A secondary window on the right, titled 'IZVEŠTAJ O PROVERI NOSIVOSTI MOSTA', displays a summary of the report with a table of 'PROVERENI ELEMENTI'.

**Slika 6.** Ekran segmenta STANJE i izgled izveštaja  
 Izvor: (Uvodno izlaganje na COST konferenciji, Beograd -M. Veljović[6])

## 2.6. Upotreba baze podataka o mostovima u republici Srbiji

Baza podataka o mostovima i BMS se razvija u Sektoru za upravljačko informacione sisteme u saobraćaju. Podaci iz baze se prosleđuju Sektoru za održavanje puteva. Radovi redovnog održavanja propisani su Pravilnikom o održavanju puteva i vrše se za sve mostove. Za te potrebe se iz Baze podataka dobija informacija koji su mostovi na kom putu, njihova tačna lokacija, osnovni podaci itd. Segment planiranih i izvršenih radova nije potpuno razvijen u bazi, tako da se planiranje količina radova redovnog održavanja po pozicijama vrši na osnovu podataka iz inventarskih listova mostova.

Podatke iz Baze o stanju mostova takođe koriste i inženjeri za planiranje radova iznad nivoa redovnog održavanja mostova. Na osnovu Rejtinga sačinjava se lista mostova sortirana po stanju mostova odnosno po prioritetu intervencije. Na vrhu liste su mostovi klase 5 i 6, koje se karakterišu kao veoma loše i opasno stanje. Pošto ima više mostova klase 5 i 6 nego što ima raspoloživih sredstava onda se mora izvršiti uži izbor mostova na kojima će se vršiti intervencije. Ovde se koriste se i dodatni kriterijumi - pravi se rejting lista po parcijalnom rejtingu za konstruktivne elemente mosta. Od važnosti su parametri kao što je značaj puta, saobraćajno opterećenje, postojanje alternativnih puteva i mogućnost pristupa mostu (parcijalni R4 – rejting). Pored izbora na kojim će mostovima biti potrebne intervencije, potrebno je doneti i odluku o tome koje su intervencije adekvatne u okviru raspoloživih sredstava – da li će se izvršiti kompletna popravka na manjem broju mostova ili delimična popravka na većem broju mostova a nastavak radova da se odloži za kasnije.

Mostovi koji nisu klase 5 i 6 su kandidati za izvođenje delimičnih radova. Tu su u pitanju prevashodno mostovi kod kojih su loše ocene elemenata vezanih za bezbedno odvijanje saobraćaja preko mosta (parcijalni rejting R3).

Sektor za strategiju, projektovanje i razvoj koristi podatke iz Baze, za planiranje i ugovaranje izrade projektne dokumentacije za rekonstrukciju postojećih mostova ili za izgradnju novih mostova umesto starih. Bitno je da iz Baze dobiju podatke o mostovima koji su u najlošijem stanju a naročito ako imaju i nedovoljnu nosivost. Na osnovu podataka iz baze sastavlja se projektni zadatak za izradu projekta rekonstrukcije ili zamene mosta.

Sektor za investicije se bavi ugovaranjem rehabilitacija kompletnih putnih deonica, sa svim objektima na njima, i on ima drugačije zahteve. Tu je poznato koji se mostovi nalaze na izabranoj deonici ali je potrebno doneti odluku kakav će obim radova biti na tim mostovima. Uz pomoć podataka iz Baze, prvenstveno stanja mosta a potom i inventarskih podataka, naročito dimenzija mosta, donosi se odluka da li će biti samo popravka ili rekonstrukcija ili pak izgradnja novog mosta.

Važna uloga podataka iz Baze je i u planiranju vanrednih prevoza (ekstra teških tereta ili gabarita van propisanih). U izboru rute kojom će ići prevoz bitno je stanje mostova a poseban značaj ovde ima i segment „nosivost“.



### 3. DALJI RAZVOJ SISTEMA UPRAVLJANJA MOSTOVA U SRBIJI

Tokom dvodecenijske upotrebe baze podataka o mostovima, bilo nekoliko verzija u smislu usavršavanja samog tehničkog rešenja (metodologije) kao i u pogledu unapređenja software-ske aplikacije u skladu sa razvojem IT tehnologije.

Uspostavljeni rejting sistem, koji se koristi za prioritizaciju mostova, predstavlja jedinstvenom pokazatelj karakteristika mosta. Unapređenje metodologije išlo je u smeru formiranja parcijalnih karakterističnih brojeva, kako bi se pored elemenata koji su u vezi sa nosivošću mostova (glavnih nosećih elemenata sa najvećim težinskim koeficijentom – faktorom značaja) vrednovala i ostale karakteristike mosta. Ovakav pristup je u skladu i sa ciljnim vrednostima karakteristika kako ih definiše evropski projekat TU 1406.

Nedostatak finansijskih sredstava, ali i nedostatak razumevanja značaja kako održavanja tako i vrednosti ažuriranih podataka, rezultira nesistematskim i neracionalnim utroškom inače skromnih sredstava. Od evidentiranih blizu 3000 mostova na državnim putevima u republici Srbiji, u bazu još uvek nije uneto oko 200 mostova. Na velikom broju mostova, koji su evidentirani u bazi su izvršene intervencije a da podaci u nisu ažurirani. Zbog toga su podaci u bazi sve stariji i više ne odgovaraju stanju na terenu. To znatno otežava posao svima kojima su ti podaci potrebni.

Takođe baza nije dovedena do nivoa da bude multikorisnička odnosno da svi kojima je potrebno mogu samostalno preuzeti neophodne podatke. To predstavlja veliki problem za inženjere na terenu kojima je informacija o određenom mostu najčešće hitno potrebna.

Pored ovoga ne sme se zanemariti i dalje unapređenje postojeće metodologije. Svrshodno je preispitati usvojene faktore značaja (težinske koeficijente) a možda i dopuniti ili redukovati listu elemenata koji se ocenjuju. Takođe, od značaja je da se sadašnji način donošenja odluka, na osnovu kombinacije četiri parcijalna rejtinga, testira i dokumentuje na odgovarajući način. Sa opredeljenjem za proaktivnu strategiju održavanja, umesto sadašnje, u najvećoj meri, reaktivne, potrebno je bazu integrisati u sistem održavanja koji bi posedovao algoritme za proces odlučivanja zasnovan na prognozi budućeg stanja. Konačno, ali ne manje važno, potrebno je izraditi novu software-sku aplikaciju zbog toga što je trenutna verzija izrađena 2003.-će godine već odavno zastarela.

#### 3.1 Budući koraci

Aktivnosti koje bi trebalo obaviti u narednom periodu obuhvataju:

- Dalji razvoj Baze podataka o mostovima – prelazak na novu, znatno savremeniju verziju. Potrebno je da Baza bude web orijentisana i da bude moguć pristup dislociranih korisnika, da se vrši prostorna analiza podataka koristeći GIS platformu
- Ažuriranje svih segmenata BMS:
  - Pripremiti da INVENTAR bude podloga za utvrđivanje količina za redovno održavanje, pa da segment Baze koji sadrži količine radova redovnog održavanja bude izveden iz inventara, određenim računskim postupkom koji se zasniva na pravilniku o održavanju javnih puteva i objekata na njima
  - Pripremiti da u narednim pregledima zapisnici o stanju konstrukcije sadrže i procenjene količine radova na popravkama, što će znatno pomoći u planiranju budžeta.
  - Nastaviti sa unosom podataka o nosivosti mostova, u bazu podataka. Ovo jeste najskuplja pozicija ali je neophodno da se stalno dopunjuje.
  - Započeti unos podataka o vanrednim prevozima, u bazu podataka.
- Razvoj dodatnih segmenata:
  - Modeliranje propadanja - zahvaljujući ovom segmentu, planiranje radova na mostovima će biti pouzdanije,
  - Prirodne opasnosti (poplave) - destruktivne poplave u Srbiji u poslednjih nekoliko godina su pokazale značaj razvoja segmenta koji bi mogao uzeti u obzir uticaj prirodnih nepogoda.
- Obezbediti vršenje redovnih pregleda mostova da bi podaci u bazi bili ažurni.

### 4. ZAKLJUČCI

U cilju izrade smernica za uspostavljanje planova kontrole kvaliteta za drumske mostove pokrenuti evropski projekat COST TU1406 okuplja široki spektar zainteresovanih strana, od članova akademske zajednice, preko konsultanata, predstavnika državnih agencija i javnih preduzeća iz različitih naučnih disciplina,. Predviđeno je da ove smernice sadrže preporuke za ocenu definisanih pokazatelja kvaliteta kao i specifične ciljne vrednosti ovih pokazatelja radi uspostavljanja plana kontrole kvaliteta u oblasti održavanja drumskih mostova.

Iako je u Srbiji uspostavljena baza podataka o mostovima (BPM) bila veoma napredna u vreme svog formiranja, njeno sadašnje stanje verodostojno oslikava stanje u državi i društvu u periodu 1990-2016. Najveća vrednost baze se ogleda u originalnom metodološkom rešenju za pregled i ocenjivanje stanja mostova, odnosno ocenjivanja stanja elemenata konstrukcije mosta. Na tako postavljenom metodološkom rešenju sakupljen je značajnom broj podataka tokom prethodne dve i po decenije postajanja baze. Lista prioriteta koja se određuje na osnovu postojeće metodologije rejting sistema je od nesumnjivog značaja kada raspoloživa sredstva ne mogu da zadovolje sve potrebe. Ipak, treba istaći da daljem razvoju ovog rešenja nije bila posvećena dovoljna pažnja u prethodnom periodu usled nedostatka sredstava i nerazumevanja osnivača o značaju sistema upravljanja mostovima.

Pored toga što su mnogi podaci u Sprskoj bazi o mostovima već dosta stari pa samim tim nisu ni pouzdani, ovoj bazi nedostaju podaci koji se odnosi se na vrste i vreme obavljenih intervencija, što dovodi do drastičnog potcenjivanja brzine propadanja elemenata mostova u Srbiji.

Unapređenje metodološkog rešenja baze i načina uspostavljanja prioriteta je verovatno prvi naredni korak u revitalizaciji i unapređenju dosadašnje prakse upravljanja drumskim mostovima. Tome treba prilagoditi kako metode i načini prikupljanja i ažuriranja informacija, tako i metode obrade, korišćenja i donošenja odluka. Sa tim ciljem su se autori ovog rada uključili u evropski projekat TU1406 radi definisanja smernica i usaglašavanja kriterijuma na evropskom nivou.

Već stvorena postojeća a naročito planirana, buduća, informaciona osnova, biće bez sumnje nezamenljivi izvor informacija istraživačkim timovima, institucijama, donosiocima odluka i svima koji su za mostove, i šire, za putnu privredu i njen razvoj zainteresovani.

## Literatura

- [1] *European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research - COST* (2014).- Memorandum-of-Understanding (on-line) available at:  
<http://www.tu1406.eu/wp-content/uploads/2015/06/COST-TU1406-.pdf>  
(01.04.2016)
- [2] Matos, J. (2015.) TU1406: Quality Specifications for Roadway Bridges, Standardization at a European Level (BridgeSpec) available at:  
<http://www.tu1406.eu/wp-content/uploads/2015/06/COST-TU1406-1st-MC-Meeting-general-presentation.pdf> (01.04.2016)
- [3] Hajdin, R. (2016). Quality Control Plans for Road Bridges; Keynote presentation at Belgrade's WG 3 meeting COST TU 1406; 30.03-01.04.2016
- [4] Institut za puteve (1998). *Tehničko rešenje baze podataka o mostovima – knjiga 1, Institut za puteve AD Beograd, Srbija* 117 s.
- [5] Institut za puteve (1998). *Tehničko rešenje baze podataka o mostovima – knjiga 2, Institut za puteve AD Beograd, Srbija* 148 s.
- [6] Veljović, M. (2016). Data-driven Decision Making on maintenance Activities in Serbia; Keynote presentation at Belgrade's meeting COST TU 1406; 30.03-01.04.2016
- [7] Bebić, D. (1986). Predlog postupka određivanja prioriteta u održavanju mostova, Institut za Puteve, Beograd, Volume 15, Issue 15, p. 45-56

## Standardization of quality control plans for roadway bridges at a European level and related practice in Republic of Serbia

Snežana Mašović<sup>a</sup>, Momčilo Veljović<sup>b</sup>, Nikola Tanasić<sup>a</sup>, Rade Hajdin<sup>a,c</sup>

<sup>a</sup>Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, <sup>b</sup>JP Putevi Srbije, <sup>c</sup>Infrastructure Management Consultants, Ciri

**Abstract:** As a milestone of European research project COST TU1406 "Quality specifications for roadway bridges, standardization at a European level", work group meetings and workshop were held in Belgrade in period 30.03.2016 - 01.04.2016. Among researches from academic institutions and roadway enterprises, representatives from JP "Putevi Srbije" took active participation. The workshop was an opportunity for experts from field of management of transportation infrastructure to share experiences and discuss related practices applied in EU countries. In this paper, an overview of the COST TU1406 project is given and current practices for inspection and maintenance of roadway bridges in Serbia are discussed. Here outlined are the benefits of participation of Serbia on this European project.

**Key words:** COST TU1406, roadway bridges, quality control plans, bridge database

# EXAMPLE OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM FOR ROADS OF LOCAL GOVERNMENT

Milan Marinković<sup>1</sup>

Bojan Matić<sup>1</sup>

Rada Stevanović<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department of Civil Engineering and Geodesy, Trg Dositeja Obradovića 6 21000 Novi Sad, [milan.marinkovic@uns.ac.rs](mailto:milan.marinkovic@uns.ac.rs); [bojanm@uns.ac.rs](mailto:bojanm@uns.ac.rs); [rada.stevanovic@uns.ac.rs](mailto:rada.stevanovic@uns.ac.rs)

**Abstract:** In this paper is presented example of geographic information system for road of local government. Below is an example of GIS for local road of Beočin. Municipality of Beočin is located in the South Bačka District. There is the order of the development of GIS model for road of Beočin. Data collection was carried out during the March 2015. It was shot orthophoto plan of the area. The procedure for the formation of a database is shown. To create the model was used QGIS (Open source software).

**Key words:** GIS, Beočin, local roads, software.

## 1. Municipality of Beočin

Municipality of Beočin is located in the South Bačka District. It is located in the north of Srem, between the Danube and Fruška Gora. It covers an area of 186 km<sup>2</sup>. According to the 2011 census, the municipality has 15,726 inhabitants<sup>[1]</sup>. Spatial coverage of the municipality is shown below.

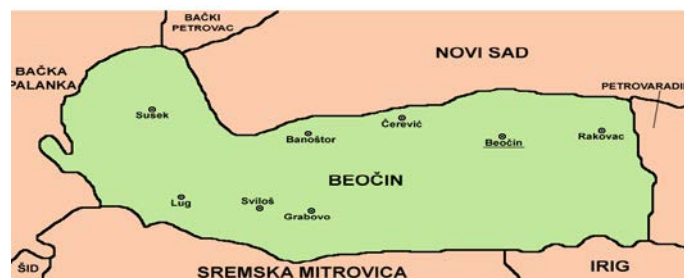


Figure 1. Spatial coverage of the municipality of Beočin<sup>[1]</sup>

## 2. ORDER OF OPERATIONS FOR GIS

GIS Beočin municipality is realized through the following steps:

- the first is defined methodologies and modeled context diagram;
- recorded orthophoto plan;
- carried out collection of available data from existing documentation and the data collected directly in the field;
- collected data are stored in a database;
- an analysis of the collected data and a graphical representation of using GIS software.

### 2.1. Function modeling using the IDEF0 methodology for the needs of GIS

For functional modeling is used IDEF0 methodology is implemented through BPwin CASE tool. During the 60s of the last century were developed modeling technique known as SADT (Structured Analysis & Design Technique). US Air Force as an upgrade of the technique developed by ICAM (Integrated Computer Aided Manufacturing) program<sup>[2]</sup>.

IDEF0 function modeling is a technique based on a combination of graphics and text that are presented in an organized and systematic manner. The reasons that led to the creation of modeling activities:

<sup>1</sup>Milan Marinković: [milan.marinkovic@uns.ac.rs](mailto:milan.marinkovic@uns.ac.rs)

- Compressing huge amount of information in a small amount of the most important information. Documentation with a larger number of pages requires a lot of time to read;
- Need for rapid organizational change;

Basic relationships between the information and the activity are determined by rectangles and arrows and are shown in the figure below.



Figure 2. Basic relations information and activities<sup>[3]</sup>

The arrows on the left side of the rectangle are defined as inputs. Arrows entering the rectangle above are defined as controls. Arrows coming out of the rectangle on the right side are the outputs. Outputs are the data or objects produced by activity. The arrows at the lower side of the rectangle are mechanisms. The arrows pointing upwards identify the meaning that supports the execution of activities. Mechanism arrows that are faced down are defined as arrows calls.

Activities can be presented in the following ways:

- using context diagram (Figure 3.);
- using diagrams of decomposition;
- using a tree activities.

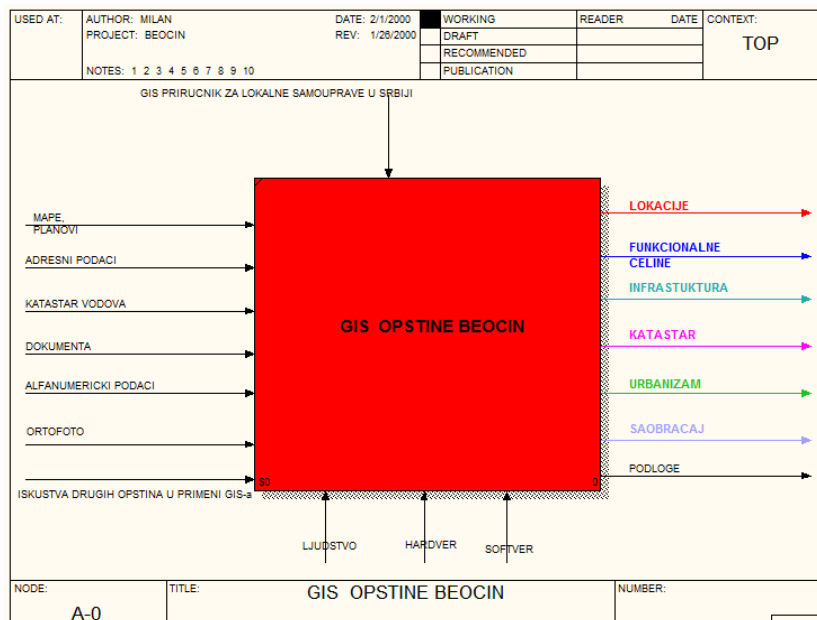


Figure 3. Context diagrams for GIS Beočin

## 2.2. Orthophoto

Orthophoto has included area that is bordered by bypass in Beočin and Cementaška Street and St. Sava Street (Figure 4.).

EXAMPLE OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM FOR ROADS OF LOCAL GOVERNMENT

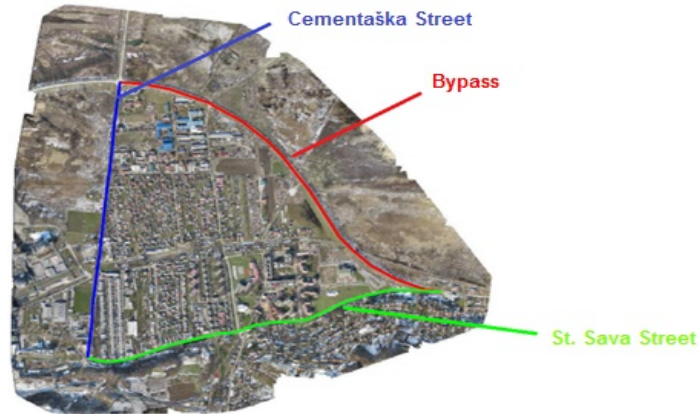


Figure 4. Coverage of aerial photographs<sup>[5]</sup>

Recording is done with dronesenseFlyEbee shown in the figure below (Figure 5).



Figure 5.SenseFlyEbee<sup>[4]</sup>

The resulting otofoto footage in a resolution 5:06 cm/pixel with the following characteristics:

- relative horizontal accuracy of 5.06 cm to 10.12 cm;
- relative vertical accuracy of 5.06 cm to 15.18 cm.

Approximate point in Beočin were recorded with high precision geodetic device, so it can be said that the absolute accuracy of the results close relative accuracy. The expected value of the absolute accuracy of 5 to 10 cm horizontally and from 5 to 20 cm vertically. Relative accuracy is defined by the relationship of individual objects on tape or digital orthophoto model (example: two points in the model can be 2 m shifted relative to their exact position in space but their relative accuracy is high, i.e.the distance between these two points in the model fits their distance in nature).

The absolute accuracy of the output is the difference between the positions on the orthophoto recording (digital model) and the exact position in space. Absolute accuracy is increased by using the orientation points. It depends on the accuracy of determining the orientation points, their number and arrangement.

**2.3. Content of a GIS- traffic infrastructure of the municipality Beočin**

Content of GIS for Beočin is shown in Table 1.

Table 1. Content of a GIS - transport infrastructure of the municipality of Beočin

Category	Symbol	Display
<b>Roads</b>		
Collecting street	CS	Line/Area
Access street	AS	Line/Area
Foot Path	FP	Area
<b>Curbs</b>	<b>CU</b>	<b>Line</b>
<b>Parking spaces</b>		
Street parking	SP	Area
Garage	GA	Area
<b>Intersections</b>		
Surface intersection	SI	Area

Table 1. (continuation)

<b>Traffic signals</b>		
Road markings	RM	Area
Vertical signaling	VS	Point
Traffic lights	TL	Point
<b>Lighting</b>		
Street lamps	SL	Point
<b>Bus stations</b>		
Bus stops	BS	Area
<b>Drainage</b>		
Shaft	SH	Point
Drains	DR	Point

In the database, each of these data is presented on the basis of attributes. For example, the shafts are defined by the following attributes:

- shaft type;
- the name of the road where it belongs;
- the coordinates on which the shaft is located;
- photographs;
- technical documentation (incorporating data, historical presentation of all papers).

## 2.4. Datacollecting

Data that were available on the Internet were collected in March 2015. Then the data about position of traffic infrastructure were collected in the field.. Intersection was landmark for data collection. Pictures below show the vertical signaling(Figures 6. and Figure 7.).



Figure 6.and Figure 7. Vertical signaling <sup>[6]</sup>

## 2.5.Database

The database has the proper structure that includes tables, keys and relationships. To work with databases required applications that will be affordable to all users. Relational databases are very functional so they are very widespread. The structure of a relational database provides a logical and rational organization and presents itself as a collection of tables, between which relations are established. Theoretical basics of the relational model are established in the seventies.

Data is stored in tables. The table is a collection of information organized in rows and columns. The database contains at least one table with the largest number of tables depends on the characteristics of the

## EXAMPLE OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM FOR ROADS OF LOCAL GOVERNMENT

system. Tables can be added or deleted as required. Individual fields are called attributes. Relationships between tables are realized through the column and over the value of the column with the same values in the tables relate. Fields that are duplicated to connect are called the foreign key while fields that identify rows are called the primary key. Dynamic linking allows you to modify individual table without affecting the rest of the table. The relational model of data for the municipality of Beočin is shown in Figure 8.

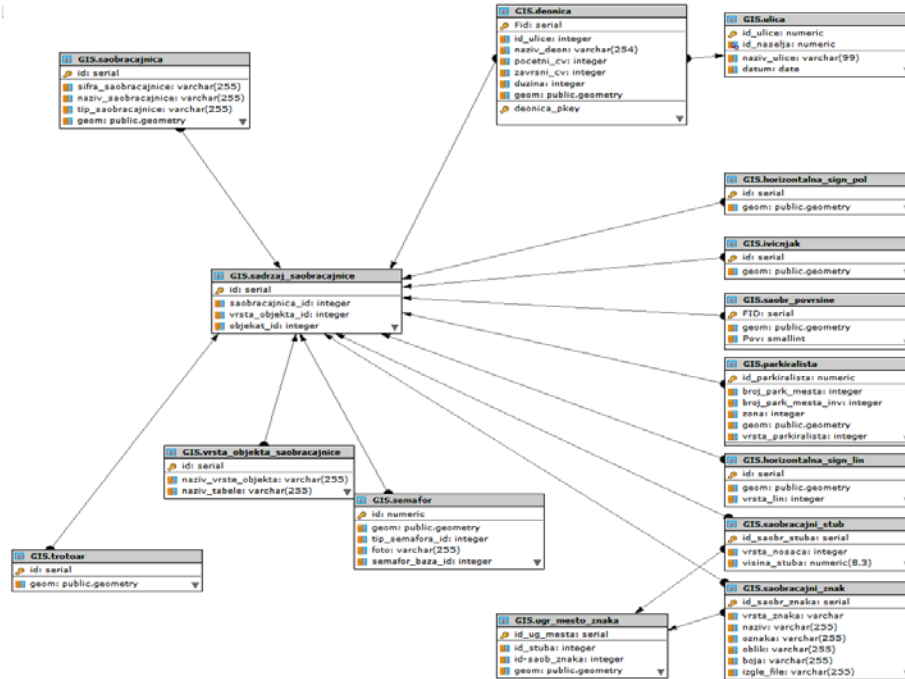


Figure 8. Relational model data for the municipality Beočin

### 2.5.1. Defining database for the municipality Beočin

To create the database used for the following programs: Microsoft Excel, Microsoft Access and DB Manager (which is an QGIS plugin). First, the database has been created with all types traffic signage. All data collected in the field are entered into the database. When collecting the data in the field, they have served as landmarks transport nodes, i.e. in. The following illustration shows the process of forming a database in Microsoft Access and search options by the SQL language (Figure 9).

ID	Šifrasz	Vertikalna sig znakovi	nazivsz	smakabaza
1	1-1	KRIVINA NALEVO		(0)1
2	1-1.1	KRIVINA NADESNO		(0)1
3	1-2	DVOSTRUKA KRIVINA ILI VIŠE UZASTOPNIH KRIVINA OD KOJIH JI		(0)1
4	1-2.1	DVOSTRUKA KRIVINA ILI VIŠE UZASTOPNIH KRIVINA OD KOJIH JI		(0)1
5	1-2.2	OPASNA KRIVINA		(0)1
6	1-3	OPASAN USPON		(0)1
7	1-4	OPASNA NIZBRDICA		(0)1
8	1-5	SUŽENJE PUTA		(0)1
9	1-5.1	SUŽENJE PUTA SA DESNE STRANE		(0)1
10	1-5.2	SUŽENJE PUTA SA LEVE STRANE		(0)1
11	1-6	POKRETNI MOST		(0)1
12	1-7	BUŽINA OBALE		(0)1
13	1-8	NERAVAN KOLOVOZ (OPASNE IZBOČINE I ULEGNUĆA)		(0)1
14	1-9	NERAVAN KOLOVOZ (OPASNA ULEGNUĆA)		(0)1
15	1-10	NERAVAN KOLOVOZ (OPASNE IZBOČINE)		(0)1

Figure 9 . The base of vertical signaling (Microsoft Access)



In Figure 10 it is shown how the database in DB Manager is formatted (QGIS plugin).



Figure 10. Creating database tables

## 2.6. Graphical representation using QGIS software

### 2.6.1. Georeferencing

Georeferencing is adding the geographical coordinates of an object. Plan municipal infrastructure that existed was not georeferenced and is therefore done georeferencing. For georeferencing are used known coordinates of cadastral parcels.

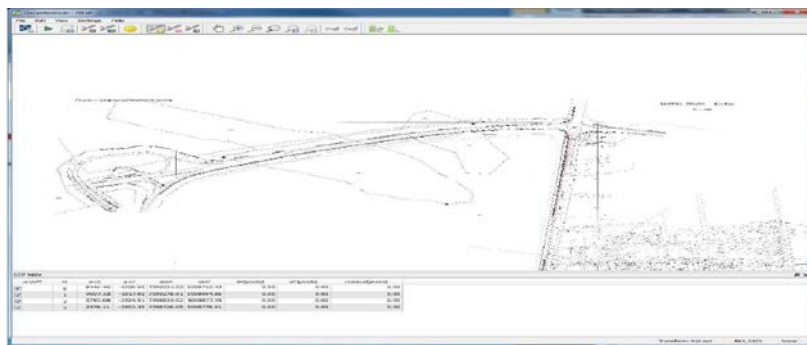


Figure 11. Georeferencing

### 2.6.2. Maps

The maps were drawn using QGIS software. All collected data are displayed on maps. Individual layers are display on Figure 12.

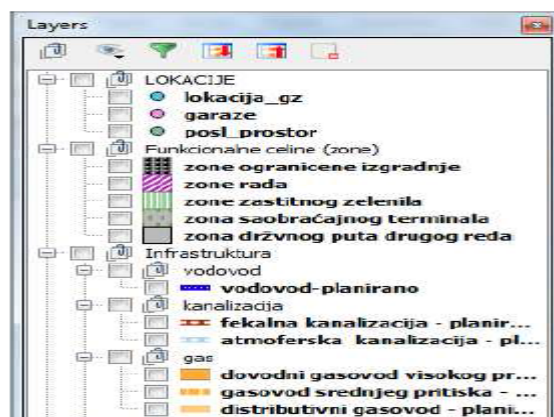


Figure 12. Display of layers

## EXAMPLE OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM FOR ROADS OF LOCAL GOVERNMENT



Figure 13. Transport infrastructure with orthophoto plan

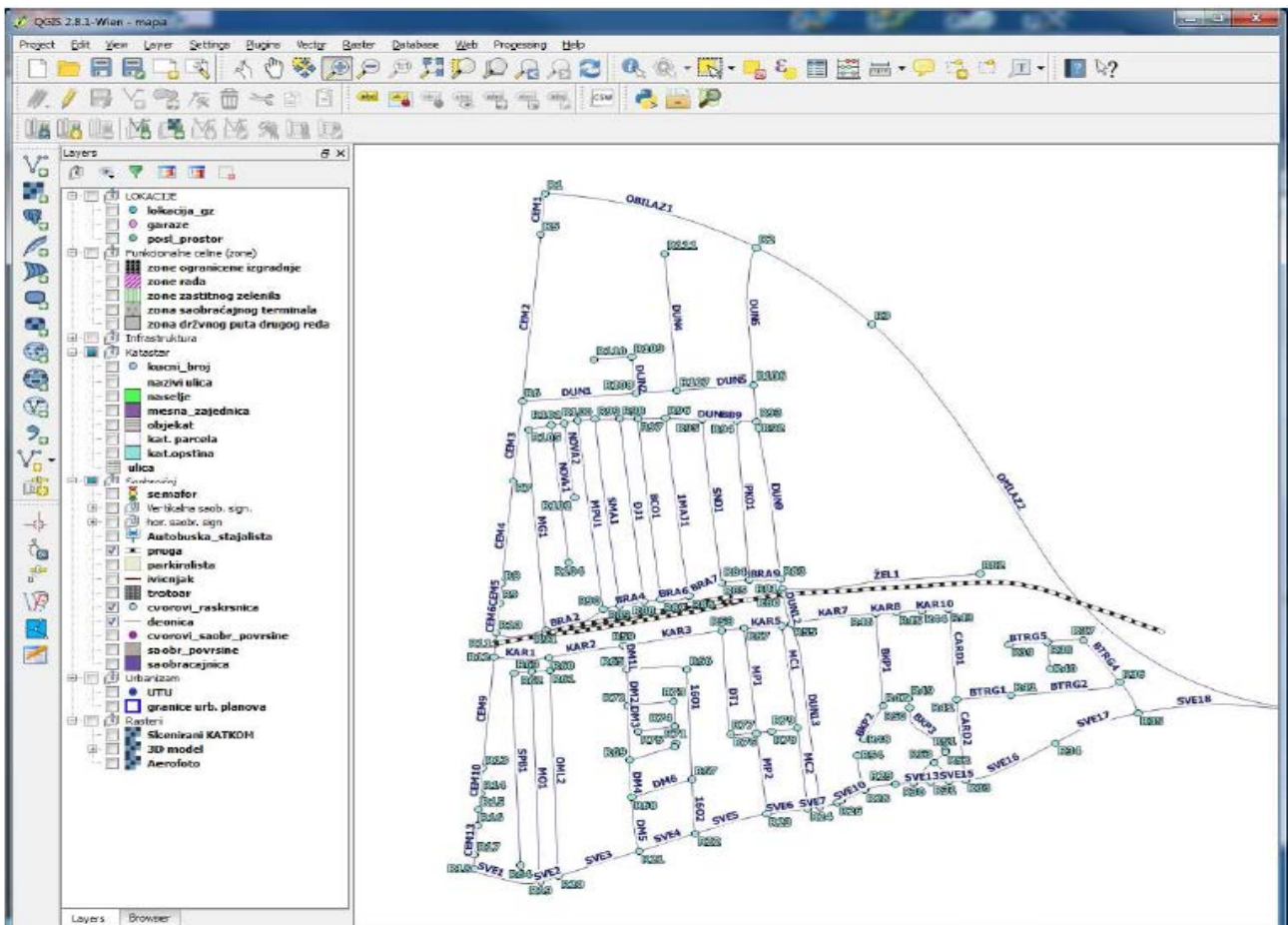


Figure 14. Display of nodes urban road network

#### 4. CONCLUSIONS

Geographic information system represents a very good basis for the maintenance of roads of local governments. GIS allows the integration of all data, which are essential for the maintenance of transport infrastructure, in one place. Programming, i.e. manufacture of certain supplements GIS software; you can create applications that can be used for the maintenance of roads (Figure 15). Extras would be based on the parameters of roads that are essential for the maintenance as for example in pavements longitudinal roughness (IRI). With these applications will result in streamlining the operations of all the companies that are responsible for maintaining the infrastructure of local governments.



Figure 15. The division of the route based on the pavement condition<sup>[7]</sup>

#### 5 REFERENCES

- [1] Internet: [https://sr.wikipedia.org/sr/Opština\\_Beočin](https://sr.wikipedia.org/sr/Opština_Beočin); 21.12.2015
- [2] Veljović A.; 2001. *Computer in system of quality*, 12 p.
- [3] Veljović A.; 2001. *Computer in system of quality*, 16 p.
- [4] Internet: <https://www.sensefly.com/drones/ebec-ag.html>; 21.12.2015
- [5] Milan Marinković, Master of Civil Engineering, Development of a Geographic Information System for local government roads, 2015, p. 18; Faculty of Technical Sciences
- [6] Milan Marinković, Master of Civil Engineering, Development of a Geographic Information System for local government roads, 2015, p. 21; Faculty of Technical Sciences
- [7] Internet: <https://www.e-education.psu.edu/transportation/node/7>; 13.01.2016

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The work reported in this paper is a part of the investigation within the research project "Improvement of educational process and research of new technologies in construction engineering", supported by Department for Civil Engineering and Geodesy, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia. This support is gratefully acknowledged.

# MODEL OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM FOR ROADS

Milan Marinković<sup>1</sup>

Bojan Matić<sup>1</sup>

Rada Stevanović<sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department of Civil Engineering and Geodesy, Trg Dositeja Obradovića 6 21000 Novi Sad, [milan.marinkovic@uns.ac.rs](mailto:milan.marinkovic@uns.ac.rs); [bojanm@uns.ac.rs](mailto:bojanm@uns.ac.rs); [rada.stevanovic@uns.ac.rs](mailto:rada.stevanovic@uns.ac.rs)

**Abstract:** In this paper are presented basic informations about geographic information system. It is described the components of GIS. GIS is composed of hardware, software, data, personnel and procedures. Each component is explained in more detail. GIS is used for the collection, storage, processing, updating, analyzing and modeling spatial data. Objects can be displayed as points, lines or polygons. All advantages and disadvantages of installing GIS are listed. It shows the cost structure in the implementation of GIS. There is shown example of the database for GIS. Data can be divided into vector and raster data types. In this paper is shown difference between them. Also, there is shown state of the art of the situation and statistical analysis of data on the introduction of GIS in the units of local self-government for the Republic of Srpska and Serbia.

**Key words:** GIS, database, cost, components, software.

## 1. INTRODUCTION

Geographic information system (GIS) represents an organized collection of hardware, software, data, personnel and network for efficient collection, processing, storing, updating, handling, analyzing, modeling, trans missioning and displaying all forms of spatial information.

Geographic Information System enables us to join our data and their spatial position so that we have all of an object at one place (its features and its position in space and we can add images of objects). The great advantage of GIS is that it could be upgraded using certain applications that may be intended to more efficient in maintenance of objects (e.g. roads in the territory of local self-government).

Thus organized data displayed on digital maps carry information of high quality that help to more efficient operations and better business decisions. GIS allows information to be easily stored, preserved, processed and analyzed, which significantly affects the efficiency and productivity.

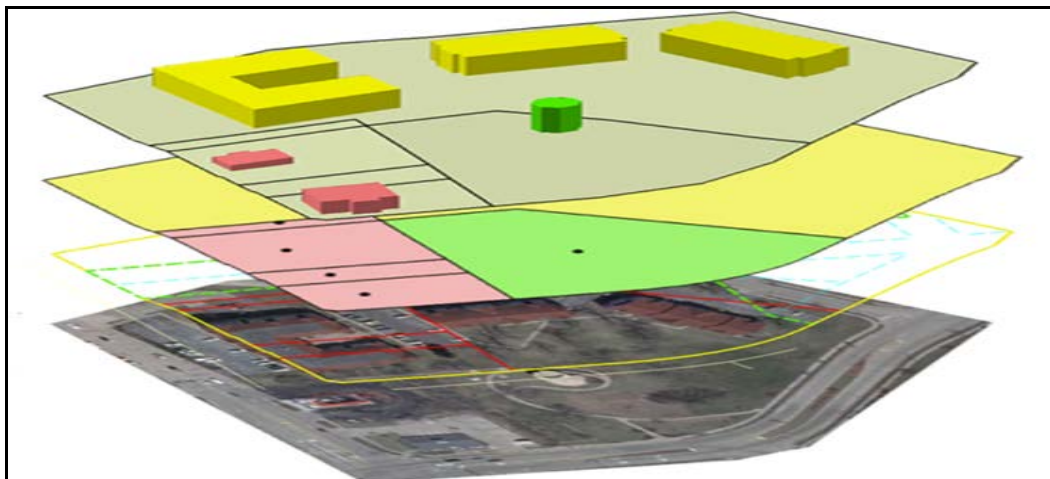


Figure 1. Example of digital maps

<sup>1</sup>Milan Marinković: [milan.marinkovic@uns.ac.rs](mailto:milan.marinkovic@uns.ac.rs)

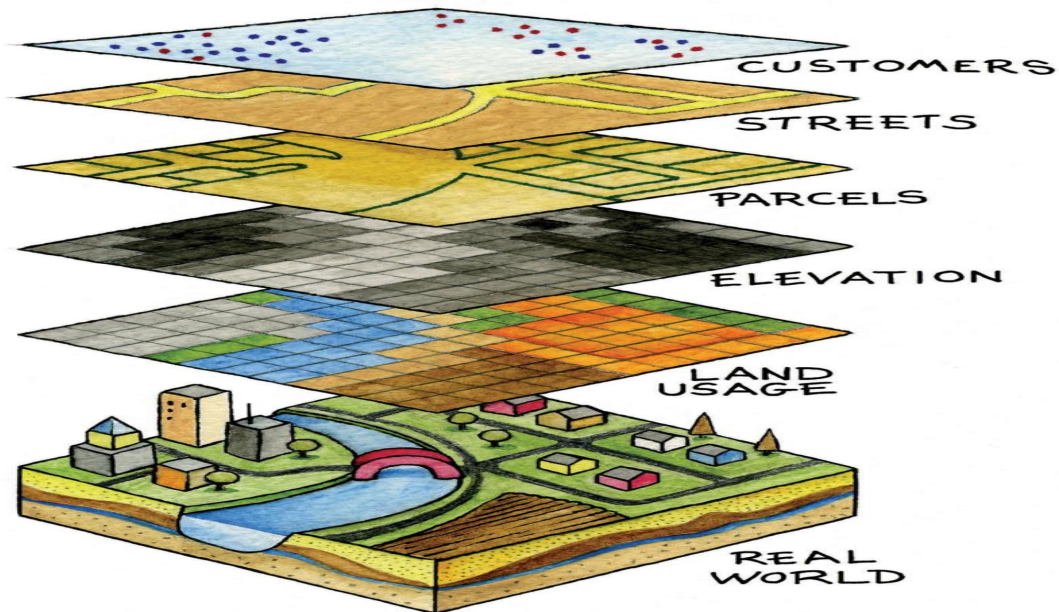


Figure 2. Example division of the same area on the basis of various parameters<sup>[1]</sup>

As part of information system for roads, maintained those parts of GIS, or maps that refer to the network of interurban highways, regional or local (city) roads. These activities must be implemented in cooperation with other organizations in Serbia that work on the GIS system, with an obligation to maintain interoperability and making the connection (integration).

Software packages that are offered today to manage geographic information systems consist as a rule of two components:

- Graphic, generating thematic maps and other graphic representations based on X , Y, Z coordinates;
- Alphanumeric databases that manipulate attributes related to individual graphic objects. These databases are usually smaller capacity but at higher system recommends to connect with a more powerful relational database.

GIS systems distinguish three types of graphic objects that may be related alphanumeric attributes in relational databases:

- Points (example: vertical road signs, junctions, culverts, etc.)
- Lines (e.g. roads, rivers, installations, etc.)
- Polygons (example: territorial units, sectors, parcels, buildings, etc.)

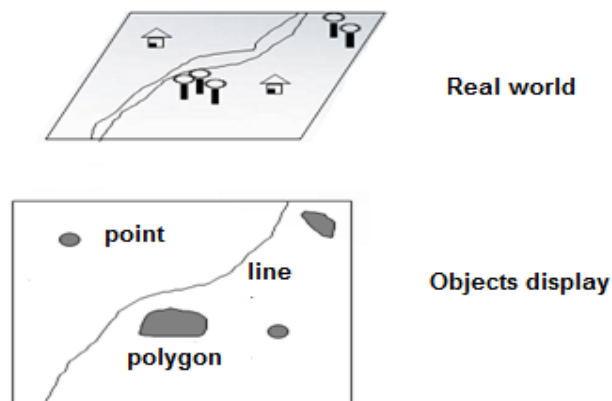


Figure 3. Display of objects

Special functions can provide us:

- Finding the optimal route between two given points;
- Taking into account the limitations
- Overlap and then the logical segmentation of surfaces or lines based on defined parameters (Figure 4.);

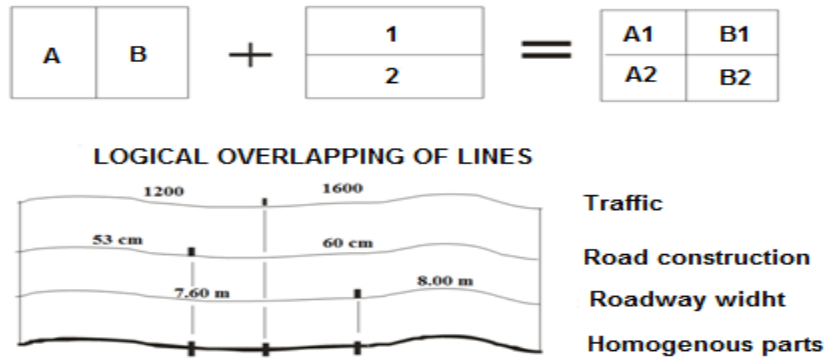


Figure 4. Display of objects<sup>[2]</sup>

- Print quality thematic maps (Figure 5.);

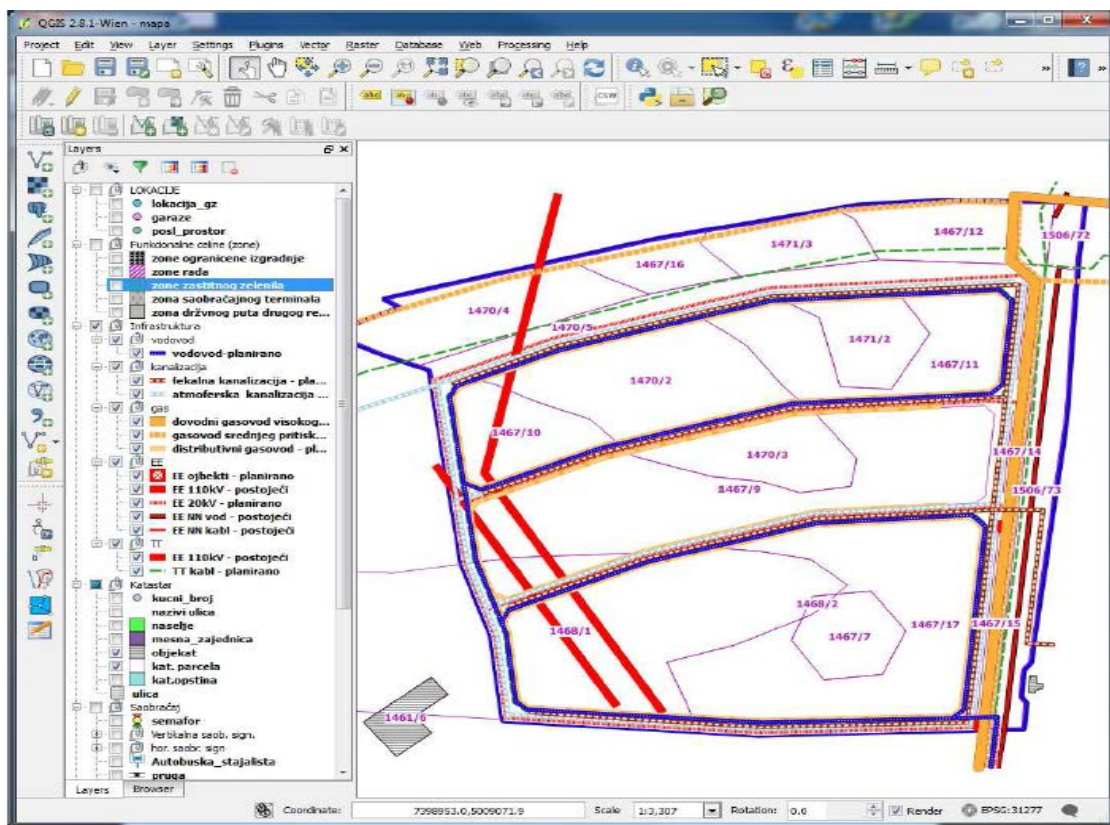


Figure 5. Thematic map

- links to relational database (RDBI - Relational Data Base Interface) allow taking advantage of SQL language for data search and other functions relational database, and the data can then represent in graphic form in a very effective way (Figure 6.)

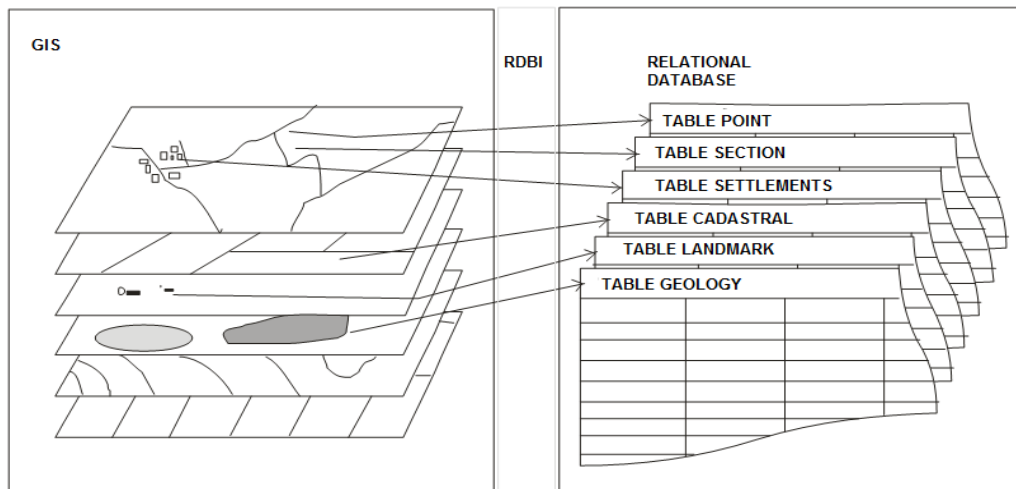


Figure 6. Connection graphic object (point, polygon, area) with a relational database<sup>[2]</sup>

Modern GIS software mainly has the following elements:

- The user interface;
- CPU processing of spatial data
- Cartographic generator
- Generator menu
- Report Generator
- Query language
- Macro languages
- Interface for database

Today, with the GIS system, the usual wide range of possibilities for converting coordinates, the exchange of data with different formats, combining and overlapping of multiple folders, finding the optimal path in the network, a simple preparation of thematic maps based on data obtained by searching the database (for example, a graphical representation of traffic load on the roads), the display of text information from a database linked to the individual graphic elements map (point, line or polygon) etc. This technology is constantly evolving and GIS systems are becoming increasingly obligatory part of information systems related to space.

Those properties of geographic information systems point to the possibility and justification of their use in almost all activities related to the life cycle times: planning, corridor, design, traffic management, and facilities management pavements, keeping data on road land and environment, cadastral parcels, etc.

When we look at GIS in terms of possible applications in the management and control of the life cycle times, impose the following options in terms of the required level of precision and detail of the data (Table 1. required levels of precision).

Table 1. The required levels of precision<sup>[2]</sup>

Function	Level	Resolution
Planning	National	<1:100.000
General project	Corridor	about 1: 10.000
Designing	Project	about 1:1.000
Construction	Project	about 1:1.000
Exploitation / Maintenance	Network	about 1:50.000

**2. IMPLEMENTATION OF GIS**

**2.1. Benefits**

The most important benefit of GIS is that all data will be essential for the operation found in one place and available to those who need it and are available in a way that is designed appropriate procedures in accordance with the tasks that they do. Also, the introduction of GIS (as well as any other information system) encourages us to many things in our business approach in a systematic way.

This has the consequence that improvements in business processes achieves more efficient operations, better and more optimal engagement of manpower and resources that quickly becomes evident in the quality of services we provide and reduce costs. By analyzing the relationship invested/ obtained the past practice has shown that the immeasurable gain from the introduction of GIS which is especially evident over a long period of exploitation of the system.

Besides personal interest in the development of GIS, we should pay attention to the needs of other PE, as well as the entire local government for GIS, as well as to consider the possibility that the development of a GIS - going joint forces . In addition to lower costs and to achieve that all data from various institutions unite in one place, which gives an effective tool for managing all the resources that the municipality/ city has.

**2.2. COST**

The cost of the GIS is not small. The biggest cost is collecting data. Usually these costs are over 50 % (Figure 7.) of the entire system. The total cost of the equipment and software is about 30 %. Cost structure is given in the following table:

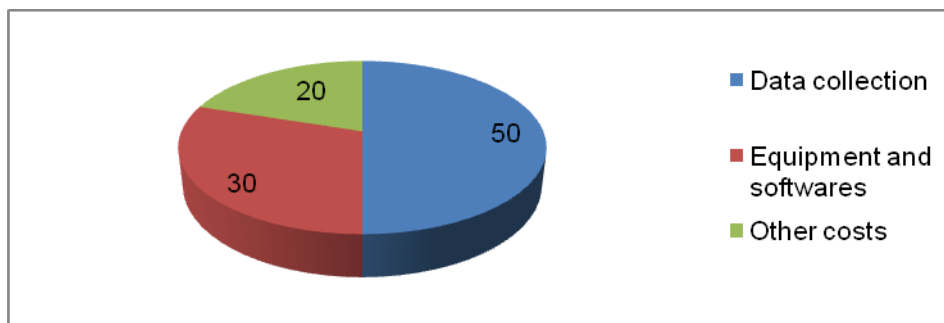


Figure 7. Structure of costs when introducing Geographic Information System

Table 2. Cost Structure for GIS

	one-time costs	annual costs
<b>Technology</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hardware</li> <li>• software</li> <li>• network</li> <li>• internet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• maintenance system</li> <li>• interenet</li> <li>• software upgrade</li> </ul>
<b>Data</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• acquisition of data</li> <li>• digitalization of our existing data</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• updating</li> <li>• acquisition of new data</li> <li>• use of data via web services</li> </ul>
<b>Staff</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• training</li> <li>• consultants</li> <li>• informatics</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• system maintenance</li> <li>• GIS staff</li> <li>• ongoing training</li> </ul>
<b>Others cost</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• other material</li> <li>• reorganization</li> </ul>	



### 3. COMPONENTS OF GIS

GIS components are: software, hardware, data, procedures and people (Figure 8.).



Figure 8. Basic components of GIS<sup>[3]</sup>

#### 3.1. Hardware

Depending on the conceptual items vary GIS and hardware needs. If we have a GIS position, then we will be a sufficient one computer, all data and all operations will be performed on it. If we have a need to access the data with more jobs, then we accept the workstation for each position data stored on a server in a database that supports such work.

This enables the simultaneous operation of multiple users of the same data set. It is recommended that the data stored in the database on the server, a number of clients is determined according to the needs of the job. I need a network infrastructure that these computers are connected.

#### 3.2. Software

There are plenty of commercial solutions of which the most famous Esri ArcGIS. This software is also the most common in our region. In addition to commercial software there is a free (Open Source) packages such as the QGIS as employed in the example of application of GIS in this paper. The advantage of commercial software is what we have paid support at all times.

Also, commercial software has many more functions. Their drawback is the price first of all, that initial one when purchasing and annual cost of maintaining the software. As previously outlined GIS software have the ability to upgrade in the form of additional applications are written for individual users depending on their needs (applications for roads management, traffic signaling applications and the like). Today, GIS is evolving in that direction to enable access from anywhere and from any device such as a Geoportal- dedicated internet applications.

#### 3.3. Data

The base consists of a GIS - geographic data. Data quality is of great importance when using GIS for facilities management. Data quality is determined on the basis of:

- accuracy (compared to the parameter values that are stored in the database and the actual value parameters) ;
- *precision (the volume of data that can be seen);*
- *an update (as well as the accuracy)*
- *completely (the amount of data objects)*
- *consistency (no contradictions between the data).*

The basic division of data is on vector and raster data. Raster data consist of rows and columns fields (pixels, cell), where each field has its x and y coordinate and a value that denotes its color. Grouped fields represent the image. Depending on the resolution and size of the image varies terrain covered by a single pixel. Resolution 1 cm / pixel means that each pixel in the image represents 1 cm in reality. Raster data (Figure 1.7 Raster model display area) that are commonly used are: orthophoto survey and satellite imagery.

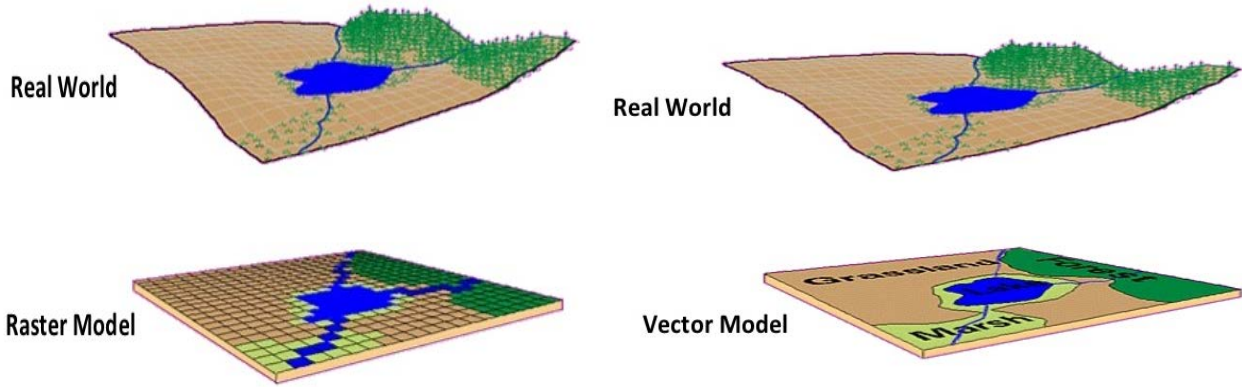


Figure 9. Example of raster and vector data model<sup>[4]</sup>

Vector data are used to show basic geometric shapes: points, lines and polygons. For the accommodation of data, which are used for topology, describes the position of each element relative to the other elements. Thereby enabling data analysis and set up various types of queries. Vector data occupy significantly less space for storage in relation to the raster data.

**4 CURRENT STATUS OF INTRODUCING GIS**

In this part is made state of the art of introduction of the geographical information system in local self-government of the Republic of Srpska and Serbia. Statistical analysis of data is made where the cities of Belgrade and Niš regarded as one unit. Table 3 shows the statistical analysis of data on the number of local governments that have already introduced GIS.

Table 3. The statistical division of local government units according to the criteria of GIS

	Number of local governments	Number of local governments that have GIS which can be accessed via the Internet	Percentage (%)
Republic of Srpska	59	1	1.7
Serbia	174	18	10.3
Total	233	19	8.15

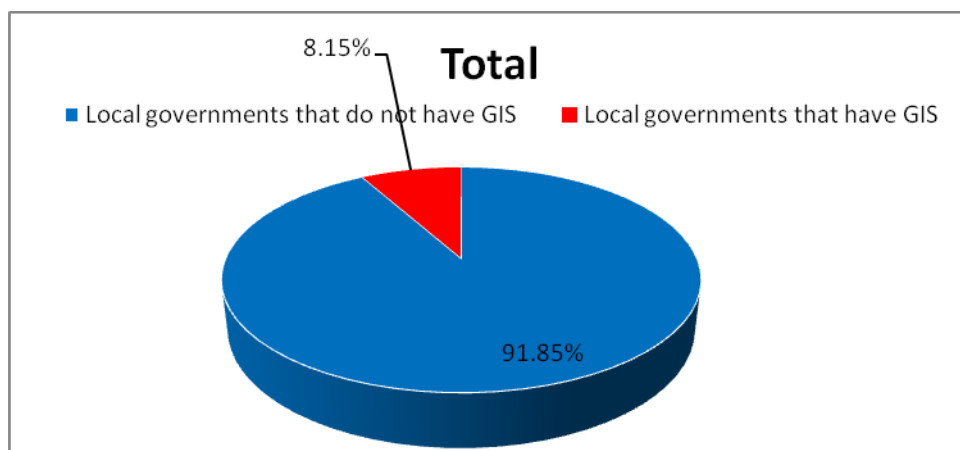


Figure 10. Chart that show the percentage of local government units that have or don't have implemented GIS<sup>[5]</sup>

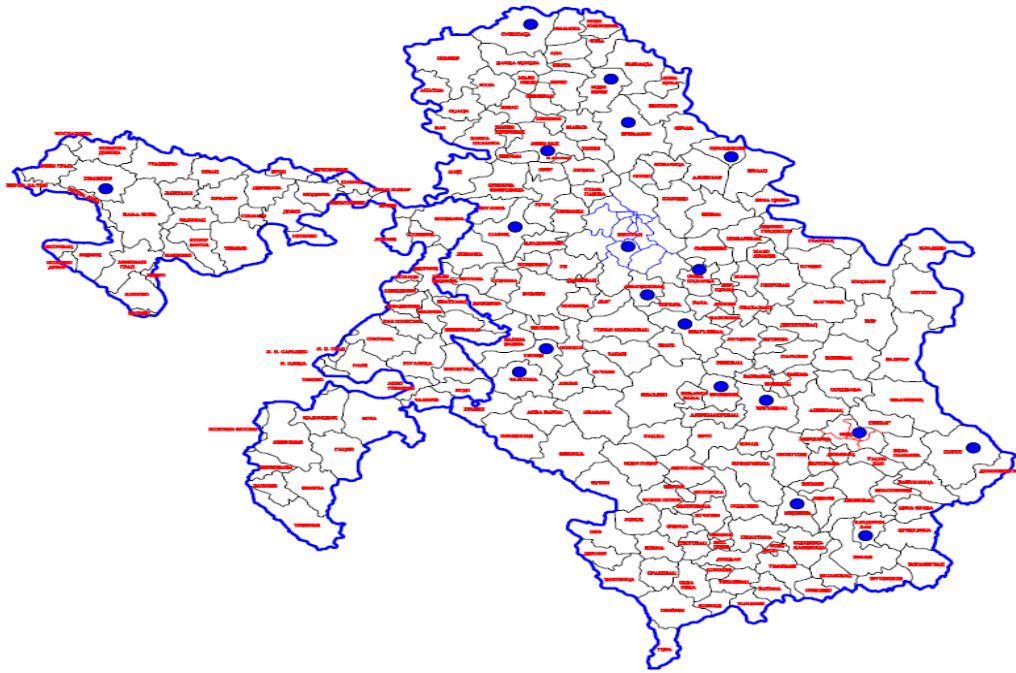


Figure 11. Map with the names of cities and municipalities and mark whether or not they have introduced GIS<sup>[6]</sup>

## 5. CONCLUSIONS

Geographic information system represents a very good basis for the maintenance of roads of local governments. GIS allows the integration of all data, which are essential for the maintenance of transport infrastructure, in one place. Programming, i.e. manufacture of certain supplements GIS software; we can create applications that can be used for the maintenance of roads. Extras would be based on the parameters of roads that are essential for the maintenance as for example in pavements longitudinal roughness (IRI). With these applications will result in streamlining the operations of all the companies that are responsible for maintaining the infrastructure of local governments. By increasing the number of municipalities in Serbia and Republic of Srpska that have GIS and with additional applications infrastructure maintenance costs can be significantly reduced.

## 6 REFERENCES

- [1] Internet: <http://www.vancecounty.org/departments/planning-and-development/gis-geographic-information-system/>; 21.12.2015.
- [2] Đorđe Uzelac, written lectures of "Information System Aided Structure Management", 2014; Faculty of Technical Sciences
- [3] <http://www.imgmob.net/image/components-of-geographical-information-system/components-of-a-gis-software>; 19.12.2015.
- [4] Internet: <http://gis.stackexchange.com/questions/7077/what-are-raster-and-vector-data-in-gis-and-when-to-use>; 19.12.2015.
- [5] Milan Marinković, Master of Civil Engineering, Development of a Geographic Information System for local government roads, 2015, p. 27; Faculty of Technical Sciences
- [6] Milan Marinković, Master of Civil Engineering, Development of a Geographic Information System for local government roads, 2015, p. 60; Faculty of Technical Sciences

## ACKNOWLEDGEMENTS

The work reported in this paper is a part of the investigation within the research project "Improvement of educational process and research of new technologies in construction engineering", supported by Department for Civil Engineering and Geodesy, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia. This support is gratefully acknowledged.

# UTJECAJ VREMENSKIH PRILIKA NA OSNOVNE POKAZATELJE SAOBRAĆAJNOG TOKA

Šarić Ammar, MA. dipl.ing.građ.<sup>1</sup>, doc. dr. Sanjin Albinović, dipl.ing.građ.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Sarajevu, Građevinski fakultet, Odsjek za saobraćajnice, ammar.saric@hotmail.com

<sup>1</sup> Univerzitet u Sarajevu, Građevinski fakultet, Odsjek za saobraćajnice, sanjin.albinovic@gmail.com

**Rezime:** Još početkom 50-ih godina prošlog stoljeća uočeno je da vremenski uslovi utječu na ponašanje vozača te na karakteristike saobraćajnog toka. Brojna istraživanja utvrdila su da vremenski fenomen znatno utječe na parametre saobraćajnog toka, kao što su brzina slobodnog toka i kapacitet. Osim toga, nepovoljne vremenske prilike često utječu i na odabir sredstva putovanja, rutu putovanja, vrijeme polaska, odredište, ili čak i na samu odluku o putovanju. Osim utjecaja na brzinu i kapacitet, vremenski uslovi znatno utječu i na pojavu saobraćajnih nesreća.

U radu su prezentirana dosadašnja istraživanja utjecaja vremenskih prilika na kapacitet i brzinu toka vangradskih cesta i osnovnog odsjeka autoputa sa neprekinutim saobraćajnim tokom. Uočene su njihove međusobne razlike, mogućnosti primjene u lokalnim uslovima te osnove za daljna istraživanja. Mikrosimulacijski softver PTV Vissim 7 poslužio je za simuliranje odvijanja toka u realnom okruženju sa različitim vremenskim uslovima, identifikaciju utjecajnih parametara i njihovih vrijednosti.

**Ključne riječi:** saobraćajni tok, brzina, kapacitet, vremenski uslovi, Vissim

**Abstract:** In the 50s of the last century it was observed that weather conditions affect driver behavior and the traffic flow characteristics. Numerous studies have found that weather phenomenon significantly affects the traffic flow parameters, such as free flow speed and capacity. In addition, adverse weather conditions often affect the choice of means of travel, travel route, time of departure, destination, or even the very decision to travel. In addition to the impact on the speed and capacity, weather conditions significantly affect the occurrence of traffic accidents.

This paper presents the previous researches of the weather conditions impact on the capacity and speed of the flow on suburban roads and main segments of the highway with uninterrupted traffic flow. We identified the main differences between those, possibilities of application in local conditions and basis for further research. Microsimulation software PTV Vissim 7 was used for the simulation of flow in a real environment with different weather conditions, identification of influential parameters and their values.

**Key words:** traffic flow, speed, capacity, weather conditions, Vissim

---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: ammar.saric@hotmail.com

## 1. UVOD

Saobraćajni tok definira se pomoću tri osnovna parametra: veličine saobraćajnog toka (voz/h), prosječne brzine toka (km/h) i gustoće (voz/km). Poznavanje ovih veličina neophodno je za određivanje kapaciteta i nivoa usluge neprekinutih tokova. Još početkom 50-ih godina prošlog stoljeća (Tanner, 1952) uočeno je da vremenski uslovi utječu na ponašanje vozača te na karakteristike saobraćajnog toka. Brojna istraživanja utvrdila su da vremenski fenomen znatno utječe na brzinu slobodnog toka i kapacitet (Kockelman, 1998; Smith et al., 2004; Hranac et al., 2006; Rakha et al., 2007).

Dosadašnja istraživanja ovog fenomena ukazala su na njegov značaj, ali ne i na konkretnu primjenu u važećim smjernicama i pravilnicima iz ove oblasti. Posebno su naglašeni nedostaci primjene postojećih metodologija u područjima sa obilnim padavinama. U radu je dat pregled dosadašnjih studija te je prikazana mogućnost simuliranja različitih vremenskih uslova u mikrosimulacijskom softveru PTV Vissim 7 čiji se rezultati mogu porediti sa vrijednostima dobijenim u realnim uslovima.

## 2. OSNOVNI POKAZATELJI SAOBRAĆAJNOG TOKA

### 2.1. Kapacitet

Kapacitet je definisan kao maksimalna veličina protoka vozila koji može proći kroz posmatranu tačku na saobraćajnoj traci ili kolovozu u određenom vremenskom periodu pod preovladavajućim putnim, saobraćajnim i regionalnim uslovima. U većini slučajeva, za analizu kapaciteta uzima se 15-minutni vršni protok u vršnom satu.

Uslovi u kojima se definira kapacitet ne zavise od potražnje nego isključivo od geometrijskih karakteristika saobraćajnice, saobraćajnih uslova (tipova vozila) te načina regulisanja saobraćaja. Loše vremenske prilike značajno utječu na smanjenje kapaciteta (mokar i zaleđen kolovoz, snijeg, loša vidljivost..), međutim, niti jedna metodologija za njegov proračun ne uzima u obzir ovaj efekt. Urađene su brojne studije koje potvrđuju ovu činjenicu te daju određene smjernice o veličini ovog utjecaja.

#### 2.1.1. Postojeće metodologije i istraživanja smanjenja kapaciteta

Koristeći prikupljene podatke sa 21 mjernog mjesta širom Velike Britanije tokom jedne sedmice bez padavina u augustu 1949. godine i sedmice sa padavinama u augustu 1950. godine, Tanner (1952) uočio je značajno smanjenje protoka u 1950. godini. Prikazao je negativnu korelaciju protoka i kišnih padavina, i izračunao postotak smanjenja protoka po mm kiše za privatne automobile i taksiste za radne dane i za nedjelju od 1,3 i 3,1%, respektivno. Interesantno, studija na holandskim autoputevima (Hogema, 1996) nije pokazala značajniju razliku u protoku saobraćaja između perioda sa i bez kiše. Osim toga, nije primijećeno ni povećana upotreba automobila u odnosu na nemotorizovani vid transporta.

Poglavlje 22 u HCM-u 2000 daje podatke o smanjenju kapaciteta uslijed kišnih i sniježnih padavina različitog intenziteta. Preporučuje se smanjenje kapaciteta od 14-15% samo uslijed jake kiše, dok do toga ne dolazi u slučaju slabijih kišnih padavina. Za razliku od kiše, primijećene su velike razlike u utjecaju sniježnih padavina zavisno od njihovog intenziteta. Opažanja su potvrdila da prilikom obilnih sniježnih padavina, u situaciji kada nije moguće očistiti kompletnu širinu kolovoza, vozači traže veće odstojanje ali i veći bočni prostor. Kao rezultat ovoga, autocesta sa tri trake pretvara se u autocestu sa dvije široke odvojene trake. Samo ovaj efekat ima značajan utjecaj na kapacitet. Preporučuje se smanjenje kapaciteta od 5-10% i 25-30% uslijed pojave slabog, odnosno, velikog snijega. HCM 2000 ne opisuje kriterij podjele na slabe i jake padavine, što je jako bitno za službe koje upravljaju autoputevima kako bi upotrebom inteligentnih transportnih sistema (ITS), tj. dinamičkom saobraćajnom signalizacijom, mogli korigovati kapacitet i brzinu.

HCM 2000 prezentira i istraživanje provedeno na 15 dionica autoputa u Njemačkoj (Brilon i Ponzlet) o utjecaju ne samo vremenskih uslova na kapacitet, nego i razlike između vožnje danju i noću te vožnje radnim danima i vikendom. Dobijeni rezultati prikazani su u sljedećoj tabeli:

**Tabela 1: Kapaciteti na njemačkim autoputevima u slučaju različitih vremenskih prilika (voz/h/tr)**

Broj saobraćajnih traka autoputa	Radni dan ili vikend	Dan i suho vrijeme	Noć i suho vrijeme	Dan i mokro vrijeme	Noć i mokro vrijeme
6 traka	Radni dan	1489	1299	1310	923
	Promjena (%)		13	12	38
6 traka	Vikend	1380	1064	1014	-
	Promjena (%)		21	27	-
4 trake	Radni dan	1739	1415	1421	913
	Promjena (%)		19	18	47
4 trake	Vikend	1551	1158	1104	-
	Promjena (%)		25	29	-

*Napomena: navedene promjene odnose se na isti dan u sedmici.*

*Izvor: Highway Capacity Manual 2010 – Exhibit 10-16*

Procjenjeno smanjenje kapaciteta od 12-18% (zavisno od broja traka na autoputu) za vožnju danju, radnim danom i pri mokrom kolovozu, odgovora prethodno navedenom istraživanju za utjecaj kiše.

Potrebno je napomenuti da HCM 2010 (Sekcija 2 – Poglavlje 10) ne daje nikakve nove informacije u pogledu utjecaja vremenskih prilika na kapacitet.

Smith et al. (2004) autori su studije utjecaja različitog intenziteta padavina na kapacitet na dionici autoputa. Podaci o saobraćaju i vremenu (intenzitet kišnih padavina) prikupljeni su za period od godinu dana. Kišne padavine klasificirane su u dvije kategorije: slaba kiša (0,254 – 6,35 mm/h) i obilna kiša (> 6,35 mm/h). Kao reprezentativni uzorak kapaciteta uzeta je srednja vrijednost od 5% najvećih zabilježenih vrijednosti. Uočeno je da slaba kiša uzrokuje smanjenje kapaciteta za 4-10%, dok obilne kišne padavine smanjuju kapacitet za 25-30%.

Koristeći podatke sa Tokyo Metropolitan Expressway (MEX) Chung et al. (2005) utvrdili su smanjenje protoka od 2,9% radnim danima, te 7,9% odnosno 5,2%, subotom i nedjeljom. Kao kriterij kišnog dana uzeta je količina padavina od 13 mm/dan. Kasnije slično istraživanje sa pet najprometnijih dionica istog autoputa (Chung et al. 2006) uzima u obzir i intenzitet kišnih padavina kroz sedam različitih kategorija. Dobijeni rezultati ukazuju na smanjenje kapaciteta od 4-7% za vrijeme slabe kiše te 14% u toku obilnih kišnih padavina. Osim toga, na veličinu kapaciteta utječe i razlika u dužini trajanja dana u toku zime i ljeta, pa je zapaženo smanjenje kapaciteta od 12,8% u uslovima zimskih dana, u odnosu na ljetne.

Agarwal et. al (2005) istražili su utjecaj vremenskih prilika na karakteristike saobraćajnog toka na osnovu velikog broja podataka prikupljenih u regiji "Twin Cities" (Minneapolis – Saint Paul, SAD). Podaci o kišnim padavinama podijeljeni su u četiri kategorije (0, < 0,254, 0,254-6,35 i > 6,35 mm/h) na osnovu kojih se analizirao utjecaj kiše na brzinu i kapacitet. Ukupno je prikupljeno približno 50.000, 1.400, 1.250 i 200 mjerenja za navedene kategorije. Potvrđeno je značajno smanjenje kapaciteta i to 1-3%, 5-10%, i 10-17% za slučaj jako male kiše (u tragovima), slabe, i obilne kiše. Usporedbom sa priručnikom HCM može se zaključiti da je ovo smanjenje jednako u slučaju jake kiše, ali se rezultati razlikuju pri slaboj kiši, obzirom da je u HCM-u utvrđeno da ova pojava nemam nikakvog utjecaja.

Podaci o sniježnim padavinama podijeljeni su u pet kategorija: bez snijega, snijeg u tragovima, slab, umjeren i jak snijeg (0, ≤1,27, 1,524-2,54, 2,794-12,7, >12,7 mm/h). Ukupno je prikupljeno 50.000, 900, 550, 300 i 125 mjerenja za navedene kategorije. HCM 2000 preporučuje smanjenje kapaciteta od 5-10% za slab snijeg, dok je u ovoj studiji smanjenje kapaciteta iznosilo 3-5%, 6-11% i 7-13% za snijeg u tragovima, slab i umjeren jak snijeg. Za jake sniježne padavine (>12,7 mm/h) utvrđeno je smanjenje kapaciteta 19-27%, u poređenju sa smanjenjem od 25-30% u HCM-u.

Podaci o temperaturi kolovoza gupisani su u četiri različite kategorije (>10°C, 10°C-1°C, 1°C-(-20°C) i < -20°C). Ukupno je obuhvaćeno 16.000, 9.000, 6.000 i 120 vrijednosti za svaku grupu respektivno. Korištena mjerenja nisu pokazala statistički značajnu redukciju (<4%) prosječne brzine i kapaciteta, izuzev smanjenja kapaciteta 6,5-10% za temperature ispod -20°C, što nije obuhvaćemo u HCM-u 2000.

Podaci o lošoj vidljivosti zbog pojave magle klasificirani su u četiri grupe (>1,609, 1,609–0,82, 0,8–0,4, i < 0,4 km). Broj prikupljenih podataka iznosi približno 50.000, 110, 300 i 60 za svaku od navedenih grupa. Rezultati su pokazali smanjenje kapaciteta od 10-12% za tri grupe smanjenje vidljivosti (1,609–0,82, 0,8–0,4, i < 0,4 km) u poređenju sa rezultatima za normalnu vidljivost (>1,609 km). Istovremeno, nisu zabilježene značajne razlike u pogledu smanjenja kapaciteta pri poređenju međusobnih rezultata za tri navedne grupe vidljivosti (1,609–0,82, 0,8–0,4, i < 0,4 km).

U poređenju sa preporukama iz HCM-a 2000, ova studija pokazuje da su određene vrijednosti podcijenjene ili precijenjene:

- slaba kiša (0,254-6,35 mm/h) ima mnogo veći utjecaj (5-10%) na kapacitet, što u HCM-u uopće nije uzeto u obzir,
- smanjenje brzine uslijed slabe kiše u skladu je sa HCM-om 2000,
- obilan snijeg umanjuje gotovo jednako kapacitet (19-28%) kao što je prikazano i u HCM-u 2000,
- niske temperature kolovoza (< -20°C) smanjuju kapacitet za 7-10%,
- smanjenja vidljivost (pojava magle) utječe na smanjenje kapaciteta za 10-12%.

## 2.2. Brzina

Postoji nekoliko različitih definicija za brzinu. U ovom radu pod pojmom brzina podrazumijeva se brzina slobodnog toka (*eng. FFS – Free Flow Speed*) definirana u HCM-u 2000 (poglavlje 23) kao "srednja brzina putničkih automobila mjerena u uslovima nisko ili srednje zasićenog toka (do 1.300 PA/h/traci)".

Predviđene su dvije metode za određivanje ove brzine: mjerenje direktno na terenu ili procjena koristeći postupak opisan u HCM-u 2000. Druga metoda koristi fizičke karakteristike autoputa za procjenu brzine slobodnog toka, prema sljedećoj formuli:

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_N - f_{ID} \quad (1)$$

gdje je:

FFS – brzina slobodnog toka (km/h)

BFFS – bazna brzina slobodnog toka (110 km/h u urbanm uslovima, 120 km/h u vangradskim uslovima)

$f_{LW}$  – korekcionni faktor širine trake (km/h)

$f_{LC}$  – korekcionni faktor bočnih smetnji (km/h)

$f_N$  – korekcionni faktor broja traka (km/h)

$f_{ID}$  – korekcionni faktor gustine čvorišta (km/h).

Procjena ove brzine vrši se smanjenjem osnovne brzine uz upotrebu četiri navedena korekciona faktora. Identično kao i za pojam kapaciteta, u HCM-u 2000 naglašava se "da bazni uslovi, u kojima se ostvaruje maksimalni kapacitet osnovnog segmenta autoceste, podrazumijevaju dobro vrijeme, dobru vidljivost i odsustvo saobraćajnih nesreća". Koliki je tačno utjecaj loših vremenskih prilika na smanjenje brzine, pod kojim uslovima se to dešava, te kako i kada ga uzeti u obzir, u ovoj metodologiji nije tačno navedeno.

### 2.2.1. Postojeće metodologije i istraživanja smanjenja brzine

Utjecaj vremena na promjenu brzine vožnje u HCM-u 2000 opisan je kroz studiju Ibrahim i Halla iz 1994. godine. Sprovedenjem regresione analize sa podacima dobijenim za period dobrih vremenskih uslova, utvrđeno je da linearni model najbolje odgovara odnosu brzina-protok. Prilikom slabe kiše, zabilježen je pad brzine od 1,9km/h u nesaturiranim uslovima te 6,4 – 12,9 km/h u uslovima dostignutog kapaciteta. Obilne kišne padavine uzrokuju smanjenje brzine za 4,8-6,4km/h u nesaturiranim uslovima te 12,9-15 km/h u uslovima najvećeg kapaciteta. Slab snijeg utječe na smanjenje brzine od 0,96 km/h, u usporedbi sa velikim sniježnim padavinama koje smanjuju brzinu vožnje za 37-41,8 km/h (Mahmassani et al., 2009).

Preporuke May-a (1998), nastale na osnovu prethodnih istraživanja, za HCM 2000 u pogledu smanjenja brzine na autoputu date su u sljedećoj tabeli:

**Tabela 2: Preporuke smanjenja brzine slobodnog toka (FFS) za HCM 2000 (May, 1998)**

Vrijeme	FFS (km/h)	Smanjenje (%)
Vedro i suho	120	0
Slaba kiša i slab snijeg	110	8,33
Obilna kiša	100	16,67
Obilan snijeg	70	41,67

Izvor: A. D. May, "Capacity and Level of Services for Freeway Systems," Third Interim Report Phase C - Tasks C1 through C10, June 12. 1998.

Već pomenuta studija iz Njemačke (Brillon i Ponzlet) ukazuje na smanjenje brzine za 9,5 km/h na autoputu sa četiri trake, odnosno 12 km/h na autoputu sa šest traka, u uslovima mokrog kolovoza.

Istraživanje u regiji "Twin Cities" (Agarwal et al. 2005) pokazalo je smanjenje brzine za 1-2%, 2-4% i 4-7%, za slučaj kišnih padavina < 0,254, 0,254-6,35 i > 6,35 mm/h, respektivno. Podaci su pokazali da smanjenje brzine može biti jednako za slučaj slabe i jake kiše, što je u suprotnosti sa rezultatima u HCM-u 2000.

Pri razmatranju utjecaja snijega, utvrđeno je smanjenje brzine od 3-5%, 7-9% i 8-10% za snijeg u tragovima, slabo i umjerno jak snijeg, što bolje opisuje ovaj efekat u odnosu na HCM 2000 gdje se predlaže redukcija od 8-10% za slab snijeg. Smanjenje brzine od 11-15% za obilne sniježne padavine (>12,7 mm/h) značajno se razlikuje od rezultata HCM-a 2000 (25-35%). Velika razlika u redukciji brzine, pri obilnom snijegu, dobijena u ovoj studiji, može se pripisati različitim lokacijama autocesta, vozačevoj upoznatosti sa trasom, ili boljem zimskom održavanju u regiji "Twin Cities". Osim padavina, istražen je i utjecaj pojave magle na redukciju brzine, pri čemu ona iznosi 6-12% u uslovima slabije vidljivosti.

Kyte et al. mjerili su preovladavajuću brzinu slobodnog toka tokom suhih uslova, kiše, snijega, magle, smanjene vidljivosti i jakog vjetra. Podaci su prikupljeni u periodu 1996-2000. godine na dionici autoputa I-84 (Portland, SAD) sa četiri trake. Volumen je najčešće bio ispod 500 voz/h/traka. Na osnovu raspoloživih podataka dobijen je model za predikciju brzine koji uključuje nekoliko faktora vremenskih prilika:

$$\text{Brzina} = 100,2 - 16,4 \cdot S - 4,54 \cdot MK + 0,77 \cdot V - 0,34 \cdot V_j \quad (2)$$

gdje je:

S – binarna varijabla koja određuje prisustvo snijega na kolovozu

MK – binarna varijabla koja određuje da li je kolovoz mokar

V – varijabla vidljivosti koja je jednaka 0,28 km ako je vidljivost  $\geq 0,28$  km ili je jednaka tačnoj vrijednosti vidljivosti ukoliko je vidljivost < 0,28km

V<sub>j</sub> – binarna varijabla koja određuje da li je brzina vjetra iznad 24km/h.

Na osnovu dobijenog modela, određeno je da se brzina smanjuje za 9,5 km/h ukoliko je kolovoz mokar; za 11,7 km/h ukoliko brzina vjetra premašuje 24km/h; te za 0,77 km/h za svakih 10 m ispod kritične vidljivosti od 0,28 km.

Internet stranica FHWA Weather Management navodi sažete rezultate istraživanja efekta vremena, ali bez tačnih izvora tih podataka:

1. slaba kiša uzrokuje smanjenje brzine za približno 10%,
2. jaka kiša smanjuje brzinu za približno 16%,
3. brzina na autoputevima smanjenja je za približno 10% uslijed slabog snijega, te za 40% pri obilnim sniježnim padavinama.

### 2.3. Utjecaj na ostale parametre toka

Osim utjecaja vremenskih prilika na kapacitet i brzinu, u nekoliko studija istražen je i utjecaj na druge parametre saobraćajnog toka.

Hogema (1996) razmatrao je promjenu zastupljenosti određene veličine vremena slijeđenja između vozila za period sa i bez padavina. Rezultati su pokazali da je procenat zastupljenosti vremene slijeđenja <1s manji u kišnom periodu (5,0%) nego u suhom (10,8%). Slični rezultati, ali sa manjom razlikom dobijeni su i za vrijeme slijeđenja ispod 3s, te iznose 44,8% (kišni uslovi) odnosno 46,4% (suho vrijeme).

## 3. SIMULACIJA I MODELIRANJE SAOBRAĆAJNOG TOKA

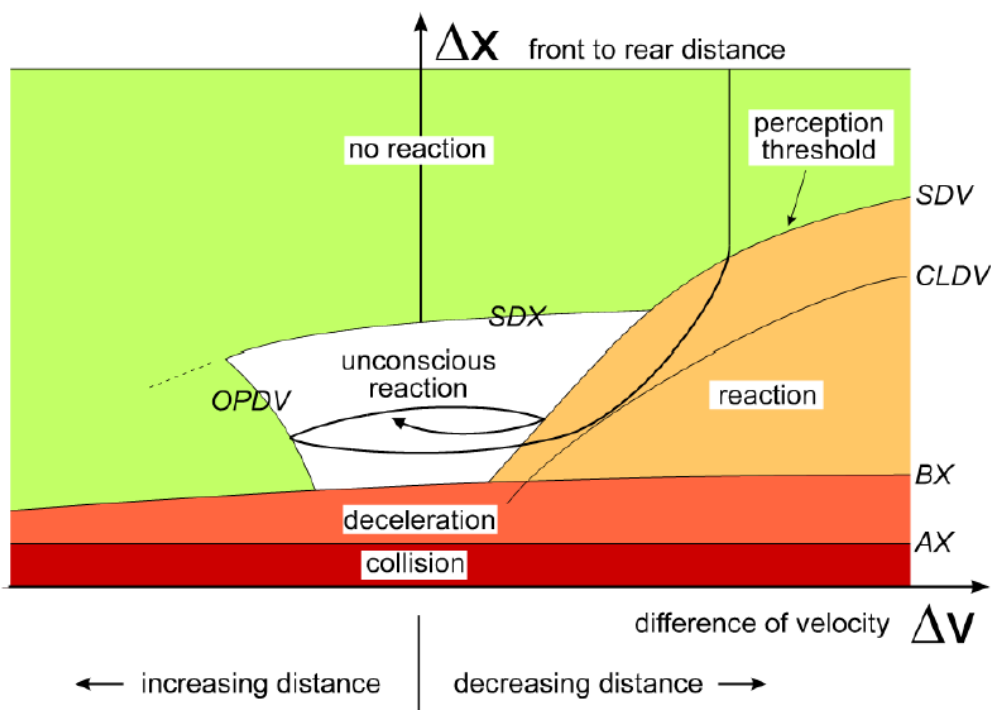
Za simulaciju utjecaja vremenskih prilika na saobraćajni tok uzeta je dionica gradskog autoputa sa četiri saobraćajne trake dužine 500 m i računskom brzinom od 80 km/h. Podaci o usvojenom saobraćajnom opterećenju u vršnom satu prikazani su u sljedećoj tabeli:



**Tabela 3: Saobraćajno opterećenje korišteno za simulaciju**

Pravac	Tip vozila	Volumen (voz/h)
A - B	PA	1100
	TTV	100
B - A	PA	1000
	TTV	60

Simulacija saobraćajnog toka urađena je u programskom paketu PTV VISSIM 7.0. VISSIM predstavlja mikrosimulacijski softver baziran na psiho-fizičkom modelu slijeda vozila (*eng. psychophysical car-following model*) razvijenim od strane Rainer Wiedemanna na Univerzitetu Karlsruhe 1974. godine. Osnovni koncept ovog modela zasnovan je na činjenici da brže vozilo počinje usporavati kada se ispred njega nađe sporije vozilo, i kada vozač dostigne individualni percepcijski prag. Međutim, brzina može postati i manja od brzine vozila ispred, kao posljedica vozačeve imperfekcije prilikom procjene brzine vozila ispred sebe. Ovo znači da će vozač ponovo malo ubrzati kada dostigne novi individualni prag. Ovakva situacija rezultira iterativnim procesom ubrzavanja i usporavanja uslijed nemogućnosti vozača da tačno odredi brzinu vozila ispred sebe. Na slici 1 prikazan je osnovni princip modeliranja ponašanja vozača u Vissim-u sa "pragovima" (*eng. thresholds*) odlučivanja vozača.



**Slika 1. Model slijeda vozila Wiedemann 1974**  
Izvor: PTV Vissim 7 – User Manual

Postoje dva simulacijska modela u VISSIM-u: Wiedemann74 i Wiedemann99. Osnova ideja ovih modela je da se vozač može naći u jednoj od četiri sljedeće situacije:

- slobodna vožnja – bez utjecaja drugih vozila,
- prilaženje – proces podešavanja brzine prema brzini vozila ispred,
- praćenje – vozač održava konstantan razmak između svog i vozila ispred bez kočenja ili ubrzavanja,
- kočenje – primjenjuje se kada se pređe sigurnosni limit razmaka između vozila.

U radu je korišten model Wiedemann74 pri čemu su kalibrirani sljedeći parametri:

- prosječna udaljenost između vozila (*eng. average standstill distance*) – definira prosječnu željenu udaljenost između vozila,
- maksimalno usporenje (*eng. maximum deceleration*) – maksimalna vrijednost usporavanja pri kočenju,

- minimalno bočno rastojanje (*eng. minimum lateral distance*) – minimalna udaljenost između vozila prilikom prestrojavanja i u odnosu na vozila u susjednoj traci. Za vozila kojima nije definirano minimalna bočno rastojanje, uzimaju se bazne vrijednosti pri brzini od 0 km/h i 50 km/h.

Parametri potrebni za simulaciju vožnje u uslovima loših vremenskih prilika prikazani su u narednim tabelama. Njihove vrijednosti usvojene su na osnovu PTV Vissim Manual 7 i sličnih istraživanja i studija provedenih do sada. Tačne podatke moguće je dobiti jedino opsežnom analizom stvarnog saobraćajnog toka u realnim uslovima. Ovim radom ne istražuje se veličina utjecaja svakog parametra pojedinačno.

Razmatrane promjenljive parametre moguće je podijeliti u tri grupe: praćenje vozila, prestrojavanje i bočno rastojanje. U radu su izostavljena dva parametra koja nemaju utjecaj na razmatranu pojavu te se često i pogrešno interpretiraju: maksimalna dužina vidljivosti (*eng. look ahead distance*) koja ne predstavlja vidljivost u smislu preglednosti (*eng. visibility*) nego maksimalnu dužinu linka na kojoj softver uočava druga vozila i minimalno rastojanje između vozila pri prestrojavanju (*eng. minimum headway*).

Obzirom da se procesi simulirani Vissim-om odvijaju stohastički, potrebno je provesti nekoliko simulacija kako bi rezultati bili vjerodostojni. U radu su korišteni rezultati pet simulacija dužine 600 sekundi, te prikazane vrijednosti predstavljaju njihovu srednju vrijednost.

Simulacijom su obuhvaćena četiri scenarija za različite uslove vožnje koji se najčešće mogu pojaviti na cestama, i to: normalni uslovi (bez padavina ili smanjene vidljivosti), kiša, slab, te obilan snijeg (>12,7mm/h).

**Tabela 4: Ulazni podaci za PTV Vissim 7 (1)**

Uslovi vožnje		Normalno	Kiša	Slab snijeg	Obilan snijeg
Praćenje vozila ( <i>eng. Following</i> )	Prosječna udaljenost između vozila (m)	2	4	5	5

**Tabela 5: Ulazni podaci za PTV Vissim 7 (2)**

Uslovi vožnje		Normalno	Kiša	Slab snijeg	Obilan snijeg
Prestrojavanje ( <i>eng. Lane change</i> )	Maksimalno usporenje (m/s <sup>2</sup> )				
	Vlastitog vozila	-4	-2,0	-1,5	-1,5
	Vozila ispred	-3	-2,0	-1,5	-1,5

**Tabela 6: Ulazni podaci za PTV Vissim 7 (3)**

Uslovi vožnje		Normalno	Kiša	Slab snijeg	Obilan snijeg	
Bočno rastojanje ( <i>eng. Lateral</i> )	Minimalna bočna udaljenost (m)	V=0km/h	0,5	0,5	0,5	1,0
		V=50km/h	1,0	1,0	1,5	1,5

#### 4. PREGLED DOBIJENIH REZULTATA

Rezultati simulacije prikazani su u tabeli 7. Posmatrana su tri parametra koja opisuju saobraćajni tok: prosječna brzina svih vozila, iz oba pravca, koja prođu dionicom za vrijeme simulacije (srednja vremenska brzina), prosječno zakašnjenje svih vozila koja su u zadatom vremenu ušla u mrežu i vrijeme vožnje mjereno od trenutka ulaska na mrežu do trenutka izlaska, ukupne dužine 500 m. Mikrosimulacijski modeli ne mogu dati direktnu vrijednost kapaciteta poput determinističkih softvera, jer se radi o veličini koja je vremenski promjenljiva. Umjesto kapaciteta, mogu se koristiti vrijednosti veličine i dužine repa te volumen.

**Tabela 7: Pregled dobijenih rezultata**

Uslovi vožnje	Prosječna brzina svih vozila (km/h)	Prosječno zakašnjenje svih vozila (sec)	Vrijeme vožnje (sec)
Normalno	80,33	15,91	22,09
Kiša	74,77	17,30	23,89
Slab snijeg	70,73	18,19	25,42
Obilan snijeg	66,00	19,47	27,06

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti sljedeće:

- razlike u prosječnoj brzini između normalnih uslova i uslova sa kišnim i sniježnim padavinama iznose 6,92% (5,56 km/h), odnosno 11,95% (9,60 km/h), respektivno,
- u slučaju obilnih sniježnih padavina brzina vožnje značajno opada i smanjuje se za 17,84% u odnosu na normalne uslove,
- prosječno zakašnjenje svih vozila prilikom vožnje u sniježnim uslovima veće je za 12,53% u odnosu na normalne uslove, dok je u slučaju obilnih padavina ta razlika i veća (21,98%),
- vrijeme vožnje duže je za 7,53% u kišnim uslovima, te za 13,10% u sniježnim uslovima, u odnosu na normalne uslove vožnje,
- prilikom obilnih sniježnih padavina vrijeme vožnje produžava se za prosječno 18,36%.

## 5. ZAKLJUČAK

Analizom postojećih studija i smjernica koje tretiraju utjecaj vremenskih prilika na saobraćajne pokazatelje vidljivo je da dobijeni rezultati značajno variraju te nisu generalno primjenjivi. Svako istraživanje obuhvata mikro područje sa specifičnom klimom i vozačima koji su naviknuti na određene klimatske promjene. Dakle, ovakva istraživanja vjerodostojnija su ukoliko obuhvataju duži vremenski period iz kojeg je moguće uspostaviti klimatski trend područja. Istovremeno, obuhvata se i velika populacija vozača koji su pod utjecajem takvih klimatskih uslova.

Mali broj sveobuhvatnih istraživanja ukazuje na potrebu izrade novih studija iz ove oblasti koje bi pokazale u kojim je situacijama opravdano uzimati ovaj efekat prilikom planiranja i izgradnje novih saobraćajnica. Mikrosimulacijskim softverima, moguće je analizirati ovakve pojave uz obaveznu i odgovarajuću kalibraciju svih relevantnih parametara.

## Literatura

### – Za **KNJIGE I MONOGRAFIJE:**

- [1] Highway Capacity Manual: Practical Applications of Research. U.S. Dept. of Commerce, Bureau of Public Roads, 2000.
- [2] Highway Capacity Manual: Practical Applications of Research. U.S. Dept. of Commerce, Bureau of Public Roads, 2010.
- [3] PTV Vissim 7, (2014). User manual, Karlsruhe, Germany
- [4] Hablas, H.E., (2007). A Study of Inclement Weather Impacts on Freeway Free-Flow Speed, Master Thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, USA

### – Za **ZBORNIKE RADOVA:**

- [5] Darcin, A., Sisiopiku, V.P., Skabardonis, A., (2011). Impacts on Weather on Traffic Flow Characteristics of Urban Freeways in Istanbul, 6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service Stockholm, Sweden June 28 – July 1, 89-99
- [6] Agarwal, M., Maze, T.H., Souleyrette, R., (2005). The Weather and Its Impact on Urban Freeway Traffic Operations, Transportation Research Board, Annual Meeting
- [7] Chung, E., Ohtani, O., Warita, H., Kuwahara, M., Morita, H. (2006). Does Weather Affect Highway Capacity? Proceedings of the 5th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service, Yokohama, Japan 2006. Vol. 1, 139-146.
- [8] He, Y.M., Li, Z.P., (2010). Analysis of Traffic Capability Reduction in Snow and Ice Condition, 2010 International Conference on Computational and Information Sciences, Chengdu,

### – Za **INTERNET:**

- [9] Rublee, E., Rabaud, V., Konolige, K., Bradski, G. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF, (online) available at:  
[https://www.willowgarage.com/sites/default/files/orb\\_final.pdf](https://www.willowgarage.com/sites/default/files/orb_final.pdf)  
(10.03.2016.)

# MULTIMODAL TRAFFIC CONTROL FOR LARGE URBAN NETWORKS WITH SPECIAL PRIORITY FOR LIGHT RAIL TRANSIT

**Aleksandar Stevanovic**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Florida Atlantic University, [aleks.stevanovic@fau.edu](mailto:aleks.stevanovic@fau.edu)

**Milan Zlatkovic**

University of Utah, [milan@trafficlab.utah.edu](mailto:milan@trafficlab.utah.edu)

**Jelka Stevanovic**

Research Consultant, [jelkastev@yahoo.com](mailto:jelkastev@yahoo.com)

**Cameron Kergaye**

Utah Department of Transportation, [ckergaye@utah.gov](mailto:ckergaye@utah.gov)

**Marija Ostojic**

Florida Atlantic University, [mostojic2013@my.fau.edu](mailto:mostojic2013@my.fau.edu)

**Ivana Tasic**

University of Utah, [ivanat@trafficlab.utah.edu](mailto:ivanat@trafficlab.utah.edu)

**Abstract:** Developing optimal traffic control for multimodal operations is more challenging than ever before. While traffic demand for private cars continually grows, the impact of multimodal users increases the complexity of finding good signal control solutions for the urban traffic environment. One of the major issues is how to develop 'equity' in signal control for multimodal operations and address practical and operational constraints for optimal solutions to be applied in the field. This study addresses such a combination of theoretical and practical signal control objectives. While a Genetic Algorithm formulation is used to optimize traffic control for multi-modal operations in a large urban network, the solutions are practically constrained to preserve existing (and well-performing) Light Rail Transit predictive priority strategies in a Software-in-the-Loop environment. The latter part ensures acceptance and verification of the solution by the signal-operating agencies while the former part opens new horizons for deciding how to equitably split signal's green time between various multimodal users (drivers, transit passengers, and pedestrians). The case study is a downtown Salt Lake City network with multimodal operations executed in a well-calibrated simulation model. The methodology works with complex Software-In-the-Loop platforms that accurately replicate field signal controller operations. The optimal solution, achieved after 1200 trials, reduces delay per person by ~8% without affecting any other vital performance metrics (e.g. capacity of the network or overall traffic progression). Future research should include more multimodal operations with fewer constraints and different social costs.

**Key words:** *Traffic signals, optimization, multimodal operations, light-rail transit, urban networks.*

## 1. INTRODUCTION

Developing optimal traffic control for multimodal operations is more challenging than ever before. While traffic demand for private cars continually grows, the impact of multimodal users increases the complexity of finding good signal control solutions for the urban traffic environment. One of the major issues is how to develop 'equity' in signal control for multimodal operations. Such control should deliver balanced levels of service for high-occupancy (mass transit), low-social-cost (pedestrians and bicyclists), and private vehicle transportation modes. Such multi-modal signal timing constructs have been developed in previous studies (1, 2) but never for complex operations in large networks nor based on verified simulation environments.

To address the inability of commercial signal timing packages to adequately model multimodal traffic, researchers have begun using microsimulation interfaced with Stochastic Optimization Methods (SOM) (3, 4). This approach allowed researchers to test impact of various signal control regimes on private traffic, transit, and other transportation modes. So far, Genetic Algorithm (GA) has been recognized as one of the most popular stochastic techniques to search for the best signal timing solutions (5).

A challenge for GAs, however, is their ability to replicate exact signal operations from the field. Although researchers have shown that sometimes microsimulation models can replicate field conditions quite reliably (6), replicating the exact signal control from the field remains a significant challenge. The best way has been either through Hardware-In-the-Loop (HIL) or Software-In-the-Loop (SIL) simulations. And while researchers have proven that functional differences between HIL and SIL are negligible (7), practical advantages are significantly on the SIL side. SIL simulations do not require separate hardware or controller for each intersection and SIL can run faster than real time. Also, previous studies have shown that SIL can be

---

<sup>1</sup> Corresponding Author

integrated in GA SOMs (8) though this has never been done on a large scale nor for complex traffic operations with customized priority for transit.

When all other feasibility conditions for this approach have been met, field operations may still include a set of policies, rules, or strategies that cannot be ignored if one wants to produce field-ready signal control solutions. Sometimes these rules are easy to execute in GA SOM, such as 'optimize signal control without changing the overall system's cycle length'. Other times they can be very complex - e.g. 'optimize signal control while preserving existing Transit Signal Priority (TSP) logic in the network'. The latter case may require that only a partial group of signals is adjusted while all of the signals are still evaluated during the optimization process.

The objective of this study is to present and evaluate a GA SOM framework where signal control in a large urban network is optimized to provide equitable service for all multimodal network users. A high-fidelity VISSIM microsimulation model is used to evaluate the quality of particular signal control solutions tested through the iterative GA procedure. The model is built, calibrated, and validated based on a significant amount of field data (traffic volumes, corridor travel times, passenger/pedestrian counts, and LRT schedules). The unique contribution of this study is the application of several approaches in isolation or combination with others. The problem that this study addresses is idiosyncratic in nature because it is based on field conditions of the Salt Lake City downtown network and policies of the governing agencies.

## 2. LITERATURE REVIEW

TSP is an operational strategy that facilitates movement of in-service transit vehicles through signalized intersections (9). It can be passive, active (conditionally or otherwise) or adaptive, depending on detection systems and transit and/or traffic inputs. A study was conducted to determine whether LRT at a particular intersection should be given priority based on a comparison between Level of Service (LOS) and person delay (10). While LOS demonstrated that only a few intersections would prompt active TSP, person delay would require predictive priority in more situations. Significant benefits as a result of active TSP concluded that active TSP would produce system-wide benefits only in traffic systems with high ridership when delay per person outweighed the costs (11). These factors affecting TSP were later confirmed and pinpointed that passive priority and signal preemption decreased delay with minimal impacts to vehicular traffic (12). However, it has been demonstrated that LRT predictive priority outweighed conventional TSP and preemption as it minimized LRT travel times with minor impacts to general traffic (13). These findings were also later confirmed (14). TSP performance along signalized corridors is affected by level of transit ridership, arterial and cross-street traffic, signal timing plan, and location of stops relative to intersections (15). TSP benefits depend on the transit vehicle's arrival time within the cycle, frequency and phases of a traffic signal (16).

Signal timing optimization conducted in microscopic simulation produced better results than the same procedure performed in macroscopic models (17). Since urban networks contain a variety of stochastic aspects, macroscopic-model based optimizations are invariably inferior to microscopic ones (18). A stochastic-based GA optimization in a microscopic simulation model using VISSIM has previously been proposed (19). Subsequent studies then built on this research by developing and applying stochastic optimization methods that were successful in optimizing advanced controller settings (4, 5). A tool was also developed to optimize both common traffic signal timings and TSP signal settings on urban arterials (20). A GA in a microscopic environment for signal timing optimization of an isolated intersection was used to minimize total delay (vehicle and pedestrian) on all approaches (21). Other research indicated that for signal timing optimization in a large multimodal traffic corridor, special consideration should be given to all transportation modes experiencing delay (e.g. vehicle, transit and pedestrians) (1). Also, a person-based traffic responsive signal control system was implemented at isolated signalized intersections and coordinated corridors to minimize person delay and provide priority to transit vehicles at signalized intersections based explicitly on passenger occupancy (2).

A mixed integer linear programming method for traffic signal optimization that simultaneously considers three major control variables (cycle lengths, splits and offsets) has also been developed (22). First, a common cycle length was selected for the entire network. Then the splits at each intersection were determined according to the proportions of demand/capacity ratios on conflicting approaches. Lastly, a selection method chose the appropriate set of offsets to link the signals throughout the network. Research studies over the next couple of decades basically extended these findings and recommendations. An approach has also been proposed for estimating a dynamic correlation degree index between two adjacent intersections for subarea

partitions (23). Cycle lengths, link length and path flows between upstream and downstream coordinated phases were considered contributing factors. The method determined whether multiple adjacent intersections could be partitioned into one subarea.

SIL simulation is implemented in traffic simulation software to replicate real time signal controller performance by running the actual controller software within the simulation environment. SIL simulation coupled with VISSIM simulation was tested and proved to be a reliable replication of real time TSP strategies (24, 25). Studies that address signal optimization benefiting both transportation modes (private traffic and transit) are rare. It is even rarer to find studies integrating pedestrian performance or assessing overall person-based transportation operations in multi-modal networks. Similarly, there are not many studies where a subgroup of signals is optimized to improve (multi-modal) operations around another group of signals whose timings are unaltered.

### 3. METHODOLOGY

#### 3.1. Optimal Traffic Control for Partitioned Signalized Networks

Optimal traffic signal control is about selecting a set of control vectors  $u()$  (e.g. one for an effective green display and zero for an effective red display) from the set of feasible controls  $U_f \subset U$  which gives the optimal value of the selected objective function). To obtain an optimal solution to a traffic control theory problem, one needs to:

- Define a set of feasible controls  $U_f \subset U$  for the current traffic state view (based on the most recent traffic data available);
- Define a measure that can be used for comparing the effects of any two sets of proposed signal timing control plans. This measure is called the objective function.

Mathematically, the relationship between the objective function and the objects of the traffic control process can be expressed as (26):

$$F_o = X_{[t_0, t]} \times W_{[t_0, t]} \rightarrow R' \quad (\text{Eq. 1})$$

Where  $F_o$  represents an objective function, and  $X$  and  $W$  represent input and state spaces, respectively. The input space  $X$  is usually reflected as the set of all inputs (traffic flows ( $Q$ ) and control inputs ( $U$ )) and the state space  $W$  is the set of system states (e.g. queue lengths at each movement of each link in the network). Finally,  $R'$  represents a subset of real numbers (e.g. average person delay). Equation (1) can be decomposed and applied to any network of  $N$  nodes:

$$F_o^N = U^N_{[t_0, t]} \times Q^N_{[t_0, t]} \times W^N_{[t_0, t]} \rightarrow R^N \quad (\text{Eq. 2})$$

Where index  $N$  denotes that the objective function is developed based on the flows, control decisions, and system state for the entire network, and  $U$  and  $Q$  denote previously mentioned sets of control variables and traffic flows for specific sets of traffic streams or movements  $m$ . In this study we have another limiting factor that impacts our optimization strategy: a set of predefined traffic signal controllers with variables that are not part of the optimization process. These traffic signals are located at intersections along the LRT lines where predictive priority strategies are executed. Thus, we define  $N_n$ , where  $N_n \subset N$ , as a set of signalized intersections for which we do not want to optimize traffic signal control variables in order to preserve existing PPS strategies (as opposed to subset  $N \setminus N_n$ , which represents all nodes/signals whose control variables are modified in the optimization process). The objective function still remains based on the performance of all of the signals in the network. Finally, we modify equation (2) to reflect our case study as:

$$F_o^N = U^{N_n}_{[t_0, t]} \times Q^N_{[t_0, t]} \times W^N_{[t_0, t]} \rightarrow R^N \quad (\text{Eq. 3})$$

#### 3.2. Defining Feasible Solutions through GA Encoding Process

By using GAs for optimization, feasible signal timings solutions are found using stochastic variables (which are generated during optimization). This structured relationship ensures compatibility of phases and safe operations in the field. While it can be complex, the practice in the US is defined by the well-known 2-ring, 2-barrier, 8-phase (basic phases) structure. This structure and the GA encoding process have been defined in detail elsewhere (20) but we provide here essential parts for the understanding of the methods applied in this study. At the beginning of the encoding process, we define minimum and maximum values for cycle length for a group of intersections  $i$  ( $CL_i$ ) within a network with  $N$  intersection groups:

$$CL_i = CL_{i_{\min}} + (CL_{i_{\max}} - CL_{i_{\min}})F_{ji} \quad i = 1, N, \quad j = 1, M \quad (\text{Eq. 4})$$

where  $CL_{imin}$  and  $CL_{imax}$  represents user configurable minimum and maximum values, respectively, for cycle length of the intersection group  $i$ .  $F_{ji}$  value represents the first ( $j$ ) of  $M$  fraction values used to compute signal timing parameters for the intersection group  $i$ . In the next step we define a minimum phase ( $MP$ ) time for each intersection  $k$  as:

$$MP_{pk} = \max \begin{cases} RC_{pk} + AT_{pk} + MG_{pk} \\ RC_{pk} + AT_{pk} + W_{pk} + PC_{pk} \end{cases} \quad p = 1, P, \quad k = 1, L \quad (\text{Eq. 5})$$

where  $RC$ ,  $AT$ ,  $MG$ ,  $W$ , and  $PC$  are Red Clearance, Amber Time, Minimum Green, pedestrian Walk, and Pedestrian Clearance, respectively.  $P$  is the total number of phases at intersection  $k$ , while  $L$  is the total number of intersections in intersection group  $i$ . The minimum phase times ( $MP$ ) are used to compute a total of available green time for all phases. While the details of calculating the Main Street Phasing Time ( $MSPT$ ) (for each intersection  $k = 1, L$ ; within each intersection group  $i$ ) can be found elsewhere it is essentially based on:

$$MSPT_{ik} = \sum_{\Phi \in MSP \cap R1} MP_{\Phi} + \left( CL_i - \sum_{\Phi \in R1} MP_{\Phi} \right) F_{jk} \quad i = 1, N, \quad j = 2, \quad (\text{Eq. 6})$$

where  $R_1 = \{\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4\}$ , represents Ring 1 with its corresponding phases ( $\Phi_i$ ). Alternatively, depending on the exact value of  $F_{jk}$  the second ring  $R_2 = \{\Phi_5, \Phi_6, \Phi_7, \Phi_8\}$  could be used to calculate the  $MSPT$  too. In this case  $F_{jk}$  refers to a single intersection  $k$  not a group of intersections. Considering that the main street phases ( $MSP = \{\Phi_1, \Phi_2, \Phi_5, \Phi_6\}$ ) and cross street phases ( $CSP = \{\Phi_3, \Phi_4, \Phi_7, \Phi_8\}$ ) provide green to traffic (through and left) from main street and cross street, respectively, one can find the cross street phasing time  $CSPT_{ik}$ :

$$CSPT_{ik} = CL_i - MSPT_{ik} \quad k = 1, L, \quad i = 1, N, \quad (\text{Eq. 7})$$

Now we compute the green splits  $G\Phi_p$  (including  $AT$  and  $RC$ ) for each phase  $\Phi_p$  ( $p = 1, P$ ) at each intersection  $k$  ( $k = 1, L$ ):

$$G\Phi_{2n-1} = MP_{2n-1} + INT \left\{ \left[ \left( CL_i - \sum_{\Phi \in R1} MP_{\Phi} \right) \times F_{ki} \right] \times F_{kj} \right\} \quad n = 1, 4, \quad (\text{Eq. 8})$$

$$G\Phi_{2n} = MSPT_k - G\Phi_{2n-1} \quad (\text{Eq. 9})$$

The offset for each intersection  $k$  (defined only for the first running coordinated phase) in the group  $i$  is defined by:

$$O_k = (CL_k - 1) \times F_{jk} \quad j = 7, \quad k = 1, L \quad (\text{Eq. 10})$$

Each of the fractions  $F_{jk}$  represents a value between 0 and 1. The fractions are used to map binary strings of signal timing parameters to real numbers. The number of bits used in a binary string to represent a single parameter depends on the desired degree of precision. However, higher degree of precision increases the computational costs of each GA's iteration. The GA optimization used in this study utilizes 6-bit strings to represent all signal timing parameters. The precision of each parameter ( $\Delta p_i$ ) can be computed as:

$$\Delta p_i = (p_{max} - p_{min}) / (2^b - 1) \quad (\text{Eq. 11})$$

Where  $p_{max}$  and  $p_{min}$  represent the highest and the lowest value of a parameter and  $b$  represents number of bits in the binary string used for encoding-decoding procedures. The original signal timings from the field are used to generate the initial population of feasible solutions. To enable GA manipulation of binary strings encoded parameters  $pe_i$  are calculated as:

$$pe_i = F_{jk} \times (2^b - 1) \quad (\text{Eq. 12})$$

$F_{jk}$  values are obtained in two ways. For the original population of signal timings, these values are calculated from the relationship (e.g. ratios) between phase green splits and main/cross street phase times. For all of the consecutive populations of signal timings the  $F_{jk}$  values are obtained as random numbers (between 0 and 1) from a Monte-Carlo process. Similarly in the decoding process  $F_{jk}$  is calculated as:

$$F_{jk} = pd_i / (2^b - 1) \quad (\text{Eq. 13})$$

### 3.3. Objective Function for Multi-Modal Operations

In order to capture the multi-modal aspect of the study the authors developed an objective function that is based on delays experienced by all users of the transportation system case study. More specifically the objective function is expressed as:

$$D_p = \frac{\sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^{M_n} \sum_{i=1}^{I_{nm}} \left( TTA_i - \sum_{j=1}^{K_m} \frac{L_j}{SD_{ji}} \right) \times O_i \times W_i}{\sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^{M_n} \sum_{i=1}^{I_{nm}} O_i} \quad (\text{Eq. 14})$$

$D_p$  – Average delay per person

$T$  – Total number of time periods  $t$

$N$  – Total number of nodes/intersections  $n$

$M_n$  – Total number of movements  $m$  for  $n^{\text{th}}$  node

$I_{nm}$  – Total number of vehicles traversing movement  $m$  (of the  $n^{\text{th}}$  node) during  $t^{\text{th}}$  interval

$TTA_i$  – Actual travel time of traversing movement  $m$  (of the  $n^{\text{th}}$  node) for  $i^{\text{th}}$  vehicle

$K_m$  – Total number of links contained in the  $m^{\text{th}}$  movement

$L_j$  – Length of the  $j^{\text{th}}$  link of the movement  $m$

$SD_{ji}$  – Desired speed of the  $i^{\text{th}}$  vehicle on the  $j^{\text{th}}$  link

$O_i$  – Occupancy rate (person/vehicle) of the  $i^{\text{th}}$  vehicle

$W_i$  – Weight given to a particular  $i^{\text{th}}$  vehicle (e.g. LRT passenger delay can be higher weight than driver's)

$t$  – Time interval (total analysis period divided by  $T$ )

$n$  – Node (or intersection) defined with a set of boundaries around centre of the intersection

$m$  – Movement (defined with entering and exiting points at an intersection)

$i$  – vehicle (defined by its class/mode (pedestrian, auto, LRT) and its driving preferences (e.g. speed))

$j$  – link of the movement  $m$

Essentially, the objective function represents a network-wide person-delay which incorporates all transportation modes. The same weight is given to drivers, transit passengers, and pedestrians at all intersections. It should be noted here that a pedestrian waiting to cross the road is incorporated in Equation (14) and given the same 'weight' as a car driver or LRT passenger waiting in their respective vehicles to go through the signalized intersection. Once calculated, the objective function is inverted to obtain the fitness function for the GA procedure, which is based on the maximization of the fitness functions. Thus, an objective function value  $D_p$  for the  $k^{\text{th}}$  generation becomes  $fitness^k$  in the GA procedure below.

### 3.4. Genetic Algorithm for Stochastic Optimization of Traffic Signals

The authors used VISSIM-based Genetic Algorithm for Optimization of Signal Timings (VISGAOST) (4) an optimization program that optimizes signal timings of traffic controllers based on their performance in VISSIM microscopic simulation. VISGAOST bases its optimization on the stochastic nature of GAs and relies on VISSIM's input and output files. The core part of the VISGAOST program is a simple GA similar to others used for signal timing optimization. A detailed description of the use of common GA operators (selection, crossover, mutation, elitism) as well as values which are used to set those operators is provided elsewhere (20). The pseudo code provided below serves to present the basic steps of VISGAOST logic. A timing plan in the logic below means a set of signal timings for all intersections in the network whose signal timings are being adjusted during optimization (for non-LRT).

#### Step 0: Initializing

$G$ , total number of generations

$T$ , total number of timing plans per generation

$\epsilon$ , convergence threshold

$i$ , current number of population

$i = 0$

Generation of initial population  $p^i$  of timing plans  $tp^k$ ,  $\forall k \in [1, \dots, T]$

- read  $tp^1$  from database of each controller



- generate  $tp^k$ ,  $\forall k \in [2, \dots, T]$

**Step 1: Evaluating Population**

Evaluation of  $tp^k \in p^i$ ,  $\forall k \in [1, \dots, T]$

- encode and write  $tp^k$  to database of each controller
- simulate and evaluate  $tp^k$
- calculate  $fitness^k$

**Step 2: Testing Termination Criteria**

$fitness^b = \max(fitness^1, \dots, fitness^T)$

$fitness^a = \text{average}(fitness^1, \dots, fitness^T)$

IF (  $(i = G)$  OR (  $|fitness^b - fitness^a| < \epsilon$  ) )

**Stop and RETURN**  $tp^b \in p^i$

ELSE

GO TO **Step 3**

**Step 3: Generating New Population**

$i = i + 1$

Generation of new population  $p^i$

- select best ranking timing plans from  $p^{i-1}$
- generate  $p^i$  through GA-operations

GO TO **Step 1**

### 3.5. Real World Application of the Proposed Method

The downtown Salt Lake City network, University of Utah campus area and corridors that connect them serve as the case study. Over the past ten years, this area has evolved into a true multimodal system supporting buses, LRT, pedestrian and bicyclist traffic. The network includes a 0.6 mile stretch of Main Street, the most important multimodal corridor in the downtown area, and 1.4 miles of North and South Temple streets that connect the Central Business District (CBD) to Salt Lake City International Airport. Based on the recent traffic data, the average vehicle occupancy within the analyzed network is approximately 1.2 persons per vehicle. However, each TRAX train transports between 60 and 80 passengers during the PM peak hours. Along the 400 S corridor, approximately 16% of the traveling public are traveling on TRAX. More information about the network and its multimodal operations can be found elsewhere (27).

400 S and 500 S streets connect the downtown and university areas, where 400 S (one of the busiest streets in SLC) carries more than 26,000 vehicles per day and intersecting with major arterials at State Street and 700 E. The intersection of Main Street and 400 S adds to the complexity of the network where three LRT lines meet: Red line (University of Utah – Daybreak), Green line (SLC – West Valley City) and Blue line (SLC – Sandy). Future LRT expansion includes a Black line that will connect the university to the airport.

The VISSIM model network presented in Figure 1 consists of 73 signalized intersections (including eight mid-block signalized pedestrian crossings) and four LRT gated crossings (which are also modelled as signals). Since LRT predictive priority is an option in Siemens NextPhase controllers, it was installed at all intersections with LRT for a total of 36 intersections in the network. The remaining 37 signalized intersections in the network are predominantly equipped with Econolite controllers in the field. In the VISSIM model, all signalized intersections equipped with Siemens NextPhase controllers in field are modelled through Virtual Next Phase (VNP) SIL application in order to achieve the exact control logic as in the field. The remaining intersections and gated crossings are modelled with VISSIM's RBC signal control emulator.

The majority of intersections with LRT operate on a 120-second cycle length with the exception of five mid-block pedestrian crossings and one downtown intersection (400 W and South Temple) which are running in free mode. Coordination is provided in the direction of the LRT lines, with the exception of 700 E and 400 S. The remaining modelled intersections (without LRT) are also part of the coordinated system and operate on a 120-second cycle. Coordination is provided in parallel to the LRT lines. Figure 2 shows a screenshot of the VNP GUI in VISSIM, which is used to input controller's data and commands, and check controller status. Signalized intersection data were obtained from the Utah Department of Transportation and the City of Salt Lake Transportation Division (CSL-TD).



Figure 1. Case study network



Figure 2. VISSIM VNP GUI and operation

### 3.6. Data Collection

Travel time measurements, traffic counts, transit ridership and traffic signal timing data were used to build the microsimulation models as well as for calibration and validation. Travel time data for vehicular traffic were measured using the floating car technique and GPS technology in the PM peak (4:00 - 6:00 PM). The data collected on TRAX trains were used to validate transit operations. TRAX ridership data, obtained from the Utah Transit Authority were used to calculate hourly boardings at stations within the project area and the average occupancy of trains entering the modelled network.

Turning movement counts for 27 signalized intersections in the Downtown area were collected by the KOA Corporation and submitted to the City of Salt Lake. These reported counts were used to balance the intersection turning movement volumes for the wider Salt Lake City network. The signal timing data and the control logic that provides LRT intersection priority were obtained from field traffic controller through UDOT i2 software along with actual logic and detector setup tables.

### 3.7. Model Calibration and Validation

The existing model was calibrated and validated to ensure a correct representation of traffic and transit operations. Calibration and validation were based on traffic data collected in the field. Model calibration was based on turning movement counts for all signalized intersections in the network. A high calibration R Square value of 0.98 shows a good correlation between the two data sets. The correlation is also double checked using a two-tailed T test for paired samples, with a 5% level of confidence ( $\alpha=0.05$ ). For all segments, a validation R square value between the two sets is 0.83.

### 3.8. Predictive Priority Settings

The LRT trains get priority over vehicular traffic at all intersections within the analyzed network. The priority is achieved using overlap intersection phasing, and through a series of logical commands that are set within the Siemens NextPhase traffic controllers. The authors provide here only an overview of the logics which were implemented in simulation. For a detailed review of how simulation controllers were adjusted to properly replicate the field conditions, one is encouraged to see the technical report (27). LRT priority setup defines basic LRT inputs, such as LRT check-in and check-out actuations, advanced and midblock calls. The outputs in this case are so-called state phases, and these serve as inputs for intersection priority logic activation.

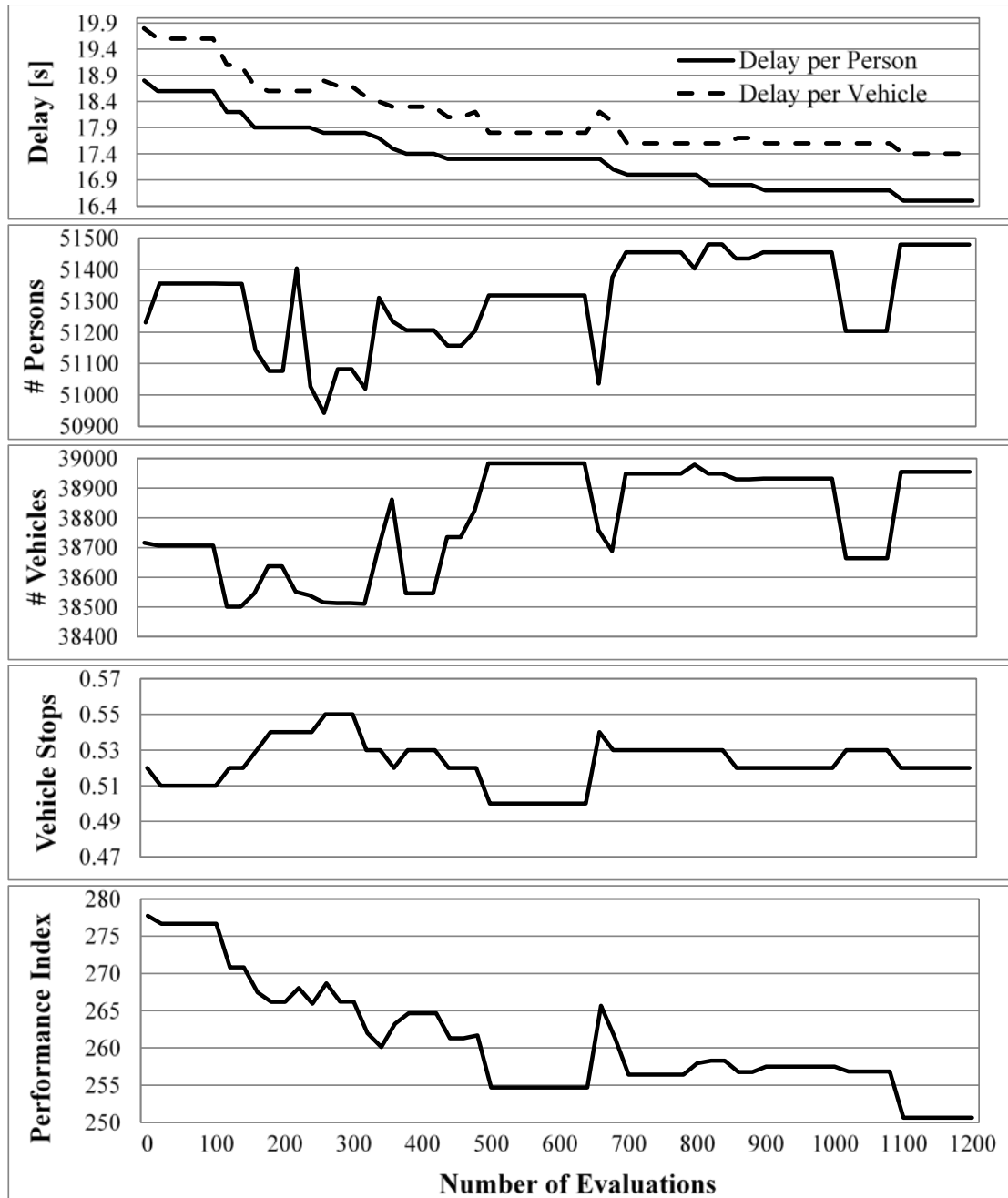
Green extension / Insertion of phases logic allows extra green time for LRT vehicles once they have been detected approaching an intersection. In general, there are several phases in phase rings that can be used by the LRT overlap phases depending on the moment within a cycle when an LRT vehicle has been detected. General logic for an intersection in this case is to extend the LRT phase overlaps until the train has cleared the intersection. If the LRT overlap is timing red when a train is approaching an intersection, the Early phase termination logic will terminate all the conflicting phases that are timing green at that moment in order to allow the LRT overlap to be serviced with priority. If the LRT overlap is timing red when a train is approaching an intersection, the Left turn swapping logic will rotate phases for through movements and left turns, allowing the through movements with concurrent LRT overlaps to be serviced first, and the left turns after that. However, if a train and through vehicles are waiting at the red light at an intersection, the Queue jumping logic will allow an earlier start for the train.

A Peer-to-peer call is basically information about the presence of trains that is sent from one intersection to the neighbouring ones. Special outputs from the controller logic settings are devoted to the LRT signage and will turn the train approaching and/or "Stay off track" signs on appropriately. The Directional / Shared lane logic is a special type of function active at the shared lane sites. Those are the sites where left turns and trains share the same lane within the right-of-way. This logic activates track clearance by allowing left turns before the train if there are left turning vehicles in the shared lane.

## 4. RESULTS AND DISCUSSION

Figure 3 shows how various performance measures change during the 1200 evaluations of the optimization process. Performance Index here is a linear combination of vehicle delays and stops, where each stop is given 10 seconds of delay penalty (as used in common practice in the signal optimization models). It should be noted here that two performance measures in Figure 3 are different from the others: delay per person is actually equivalent to the optimization objective function, while the PI is the only performance measure that shows performance of the entire network.

Figure 3 shows consistent reduction of the delay per person throughout the course of the optimization. The delay per vehicle is following the trend of the delay per person but in a few instances this delay per vehicle increases while the delay per person decreases. This type of disagreement between vehicular and person delay shows that the search algorithm is able to find a few signal control plans which favour transportation modes with higher person occupancy (e.g. LRT). The following two charts in the Figure 3, which show person and vehicular throughput, demonstrate that person throughput generally reaches values that are up to 30% higher than vehicle throughput. This is consistent with the most recent efforts for transit enhancements in the case study area where the Transit Oriented Development built in 2012 managed to significantly increase transit ridership. The number of persons and number of vehicles vary during the optimization based on how long the signal control plans hold the transit and private cars in the network.



**Figure 3.** Change in various MOEs during optimization process

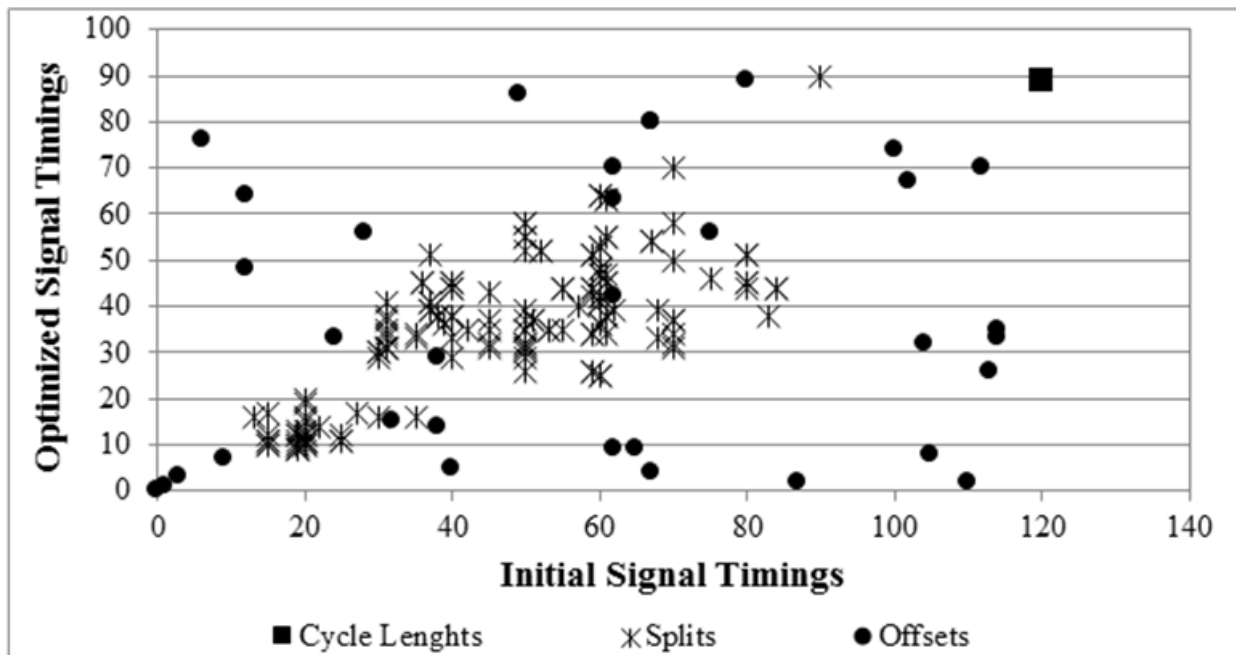
Finally, the PI chart shows that performance of the entire network is consistent with the personal and vehicular performance of the nodes contained by that network (showing that no solutions are selected that cause congestion somewhere between the nodes). Table 1 shows results of additional evaluations of optimal signal control through ten random seeds. The statistical measures from additional evaluations are not fully consistent with trends shown in Figure 3. While Figure 3 shows around 12% reduction in delay per person, after the optimal control plans are tested for multiple random seeds an average reduction is roughly 8-9%. At the same time the optimal solution slightly increases vehicular and person throughput but the differences are not significant. The queue reduction on nodes of roughly 16% is achieved after the optimization. Consistent with node evaluation, network assessments show an insignificant increase in number of stops, an 8% delay reduction, and a 6-7% better PI in the optimized scenario, when compared to the initial states. A paired-mean T test was conducted to test the differences between the initial and optimized performance measures. The T tests show that all of the relevant savings in delays and queue lengths are significant whereas the optimal solution delivers person and vehicle throughputs and number of stops very similar to the initial values.

**Table 1. Performance Measures of Initial and Optimized Signal Timings**

Signal Timings	Performance Measure	Statistic	Initial	Optimized	Difference	T Test
<b>Node Evaluation</b>	# Vehicles	Mean	38,364	38,393	0.08%	-0.190
		St. Dev	342	351		
	# Persons	Mean	50,693	50,849	0.31%	-0.624
		St. Dev	541	573		
	Vehicle Delay [s]	Mean	19.4	17.7	-8.66%	* 11.142
		St. Dev	0.3	0.4		
Person Delay [s]	Mean	18.7	17.1	-8.77%	* 11.616	
	St. Dev	0.3	0.3			
Queue Length [ft]	Mean	11.9	10.0	-16.05%	* 15.001	
	St. Dev	0.3	0.3			
<b>Network Evaluation</b>	Stops	Mean	20,250	20,322	0.36%	-0.322
		St. Dev	546	453		
	Delay [h]	Mean	214.5	196.0	-8.64%	* 8.521
		St. Dev	5.2	4.5		
	Performance Index	Mean	270.7	252.4	-6.75%	* 6.756
		St. Dev	6.5	5.6		

*\* Difference is statistically significant at 95% confidence level*

Figure 4 shows correlation between signal timings before (initial) and after the optimization is performed. The results show that the optimal signal control plans have generally lower values for splits and offsets than initial, which is directly related to the fact that the cycle length (common for all nodes) was reduced from 120 seconds to 90 seconds. It is a well-known fact that reduced cycle lengths reduce overall vehicle/person delay because average waiting time is decreased. The results from Table 1 show that a reduced cycle length of 90 seconds, with appropriate splits, is long enough to accommodate current traffic demand (no capacity failures and queue spillbacks). Also, based on the unchanged number of vehicular stops, the reduced cycle length does not spoil overall traffic progression in the network. Overall, the relationship between initial and optimal signal timings show an expected trend, in accordance with observations in performance measures in Figure 3 and Table 1.



**Figure 4. Correlation of initial and optimal signal timings**

## 5. CONCLUSIONS

This study addresses a network with complex multi-modal operations and heterogeneous-signal-platform systems. The authors first briefly presented the problem from a theoretical standpoint, with development of a multi-modal person-based objective function and description of the GA code. Then, the methodology was applied on a network in downtown Salt Lake City, where such complex multi-modal operations exist in the field.

Optimization experiments are performed in VISGAOST, a tool that has been previously used for similar studies. The optimal signal control was then exposed to multiple randomly-seeded simulations to evaluate its robustness. The following summarizes conclusions from the study:

- The optimal signal control plans outperform the initial signal control by around 8% from the perspective of person-delay.
- Trends of the performance measures during the optimization run clearly show that the algorithm was able to find solutions where the overall number of serviced persons increased in spite of the fact that the number of serviced vehicles decreased. This result shows that the algorithm was able to recognize when to provide signal control solutions which favour high-occupancy vehicles, thus providing more equitable service to all users.
- Performance measures indicate that there is an opportunity to further encourage multimodal operations in the area without significant negative effect on private traffic. Other performance measures, either in node or network level, behave consistently with the objective function, by either remaining constant or closely following the trend of the objective function. This proves that the proposed solution balances network operations and does not trade improvement in a performance metric to the detriment of others.
- Final solution (i.e. set of signal timings) proposes a shorter cycle length (with shorter green splits and offsets) that consequently reduce average delays for all system users.
- Contrary to expectations, that a shorter cycle length may reduce capacity and/or worsen traffic progression, the relevant performance measures show that the overall network congestion and traffic progression have been, in fact, improved.
- All of the previous conclusions point to the fact that the methodology, for given conditions, was able to moderately but equitably and robustly improve performance of the overall transportation operations in the multi-modal network.

Achieved benefits (~8% in delay per person) may seem moderate, however, considering that they are very consistent with other performance measures (which are sometimes by their nature contradicting, e.g. stops or throughput) shows that the final set of signal timings indeed represents a beneficial traffic signal control solution that works well for a variety of transportation users.

Future research should include experiments where signal timings are free of the constraints imposed by existing regulations and policies exercised in the field. VNP signals could be included (with PPS for LRT) in the optimization scheme. Also, experiments could incorporate different weights for various transportation modes applied in the person-delay equation.

### Acknowledgments

The authors thank the Utah Transit Authority, Utah Department of Transportation and the City of Salt Lake Transportation Commission staff, and Mountain Plains Consortium University Transportation Center for their help, the data they furnished and their support with this effort. The work presented in this paper remains the sole responsibility of the authors.

### References

1. A. Stevanovic, J. Stevanovic, C. Kergaye, and P. Martin, "Traffic control optimization for multi-modal operations in a large-scale urban network," presented at the Integrated and Sustainable Transportation System (FISTS), 2011 IEEE Forum on, 2011, pp. 146–151.
2. E. Christofa, "Traffic Signal Optimization with Transit Priority: A Person-based Approach," 2012.
3. B. B. Park, N. M. Rouphail, and J. Sacks, "Assessment of stochastic signal optimization method using microsimulation," *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 1748, no. 1, pp. 40–45, 2001.
4. A. Stevanovic, P. T. Martin, and J. Stevanovic, "VisSim-based genetic algorithm optimization of signal

- timings," *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 2035, no. 1, pp. 59–68, 2007.
5. B. Park and J. Lee, "Application of the Stochastic Optimization Method in Optimizing Traffic Signal Control Settings," 2008.
  6. C. Kergaye, A. Stevanovic, and P. T. Martin, "Comparative evaluation of adaptive traffic control system assessments through field and microsimulation," *J. Intell. Transp. Syst.*, vol. 14, no. 2, pp. 109–124, 2010.
  7. A. Stevanovic, A. Abdel-Rahim, M. Zlatkovic, and E. Amin, "Microscopic Modeling of Traffic Signal Operations," *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 2128, no. 1, pp. 143–151, 2009.
  8. A. Stevanovic, J. Stevanovic, and P. T. Martin, "Optimizing Signal Timings from the Field," *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 2128, no. 1, pp. 114–120, 2009.
  9. H. R. Smith, B. Hemily, and M. Ivanovic, "Transit signal priority (TSP): A planning and implementation handbook," 2005.
  10. T. J. Stone and W. A. Wild, "Design Consideration for LRT in Existing Medians: Developing Warrants for Priority Treatments," *Transp. Res. Board Spec. Rep.*, no. 195, 1982.
  11. M. C. Garrow and R. B. Machemehl, "Development and evaluation of transit signal priority strategies," University of Texas at Austin, 1997.
  12. A. Skabardonis, "Control strategies for transit priority," *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 1727, no. 1, pp. 20–26, 2000.
  13. T. Bauer and P. Fuller, "An Evaluation of Light Rail Transit Signal Control Options," presented at the Proceedings of the Institute of Transportation Engineers Conference, Philadelphia, Pennsylvania, 2002.
  14. S. M. Langdon, "Simulation of Houston Light Rail Transit Predictive Priority Operation," *ITE J.*, vol. 72, no. 11, 2002.
  15. F. Dion, H. Rakha, and Y. Zhang, "Evaluation of potential transit signal priority benefits along a fixed-time signalized arterial," *J. Transp. Eng.*, vol. 130, no. 3, pp. 294–303, 2004.
  16. H. Rakha, K. Ahn, M. A. Perfater, and C. C. McGhee, "Transit Signal Priority Project, Phase II: Field and Simulation Evaluation Results," Virginia Transportation Research Council, 2006.
  17. N. M. Routhail, B. B. Park, and J. Sacks, "Direct signal timing optimization: Strategy development and results," presented at the In XI Pan American Conference in Traffic and Transportation Engineering, 2000.
  18. B. Park and J. Schneeberger, *Evaluation of traffic signal timing optimization methods using a stochastic and microscopic simulation program*. Virginia Transportation Research Council, 2003.
  19. B. Park, C. J. Messer, and T. Urbanik, "Traffic signal optimization program for oversaturated conditions: genetic algorithm approach," *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 1683, no. 1, pp. 133–142, 1999.
  20. J. Stevanovic, A. Stevanovic, P. T. Martin, and T. Bauer, "Stochastic optimization of traffic control and transit priority settings in VISSIM," *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 16, no. 3, pp. 332–349, 2008.
  21. Z. Yang, "Signal timing optimization based on minimizing vehicle and pedestrian delay by genetic algorithm," 2010.
  22. N. Gartner, J. D. Little, and H. Gabbay, "Optimization of Traffic Signal Settings in Networks by Mixed-Integer Linear Programming," DTIC Document, 1974.
  23. Y. Bie, D. Wang, and X. Qu, "Modelling correlation degree between two adjacent signalised intersections for dynamic subarea partition," *Intell. Transp. Syst. IET*, vol. 7, no. 1, pp. 28–35, 2013.
  24. M. Zlatkovic, P. T. Martin, and A. Stevanovic, "Evaluation of transit signal priority in RBC and ASC/3 software-in-the-loop simulation environment," presented at the Transportation Research Board 89th Annual Meeting, 2010.
  25. M. Zlatkovic, P. T. Martin, and A. Stevanovic, "Predictive Priority for Light Rail Transit," *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 2259, no. 1, pp. 168–178, 2011.
  26. S. Guberinic, G. Senborn, and B. Lazic, *Optimal traffic control: urban intersections*. CRC Press, 2007.
  27. M. Zlatkovic, A. Stevanovic, I. Tasic, and M. Ostojic. "400 South Corridor Assessment". Final report - Prepared for Utah Department of Transportation, May 2014, Salt Lake City, UT.

Nenad Ilić  
Area Sales Engineer Balkan Region

**Representative office Kistler Italy**

Bulevar Despota Stefana, 12/VIII

11000, Belgrade, Serbia

Direct +381 69 390 66 77, Main Office +39 02 481 27 51

[nenad.ilic@kistler.com](mailto:nenad.ilic@kistler.com), [www.kistler.com](http://www.kistler.com)

Tomas Pospisek  
EMEA Sales Manager Road & Traffic

**Kistler Eastern Europe s.r.o.**

Zelený pruh 1560/99, CZ-140 00 Praha 4, Czech Republic

Direct +420 222 135 384, Main Office +420 222 135 370

[tomas.pospisek@kistler.com](mailto:tomas.pospisek@kistler.com), [www.kistler.com](http://www.kistler.com)

## **WEIGH-IN-MOTION DIRECT ENFORCEMENT: EFFECTIVE AGAINST OVERLOADING**

**Tomas Pospisek, Nenad Ilic**

**Abstract:** *The growth and the deployment of WIM systems has been driven mainly by the following trends: (a). the need to understand traffic loading to improve new road designs and to plan maintenance activities; (b). the need to detect overloaded vehicles to protect the infrastructure and to increase traffic safety; (c). the need to finance road expenditures by applying new pricing concepts such as weight-based toll collection schemes.*

*This paper focuses on direct enforcement applications as effective tool against overloading. The use of advanced WIM systems aims at monitoring all passing vehicles on a 24/7 base, to detect overloaded vehicles and to directly fine those vehicles. We provide an overview of the legal background, of the applications, the known issues and the overall experience with direct enforcement based on high-speed WIM measurement systems. Furthermore, we provide an overview about the technology used for this task.*

*WIM systems have traditionally served as 'preselection tool' for weight enforcement and have delivered valuable traffic data. In recent years we have observed a new trend in using high-speed WIM systems for direct penalization of overloaded vehicles. Czech Republic has pioneered in direct enforcement based on high-speed WIM systems since 2010: and today there are WIM measurement stations in operation issuing tickets for overloaded vehicles. As more and more governments push to implement automatic enforcement applications based on vehicle weight data, there has been an increasing demand for certified WIM systems, accredited according to international standards.*

**Keywords:** *Weigh In Motion, WIM standard, high-speed WIM, direct enforcement.*

### **1. INTRODUCTION**

This paper summarizes all important information about the legal background, history, applications, known problems and overall experience with direct enforcement based on high-speed weigh-in-motion (HS-WIM) measurement systems in the Czech Republic (CZ). The focus is on the legal side and practical experience and also the technical parameters of HS-WIM systems and its use for direct enforcement.

Czech Republic has pioneered in direct enforcement based on HS-WIM since 2010<sup>[1]</sup> but only in 2014 there were first systems put into full operation including issuing penalty tickets for overloaded vehicles. As of now, there are still many issues on the procedural side that prevent direct enforcement from playing a more



important role. The purpose of this paper is to provide information, examples and arguments evaluating the possibilities of introducing HS-WIM direct enforcement in a particular country.

## 2. BACKGROUND

By amendment of the Road Act – the key legal norm regulating all aspects of transport on roads in the Czech Republic including the weighing of heavy vehicles the so-called “High-speed control weighing” was introduced as one of the legal possibilities to enforce legal weight limits<sup>[1]</sup>. According to our knowledge, it was the first time at all when a country legally adopted HS-WIM direct enforcement. The amended law entered into force on 1st January 2010 but had not been used until 2014. The reason was a missing regulation (decree) – a detailed explication of the procedures how the HS-WIM enforcement should be performed, the responsibilities and also, how the income from penalties would be distributed among state, regional and city authorities.

Through the Road Act, HS-WIM systems have become one of the weighing technologies that can be legally used for direct law enforcement. Since direct law enforcement is a field where only legally relevant measuring instruments can be used, HS-WIM systems has fallen into the instruments category intended for official periodic verification. By an amendment of a decree (legislation document connected to metrology law) published by the Czech Ministry of Trade and Industry<sup>[2]</sup> such measuring instruments with mandatory type approvals and verification were listed and the accuracy defined.

Based on the Czech metrology law the Czech Metrology Institute (CMI) is the competent authority for type approvals, initial verifications and subsequent verifications. CMI elaborated a national regulation (designation 0111-OOP-C010-10)<sup>[3]</sup> stipulating metrological and technical requirements, including test methods, for specified measuring devices: "HS-WIM road vehicle scales". The regulation represents a complex document according to which the testing for type approvals and verification is carried out. The specification was based on OIML<sup>[4]</sup>, COST323<sup>[5]</sup>, ASTM<sup>[6]</sup> and FiWi<sup>[7]</sup>.

## 3. ROAD NETWORK & ORGANIZATION OF ROAD MANAGEMENT

In order to understand the legal background, it is necessary to describe how the road network management is working in the Czech Republic. There are several state and private entities involved in the road network maintenance. However, overweight control is entirely at the responsibility of state authorities. In table 1 we provide an overview of the responsibilities of individual organizations in road maintenance and the number of HS-WIM systems installed: both, traffic statistics/preselection and direct enforcement that are being built only on best quality roads, e.g. highways and 1st and 2nd class roads.

**Table 1.** Road network in Czech Republic and deployment of HS-WIM

Road type	Length of network	Owner	Maintenance	HS-WIM preselection	HS-WIM direct enf.
Highways and motorways	1.240 km	State	Road and Motorway Directorate	yes	no
1 <sup>st</sup> class roads	5.800 km	State	Regional maintenance organization or private contractors	yes	no
2 <sup>nd</sup> class roads	14.500 km	Region	Regional maintenance organization	yes	yes
3 <sup>rd</sup> class roads	34.200 km	Region	Regional maintenance organization	no	no
City and local roads	N/A	Cities and towns	City maintenance organization	no	no
Private roads	N/A	Private	private	no	no

Source: Ministry of Transport of the Czech Republic, Road and Motorway Directorate. 2014

The authority responsible for periodical checking of vehicle weight in the Czech Republic is Police together with the Center for services for road transport (CSPSD), a special organization within the Ministry of Transport. On average, in the Czech Republic circulate 50.000 vehicles daily. CSPSD operates 15 regional expert units equipped with mobile scales. These units are operational approximately 200 days per year, that means 1 unit checks 1 vehicle in 5 days. In 2014, the authorities inspected 1.867 vehicles of which 925 were overloaded, that is 49,5%<sup>[8]</sup>. If we assume that only 1% of circulating heavy vehicles is overloaded, which is most likely underestimated, it is clear that several hundreds overloaded vehicles per day are never stopped and checked.

#### 4. SYSTEM GENERAL REQUIREMENTS

A High-Speed Weigh-In-Motion system (HS-WIM) is defined as an automatic measuring system consisting of all hardware (weighing-sensors, induction loops, overview and license plate recognition cameras, auxiliary sensors and computer equipment for data processing) and software that is installed in, under, over and next to the road<sup>[9] [10] [11]</sup>. Any WIM system measures, calculates and stores several data items of all passing vehicles (trucks) related to:

- The vehicle that passed, this data consists of the wheel and axle loads, the gross vehicle weight, the axle distances, the number of axles and the vehicle classification.
- The passage of the vehicle, consisting of the date, the time, the lane, the direction and the speed of the passage.

The system can usually be accessed remotely by a computer with special software for accessing data from HS-WIM system and for processing them for further legal purposes.

More information about individual parts of the HS-WIM system are given in the following overview:

- **Weighing sensor:** The sensor installed in the road must detect the presence of a moving vehicle and record the dynamic forces on the tires.
- **Computer equipment (data logger):** Scales are intended for operator-free operation, and this equipment must detect the presence of a vehicle in the weighing zone and must define when the entire vehicle was weighed. The equipment must permit the categorization of vehicles in accordance with local legislation.
- **Cameras:** overview and licence plate recognition cameras for a precise vehicle identification. This recognition must meet security, integrity and authenticity requirements to prevent undue changes to the content of images and measured data, or improper assignation. Cameras capture the situation during weighing, ensuring identification of the vehicle being weighed in automatic mode.
- **Software:** The software used must be presented in such a form that software cannot be changed without damaging a seal, or each change in software can be automatically recorded and its nature specified with the use of an ID code.
- **Auxiliary sensors:** devices for vehicle categorization such as inductive loops or laser scanner sensors; all additional measuring equipment that is employed to improve the system performance such as accelerometers or temperature sensors.

HS-WIM systems for direct enforcement must fulfill the following requirements:

- Displayed mass and load values must be indicated precisely and unambiguously, and must not lead to errors. Scales are intended for indication of the following values:
  - measured values of total mass, including the unit of measurement,
  - measured values of axle or axle group load, including the unit of measurement,
  - maximum permissible total mass value, including the unit of measurement,
  - maximum permissible axle or axle group load, including the unit of measurement,
  - the speed of the vehicle,
  - the time (date, hour, minute and second the measurement was performed), if appropriate.
- All scale equipment including software, must be equipped with housing or other suitable security means to prevent disconnection or removal by a user or other individual. Each piece of scale equipment that could influence measuring results, especially equipment for calibration and adjustment of scales or for correction of measured values, must be sealed.
- Resistance to external influences: Physical robustness, Weather resistance, Dust and water resistance, Electromagnetic compatibility (EMC)
- Power: Scales powered from the electrical grid must meet metrological requirements under normal voltage fluctuation conditions.
- Measuring device security and fraud prevention: Scales must not have characteristics that would facilitate fraudulent use, and there must be a minimum of ways in which they can be unintentionally improperly used. Components that are not intended to be disassembled or adjusted by the user must be protected from such activity.

#### 5. ACCURACY REQUIREMENTS

High Speed (HS) WIM systems for direct law enforcement in the Czech Republic are defined as: “Automatic scales that measure the dynamic force on the tires of a moving vehicle and detect its presence on a pressure sensor over time, and calculate the total vehicle mass and load per axle or axle group, plus other vehicle parameters required by special legislation, while the vehicle is moving along its route”.

The requirements for the measurement accuracy are described in designation 0111-OOP-C010-10 and correspond to a combination of the Classes A(5) and B+(7) as mentioned in COST-323 and FIWI. The maximum permissible errors for measurement of the vehicle mass, axle load and axle group load are specified in table 2.

**Table 2.** Required accuracy of HS-WIM direct enforcement in Czech Republic

Max. error	%
Axle Load and Axle Group Load	± 11%
Vehicle Mass	± 5%

Source: [3]

The specifications for the weighing ranges and scale intervals are given in tables 3 and 4;

**Table 3.** Specifications for weighing ranges

Weighing range	min [kg]	max [kg]
Axle load	1000	20,000
Vehicle mass	3500	≥ 48,000 or as specified by special legislation

Source: [3]

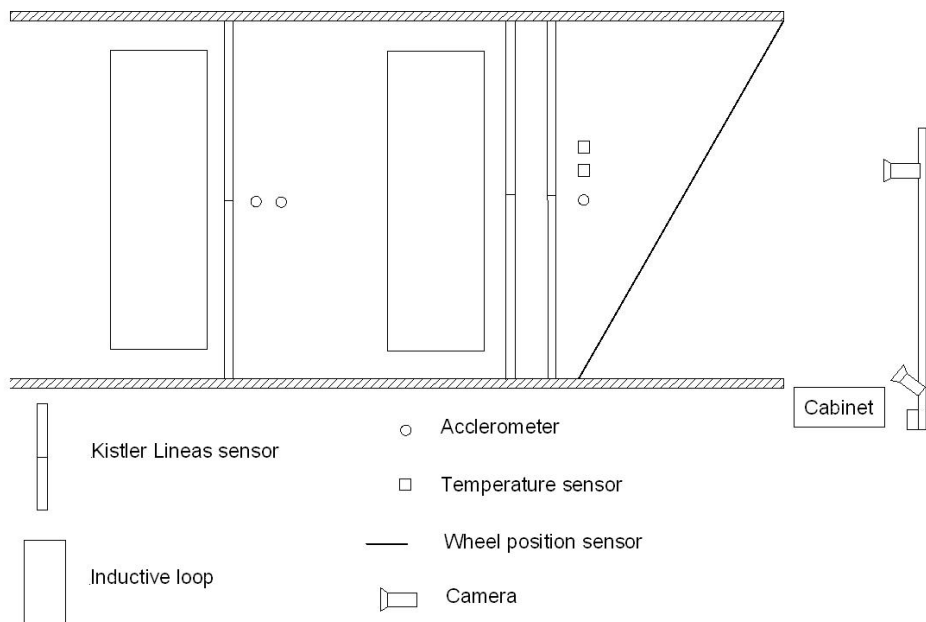
**Table 4.** Specifications for the scale intervals

Scale Interval	[kg]
Axle load	20 kg
Vehicle mass	50 kg

Source: [3]

## 6. SYSTEM DESIGN

The HS-WIM systems used for direct enforcement consists of; two or three quartz sensor rows, one piezo sensor for detection of transversal wheel position, additionally temperature sensors in different layers for measuring of road temperature gradient and accelerometer sensor. Figure 1 shows example of the layout of the system configuration including the use of different sensor types.



**Figure 1.** HS- WIM schematic system configuration in Czech Republic

Source: Kistler Instrumente AG

## 7. EXPERIENCE OF USING HS-WIM SYSTEMS FOR DIRECT ENFORCEMENT

When a truck is overloaded its handling characteristics deteriorate, which increases the chance of getting involved in an accident. The following aspects are involved:

- Overloading of the total vehicle mass increases the braking distance of the vehicle. Due to a longer braking distance, accidents will occur that otherwise could have been avoided. This leads to more accidents.
- Even if an accident was inevitable (overloaded or not), an overloaded vehicle always has a higher impact than a vehicle that is not heavily loaded. This leads to severer accidents.
- Overloading of axles can lead to a decrease in manoeuvrability and controllability of the vehicle. This leads to accidents that could have been avoided.
- Trucks that are overloaded beyond their technical limits show an increase in the wear and tear of vehicle parts, e.g. tires and suspension. If vehicle maintenance is not increased, parts of the vehicle may break down causing additional accidents.
- In mountainous areas trucks that are extremely overloaded (and therefore slow) often urge car drivers to dangerous overtaking manoeuvres. This leads to more accidents.

HS-WIM system for direct weight control successfully addresses the safety issues by punishing much larger violators of weight standards compared to traditional manual methods. Moreover, a strong factor of prevention is visible - wherever an automatic enforcement system is put into operation, the number of overloaded vehicles drops considerably within several months.

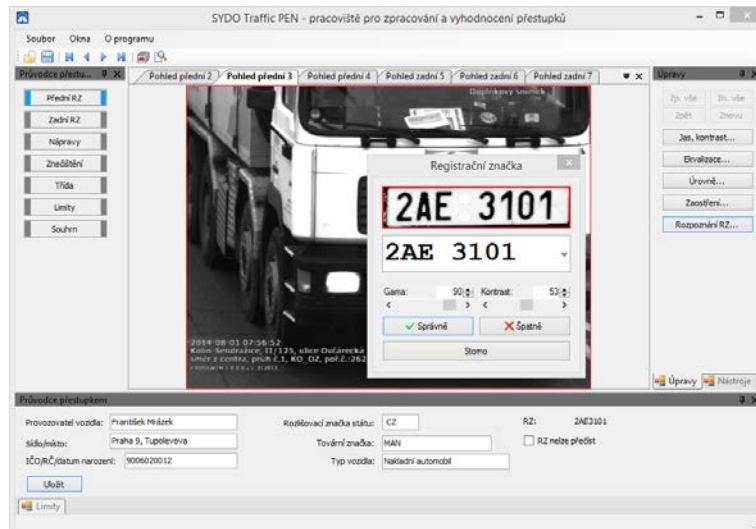
Nevertheless HS-WIM enforcement is still a quite new process within Czech legislation and therefore there are a number of issues that are gradually appearing, mainly related with the locally specific legal part. The preparation of a legal basis and consequent regulations have been complicated and slow. Visible is the lack of experience of the authorities in procedural processes and best practices. From the technical point of view we want to mention especially the issue of the correct site selection for HS-WIM enforcement stations that must fulfill all parameters required by the set standards. The number of sites fully compliant with these requirements is generally quite limited.

In 2016, there are approximately 20 HS-WIM sites in the Czech Republic. Only 3 of them – installed on second class roads – do successfully operate in direct enforcement mode. One of these sites is located on the road II/602 near the city of Velke Mezirici. During the testing period from the end of August till November 2015 the WIM system detected within 98 days 689 overloaded vehicles<sup>[12]</sup>. The average was approximately 7 vehicles a day. From this, one third was overloaded by less than one ton which was within tolerance because the scale was in testing mode. Not all vehicles are subject to penalties, for example buses or trucks transporting construction machinery, such as excavators, bulldozers or cranes. Thus, the final number is about 40% lower. Statistics from January 2016 that includes only the overloaded vehicles after deduction of the system accuracy ( $\pm 5\%$  and  $\pm 11\%$ ) is shown in the Table 5. Out of these 22 vehicles, 6 are subject of legal process of automatic penalization.

**Table 5.** *Statistics of overloaded vehicle on direct enforcement WIM site in Velke Mezirici*

Month	Direction	Number of overloaded vehicles								Total
		[+0-499kg]	[+500-749kg]	[+750-999kg]	[+1000-1249kg]	[+1250-1499kg]	[+1500-1749kg]	[+1750-1999kg]	[+2000-<]	
January 2016	East	11	2	0	2	2	2	2	3	22
January 2016	West	9	5	1	0	0	0	0	1	16

Source: Gemos s.r.o.,



**Figure 2.** Direct enforcement back office software  
Source: GEMOS, s.r.o.

## 8. CERTIFIED SYSTEMS ACCORDING TO OIML

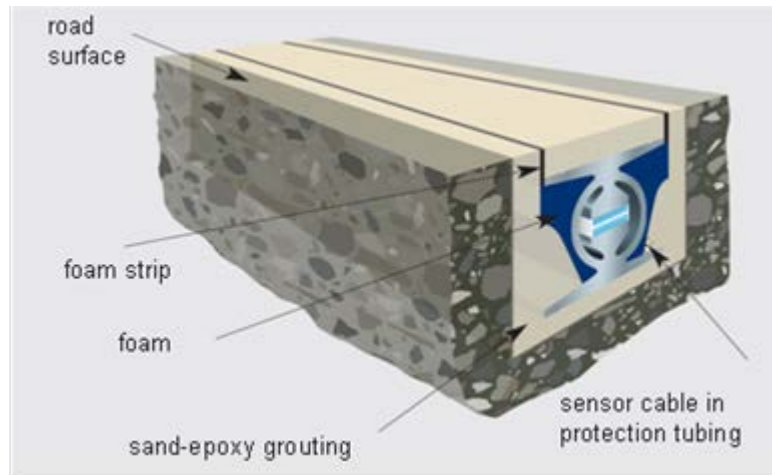
Since the introduction of WIM decades ago, the main performance requirements for WIM sensors and systems have been the accuracy and repeatability of its measurements. Nowadays, these aspects of the performance of a WIM system remain of great interest for both users and suppliers; however, with the direct enforcement that has started to be used a third aspect has been added: reliability.

Automatic weight enforcement aims to detect and pursue overloaded vehicles automatically by using a WIM system combined with a license plate recognition system. This requires a legal framework and the use of a certified WIM system. Obtaining an official certification for legal weighing applications can be a complicated process. This certificate can help to accelerate the approval process for direct enforcement in new countries.

The OIML R-134 recommendation (OIML, 2003) is widely accepted, as it is supported by the International Organization for Legal Metrology. However, the recommendation only applies to WIM systems installed in a controlled weighing area where the vehicle speed is controlled in order to eliminate the effects of vehicle dynamics. The OIML R134 recommendation inherits a lot of features from the OIML R60 recommendation, like the thermal stability test, the heat damp test or the long-term stability test. The OIML R134 has several classes of maximum permissible error: 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10. An important specification of OIML is that for the system certification or for the initial verification all the measurements (100% of the data sets) must be within half of the maximum permissible error; thus, a sensor of class 10 shall not have any measurement with a relative error greater than 5% for all the tests performed.

The WIM system presented in this paper, consisting of quartz sensors Lineas and the WIM Data Logger, has been extensively tested to meet the requirements of OIML R-134. To guarantee quality and independence, the tests were performed by the Swiss Federal Office of Metrology (METAS). The tests consisted of two separate parts:

- Laboratory tests performed on the Lineas WIM sensor. In particular, linearity, temperature behavior and stability were tested according to the OIML R134.
- In-motion tests of the complete WIM system installed in the road pavement.



**Figure 3.** *Lineas quartz sensor*  
Source: Kistler Instrumente AG

## 9. CONCLUSIONS AND LESSONS LEARNED

When discussing the introduction of weight control based on direct enforcement and HS-WIM systems in a new country, there are some key arguments that can be used in favor of automatic weight control:

- It is possible to employ existing technology of HS-WIM, for providing reliable vehicle data that can be used for automatic weight enforcement with continuous operation.
- The example of the Czech Republic shows that existing international standards can be used to create locally applicable norms and certification procedures that serve as a basement for direct weight enforcement.
- Even if the rate of invalid measurements due to non-standard behavior of the vehicle on the sensors is relatively high and not all the measurements can be used for further legal actions, HS-WIM enforcement is still notably more effective against overloading than standard (static and low-speed) methods that must be operated manually.
- Prior to introduction of correspondent legislation it is necessary to prepare local metrology and certification standards.
- It is recommended to adopt legislation as a complete set of procedures including all detailed regulations, templates of documents, back-office processes and training programs. Putting into operation certified HS-WIM measurement site is necessary but not sufficient condition.
- The HS-WIM direct enforcement system should be understood rather as a preventing tool for reducing the damaged caused to the road network than a source of income for local administration.

As of today HS-WIM direct enforcement is largely a legal issue, although all technical problems have not been fully resolved yet. Its successful introduction thus depends on many conditions that are mostly independent of the technical solutions companies involved could provide as standard. It is important to share complete information to public authorities whenever it can help accelerating the process of adoption of HS-WIM direct enforcement as legal option.

The case study from HS-WIM site in Velke Mezirici clearly shows that the automatic enforcement systems are much more effective in detecting overloaded vehicles compared to the traditional approach based on checks by authorities using static scales, simply because of the number of violations that can be detected by measurement device that is in operation 24/7 is considerably higher.

### Acknowledgements

Gemos s.r.o.

### References

- [1] Czech Republic Law No.13 / 1997 Coll., *Road Act as amended*, §38, §42, §43
- [2] Ministry of Trade and Industry of the Czech Republic 2014 *Decree no. 104/1997 Coll. On implementation of the Road Act, as amended*, §51
- [3] CMI 2011, *Measure of a general nature*, No. 0111-OOP-C010-10, ref. No. 0313/003/10/Pos.

- [4] OIML R134-1, 2006, *Automatic instruments for weighing road vehicles in motion and measuring axle loads – Part 1: Metrological and technical requirements*
- [5] COST323 1999, *European Specification on Weigh-in-Motion of Road Vehicles*, EUCO-COST /323/8/99, LCPC, Paris, August, 66 pp.
- [6] ASTM E1318-02 2002 *International Standard Specification for Highway Weigh-In-Motion Systems with User Requirements and Test Methods*
- [7] FiWi 2010, *Draft European Standard, Weigh-in-Motion of Road Vehicles*
- [8] CSPSD 2015 *Overloaded vehicles are still a serious problem* available at <http://www.cspsd.cz/333-pretizena-vozidla-jsou-stale-vazny-problem>
- [9] Doupal, E., Road and Motorway Directorate of the Czech Republic 2010, *Technical standard proposal for WIM systems*
- [10] Doupal, E., Kriz, I., Stamberg, I., Cornu, D., 2012: *Acceptance of WIM For Direct Enforcement, Experiences in the Czech Republic*, ICWIM Dallas 2012
- [11] Doupal, E., Cornu D., Kriz I. 2011 *WIM-system for direct enforcement*, 1st Seminarion International de Pesagem em Movimento, Florianópolis, Brasil
- [12] Czech TV report December 2015 available at <http://www.ceskatelevize.cz/ivysilani/1096902795-studio-6/215411010101204> (begins in 133. minute)

# ROAD WEATHER INFORMATION SYSTEMS (RWIS) – EXPERIENCES FROM SLOVENIA

Rok Kršmanc<sup>1</sup>, Alenka Šajn Slak<sup>1</sup> and Samo Čarman<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CGS plus d.o.o., Brnčičeva 13, Ljubljana, Slovenia, rok.krsmanc@cgspplus.si

**Abstract:** *Weather information is an important input data for traffic management systems and traffic infrastructure management systems. CGS plus d.o.o. is the leading company for Road Weather Information Systems in Slovenia. They developed RWIS for DRSI (Slovenian Road Agency) and DARS (Motorway Company in the Republic of Slovenia). The purpose of implementing RWIS is reduction in the costs of winter road maintenance (with an expected saving of at least 20% on spreading materials), optimisation of road winter maintenance services, increasing safety for drivers, reducing traffic congestions and reducing environmental pollution. Road weather forecast is the critical point and the heart of the decision support system, which provides recommendations on road maintenance routes and actions.*

**Keywords:** *Road Weather Information System (RWIS), Road Weather Station (RWS), METRo model, Winter Maintenance Decision Support System (MDSS), ITS, Slovenia.*

## 1. INTRODUCTION

The weather severely affects a broad spectrum of our activities, including traffic, which is one of the most important sectors of the European economy. Climate change has altered weather patterns and led to more intense weather events. The increased occurrence of extreme weather events has a significant impact on traffic safety and causes damage to the traffic infrastructure.

During the winter period, many countries experience severe winter conditions. Especially snow and ice make the transportability difficult and present several challenges for the winter maintenance service. Optimization of maintenance locations, timing, types and rates has an important impact on the road efficiency and safety. Weather information (the current weather situation and weather forecast) is an important input data for traffic management systems and traffic infrastructure management systems:

- Providing safer roads [1-2]. The influence of weather on the road safety is not directly derivable from statistics; however, there is no doubt that weather conditions determine road conditions and influence the driver's behaviour. The estimated economic cost of weather-related crashes alone amounts to nearly \$42 billion annually [3].
- Reducing winter road maintenance costs (i.e. salt consumption, work hours). Efficient ice control and snow removal is based on anti-icing strategy which involves the application of chemicals to the road before the forecasted event. Studies have shown that it should take place not more than 1–2 hours before snowfall. Smaller amount of salt (5–10 g/m<sup>2</sup>) is usually applied compared to the de-icing technique. There are many reports or quotations of substantial savings on winter road maintenance costs, i.e. [4-5].
- Reducing the environmental damage from over-salting [6].

## 2. ROAD WEATHER INFORMATION SYSTEMS (RWIS)

Road Weather Information System (RWIS) technology provides vital information on pavement and weather conditions needed for roadway maintenance operations. RWIS technology is typically used for monitoring snow and ice, but it can also be used for high winds, flooding, or visibility. It consists of Road Weather Stations (RWS) and web-based application. RWIS enables maintenance and operations personnel to monitor changing weather conditions in real time and make informed and timely decisions.

The most important sensor of a road weather station (RWS) is the so-called road sensor that monitors the temperature of road surface, the thickness of water film, the salt concentration and indicates the freezing point temperature. Road sensors are embedded in road surface or mounted on a pole, performing non-contact measurement. Road weather stations are equipped also with meteorological sensors for measuring the temperature, relative air humidity and precipitation, with sensors for solar radiation, wind speed and direction, and with digital cameras. The measurements are stored in the station's logger.

From the RWS logger, the measurements are transferred by different telecommunications technologies to the central database of the road weather information system (RWIS), which is a web-based application



offering various displays of current measurements at RWS locations, displays of the archived data and the metadata on stations and sensors. The application can also trigger alarms. CGS RWIS is 'opened' system and supports RWSs of different producers and is custom-designed.

## 2.1. Road weather forecasting

For the purpose to support the anti-icing operations, weather forecasts of high spatial and temporal resolution are essential. Precise forecasting of the time and duration of precipitation, precipitation type and amount, pavement surface condition as well as road surface temperature (RST) are critical. Cost benefit researches [7] show that the significance of weather forecasts decreases with the scale of time from nowcasts to short-term, medium-term, and long-term forecasts and that the improvement of weather information accuracy is critical to achieving more savings in winter maintenance.

More detailed weather information, such as road surface temperature (RST) and road condition, is needed to support anti-icing and other winter maintenance operations. The most common approach to forecasting road conditions is the energy-balance model, based on a one-dimensional diffusion equation:

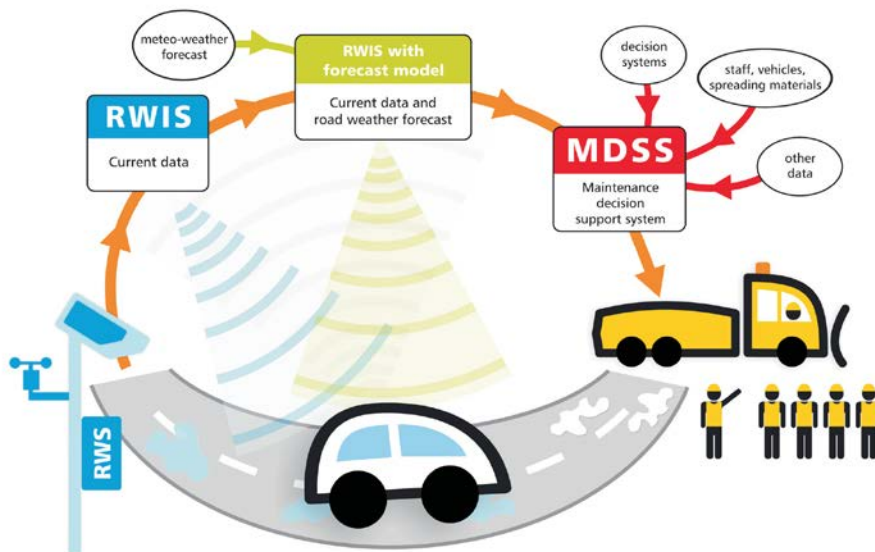
$$\frac{\partial q}{\partial t} = -K \frac{\partial^2 q}{\partial x^2},$$

where  $q$  is heat flux in the road,  $t$  time,  $x$  depth and  $K$  heat capacity of the road.

Together with the input of atmospheric forecasts and observations from a Road Weather Station (RWS), physical models produce local road forecast (roadcast): the RST, which is the most important parameter for determining the road surface condition (i.e. dry, wet, ice, snow).

Road weather forecast is the critical point and the heart of the decision support system, which provides recommendations on road maintenance routes and actions. Therefore some important improvements of physical models were developed at CGS company by upgrading the calculation with anthropogenic flux input and sun-shadow algorithm as well as with statistical approaches [8].

Forecasting road and driving conditions a few hours in advance leads to reliable expectations of glaze ice and thus effective preventive spreading, which is important from environmental as well as economic points of view. The short-term weather forecast (nowcasting) is therefore key to increasing the efficiency of the RWIS and the winter service.



**Picture 1.** Weather information for road winter maintenance  
Source: CGS plus d.o.o.

## 2.2. Winter Maintenance Decision Support System (MDSS)

A Maintenance Decision Support System (MDSS) is a tool that utilizes weather forecasts and observations to assist managers in making appropriate decisions to best utilize resources when planning for and treating snow and ice. One of the most important functionality is generation of treatment recommendations for road sections.

## 3. RWIS AND MDSS IN SLOVENIA

Road Weather Stations have been utilized to assist Traffic Management Services in Slovenia for many years. The need for this assistance is particularly pronounced in winter time since Slovenia is located in a meteorologically diverse territory between the western Alps, northern Adriatic and Pannonian Plain. With a growing number of RWS, their integration into a comprehensive road weather information system (RWIS) became inevitable. Management and maintenance of the road network in Slovenia is divided between the Slovenian Roads Agency (DRSI), primarily responsible for main and regional roads, and the Motorway Company in the Republic of Slovenia (DARS), responsible for motorways. Each of the two has its own network of RWSs, installed on representative road sections or constructions.

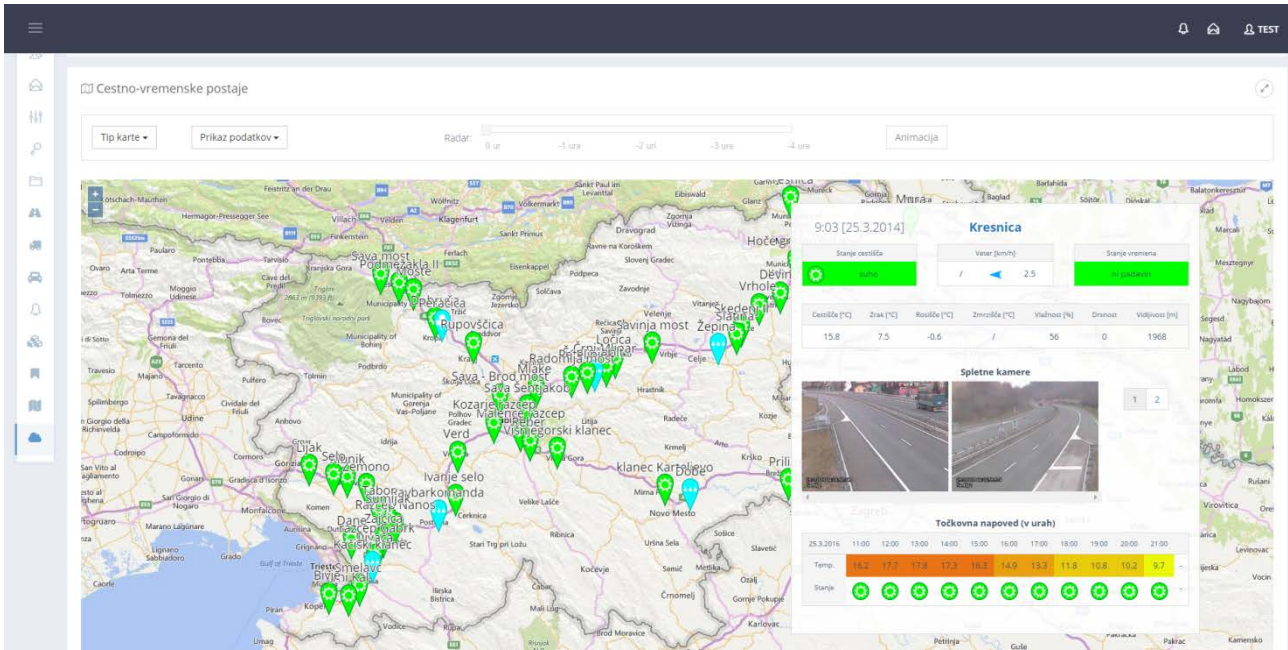
Owing to a gradual and long-term network construction process, the RWIS systems of both road management companies differs substantially in their age, installed sensors, manufacturers and other characteristics. The Slovenian Roads Agency was the first organization to begin the integration, followed shortly by the Motorway Company in the Republic of Slovenia. For this particular reason, we have now two partly different systems that are likely to be integrated in a comprehensive RWIS in the future. Both RWISs were developed by our company CGS plus d.o.o. Nevertheless, due to many similar characteristics, the functionality of the two systems can now be described as a uniform and comprehensive system. There are nearly 90 road weather stations (RWSs) altogether on Slovenian roads, situated mostly on motorways and regional roads.

Beside the RWSs data, short-term weather forecasts of high temporal and spatial resolution from INCA/ALADIN meteorological systems of National weather service ARSO are used. The INCA (Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis) system has been developed primarily for providing improved numerical forecast products in the nowcasting with very short time range (up to 12 hours) and high spatial resolution of 1 km. The INCA analysis and nowcasting data include temperature, humidity, wind, and the amounts and types of precipitation [9, 10]. A widely used physical model for forecasting the RST and road condition METRo was incorporated into RWIS.

Experiences of using METRo model showed that the RMS error for the RST predictions were generally satisfactory but could be too high at some sites, especially for the predictions around noon. Generally, to solve this problem, physical model was improved with further parameterisations of the relevant physical phenomena (anthropogenic influence, traffic influence, shadowing from the near objects, road physical characteristics) and combined with statistical techniques (i.e. regression, neural network) to improve the quality of input or output variables.

In winter 2015/2016 the DARS RWIS was upgraded with additional functionalities and become a Maintenance Decision Support System (MDSS) which supports managers in making appropriate decisions. Developed MDSS is able to calculate METRo forecasts on the whole Slovenian motorways with 30 m spatial resolution and 1 hour time resolution (up to 24 hours in advance) and supports high-resolution weather forecasting system (INCA and ALADIN). Such road forecasts can support winter maintenance decision with automatically treatments selection (MDSS provides time, type, amount and place of each treatment). System is developed as a modern cloud-ready web application in the MVC (model-view-controller) framework Laravel 5.

Furthermore, thermal mapping on the whole Slovenian motorways were performed in 2016 with equipment, developed only for this purposes. Results were used to provide better route-based forecasts and for road weather stations and its sensors optimisation.



Picture 2. Weather information on Slovenian motorways  
Source: DARS d.d.

### 3. CONCLUSION

Slovenia is equipped with one of the most efficient road weather information systems and decision support systems in Europe. Slovenian knowledge and local experiences were integrated in the system which was recognised as advanced and innovative also by professional public abroad.

### Acknowledgements

We thank our customers and users DARS and DRSI for their inputs. Some developments were supported by Eurostars program (project E! 7050 METRoSTAT).

The Eurostars Programme is powered by EUREKA and the European Community



### Literature

- [1] Fridstrøm, L.; Ifver, J.; Ingebrigtsen, S.; Kulmala, R.; Thomsen, L.K. 1995. Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts. *Accident Analysis & Prevention* **27**: 1–20.
- [2] Norrman, J.; Eriksson, M.; Lindqvist, S. 2000. Relationships between road slipperiness, traffic accident risk and winter road maintenance activity. *Climate Research* **15**: 185–193.
- [3] OFCM. 2003. Weather Information for Surface Transportation: A National Needs Assessment Report. Office of the Federal Coordinator for Meteorological Services and Supporting Research: Washington, D.C.
- [4] McClellan, T.; Boone, P.; Coleman, M.A. 2009. Maintenance decision support system (MDSS). Final report. Indiana Department of Transportation: Indiana, USA.
- [5] Chapman, L.; Thornes, J.E.; Bradley, A.V. 2001. Modelling of road surface temperature from a geographical parameter database. Part 2: Numerical. *Meteorological Applications* **8**: 421–436.
- [6] Ramakrishna, D.M.; Viraraghavan, T. 2005. Environmental impact of chemical deicers – a review. *Water, Air, and Soil Pollution* **166**: 49–63.
- [7] Ye, Z.; Strong, C.; Fay, L.; Shi, X. 2009. Cost Benefits of Weather Information for Winter Road Maintenance. Final report. Iowa Department of Transportation, April 2009. Available from: [http://www.westerntransportationinstitute.org/documents/reports/4w1576\\_final\\_report.pdf](http://www.westerntransportationinstitute.org/documents/reports/4w1576_final_report.pdf)

- [8] Kršmanc R, Šajn Slak A, Demšar J. 2013. Statistical approach for forecasting road surface temperature. *Meteorological Applications* 20(4): 439 – 446.
- [9] Šajn Slak, A.; Kršmanc, R.; Čarman, S. 2012. Improved weather information for road sector in Slovenia (INCA-CE project). Paper presented at 16th International Road Weather Conference (SIRWEC 2012), Helsinki, Finland.
- [10] Kann, A.; Kršmanc, R.; Habrovský, R.; Šajn Slak, A.; Bujňák, R.; Schmid, F.; Tarjáni, V.; Wang, Y.; Wastl, C.; Bica, B.; Meirold-Mautner, I. 2015. High-resolution nowcasting and its application in road maintenance: experiences from the INCA Central European area project. *IET Intelligent Transport Systems*, Vol. 9, Issue 5.

# BRZINA VOZILA NA DVOTRAČNIM PUTEVIMA

dr.sc. Suada Džebo, dipl. ing. građ<sup>1</sup>

dr.sc. Mirza Pozder, dipl. ing. građ.

Aleksandra Mandić, dipl. ing. građ.

dr.sc. Branko Mazić, dipl. ing. građ.

**Rezime:** U ovom radu prikazan je metod proračuna osnovnih karakteristika saobraćajnog toka. Do rezultata se je došlo na osnovu snimanja brzina vozilima na otvorenom putu - od izlazne do ulazne table u grad. Istovremeno je sniman i broj vozila i njihova struktura pokretnim brojačem. Pored ovog snimanja saobraćaja, snimljene su brzine teških teretnih vozila na usponima video kamerom. Također su korišteni snimljeni podaci brzina sa automatskih brojača saobraćaja u Federaciji BiH.

Iz ovih snimljenih podataka istražene su zakonitosti i dobijene jednačine proračuna brzine vozila u zavisnosti od elemenata puta, gustine saobraćaja, brzine teških teretnih vozila i prosječne procentualna zastupljenosti raspodjele brzina.

**Ključne reči:** brzina vozila, brzina teških teretnih vozila, protok saobraćaja, raspodjela brzina.

*This paper presents the method for calculating the basic characteristics of the traffic flow. Speed vehicles was recording on the motorway between two cities. At the same time the number of vehicles and their structure were recorded by the movable counter. Also, heavy vehicles speed were recorded by video cameras while moving up the hill. In addition, recorded data by the automatic traffic counters in the Federation of Bosnia and Herzegovina were used.*

*Based on the recorded data were obtained equations for calculation of vehicle speed according to the road elements, traffic density, speed of heavy vehicles and the average percentages of the speed distribution.*

**Keywords:** vehicle speed, speed of heavy vehicles, traffic flow, speed distribution.

## 1. UVOD

U ovom radu obrađene su tri vrste snimanja brzina vozila. U prvom snimanju nastojalo se ustanoviti istovremeni uticaj elemenata puta i saobraćaja na brzinu toka [1]. Snimanja su obavljena putničkim vozilom marke „VW GOLF“ na otvorenom putu, i to od izlazne table grada do ulazne table u grad.

Drugo istraživanje je bazirano na snimanju brzina teških teretnih vozila na usponima video kamerom [2]. Ovom metodom je dobijena brzina vozila na osnovu mjerenja vremena koje dato vozilo pređe na određenom putu dužine izražene u pikselima video snimka koji se konverzijom prevode u jedinice brzine.

Treće istraživanje obuhvata snimljene brzina vozila po pragovima i to, manje od 60 km/h, od 60 do 80 km/h i preko 80 km/h, automatskim brojačima marke Sterela. Tom prilikom obrađene su brzina sa 28 automatskih brojača.

## 2. SNIMANJE BRZINA PUTNIČKIM VOZILOM

Prije obavljanja snimanja izvršen je izbor reprezentativnih dionica puta koje ulaze u uzorak za daljnu obradu. Pri tom su se nastojale uključiti što raznorodnije dionice, kako bi se obuhvatio što veći dijapazon vrijednosti promjenljivih osobina dionica puta.

### 2.1. Uzorak snimanja

Od 336 dionica magistralne i regionalne mreže puteva u BiH formiran je uzorak od 95 dionica ili 28,3% od ukupnog broja dionica. Dužina obuhvaćenih dionica izosila je 1790 km. Stvarni broj snimljenih dionica sa ponovljenim učešćem iznosi 136 dionica ukupne dužine 2228,5 km, što predstavlja dovoljan uzorak za ovo istraživanje. U vozilu pored vozača bio je suvozač koji je registrovao vozila po strukturi iz suprotnog smjera.

### 2.2. Snimanje brzine i protoka vozila

Za ovo snimanje angažovano je osam vozila sa isto toliko vozača i suvozača. Svaki vozač je dobio zadate rute na kojima je trebalo izvršiti snimanje brzina. Suvozač je imao zadatak da upisuje u određene formulare slijedeće podatke:

- relacija, smjer vožnje, vremenske prilike, dan u sedmici, datum snimanja, početna i završna kilometraža, vrijeme polaska i vrijeme dolaska, broj vozila iz suprotnog smjera po strukturi PA, BUS,

<sup>1</sup> Građevinski fakultet u Sarajevu, suada.dzebo@gf.unsa.ba

TV i AV, broj vozila koja su preteknuta od strane vozila-posmatrača i broj vozila koja su pretekla vozilo-posmatrača.

Na osnovu ovih podataka izračunati su reprezentativni pokazatelji:

- brzina toka, kao prosječna u uslovima vangradske vožnje, to jest na otvorenom putu, i
- protok saobraćaja, snimljeni broj vozila na relaciji u određenom vremenu i sveden na cio sat (voz/h).

### 2.3. Elementi puta

Pod elementima puta podrazumjevaju se tehničke karakteristike trase. Za istraživanje na brzinu toka uzeti su oni elementi puta koji se mogu numerički izraziti u tehničkim jedinicama. Izuzetak čine razred puta i kategorija terena koji su određeni ponderima. Kako se vrijednosti pokazatelja elemenata puta duž dionice često mijenjaju, reprezentativne vrijednosti dionice izračunate su kao težinske ili proste aritmetičke težine.

Među pokazatelje elemenata puta koji su se mogli numerički odrediti spadaju:

- tehnički razred puta (R), kategorija terena (KT), širina kolovoza (Š), stanje puta (S), procentualna zastupljenost preglednosti >450 m (P) i prosječni nagib (N).

#### 2.3.1. Tehnički razred puta

Tehnički razred puta [3] u ovom istraživanju određen je prema stvarnim tehničkim elementima puta kako situacionim tako i visinskim, a ne na osnovu prosječnog godišnjeg dnevnog saobraćaja PGDS-a na kraju planskog perioda. Vrijednosti pondera razreda puta kreću se od 1 do 5. Istraživanje uticaja tehničkog razreda puta na brzinu je značajno jer u sebi sadrži bitne elemente puta kao što su: veličina radijusa horizontalnih krivina, broj krivina po kilometru i krivinsku karakteristiku.

#### 2.3.2. Kategorija terena

Kategorija terena kroz koji je put projektovan određena je prema Tehničkim propisima<sup>3</sup>, a definisan je relativnom visinskom razlikom u reljefu, nagibom padine, nabranosti terena i postojećim elementima trase, a vrijednosti pondera kategorije terena su:

- 1-ravničast, 2-ravničarsko-bražuljkast, 3-brežuljkast, 4-brežuljkastobrdovit, 5-brdovit, 6-brdovitoplaninski, i 7-planinski.

#### 2.3.3. Širina kolovoza

Širina kolovoza obuhvata širinu puta na pravcu u metrima, bez proširenja koja se javljaju u horizontalnim krivinama, zaustavnim trakama, autobuskim stajalištima i odmorištima.

#### 2.3.4. Stanje puta

Stanje puta izraženo je preko specifičnog otpora koji zavisi od vrste kolovoznog zastora i njegovog stanja. Izražen je u N/kN, a njegove vrijednosti su date u Tabeli 1.

**Tabela 1. Vrijednosti specifičnih otpora**

Vrsta kolovoznog zastora	Stanje puta (N/kN)	
	Dobro	Loše
Asfalt	10	20
Beton	15	25
Kamena kocka	15	30
Tucanik	20	40
Zemljani kolovoz	15-150	
Pješčani kolovoz	150-300	

Izvor: Literatura [3]

#### 2.3.5. Procentualna zastupljenost preglednosti >450 m

Kod dvotračnih i trotračnih puteva bitan je elemenat za brzinu, kapacitet i bezbjednost saobraćaja. Minimalna dužina za preticanje prema Smjernicama je definisana kao dužina preglednosti veća od 450 m.

### 2.3.6. Uzdužni nagib

Uzdužni nagib ima značajnog uticaja na brzinu vozila u momentu sustizanja sporijih vozila, naročito teških teretnih vozila, ako u datom momentu ne postoji mogućnost za preticanje. Veličina uzdužnog nagiba sračunata je kao težinska aritmetička težina apsolutnih vrijednosti uzdužnih nagiba dionice.

### 2.4. Rezultati istraživanja

Iz snimljenih i obrađenih podataka formirana je matrica formata 136x7, i primjenom multivarijantne regresione analize, dobijena je jednačina združenog uticaja.

Rezultat istraživanja pretstavlja najverodostojniju jednačinu brzine toka vozila koja zavisi od komercijalnih vozila i elemenata puta.

Najverodostojnija jednačina glasi:

$$V_t = 67,71 - 6,63 \cdot R - 2,39 \cdot KT + 4,39 \cdot \mathring{S} - 1,37 \cdot N - 0,04 \cdot KV \quad (1)$$

gdje su:

- R - tehnički razred puta,
- KT - kategorija terena,
- $\mathring{S}$  - širina kolovoza (m), i
- N - prosječni nagib (%), i
- KV - učešće komercijalnih vozila BUS+TV+AV (voz/h).

Koeficijent determinacije iznosi 82,8 %, a korigovani koeficijent determinacije iznosi 81,2 %.

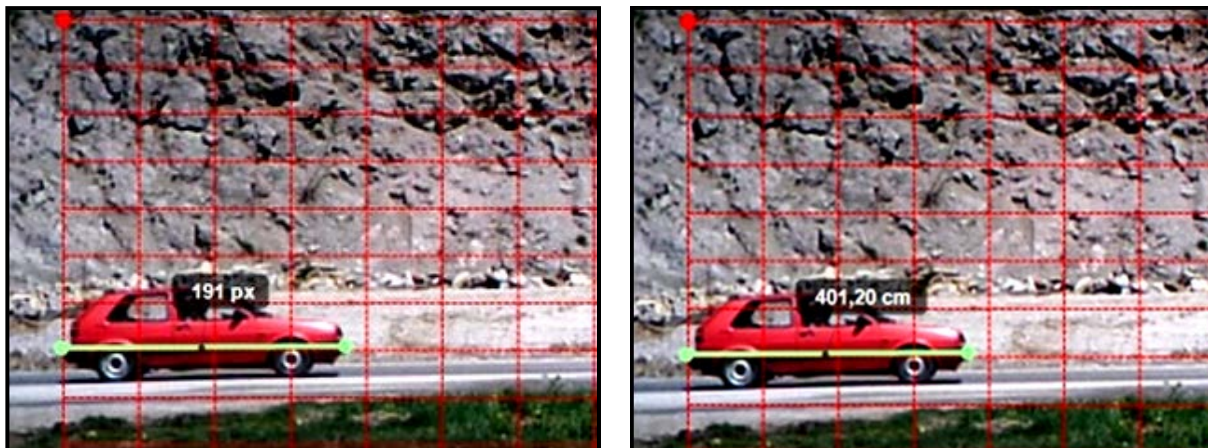
## 3. BRZINA TEŠKIH TERETNIH VOZILA NA USPONIMA

Prosječna brzina vozila određena je metodom analize video snimka. Naime na osnovu snimka kamerom određene rezolucije, vrši se zapis vremena koje vozilo prođe na određenoj dužini puta. Ovom metodom se dakle dobije brzina vozila na osnovu mjerenja vremena koje dato vozilo prođe na određenom putu dužine izražene u piskelima video snimka koji se konverzijom prevode u jedinice brzine.

### 3.1. Snimanje brzina

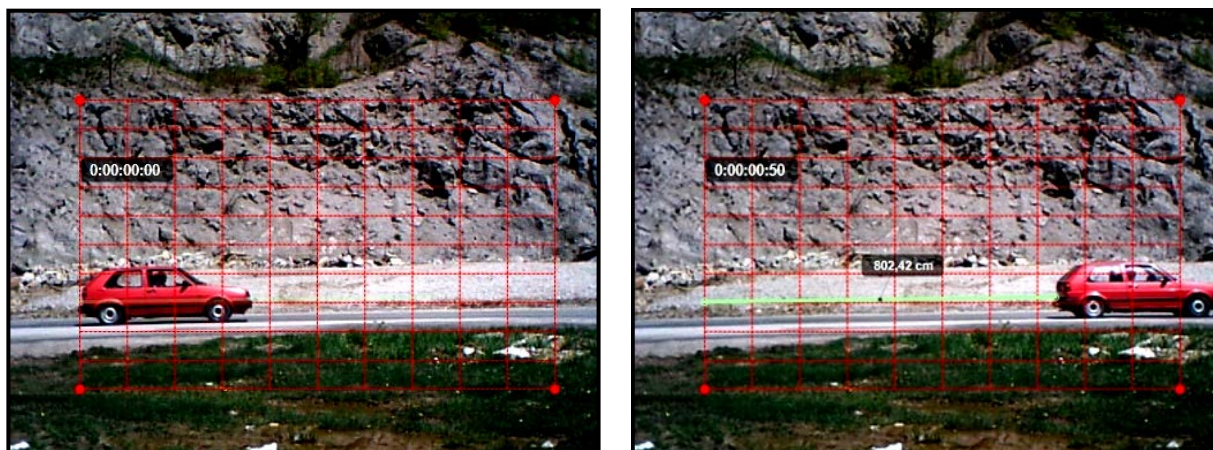
Za potrebe snimanja brzine korištena je kamera rezolucije 640x480 piksela, tj. kamera koja je korištena i za snimanje saobraćajnog opterećenja. Kamera se postavlja pod pravim uglom u odnosu na osovinu puta, na mjestu gdje će se zapisivati prosječna brzina vozila odnosno definiše se područje snimanja (detekcije) vozila.

Pošto video snimak snimljen kamerom nije u jedinicama karakterističnim za brzinu (km/h ili m/s) izvršena je konverzija mjernih jedinica sa piksela (jedinica video snimka) na jedinice brzine. Da bi izvršili konverziju jedinica potrebno je poznavati trenutne odnose jedinica snimka i neke poznate dužine na snimku. Na ovaj način se daje odgovor na pitanje: koliko piksela na video snimku koje vozilo pređe odgovara određenoj dužini puta? U ovom slučaju konverzija jedinica je izvršena na način da se utvrdi veličina nekog poznatog vozila na snimku, najbolje putničkog, u ravni u kojoj se snima brzina. Poznavanjem realne dužine vozila određen je odnos prema piskelima na video snimku, odnosno video snimak koji je bio u piskelima sada je u jedinicama dužine.



**Slika 1.** Procedura konverzije jedinica  
Izvor: autor Pozder M.

Kada je određen odnos pikseli - dužina (Slika 1), mogu se odrediti i brzine vozila, odnosno prosječna brzina vozila u strukturi saobraćajnog toka, mjereći vrijeme za koje detektovano vozilo pređe u određenom intervalu dužine, (Slika 2). Cjelokupna procedura se ponavlja za oba putna pravca jer ravan prolaza vozila, a samim tim i dužina kalibracije, nije ista.



**Slika 2.** Mjerenje pređenog puta u jedinici vremena  
Izvor: autor Pozder M.

Prije snimanja prosječnih brzina na terenu izvršeno je testiranje metode. Tačnost metode je testirana na način da je opitno vozilo prolazilo u području detektovanja poznatom brzinom, a metodom je proračunata brzina na osnovu video snimka. Maksimalna greška prilikom testiranja je iznosila do 6 km/h. Imajući u vidu da se brzina određuje za sva vozila jedna kategorije u strukturi, a zatim računa prosjek ovaj rezultat se smatra prihvatljivim. Greška je bila značajna kada vozila prolaze brzinama preko 100-110 km/h zbog malog vremenskog trajanja prolaska kroz područje detektovanja, ali pošto na lokacijama istraživanja preovladavaju uslovi manjih brzina ova činjenica nije utjecala na rezultate snimanja brzina.

Optimalna udaljenost kamere od ruba kolovoza saobraćajnice iznosil je od 15 do 20 metara. Usljed većih udaljenosti nastaju teškoće prilikom kalibracije odnosno konverzije jedinica snimka i realnih dužina. Manje udaljenosti nisu pogodne zbog suženja prostora detektovanja vozila.

## 3.2. Geometrijski elementi puta

### 3.2.1. Radijusi horizontalnih krivina i skretni uglovi

Radijusi horizontalnih krivina i skretni uglovi određeni su na osnovu GPS snimka preuzet iz baze "Uspostava geoinformacionog sistema-katastar kolovoznih konstrukcija". Za potrebe izrade ove studije izvršeno je GPS snimanje kompletne mreže magistralnih puteva F BiH. Opitnim vozilom opremljenim sa GPS uređajem snimana je mreža puteva po metodi čvor-dionica-čvor. Na mjestima horizontalnih krivina sa snimka, očitavan je radijus horizontalnih krivina i skretni ugao istih. Poređenjem očitanih vrijednost sa već poznatim



vrijednostima iz katastra magistralne putne mreže, dobiju se približno iste vrijednosti (razlika radijusa do 5 metara, a skretnog ugla 3-5 stepeni), što se može smatrati zadovoljavajućim.

### 3.2.2. Uzdužni nagib puta i širina kolovoza

Uzdužni nagib puta i širina kolovoza saobraćajnice na lokacijama snimanja je preuzet iz "Katastra magistralne putne mreže". Pokušaj određivanja uzdužnog nagiba na način da se odrede visinske kote, pa djeljenjem njihova razlike sa razdaljinom između njih (kao tangens ugla) nije pokazao zadovoljavajuće rezultate. Širine kolovoza na lokacijama snimanja su preuzete iz "Katastra magistralnih puteva" i mjerene na licu mjesta.

### 3.3. Rezultati istraživanja

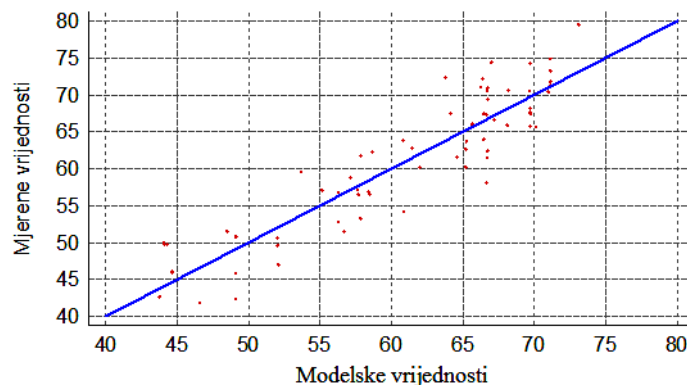
Iz snimljenih podataka formirana je matrica zavisno promjenljive brzine teških teretnih vozila i buseva te nezavisno promjenljivih elemenata puta (širina kolovoza, veličina skretnog ugla, i uzdužnog nagiba). Primjenom multivarijantne regresione analiz dobijena je jednačina modela prosječne brzine teških teretnih vozila i buseva koja ima oblik:

$$V_t = 52,14 + 2,92 \cdot \check{S}_k - 0,059 \cdot S_u - 2,94 \cdot U_n \quad (2)$$

gdje su:

- V<sub>t</sub> - prosječna brzina teških teretnih vozila uključujući i buseve (km/h),
- Š<sub>k</sub> - širina kolovoza (m),
- S<sub>u</sub> - veličina skretnog ugla (°), i
- U<sub>n</sub> - uzdužni nagib (%).

Koeficijent determinacije iznosi 82,3 %, a korigovani koeficijent determinacije iznosi 81,5 %. Na Slici 3, prikazan je odnos mjerenih i modelskih vrijednosti prosječne brzine teških teretnih vozila i buseva.



**Slika 3.** Odnos mjerenih i modelskih vrijednosti prosječne brzine teških vozila i buseva

Izvor: autor Pozder M.

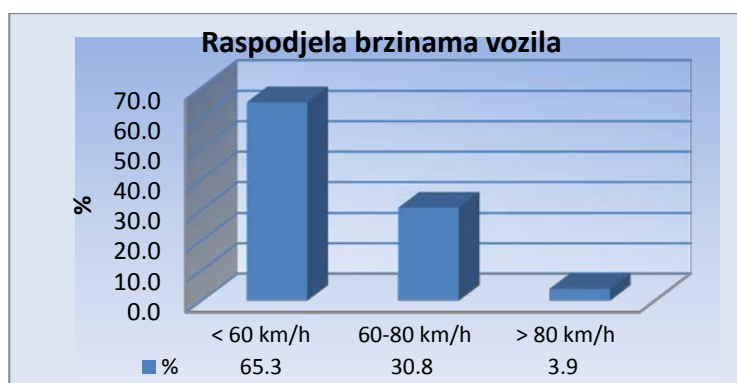
## 4. RASPODJELA BRZINA VOZILA PO INTERVALIMA BRZINA

Kod izrade saobraćajnih studija često smo suočeni sa određivanjem zastupljenosti brzina na putnim pravcima. Tom prilikom prepušteni smo vlastoj procjeni. U ovom dijelu rada analizirani su slijedeći slučajevi kod dionica puta gdje su vršena snimanja automatskim brojačima marke Sterela.

Dionice su podjeljene u dvije grupe i to:

- dionice na kojima je brzina u zavisnosti od elemenata puta manja od 60 km/h (formula 2), i
- dionice gdje je brzina u zavisnosti od elemenata puta veća od 80 km/h (formula 2)

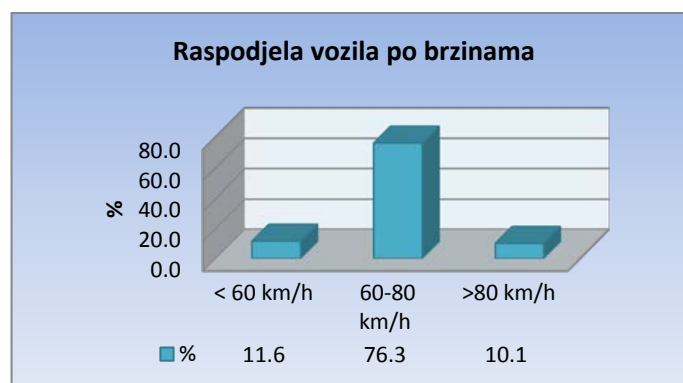
Koristeći formulu (2) za dionice sa brzinom manjom od 60 km/h, raspodjela saobraćajnog toka je kao na Slici 4.



**Slika 4.** Raspodjela brzina saobraćajnog toka (do 60 km/h)  
Izvor: autori

Iz slike se vidi da je preko 65 % vozila sa brzinom do 60 km/h, dok 30 % vozila će voziti brzinom od 60 do 80 km/h i oko 4 % vozila sa brzinom većom od 80 km/h.

Za dionice kod kojih je brzina u zavisnosti od elemenata puta oko 80 km/h, raspodjela brzina je kao na Slici 5.



**Slika 4.** Raspodjela brzina saobraćajnog toka (80 km/h)  
Izvor: autori

Kod ovih dionica sa brzinom koja zavisi od putnih elemenata za očekivati je da će oko 76 % vozila voziti brzinom između 60-80 km/h, dok brzinama manjim od 60 km/h i većim od 80 km/h, voziti skoro istim procentualnim učešćem od oko 10%.

## 5. ZAKLJUČAK

Ovaj članak predstavlja cjelovita i originalna naučna istraživanja sa neposrednim doprinosom nauci u oblasti putne tehnike.

Daje originalne jednačine za proračun brzine toka, brzine u zavisnosti od elemenata puta, brzine teških teretnih vozila i autobusa na usponima i procentualnu zastupljenosti toka raspodjele brzina. Zbog matematičke definisanosti ova istraživanja su našla primjenu u praksi.

## Literatura

- [1] Mazić, B; 1980. *Brzina toka putničkih vozila u zavisnosti od elemenata puta i gustine saobraćaja*. Magistarski rad, Građevinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo.
- [2] Pozder, M. 2013. *Istraživanje parametara na dvotračnim cestama i model predikcije buke*, Doktorska disertacija, Građevinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo
- [3] Službeni list SFRJ 20. mart 1969., *Tehnički propisi o elementima i ostalim uslovima koji se primjenjuju pri projektovanju javnih puteva i objekata na njima*, Beograd.
- [4] Brojanje saobraćaja na magistralnim cestama Federacije BiH u 2014. godini, J.P. Direkcija cesta Federacije BiH, Sarajevo.
- [5] Mazić, B. 2008. *Istraživanje pretpostavki i uvjeta za razvoj upravljačkog geoinformacijskog sistema (GIS) u oblasti putne infrastrukture Federacije BiH (naučnoistraživački projekt)*, Sarajevo.
- [6] Institut za puteve Beograd, 1982-1985, *Katastar magistralnih puteva BiH*.

# STRATEGIJA RAZVOJA ITS SISTEMA- UNECE REGION

**Suzana Miladić<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Univerzitet u Istočnom Sarajevu- Saobraćajni fakultet*

**Milan Tešić<sup>2</sup>**

<sup>2</sup> *Agencija za bezbjednost saobraćaja Republike Srpske*

**Vladan Tubić<sup>3</sup>**

<sup>3</sup> *Univerzitet u Beogradu- Saobraćajni fakultet*

**Marko Subotić<sup>4</sup>**

<sup>4</sup> *Univerzitet u Istočnom Sarajevu- Saobraćajni fakultet*

**Rezime:** U radu su predstavljene aktivnosti koje se sprovode u UNECE regionu sa ciljem razvoja i promocije ITS sistema, izazovi koji se javljaju razvojem ove oblasti kao i mogućnost primene novih tehnologija koje će olakšati implementaciju ITS sistema i komunikaciju između vozila kao i komunikaciju između vozila i putne infrastrukture učiniti efikasnijom i pouzdanijom. Kreiranjem naprednih aplikacija i usluga ITS sistema kao i primenom novih tehnologija, otvara se mogućnost za dostizanje ciljeva definisanih UNECE agendom 2030 u kojoj je ITS jedan od segmenata koji doprinosi održivom transportu.

**Glavne riječi:** Inteligentni transportni sistemi, UNECE region, globalne aktivnosti, tehnologija kognitivnog radija

**Abstract:** The paper reviews current UNECE actions for developing and promoting ITS, gaps and stumbling blocks in their deployment, the challenges that could arise with the deployment of ITS as well as the possibility of applying new technologies that would facilitate the ITS implementation and thereby made vehicle-to-vehicle and vehicle-to-infrastructure communication more efficient and reliable. Creating advanced applications and ITS services and applying new technologies, the possibility of achieving goals defined in UNECE agenda 2030 are opened since ITS is one of the segments that contributes to the sustainable transport.

**Key words:** Intelligent transportation systems, UNECE region, global actions, cognitive radio technology

## 1. UVOD

Povećanje obima saobraćaja, konstantno povećanje broja vozila koja eksploatacijom putne infrastrukture povećavaju potrebu za njenim održavanjem i rehabilitacijom, su problemi koje je teško sinhronizovano rešavati. Ako posmatramo saobraćajni sistem, dolazimo do zaključka da je trenutno najveći izazov poboljšanje kvaliteta mobilnosti stanovništva i robe i nivoa njihove bezbednosti, što se postiže usavršavanjem samih vozila i saobraćajne infrastrukture. Veći nivo saobraćajnih gužvi, duže vreme putovanja, povećana potrošnja goriva i emisija štetnih gasova, podstakla je potrebu za boljom organizovanošću celokupnog saobraćajnog sistema u inteligentni sistem. Inteligentni transportni sistemi (ITS) predstavljaju skup telekomunikacionih i informacionih tehnologija koje se koriste u saobraćaju sa ciljem da se olakša upravljanje saobraćajnim tokovima, smanje saobraćajna zagušenja, vremena putovanja i ukupni transportni troškovi, podigne kvalitet saobraćajnih usluga i putovanje učini bezbednijim [1]. Atribut "inteligentni" označava sposobnost adaptivnog delovanja u promenljivoj okolini pri čemu je potrebno prikupiti dovoljno podataka i obraditi ih u realnom vremenu čime je vozačima omogućena distribucija upozorenja i adekvatnih informacija.

Kao i ostali kompleksni sistemi, integrisane ITS aplikacije zahtevaju strateški okvir kao osnovu za njihov dizajn i upotrebu, kao i odluke vezane za odlučivanje. Takav okvir se obično naziva arhitektura sistema i obuhvata tehničke, operativne i organizacione aspekte. Razvojem ITS-a sve više zemalja širom sveta stvaraju svoje nacionalne ili regionalne ITS arhitekture. Ekonomska komisija za Evropu Ujedinjenih nacija (United Nations Economic Commission for Europe - ECE or UNECE) je jedna od pet regionalnih komisija Ekonomskog i socijalnog saveta (EKOSOC) Ujedinjenih nacija (UN). UNECE je forum na kojem se okupljaju države zapadne, centralne i istočne Evrope, centralne Azije i Severne Amerike- ukupno 56 zemalja. Rad UNECE-a se odvija u nekoliko sektora i jedinica, a unutar pojedinih sektora postoje komiteti u okviru kojih se formiraju radne grupe koje se bave različitim problematikom. Jedan od sektora je i Sektor saobraćaja (Transport Division). U okviru ovog sektora formiran je UNECE-ov komitet za unutrašnji transport, ITC (The UNECE Inland Transport Committee) kako bi se razvio transport unutar UNECE regiona ali i šire, saradnjom i sa zemljama koje nisu članice. Glavni rezultati rada ogledaju se kroz više od 50 međunarodnih ugovora i sporazuma koji omogućavaju međunarodni zakonski okvir i tehničke propise.

<sup>1</sup> Suzana Miladić, email: miladics@hotmail.com

<sup>2</sup> Milan Tešić, email: m.tesic@absrs.org

<sup>3</sup> Vladan Tubić, email: vladan@sf.bg.ac.rs

<sup>4</sup> Marko Subotić, email: msubota@gmail.com

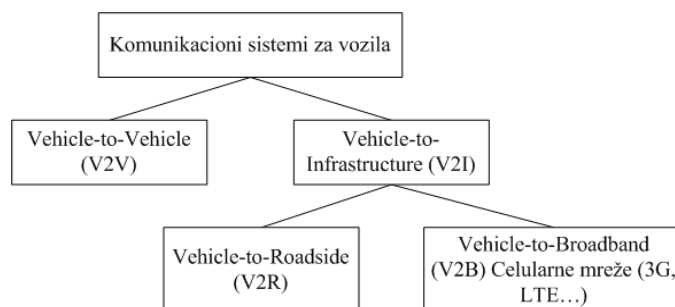
Osnovni cilj ovog preglednog rada jeste da se prikaže aktuelno stanje i aktivnosti koje se sprovode u UNECE regionu po pitanju razvoja i promocije ITS sistema kao i mogući izazovi koji se javljaju sa razvojem ove oblasti. Rad je organizovan na sledeći način. Drugo poglavlje ukratko prikazuje tehničke aspekte i faze koje prolazi ITS tehnologija do same implementacije. Faktori koji trenutno ograničavaju primenu ITS-a u UNECE regionu kao i aktivnosti koje ih rešavaju a koje su definisane strategijom do 2020. godine, predstavljene su u trećem poglavlju. Potencijalni izazovi, stanje razvoja ITS sistema u Srbiji koja je članica navedenog regiona kao i mogućnost primene tehnologije kognitivnog radija u komunikaciji između vozila kao i komunikaciji između vozila i putne infrastrukture prikazane su u četvrtom poglavlju dok peto poglavlje zaključuje rad.

## 2. TEHNIČKI ASPEKTI I FAZE RAZVOJA ITS TEHNOLOGIJA

Inteligentni transportni sistemi koji se primenjuju u saobraćaju obuhvataju sledeće ključne elemente koji su osnova tehničkog razvoja i ITS servisa [1]: telekomunikacione mreže, sistem za automatsku identifikaciju vozila, protokol za elektronsku razmenu podataka, geografski informacioni sistem, sistem za prikupljanje saobraćajnih podataka, WIM (Weight-In-Motion) sistem za merenje osovinskog opterećenja vozila u pokretu i sistem za brojanje putnika u javnom gradskom prevozu. Njihove različite integracije su moguće u zavisnosti od konkretne namene ITS sistema.

Okosnicu, a ujedno i najkritičniju komponentu ITS sistema čine telekomunikacione mreže, s obzirom da se informacije koje se odnose na različita stanja u saobraćaju, dobijaju na osnovu niza bežičnih i žičnih tehnologija prenosa. Integrisane u saobraćajnu infrastrukturu i u sama vozila, ove tehnologije utiču na smanjenje zagušenja u saobraćaju, povećavaju bezbednost saobraćaja i generalno, produktivnost saobraćajnog sistema. Prema klasifikaciji RITA (Research and Innovative Technology Administration, US Department of Transportation (DOT)), ITS sistemi se mogu podeliti na "inteligentnu infrastrukturu" i "inteligentna vozila".

Razvoj bežičnih tehnologija koji je usledio u poslednjih nekoliko godina doprineo je njihovoj sve češćoj implementaciji u saobraćaju jer bežične mreže imaju potencijal koji može biti iskorišćen za globalno unapređenje saobraćajne infrastrukture. U poslednjih deset godina, bežične tehnologije su doživele ekstenzivan rast zbog niske cene implementacije i malih troškova održavanja. Koristi od primene bežičnih tehnologija u saobraćaju su višestruke: autoindustrija, telekomunikacione kompanije, proizvođači mrežne opreme itd. a krajnji cilj jeste bezbednost učesnika u saobraćaju. Ako posmatramo vozilo kao izolovan entitet, nema puno prostora za dodatna unapređenja. Međutim ako sve učesnike u saobraćaju posmatramo kao deo jedne mreže, u kojoj svaki učesnik može da razmenjuje informacije sa ostalim, stvara se jasnija slika o potencijalu upotrebe bežičnih tehnologija u saobraćaju. Karakteristične za saobraćaj su VANET (Vehicle Ad Hoc Networks) mreže koje preko bežičnih uređaja omogućavaju komunikaciju odnosno razmenu podataka između samih vozila (mobilni čvorovi) kao i komunikaciju između vozila i putne infrastrukture (fiksni čvorovi), stvarajući time ad hoc (mreža sa privremenim uspostavljanjem veze) integrisanu mrežu. Karakteriše ih velika mobilnost čvorova, česte promene topologije i jednokratne interakcije, kao i autonomnost čvorova. S tim u vezi, komunikacioni sistemi za vozila se mogu generalno podeliti na: V2V (Vehicle-to-Vehicle) i V2I (Vehicle-to-Infrastructure) tip komunikacije (slika 1) pa se u tom pravcu i odvija razvoj ITS sistema.



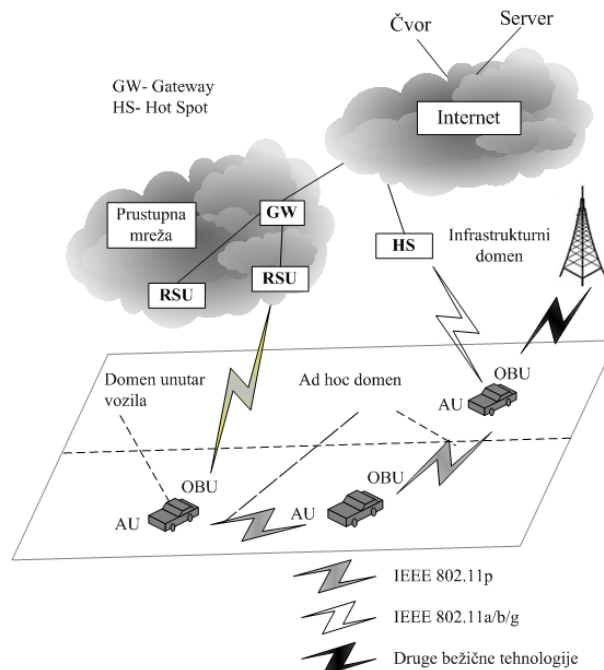
**Slika 1.** Bežični komunikacioni sistemi u saobraćaju

Od posebnog značaja za bežične komunikacione sisteme je standard IEEE 802.11p koji se posebno razvija u okviru komunikacionih sistema kratkog dometa (Dedicated Short Range Communications, DSRC) kao standard za bežični pristup vozilima u pokretu. Koristi frekvencijski opseg širine 75 MHz: 5.850–5.925 GHz (SAD) od 2004. god. i opseg širine 30 MHz: 5.875–5.905 GHz (EU/ETSI) usvojen 2008.god. Komunikacija V2V se dakle, odvija preko predefinisanih komunikacionih kanala kada su vozila u zoni komunikacije. Potrebno je oko 20 ms za uspostavljanje konekcije, nakon čega svako vozilo locira kanal preko kojeg se

obavlja komunikacija. U slučaju da je gustina saobraćaja veća, situacija se znatno menja: vozila se takmiče za protok preko V2V uređaja, dok vreme potrebno za primanje poruke direktno zavisi od broja konektovanih vozila i kreće se u intervalu od 80% do 50. Kašnjenjem komunikacije, kasni i signalizacija koja bi upozorila vozača o opasnosti što svakako treba uzeti u obzir prilikom planiranja sistema za izbegavanje sudara.

Arhitekturu VANET mreža čine tri osnovna elementa: AU (Application Unit) jedinica, OBU (Onboard Unit) i RSU (Roadside Unit) jedinica. OBU jedinica se sastoji od transpondera postavljenog na krovu vozila, antene i komunikacionog čipa. To omogućava vozilu da distribuira identifikacione informacije o svojoj trenutnoj lokaciji (GPS) i brzini kretanja i dobija podatke o pozicijama svih ostalih vozila opremljenih ovom opremom. OBU se povezuje sa ostalim OBU i RSU jedinicama preko bežičnog linka i frekvencijskog kanala baziranog na standardu 802.11p i obezbeđuje komunikacione servise AU jedinici. Osnovne funkcije OBU jedinice su bežični radio pristup, ad hoc rutiranje, kontrola zagušenja mreže, pouzdan prenos poruka, sigurnost i IP mobilnost. AU jedinica podrazumeva uređaj unutar samog vozila koji koristi aplikacije obezbeđene od strane provajdera preko OBU jedinice. RSU jedinica je uređaj obično fiksiran pored puta ili na namenskim lokacijama kao što su raskrsnice i parking prostori. Svaka RSU jedinica je opremljena bežičnom tehnologijom tako da može emitovati/primati podatke ka/od vozila koja kraj njih prolaze. Komunikacioni domeni VANET mreža (slika 2) obuhvataju [2]:

- In-vehicle domen (unutar vozila) – komunikacija između različitih elektronskih uređaja u vozilima (senzori i sl.) odnosno komunikacija između OBU i AU jedinica.
- Ad hoc domen – komunikacija između OBU jedinica i RSU jedinica duž puta.
- Infrastrukturni domen – razmena informacija između RSU jedinica korišćenjem postojeće bežične (celularne) ili žične (optičke) infrastrukture.



**Slika 2.** Komunikacioni domeni VANET mreža

Životni ciklus određene ITS tehnologije obuhvata nekoliko faza i pitanja na koja svaka faza mora dati odgovor:

- Faza istraživanja – ideja ITS programa, koncept razvoja i istraživačke aktivnosti. Treba dati odgovor na pitanja: da li su identifikovane ciljne grupe korisnika, da li potencijalna tehnologija može doprinijeti razvoju neke druge ITS tehnologije, da li je to istraživanje već sprovedeno na istom ili sličnom području, da li će to područje istraživanja biti od interesa u narednih 5-10 godina i koliko su pouzdani podaci odnosno studije koje vode do tog zaključka, kako će tehnologija opravdati investiranje i šta su potencijalni ishodi?
- Faza razvoja – transformisanje koncepta i ideje ITS tehnologije u saobraćajne svrhe podrazumeva obimna testiranja i kreiranja prototipa uključujući minimizaciju tehnoloških rizika, standardizaciju kao i mogućnost integracije manjih u veće tehnologije. Ova faza odgovora na sledeća pitanja: da li potencijalni korisnici i ključne ciljne grupe raspolazu sa dovoljno informacija, da li su ciljne grupe generalno prihvatile predlog tehnologije koja im je namenjena, da li su identifikovane prepreke i rizici

koji bi uticali na testiranje, koje mere se mogu razviti da bi se rizici suzbili i koji podaci su za to potrebni ?

- Faza implementacije tehnologije – nakon što se obave testiranja može početi proces implementacije tehnologije. Faza daje odgovor na pitanja: ko ima infrastrukturu neophodnu za usvajanje tehnologije, koliki su troškovi uvođenja tehnologije i ko ih može priuštiti; ko su partneri, subjekti i donosioci odluka koji će pomoći realizaciju (finansirati) tehnologije i da li investiranje u ITS tehnologiju povlači neka dodatna investiranja, da li postoji plan standardizacije i praćenja rada tehnologije?

### 3. UNECE I ITS– STRATEGIJA RAZVOJA

Prvi korak UNECE-a u razvoju i implementaciji ITS-a je bio okrugli sto 2004. godine. Trenutno se aktivnosti na polju ITS-a sprovode u okviru nekoliko UNECE-ovih tela: Svetski forum za usaglašavanje propisa vozila (World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations – WP.29), Radna grupa za bezbednost saobraćaja (WP.1) u okviru koje se usaglašavaju i promenljivi saobraćajni znaci, Multidisciplinarna grupa eksperata za bezbednost saobraćaja u tunelima (AC.7), Radna grupa za intermodalni transport i logistiku (WP.24), Radna grupa za carinska pitanja koja se tiču transporta (WP.30) i Radna grupa za prevoz opasnih materija (WP.15). Zajednički stav ovih tela jeste da im sektor saobraćaja, koji obavlja poslove sekretarijata pruža strategijsku i administrativnu podršku koja se tiče ITS-a a sa ciljem smanjenja zagušenja saobraćaja, unapređenja bezbednosti saobraćaja, smanjenja buke i potrošnje energije. WP.29 radi kao globalni forum koji omogućava otvorene diskusije o propisima i konstrukciji motornih vozila odnosno definiše ITS u okviru samog vozila, u okviru domena vozilo-vozilo i vozilo-infrastruktura (in-vehicle, vehicle-to-vehicle, vehicle-to-infrastructure). ABS (Anti-lock Braking System) i ESC (Electronic Stability Control) su prvi od ITS sistema koji su implementirani u vozila u okviru WP.29, zatim sistem za kontrolu pritiska u pneumaticima TPMS (The Tyre Pressure Monitoring System), BAS (Brake Assist Systems) sistem koji reguliše silu kočenja, LDWS (Lane Departure Warning Systems) sistem za upozorenje pri napuštanju saobraćajne trake, promenljivi saobraćajni znaci itd.

UNECE-ovom strategijom razvoja ITS sistema 2012-2020 definisan je globalni plan razvoja ITS-a sa aktivnostima koje se trebaju realizovati kako bi ovi sistemi prešli iz faze istraživanja u fazu implementacije [3], [4]. Da bi se to ostvarilo akcenat je stavljen na konvergenciju saobraćaja i komunikacija ali i učestvovanje donosioca odluka u razvoju ove oblasti jer ITS sistemi u određenoj meri mogu biti alternativa velikim ulaganjima u saobraćajnu infrastrukturu. Za zemlje koje nemaju razvijenu saobraćajnu infrastrukturu, veoma je važno da prilikom izgradnje iste, uporedo finansiraju i infrastrukturu za podršku ITS-a jer je to povoljnija opcija od nadogradnje postojeće infrastrukture. Takođe, slabije razvijene zemlje imaju prednost što mogu odmah koristiti tehnologije koje su u razvijenim zemljama već testirane i implementirane.

Međutim, bez obzira na prednosti koje ITS sistemi donose, u velikom broju zemalja više se posmatraju kao nova tehnologija nego instrument ekonomskog razvoja, zatim manjak je studija kojima se analizira opravdanost uvođenja ITS tehnologija jer se one razlikuju od slučaja do slučaja a u većini slučajeva je u pitanju nedostatak finansijskih sredstava gde se ITS aplikacije čak smatraju luksuzom.

#### 3.1. Ograničavajući faktori u razvoju i primeni ITS-a

Postoji nekoliko prepoznatljivih faktora koji ograničavaju razvoj i implementaciju ITS sistema. Izdvajamo najznačajnije:

- Nedostatak političke volje i razumevanje javnog mnjenja o prednostima koje pruža ITS- odnosno bitno je shvatiti da ITS nije samo pitanje “tehničkog karaktera” već i pitanje kojim se treba baviti vladin sektor i ostali subjekti koji učestvuju u finansiranju i donošenju odluka.
- Zaštita privatnih podataka – zaštita i pouzdanost prenosa podataka kroz ITS aplikacije je pitanje koje se zanemaruje i na nacionalnom i na globalnom nivou.
- Kašnjenje u tehnološkom razvoju javnog u odnosu na privatni sektor (nedostatak infrastrukture) – s obzirom da su putevi i autoputevi u nadležnosti javnog sektora a veliki broj ITS aplikacija zahteva interakciju ne samo između vozila već i između vozila i putne infrastrukture; čest je primer da automobilska industrija nudi tehnološke inovacije i ITS servise koje vozači i ne mogu koristiti jer nije dovoljno da je samo vozilo opremljeno već se informacija koju ono šalje mora negde primiti, obraditi i na kraju proslediti kao povratna informacija.
- Različite definicije ITS sistema koje izazivaju probleme sa aspekta kompatibilnosti i interoperabilnosti. Neke od različitih definicija su: primena ICT-a u transportu (EU); sistemi koji integrišu informaciono-komunikacione tehnologije sa saobraćajnom infrastrukturom, vozilima i korisnicima (ERTICO-ITS Europe- European Road Transport Telematics Implementation

Coordination); telematika i svi oblici komunikacija između vozila kao i između vozila i fiksnih lokacija (ETSI- The European Telecommunications Standards Institute); primena naprednih aplikacija (pomoću elektronskih uređaja, senzora, računara i komunikacija) u transportu sa ciljem očuvanja ljudskih života, vremena, novca, energije i okoliša (ITS Kanada) itd.

- Nedostatak tehničke, funkcionalne i institucionalne interoperabilnosti- s obzirom da vozila prelaze različita geografska područja pitanje interoperabilnosti je neophodno jer u različitim zemljama pojedine ITS aplikacije nisu kompatibilne čime je ograničena njihova upotreba.
- Neusklađeni zakonski i tehnički standardi – usled raznolikosti po ovom pitanju (npr. različite zemlje imaju svoje sopstvene propise vezane za bezbednost automobila ili zaštitu životne sredine) dešava se da npr. prodaja jedne vrste vozila sa određenom ITS opremom na jednom tržištu uspeva a na drugom ne jer su drugačiji standardi).
- Nekompatibilnost frekvencijskog spektra u različitim delovima UNECE regiona- za rešavanje ovog problema neophodna je saradnja sa Međunarodnom unijom za telekomunikacije (ITU) kako bi se omogućila što veća pokrivenost ITS aplikacijama.
- Pitanje odgovornosti – ukoliko neki od sistema (npr. za izbegavanje sudara) zakaže, postavlja se pitanje ko je zakonski odgovoran jer su različite prakse u primeni.
- Nedostatak edukacije vezane za ITS sisteme – ograničena kooperacija između naučnog sektora-univerziteta, vladinog sektora i industrije jer su upravo univerziteti tela koja moraju biti temelj tehnoloških inovacija. Isto tako, preko raznih kampanja javnost mora biti više uključena u razvoj ITS-a odnosno upoznati se sa činjenicom kako će transport izgledati u budućnosti.

### 3.2. 20 globalnih aktivnosti UNECE-a za razvoj i promociju ITS sistema: strategija 2012-2020

Kako bi se prevazišli prethodno navedeni problemi definisana je UNECE-ova strategija razvoja ITS sistema 2012-2020, koja obuhvata 20 aktivnosti koje su još uvek u toku:

**1. Postizanje zajedničke definicije ITS sistema** – primena informaciono-komunikacionih tehnologija u kopnenom saobraćaju se često naziva "inteligentni transportni sistemi". Međutim, različiti ekonomski i razvojni prioriteti vlada pojedinih zemalja i drugih institucija utiču na različito shvatanje ITS-a zbog čega se javlja bezbroj definicija. Iz tog razloga uloga UNECE-a jeste da olakša dijalog oko primene ovih sistema i izvede zajedničku definiciju koja će biti prihvaćena od strane svih subjekata i donosioca odluka.

**2. Usklađivanje propisa** – nedostatak usklađenih propisa za razvoj ITS sistema na globalnom nivou, posebno Pan-Evropskom nivou, otežava sprovođenje i već postojećih rešenja. UNECE preko svojih tela kao što je Svetski forum za usklađivanje propisa vozila i ostalih radnih grupa nudi pogodnu platformu za usklađivanje tehničkih i pravnih propisa vezanih za planiranje, koordinaciju i implementaciju ITS sistema.

**3. Međunarodna saradnja** – međunarodna saradnja UNECE-a sa Evropskom Unijom, međunarodnim organizacijama i drugim relevantnim subjektima je neophodna zbog trenda razvoja budućih potreba za mobilnošću. Evaluacija rezultata nastalih kao posledica javnih diskusija UNECE-a o ITS-u, a koje su otvorenog tipa, pokazuje da vladin sektor i ostali subjekti podržavaju rad UNECE-a pogotovo sa aspekta regulative. Takođe, veoma važna je i uloga koju Komisija ima u povezivanju i sa zemljama koje nisu u EU.

**4. Rešiti pitanje interoperabilnosti** – urediti standarde i sporazume zemalja UNECE regiona vezane za tehničko-tehnološku kompatibilnost ITS tehnologija i na taj način u potpunosti iskoristiti prednosti koje daju ITS sistemi.

**5. Omogućiti sigurnost podataka** – budući UNECE-ovi ITS propisi moraju uzeti u obzir i obezbediti privatnost i sigurnost podataka.

**6. Potencirati ITS u svim radnim grupama ITC komiteta** – unapređenje rada na ITS-u u sektoru saobraćaja, inkorporirati pitanje ITS-a u agende radnih grupa čime UNECE postaje međunarodni svetski forum za ITS.

**7. Promovisati komunikaciju vozilo-infrastruktura** (vehicle-to-infrastructure) – odnosno razvoj sistema u kojima vozila komuniciraju sa određenom opremom duž saobraćajnica (fiksnim čvorovima).

**8. Promovisati komunikaciju vozilo- vozilo** (vehicle-to-vehicle) – razvoj aplikacija kojima vozila međusobno komuniciraju preko bežičnih tehnologija i dele informacije. Ovde je neophodna saradnja UNECE-a sa ITU zbog standarda vezanih za frekvencijske opsege.

**9. Boriti se sa globalnom krizom stradanja u saobraćajnim nezgodama** – zemlje članice UNECE-a su uključene u regionalnu i globalnu implementaciju UN-ove rezolucije 64/255 za unapređenje bezbednosti saobraćaja preko edukativnih mera i podizanja svesti o bezbednosti saobraćaja, preko radne grupe WP.1 i WP.29.

**10. Rešavanje pitanja odgovornosti** - u slučaju da sistemi koji mogu odlučivati umesto vozača (ADAS, Advanced Driver Assistance System- napredni sistem za podršku vozaču) zakažu.

**11. Usaglašavanje promenljive saobraćajne signalizacije** – u okviru radne grupe WP.1 formirana je posebna privremena grupa koja se bavi ovim pitanjem. Predlaže se nadogradnja konvencije iz 1968. godine kako bi se i ova vrsta signalizacije unificirala.

**12. Smanjiti rizike u prevozu opasnih materija** – za ovo pitanje je zadužena radna grupa WP.15, monitoring prevoza opasnih materija koji omogućava komunikaciju pošiljaoca, prevoznika i primaoca robe u slučaju vanrednih situacija.

**13. Integracija ITS-a sa željezničkim saobraćajem**- kako bi i željeznički sektor doprineo konceptu održivog transporta. Revizija plana UNECE TEM (Trans-European North-South Motorway) i TER (Trans-European Railway) projekta kojima je definisana mreža puteva i autoputeva kao i željeznička mreža Evrope, ima za cilj primenu ITS-a na Pan-Evropskoj mreži koridora kako bi se integrisao drumski saobraćaj i željeznica.

**14. Integracija ITS-a sa vodnim saobraćajem** – razvoj RIS (River Information Systems) sistema.

**15. Jačanje uloge ITS-a u intermodalnom transportu** – radna grupa WP.24 se bavi pojednostavljenjem intermodalnog transporta, relevantnih administrativnih procedura i dokumentacije, zatim integracijom informacionih sistema različitih vidova transporta.

**16. Primena cost-benefit analiza** – ne sprovođenje ovakvih analiza može dovesti do implementacije ITS sistema koji nisu isplativi za određeno područje ili ciljnu grupu što može izazvati dodatne troškove. Analiza je posebna značajna za subjekte i donosiocima odluka koji će investirati u određeni ITS sistem. Velikog iskustva u ovim analizama imaju Kanada i SAD-ov DOT (Department of Transportation).

**17. ITS-ov doprinos u smanjenju ekološkog zagađenja**- smanjenjem zagađenja u saobraćaju smanjuje se i emisija CO<sub>2</sub> gasova. UNECE-ov sektor saobraćaja je pokrenuo projekat vezan za uticaj transporta na klimatske promene sa ciljem praćenja CO<sub>2</sub> emisija.

**18. Analize i istraživanja o raspoloživosti ITS servisa** – svaki ITS servis zavisi od raspoloživosti ICT infrastrukture odnosno okosnice telekomunikacione mreže tj. stopa uspeha određene ITS tehnologije blisko je povezana sa ICT infrastrukturom odnosno minimalnim brojem učesnika koji će omogućiti komunikaciju.

**19. Podizanje svesti o jačanju kapaciteta i ekonomskoj integraciji** – što i jeste osnovna uloga UNECE-a, na ovom polju UNECE-ov sektor saobraćaja je taj koji pruža podršku vladinom sektoru i ostalim subjektima u implementaciji i razvoju ITS-a a kroz saradnju sa ostalim komisijama kao što su ESCAP (the Economic and Social Commission for Asia and the Pacific), ECLAP (the Economic Commission for Latin America and the Caribbean), ECA (the Economic Commission for Africa) i ESCWA (Economic and Social Commission for Western Asia). Činjenica da potrebe za transportom prevazilaze postojeću infrastrukturu daje prednost ITS rešenjima koja menjaju način upravljanja saobraćajem. Neophodno je informisati javnost kako će izgledati mobilnost i transport u budućnosti.

**20. Organizovanje godišnjeg okruglog stola Ujedinjenih Nacija o ITS-u** – čime bi se svim zemljama članicama omogućio dijalog, kooperacija i diskusija o ITS rešenjima. Rezultat bi bile smernice za rad UNECE-ovih tela a određene aktivnosti bi bile inicirane od strane vladinog sektora uključujući i privredni sektor i ostale subjekte.

Sve navedene aktivnosti se kontinualno prate i ona koja bude najkritičnija na nivou godine se posebno izlaže na okruglom stolu. Samo na nivou Evrope, strategija razvoja ITS sistema je definisana programom EasyWay 2007-2020 kao evropska ITS platforma [5].

#### **4. POTENCIJALNI IZAZOVI KOJI SE JAVLJAJU RAZVOJEM ITS-A I MOGUĆNOST PRIMENE NOVIH TEHNOLOGIJA**

“Transform the way society moves” odnosno promenimo način mobilnosti društva, vizija je razvoja inteligentnih transportnih sistema. ITS definiše novi način života, novi poslovni pristup odnosno novu kulturu za sve učesnike u saobraćaju a ključ će biti u razmeni informacija i u što boljem iskorišćenju raspoložive infrastrukture. Uzimajući u obzir prednosti i ulaganja u ITS sisteme SAD-ova RITA je objavila veliku bazu studija slučaja gde se mogu pronaći podaci o ispitivanju određene ITS tehnologije, troškova implementacije, ishoda, metodologija itd.[6].

##### **4.1. Prednosti i izazovi**

Činjenica je da će se implementacijom i ulaganjem u ITS sisteme uticati na smanjen broj saobraćajnih nezgoda, pogotovo sa smrtnim ishodom usled V2V i V2I komunikacije; povećati mobilnost što će znatno poboljšati kvalitet života i doprineti ekonomskom rastu; optimizaciju vremena putovanja i potrošnje energije (samim tim smanjenje zagađenja okoline) kroz smanjenje saobraćajnih gužvi; brže reagovanje u vanrednim situacijama- prepoznati težinu nezgode, usmeravanje vozila hitne pomoći rutama sa najmanjom gužvom, brzo vraćanje saobraćajnog toka u normalu nakon nezgode itd.; smanjenje nesigurnosti putovanja- pružajući putnicima realne informacije kojima bi se izbegle situacije poput gužvi, nezgoda, vremenskih uslova i na taj način omogućilo efikasnije planiranje putovanja; poboljšati sigurnost prevoza putnika i robe usled sistema



praćenja; povećanje komfora putovanja; saradnja privatnog i javnog sektora (npr. u proizvodnji ITS opreme) kao i integracija različitih vrsta prevoza kroz proaktivnu razmenu informacija.

Međutim, zajedno sa svim prednostima dolaze i brojni izazovi koji su vezani za ljudski faktor, tehnološka i kulturološka ograničenja. Krucijalna uloga UNECE-a jeste i biće u rešavanju problema interoperabilnosti kako bi vozila bez problema koristila infrastrukture kojima upravljaju različiti subjekti. Jedno od rešenja podrazumeva poštovanje i proširenje DATEX standarda koji omogućava razmenu informacija između saobraćajnih kontrolnih centara u Evropi. Standard je urađen u okviru projekta EasyWay. Sledeće što se može javiti kao problem jeste kršenje određenih pravila u korišćenju ovih sistema što može biti slučaj kod servisa koji zahtevaju automatsku elektronsku naplatu. Penetracija tržišta takođe može biti problem jer čak i ako sistem ima podršku donosioca odluka mora postojati i tržište ITS dobara i usluga. Razvijenost zemalja takođe će predstavljati problem jer je primena ITS-a u razvijenim zemljama uobičajena što nije slučaj i za zemlje u razvoju. Na tom polju UNECE će imati veliku ulogu u izgladivanju razlika. Dizajn novih ITS sistema ima za cilj otkloniti što više nepredvidivih situacija kako bi saobraćajno okruženje postalo predvidiva okolina. Iz tog razloga moguće je očekivati da vozači budu manje koncentrisani na vožnju, manje oprezni pa se tako ponašati i u područjima u kojima nije moguće da ITS sistem reaguje na sve situacije što izaziva sukob između učinka tehnologije i ljudskog faktora. Neučinkovitost ITS sistema može biti prozrokovana i nepoznavanjem samog sistema od strane vozača zbog čega je neophodna kontinualna edukacija (npr. LDW sistem na vozilu neće imati učinka ako na putu ne postoje trake za vibraciju).

#### 4.2. Stanje u Srbiji

U sektoru za upravljačko informacione sisteme u saobraćaju JP „Putevi Srbije“ nalazi se odeljenje za ITS koje vrši monitoring, nadzor i upravljanje saobraćajem na delu mreže državnih puteva opremljenih ITS uređajima (nadzorni centar „Gazela“). JP „Putevi Srbije“ je realizovalo studijsku dokumentaciju: Strategija planiranja, razvoja i primene ITS na putevima Republike Srbije, u funkciji bezbednosti saobraćaja, koja pored iskustava i standarda evropskih zemalja u razvoju i primeni ITS-a, predstavlja strateški osnov za uvođenje ovih sistema. Najznačajnija iskustva primene ITS-a u Republici Srbiji, odnose se na: automatizaciju naplate putarine, automatske brojače saobraćaja (podaci sa automatskih brojača saobraćaja prikupljaju se na server korišćenjem mreže mobilne telefonije), razvoj i primenu „Putnog-meteorološkog informacionog sistema-PMIS“, razvoj upravljanja saobraćajem u tunelima i primena izmenljive saobraćajne signalizacije. Predloženo je da ITS Srbija (nacionalna ITS organizacija) bude neprofitna organizacija, koja okuplja sve subjekte uključene u promociju, istraživanja, razvoj i projektovanje ITS-a, sa osnovnom misijom da donosiocima odluka i javnom mnjenju u Srbiji ukaže na prednosti primene savremenih tehnologija u transportu.

#### 4.3. Mogućnost primene tehnologije kognitivnog radija u VANET mrežama

Potreba za efikasnim korišćenjem dostupnog RF spektra postaje izraženija zbog novih servisa i prenosa multimedijalnih sadržaja kao i zbog rešavanja problema elektromagnetne kompatibilnosti. Kognitivni radio (CR, Cognitive Radio) predstavlja tehnologiju koja, usled promenjenog načina pristupa RF spektru, omogućava bolje iskorišćenje spektra. Osnovna ideja kognitivnog radija podrazumeva promenu načina korišćenja ili preciznije rečeno načina dodele radio spektra. Iako je većina atraktivnijih frekvencijskih opsega već dodeljena na korišćenje licenciranim korisnicima, opsežna merenja i istraživanja [7] pokazala su da je aktivnost ovih korisnika značajna samo u određenim opsezima odnosno nivo iskorišćenosti već dodeljenih frekvencijskih opsega (radio kanala) nije zadovoljavajući zbog postojanja velikog broja praznina u spektru, te je neophodno racionalnije i bolje koristiti postojeći spektar. Spektralna šupljina (spectrum hole) je frekvencijski opseg dodeljen primarnom korisniku (korisnik koji ima prednost pri korišćenju radio kanala) koji ga u datom trenutku i na određenoj geografskoj lokaciji ne koristi. U CR konceptu je sekundarnim korisnicima dozvoljeno da koriste delove RF spektra koji su prethodno dodeljeni na korišćenje licenciranim (primarnim) korisnicima, pod uslovom da komunikacija na primarnom linku ne bude kompromitovana odnosno u trenucima kada u datom opsegu ne postoji aktivan signal primarnog korisnika. Da bi se ovo ostvarilo, sekundarni link mora da ima kognitivna svojstva, tj. mora da ima sposobnost učenja iz okruženja i adaptivnog rekonfigurisanja parametara linka u realnom vremenu.

Tehnologija kognitivnog radija u VANET mrežama je oblast koja se trenutno veoma intenzivno razvija i poznata je pod nazivom CR-VANET (Cognitive Radio for Vehicular Ad Hoc Networks). S obzirom da ITS i komunikacioni sistemi za vozila moraju rešiti pitanje RF spektra koji je ograničen resurs, upotreba neiskorišćenog već dodeljenog spektra za ITS komunikaciju je veoma atraktivno rešenje koje se već realizuje kroz nekoliko evropskih projekata: CORRIDOR, PLOTON-PLATA, Rail-CR [8]. Kako se u RF spektru mogu uočiti značajni neiskorišćeni opsezi, može se zaključiti da je trenutna fiksna raspodela spektra

neefikasna za potrebe budućih heterogenih bežičnih mreža. Zbog toga su potrebne nove, efikasnije tehnike koje bi iskoristile ove slobodne prostore poznate i kao spektralne šupljine („beli prostori“), u cilju rešavanja problema sve većih zahteva u pogledu spektra. Tehnologija kognitivnog radija se pojavila kao ključno rešenje za omogućavanje dodatnih resursa u pogledu spektra za bežične komunikacije kroz implementaciju oportunističkog pristupa spektru. Kognitivnost je veliki korak u razvoju radio komunikacija i trebalo bi da omogući i do deset puta efikasnije korišćenje radio spektra a samim tim uveliko doprinese razvoju ITS sistema.

## 5. ZAKLUČAK

Inteligentni transportni sistemi su nastali kao rezultat napora da se informaciono-komunikacione tehnologije integrišu u okvire postojećih i novih saobraćajno-transportnih sistema, da postanu sastavni deo putne infrastrukture i obavezan deo opreme samih vozila a sve u cilju da se utiče na faktore koji bi poboljšali odvijanje saobraćaja, povećanje bezbednosti saobraćaja, smanjenje zagušenja u saobraćaju odnosno nivoa saobraćajnih gužvi, manju potrošnju goriva, bolje iskorišćenje saobraćajnica i efikasnije odvijanje celokupnog saobraćajno-transportnog sistema.

Strategijskim programom, analizom postojećeg stanja ITS-a („gde se nalazimo“), treba proceniti efektivnu potražnju ITS usluga, prikupiti informacije o tehničko-tehnološkim mogućnostima razvoja te moguće izvore finansiranja. Da bi se ostvario ključni zahtev integracije različitih ITS aplikacija, neophodno je temeljno razumeti i precizno razraditi kriterijume za postizanje interoperabilnosti u čemu UNECE ima veoma važnu ulogu. Prateći glavne preporuke i pravce UNECE komiteta, srednje i nisko razvijene zemlje su u prednosti jer se nalaze na početku rešavanja problema mobilnosti i bezbednosti stanovništva i mogu implementirati savremene ITS sisteme koji su se već pokazali kao uspešni u razvijenim zemljama, što će se naravno opravdati u višegodišnjem periodu eksploatacije. Iznalaženje političke podrške, izvora finansiranja, razvoja svesti o prednostima koje pružaju ITS tehnologije u oblasti saobraćaja i analiza postojećeg stanja su ključni preduslovi za implementaciju ITS sistema.

U radu su počevši od tehničke strane ITS-a, predstavljene ključne aktivnosti koje se rade u UNECE regionu sa ciljem promocije i razvoja inteligentnih transportnih sistema definisane strategijom razvoja 2012-2020.

## Literatura

- [1] Norwacki, G. (2012). Development and Standardization of Intelligent Transport Systems. International Journal TransNav. 6(3): 403-411.
- [2] Al-Sultan, S. et al. (2014). A comprehensive survey on vehicular Ad Hoc network. Journal of Network and Computer Applications. 37: 380-392.
- [3] Molnar, E. et al. (2012). *Intelligent Transport Systems for sustainable mobility*. UNECE Transport Division, Geneva, 117 p.
- [4] Barbaresso, J. et al. (2014). *Intelligent Transportation Systems (ITS) ITS Strategic Plan 2015-2019*. U.S. Department of Transportation, Washington DC, 83 p.
- [5] <https://eip.easyway-its.eu>
- [6] <http://www.itskrs.its.dot.gov>
- [7] <http://www.sharedspectrum.com/dsa-licensing/research-development>
- [8] Singh Deep, K. (2014). Cognitive radio for vehicular ad hoc networks (CR-VANETs): approaches and challenges. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. 1: 1-22.

# SAVREMENE METODE I PROCESI OBRADE VIDEO SNIMAKA U POSTUPKU ANALIZE SAOBRAĆAJNIH TOKOVA

Šarić Ammar, MA. dipl.ing.građ.<sup>1</sup>, doc. dr. Sanjin Albinović, dipl.ing.građ.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Sarajevu, Građevinski fakultet, Odsjek za saobraćajnice, ammar.saric@hotmail.com

<sup>1</sup> Univerzitet u Sarajevu, Građevinski fakultet, Odsjek za saobraćajnice, sanjin.albinovic@gmail.com

**Rezime:** *Analiza saobraćajnih tokova na postojećoj saobraćajnoj mreži od ključnog je značaja za evaluaciju trenutnog stanja, razumijevanje teorije saobraćajnog toka te analizu budućih dijelova mreže. Prikupljanje potrebnih podataka u uslovima odvijanja realnog saobraćajnog toka predstavlja prvi korak kvalitetne analize, ali istovremeno i veoma osjetljiv, dugotrajan i zahtjevan posao. Kvalitet analize i dobijanje tačnih rezultata u najvećoj mjeri zavisi upravo od metode prikupljanja podataka te njihove kasnije obrade. Nove informacione tehnologije značajno su olakšale i ubrzale ovaj proces, ali i dalje se traži pouzdana, brza i efikasna metoda koja bi bila dovoljna za dobijanje svih, ili bar većine, potrebnih podataka o saobraćajnom toku. U radu je predstavljen savremeni način prikupljanja podataka putem UAV uređaja te njihova obrada kroz najmoderniji softverski algoritam DataFromSky koji korištenjem GIS i GPS tehnologije te algoritma za prepoznavanje vozila, omogućava dobijanje svih potrebnih podataka o saobraćajnom toku: klasifikacija vozila, brzina, ubrzanje, I-C matrica, trajektorija vozila, vremenska praznina, vrijeme slijeda, vrijeme vožnje, pređeni put, kritična udaljenost između vozila itd.*

**Ključne riječi:** *saobraćajni tok, video snimak, DataFromSky*

**Abstract:** *Analysis of traffic flows on the existing transportation network is crucial for the evaluation of the current situation, understanding the theory of traffic flow and analysis of future parts of the network. Collection of data in the conditions of the real traffic flow is the first step for quality analysis, but also very sensitive, time-consuming and tedious job. The quality of the analysis and accuracy of results largely depends precisely on the methods of data collection and their subsequent processing. New technologies significantly facilitate and accelerate this process, but still requires a reliable, fast and efficient method that would be sufficient to obtain all, or at least most of the necessary data on traffic flow. This paper presents a modern method of data collection through the UAV and its processing through the most advanced software algorithm DataFromSky that using GIS and GPS technology and algorithms to identify the vehicle, to obtain all necessary data on traffic flow: vehicles classification, speed, acceleration, O-D matrix, trajectory of the vehicle, critical gap, headway, traveled distance, the critical distance between the vehicle and etc.*

**Key words:** *traffic flow, video, DataFromSky*

---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: ammar.saric@hotmail.com

## 1. UVOD

Podaci o saobraćajnom opterećenju i ponašanju vozača, putanji vozila i dinamici tokom prolaska kroz određeni saobraćajni segment, ključni su u brojnim primjenama, od analize i poboljšanja saobraćajne infrastrukture i reakcija vozača u različitim situacijama (nestandardna čvorišta, promjena saobraćajne signalizacije, ili drugačiji vremenski uslovi) do upravljanja saobraćajem (detekcija kolizija, pomoć u navigaciji, dinamička svjetlosna signalizacija...). [1]

Podaci o saobraćaju najčešće se prikupljaju preko brojača sa induktivnim petljama ili korištenjem video kamera (slika 1). Ovdje je potrebno razlikovati saobraćajne pokazatelje bitne za analizu mikrolokacija (čvorišta) i saobraćajne pokazatelje na određenom presjeku unutar mreže (broj i struktura vozila), koji se koriste za analizu saobraćajnog toka u dužem vremenskom periodu. U tu svrhu prikazane metode su najpouzdanije i najekonomičnije. U slučaju analize saobraćajnih čvorišta, ovakve metode zahtijevaju značajne investicije u opremi i vremenu. Osim toga, pojedini podaci kao što su brzina, ubrzanje i razmak između vozila teško se dobijaju te je njihov nivo pouzdanosti veoma promjenljiv i osjetljiv.



**Slika 1. Metode za prikupljanje podataka o saobraćaju**  
Izvor: <http://www.cross.cz> (lijevo), <https://www.quora.com> (desno)

Video snimci iz zraka sa sensorima koji pokrivaju široka područja prevazilaze tradicionalne metode prikupljanja podataka i daju nove mogućnosti u analizi saobraćaja, a posebno u zadnjih nekoliko godina brzim razvojem UAV uređaja<sup>2</sup> (multikoptera) i kamera visoke rezolucije. Nove tehnike analize video snimaka omogućavaju dobijanje svih potrebnih podataka u analizi čvorišta, čak i kada snimak nije besprijekorne kvalitete ili je ugao snimanja manji od 90°. U radu je prikazana primjena DataFromSky softverskog paketa za naprednu analizu video snimaka na primjeru analize saobraćajnih čvorišta.

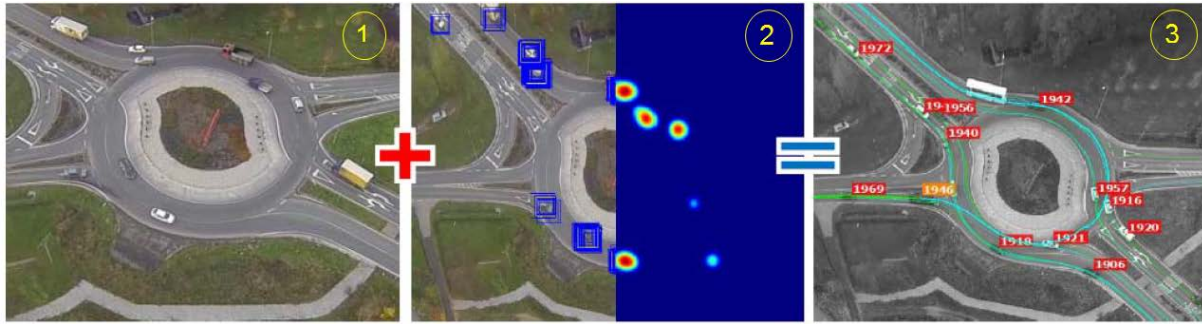
## 2. SAVREMENA ANALIZA SAOBRAĆAJNIH ČVORIŠTA

Platforma DataFromSky bazira se na automatskom izdvajanju prostorno-vremenski ovisnih putanja (trajektorija) vozila sa video snimka. Ovakav pristup omogućava automatski proračun velikog broja potrebnih podataka, kao što su: brzina, ubrzanje, vrijeme vožnje, I-C matrica, klasifikacija vozila, pređeni put, vrijeme slijeda, udaljenost između vozila itd. Dodatna prednost ovog sistema je što se izdvajanjem zasebnih trajektorija pomenuti parametri, kao i njihova promjena, mogu kontinualno pratiti, u zavisnosti od kretanja vozila. Dva ključna koraka u analizi saobraćaja ovom metodom predstavljaju snimanje saobraćaja i obrada video snimka.

Najnovije tehnologije omogućavaju upotrebu bespilotnih letjelica za snimanje saobraćaja iz zraka, čime se postiže najbolja kvaliteta snimka, jer se može snimati pod uglom od 90°, tj. okomito na centar čvorišta. Međutim, za ovu svrhu moguće je koristiti i druge letjelice, ili video snimke sa stacionarnih kamera. Mnogo važnija stvar od kvalitete snimka, predstavlja ugao snimanja, tako da je primjena stacionarnih kamera ograničena. Granična vrijednost ugla između ose kamere i tla pri kojoj je ova metoda upotrebljiva iznosi 40°.

Proces analize prikupljenih video snimaka sastoji se od nekoliko faza, koje se u skraćenom obliku mogu predstaviti slikom 2.

<sup>2</sup> UAV (eng. Unmanned Aerial Vehicle) – bespilotne letjelice, poznatije pod nazivom "dron"



**Slika 2.** Proces analize video snimaka pomoću DataFromSky platforme (1. video snimak iz zraka, 2. obrada video snimka, 3. dobijanje potrebnih rezultata)  
Izvor: <http://datafromsky.com>

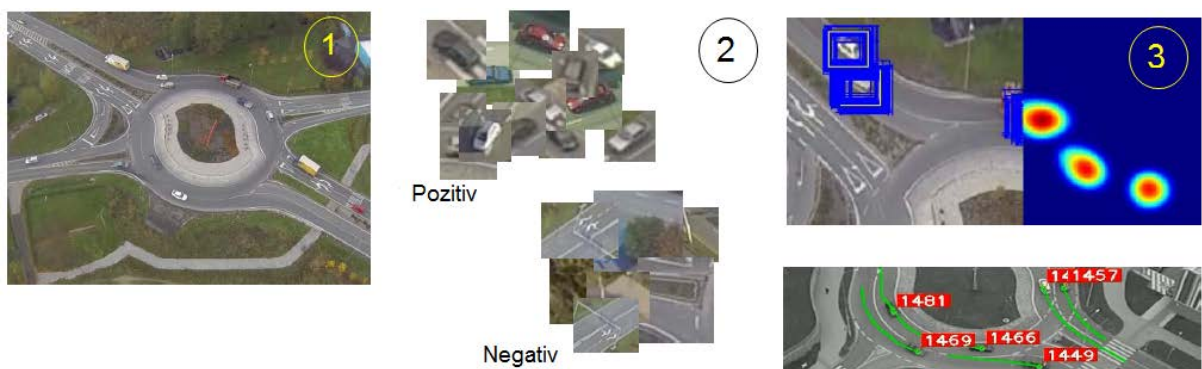
Glavni dio obrade video snimka predstavlja formiranje i prepoznavanje trajektorija odnosno putanje svakog vozila (*eng. trajectory extraction*). Svaka putanja sadrži informacije o položaju vozila u globalnom koordinatnom sistemu, tangencijalnom i bočnom ubrzanju i početnoj i krajnoj tački putanje na snimku. Da bi se dobile potrebne putanje video snimak mora biti georeferenciran u globalnom koordinatnom sistemu kako bi izmjerene vrijednosti bile tačne. Na ovaj način otklanja se i utjecaj ugla snimanja.

Proces pod nazivom "geo-registered" sprovodi se upotrebom ORB sistema prepoznavanja objekata (*eng. Oriented FAST and Rotated BRIEF*) koji je u mogućnosti da brzo i jednostavno prepozna objekte u pokretu bez obzira na ugao i orijentaciju gledanja. Ovakav sistem predstavlja efikasnu zamjenu za postojeće SIFT (*eng. Scale-invariant feature transform*) i SURF (*eng. Speeded Up Robust Features*) detektore, koji su u primjeni od 1999. godine, odnosno 2006. godine. Drugi dio ovog procesa je upotreba RANSAC iterativne metode (*eng. Random sample consensus*) koja se inače koristi za procjenu parametara matematičkog modela za skup prikupljenih podataka koji sadrži pojedine vrijednosti udaljene od ostalih opažanja (*eng. outliers*).

Za prepoznavanje kandidata vozila koriste se informacije o kolovoznoj površini i GMM model detekcije vozila (*eng. Gaussian Mixture Model*). Pojedinačni kandidati detektuju se pomoću implicitnog modela MB-LBP (*eng. Multi-Scale Block Local Binary Pattern*) sa dva "klasifikatora". Detekcije "jakog klasifikatora" smatraju se pouzdanim prepoznavanjem prisustva vozila, dok "slabi klasifikator" ima veći broj lažnih uzbuna, prihvata veći broj detektovanih kandidata te se zbog toga koristi kao pomoć za praćenje vozila. [2] Minimalna veličina vozila koji se može prepoznati sa video snimak treba iznositi 16x16 pixela. Generalno, snimanje videa sa visine od 100-150m daje jako dobar odnos pokrivenosti prostora i veličine i oštine prikaza vozila.

Za algoritam praćenja vozila koristi se skup potpuno nezavisnih Bayesovih filtera (*eng. Bayesian bootstrap particle filters*) po jedan za svaku metu. Algoritam je modificiran tako da se omogući njegova primjena i na snimcima niske rezolucije. [2]

Opisani koraci prikazani su na slici 3 na konkretnom primjeru čvorišta. Detaljniji opis navednih metoda dat je u [2].



**Slika 3.** Proces dobijanja trajektorija vozila (1. georeferenciranje, 2. pozitivno i negativno prepoznavanje, 3. detekcija i formiranje trajektorija)  
Izvor: <http://datafromsky.com>

## 2.1. Praktična primjena mogućnosti DataFromSky platforme

Primjena opisane platforme predstavljena je na dva konkretna primjera. Prvi primjer predstavlja analizu kružne raskrsnice u Zenici, Bosna i Hercegovina, dok je u drugom primjeru prikazan turbo rotor u Olomoucu, Češka Republika. Analiza ove dvije raskrsnice urađena je od strane DataFromSky tima iz Češke i Odsjeka za saobraćajnice Građevinskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu.

Kružna raskrsnica u Zenici snimljena je stacionarnom nadzornom kamerom čiji je snimak poslužio za ovu analizu. Prikupljeni podaci korišteni su za određivanje kvaliteta odvijanja saobraćaja. Na slici 4 prikazan je izgled stvarnog snimka raskrsnice (lijevo) i izgled raskrsnice nakon procesa georeferenciranja koji je opisan u prethodnom poglavlju (desno). Georeferencirani snimak predstavlja radni video koji se koristi za analizu u DataFromSky programu.



**Slika 4.** Izgled izvornog snimka raskrsnice i izgled radnog videa u DataFromSky programu  
Izvor: vlastita istraživanja

Iskrivljeni prikaz radnog videa posljedica je ugla snimanja stacionarne kamere i procesa georeferenciranja kako bi se dobile realne vrijednosti mjerenih parametara. Pri tome se najviše misli na pređeni put i brzinu kretanja vozila.

Proces detekcije vozila i formiranje pojedinačnih trajektorija obavlja DataFromSky platforma i server, dok se svi ostali potrebni podaci mogu dobiti uz pomoć DataFromSky Viewer-a (slika 5).

**Vehicles**

Tracking 30

TrackID: 30

Vehicle Type: Car

Current Speed: 17.90 [km/h]

Tangential Acceleration: -0.14 [ms<sup>-2</sup>]

Lateral Acceleration: 0.57 [ms<sup>-2</sup>]

Total Acceleration: 0.59 [ms<sup>-2</sup>]

Avg. Speed in Crossroad: - [km/h]

Time in Crossroad: - [s]

First Image ID: 0 [Go Top]

Last Image ID: 42 [Go Top]

Entry Gate ID: -

Exit Gate ID: -

Tracking 31

TrackID: 31

Vehicle Type: Car

Current Speed: 15.36 [km/h]

Tangential Acceleration: 0.17 [ms<sup>-2</sup>]

Lateral Acceleration: 0.34 [ms<sup>-2</sup>]

Total Acceleration: 0.22 [ms<sup>-2</sup>]

Avg. Speed in Crossroad: - [km/h]

Time in Crossroad: - [s]

First Image ID: 0 [Go Top]

Last Image ID: 196 [Go Top]

Entry Gate ID: -

Exit Gate ID: -

Tracking 32

TrackID: 32

Vehicle Type: Car

Current Speed: 15.36 [km/h]

Tangential Acceleration: 0.17 [ms<sup>-2</sup>]

Lateral Acceleration: 0.34 [ms<sup>-2</sup>]

Total Acceleration: 0.22 [ms<sup>-2</sup>]

Avg. Speed in Crossroad: - [km/h]

Time in Crossroad: - [s]

First Image ID: 0 [Go Top]

Last Image ID: 196 [Go Top]

Entry Gate ID: -

Exit Gate ID: -

**Traffic Analysis Gates**

Entry Gates (UniqueID, Tag)

Exit Gates (UniqueID, Tag)

Exit Gate (34, 35)

Gate Unique ID: 34

Gate Tag: 35

Passed Vehicles (Count): 14

Vehicle Flow (per 15 min): 202.22

Avg. Speed [km/h]: 18.16

More Statistics: Show

Neutral Gates (UniqueID, Tag)

**Gate Info: Passed Vehicles**

Gate ID: 34 Gate Type: Exit

Passed Vehicles (14):

TrackID	Type	Image ID	Time [s]	Speed [km/h]	Tan. Accel. [ms <sup>-2</sup> ]	Lat. Accel. [ms <sup>-2</sup> ]
36	Car	15	1.0633	16.1226	1.58144	1.07717
44	Car	153	10.8457	16.0203	-0.0787458	0.760843
47	Car	181	12.8305	17.751	-0.0755780	1.72066
48	Car	217	15.3824	25.6002	0.579274	2.15753
32	Car	270	19.1304	20.9911	-0.888055	0.252169
51	Car	300	21.266	22.3701	0.0884302	-0.86638
54	Car	413	29.2762	25.4204	-0.0299752	-0.297381
52	Car	462	32.7497	15.8409	-0.32249	0.189174
57	Car	508	36.0105	11.5088	0.0286052	0.660891
59	Car	562	39.8384	15.103	0.688932	0.523643
62	Car	590	41.8232	15.7607	0.334456	0.896079

Export

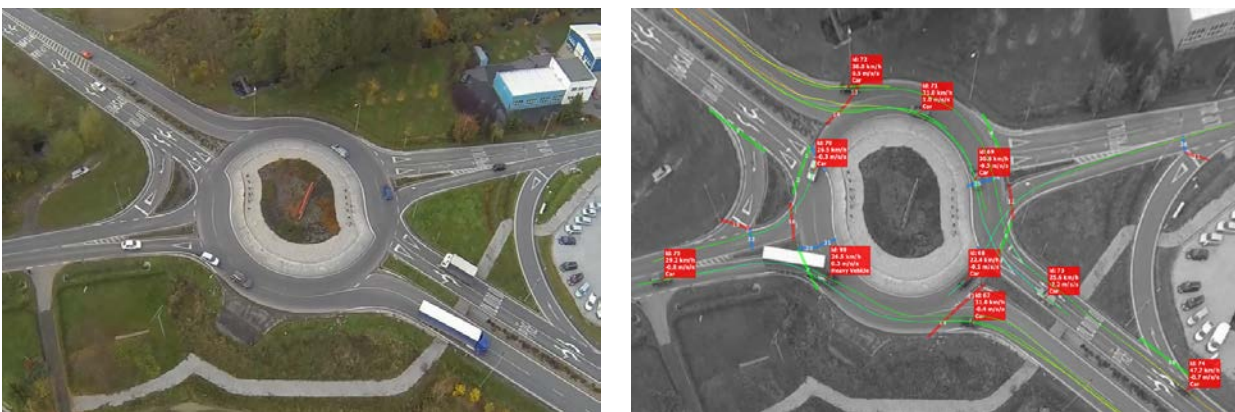
**Slika 5.** DataFromSky Viewer  
Izvor: vlastita istraživanja

Na prethodnoj slici prikazan je radni snimak sa putanjama vozila obojenim tako da prikazuju promjene brzine vožnje. Na dva privoza rotoru kao i u kružnom toku postavljene su "kapije" (eng. gates) koje formiraju

presjeke na kojima se prikupljaju podaci o vozilima koja su prošla kroz njih. Postavljanjem ulaznih i izlaznih "kapija" na odgovarajućim mjestima moguće je dobiti I-C matricu raskrsnice. Na desnoj strani radnog prozora prikazana su pojedinačna vozila, tj. njihove putanja sa podacima o vozilu te njegovoj klasifikaciji (putničko ili teretno vozilo). Bitno je napomenuti da su podaci vremenski promjenljivi, tj. moguće je pratiti promjenu brzine i ubrzanja vozila tokom njegovog kretanja.

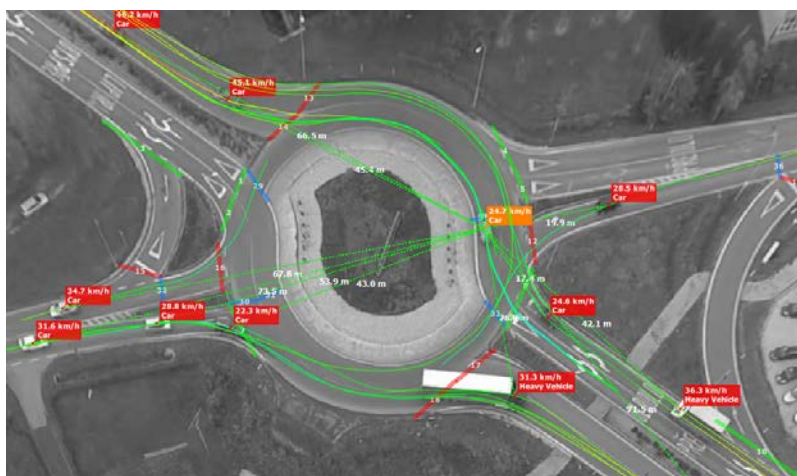
Na "kapijama" se bilježe podaci o brzini, ubrzanju i vremenu prolaska svakog vozila. Vrijeme prolaska posebno je važno kod određivanja vremena slijeda i vremenske praznine, čije je određivanje postojećim tehnikama dosta složeno i dugotrajno. Osim toga, na "kapijama" se bilježe i sumarni podaci o broju vozila, brzinama kao i o 15-minutnom intervalu.

Drugi obrađeni primjer od strane DataFromSky tima prikazuje turbo rotor u Olomoucu. Snimanje raskrsnice urađeno je pomoću UAV letjelice (drona) sa kamerom visoke rezolucije i širokog ugla snimanja. Slika 6-lijevo prikazuje izgled snimljene raskrsnice. Za razliku od prethodnog primjera, raskrsnica je snimljena sa dosta veće visine i pod povoljnijim uglom, zbog čega i radni snimak izgleda dosta prirodnije nakon georefencijiranja (slika 6-desno).



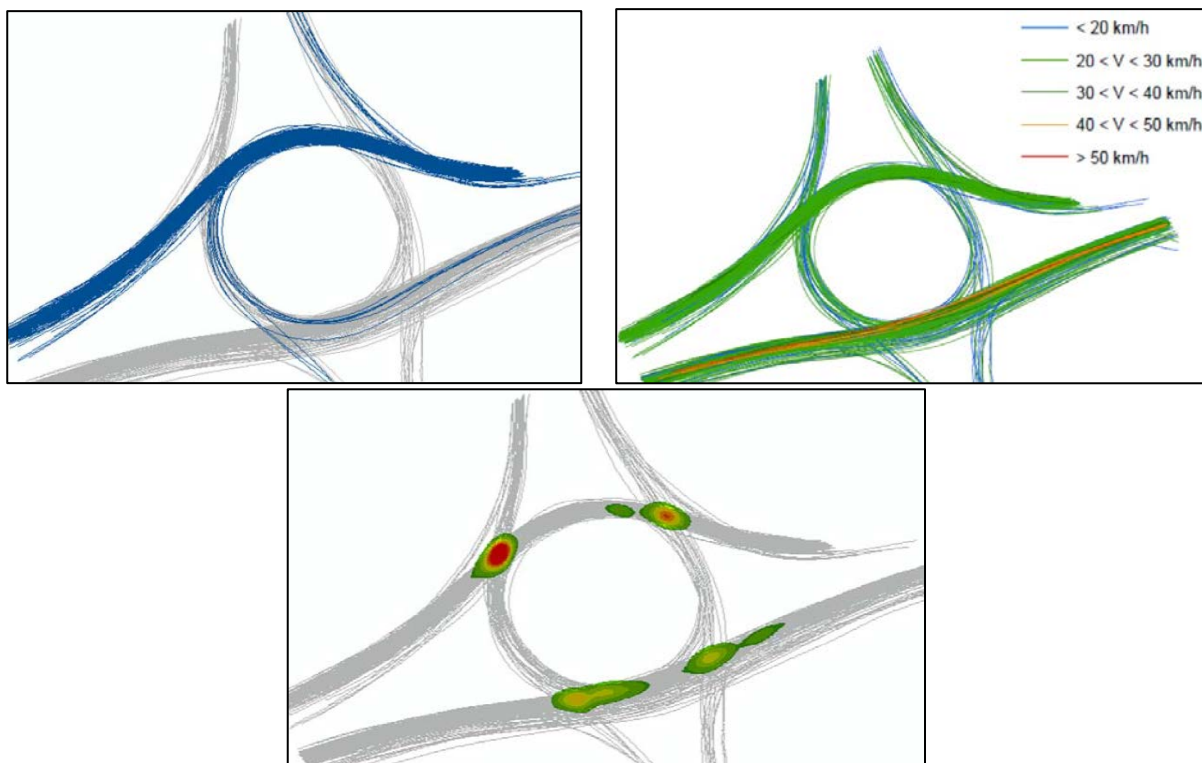
**Slika 6.** Izgled izvornog i radnog snimka  
Izvor: DataFromSky istraživanje

Slično prethodnom istraživanju, na slici 6-desno prikazane su trajektorije brzina, vremenski promjenljivi podaci te tip vozila. Na svim ulazima i izlazima postavljene su "kapije" tako da se automatski formira I-C matrica. Još jedna mogućnost softvera je prikaz rastojanja odabranog vozila od svih ostalih detektovanih objekata (slika 7).



**Slika 7.** Prikaz rastojanja odabranog vozila od ostalih prepoznatih objekata  
Izvor: DataFromSky istraživanje

Neke od mogućnosti softvera koje nisu korištene u navedenim primjerima prikazane su na slici 8. Analiza defleksije i radijusa putanja prikazana je na slici 8-lijevo. Detaljno mapiranje čvorišta prema brzini vožnje dato je na slici 8-desno, dok su konfliktne zone predstavljene na slici 8-dolje.



Slika 8. Dodatne mogućnosti DataFromSky programa  
Izvor: <http://datafromsky.com>

### 3. ZAKLJUČAK

Saobraćajna čvorišta imaju bitnu ulogu u funkcioniranju cjelokupne saobraćajne mreže. Njihova analiza neophodna je u ocjeni kvaliteta odvijanja saobraćaja, sigurnosti te planiranju budućih čvorišta. Razvijene su brojne metode i postupci za provedbu takvih analiza. Međutim, proces dobijanja potrebnih podataka često zahtijeva dosta vremena i tehničke opreme.

Savremene metode prikupljanja podataka i analize čvorišta temelje se na primjeni bespilotnih letjelica i obradi video snimaka preko algoritama za prepoznavanje vozila i formiranje njihovih trajektorija. U radu je na konkretnim primjerima prikazana upotreba DataFromSky platforme i programa za obradu snimljenih video snimaka. Ovakav vid analize omogućava brzo i jednostavno dobijanje svih potrebnih podataka o saobraćaju na čvorištima. Prikazani sistem mnogo je efikasniji i precizniji od ostalih uobičajenih metoda koji se koriste za analizu video snimaka i saobraćaja.

#### Zahvale

Zahvaljujemo se DataFromSky timu iz Češke Republike i Davidu Hermanu na pomoći prilikom izrade ovog rada, kao i na ustupljenom materijalu i softveru.

#### Literatura

– Za **KNJIGE I MONOGRAFIJE:**

[1] Highway Capacity Manual: Practical Applications of Research. U.S. Dept. of Commerce, Bureau of Public Roads, 2000.

– Za **ZBORNIKE RADOVA:**

[2] Babinec, A., (2015). Excel@FIT 2015 - Automatic Vehicle Trajectory Extraction from Aerial Video Data, 384-392

– Za **INTERNET:**

[3] Rublee, E., Rabaud, V., Konolige, K., Bradski, G. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF, (online) available at: [https://www.willowgarage.com/sites/default/files/orb\\_final.pdf](https://www.willowgarage.com/sites/default/files/orb_final.pdf) (10.03.2016.)



## NOVI KONCEPT ANALIZA USLOVA U SAOBRAĆAJNOM TOKU - PRIMENA NA DP I A2 OD STEPOJEVCA DO ĆELIJA

**Marija Pavićević, dipl.inž.saobr. <sup>1</sup>,**

*Student master akademskih studija, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet*

**Rezime:** *Nove tehnologije detekcije saobraćajnih indikatora implementirane u Srbiji u zadnjih 5 godina omogućavaju i savremeni pristup kvantitativnim i kvalitativnim analizama uslova u saobraćajnom toku. U uvodnom delu rada dat je niz generalnih smernica i preporuka kako bi prednosti novih tehnologija trebalo implementirati u analizama efikasnosti i bezbednosti saobraćaja na vangradskoj mreži puteva. Na primeru državnog puta DP IA od Stepojevca do Ćelija dati su rezultati analiza promena PGDS-a od 2005-2014.g, merodavnih vršnih časovnih protoka, brzina slobodnog toka, realnih i eksploatacionih brzina, ograničenih i prekoračenih brzina, sa ciljem generisanja uzročno-posledičnih veza između ovih brzina, putnih uslova, efikasnosti saobraćaja i nebezbednog ponašanja vozača. Osnov za ovu analizu su realni podaci sa ABS, ažurna baza podataka o putnim karakteristikama, saobraćajnim nezgodama i istraživanja brzine u realnim uslovima savremenim metodama zasnovanim na novim tehnologijama.*

**Ključne reči :** *nove tehnologije, saobraćajne analize, efikasnost saobraćaja, put*

**Abstract:** *The new technologies of traffic indicators detection that have been implemented in Serbia for the last five years also ensure a modern approach to quantitative and qualitative analyses of traffic flow conditions. In the introduction section of this paper there is a set of general guidelines and suggestions that explain how the benefits of the new technologies should be implemented in the analysis of traffic efficiency and safety on an interurban road network. Taking the example of the two-lane national road from Stepojevac to Ćelije, in this paper the results of the following analyses are given: of AADT (annual average daily traffic) change from the year 2005 to 2014, of peak hour flow, free flow speed, real and exploitation speed, limited and exceeding speed. The aforementioned is given with the aim of generating causal links between these speeds, road conditions, traffic efficiency and unsafe driving behaviours. The basis for this analysis is the data from ATCs (Automatic Traffic Counters), an updated database of road characteristics and traffic accidents, but also examining the speed in real driving conditions by means of the modern methods based on the new technologies.*

**Keywords:** *new technologies, traffic analysis, traffic efficiency, road*

### 1. UVOD

Detaljni i ažurni podaci o saobraćajnim tokovima na putnoj mreži predstavljaju fundamentalni osnov za argumentovanje najznačajnijih odluka o budućem razvoju i eksploataciji putne mreže, kao i o operativnom upravljanju saobraćajnim tokovima na mreži. Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu u periodu 2009 - 2012. g, (Tubić i ost.) uradio je Novu metodologiju brojanja saobraćaja na državnim putevima Republike Srbije. Ova metodologija, koja se zasniva na novim sistemima i tehnologijama prikupljanja i prezentiranja verodostojnih podataka o saobraćajnim tokovima, implementirana je na našu putnu mrežu i time je stvorila preduslove kako za kompleksnije analize, tako i primenu savremenih softvera u saobraćajnim analizama.

U ovom radu, najveći deo parametara saobraćajnog toka dobijen je na osnovu novih tehnologija koje se odnose na on-line podatke i podatke dobijene sa automatskih brojača saobraćaja (ABS), ali složenije i kompleksnije anlike uslova u saobraćajnom toku inicirale su upotrebu dodatnih empirijskih istraživanja uz pomoć android aplikacija .

Transformacije i sinteza svih podataka iz relevantnih baza i sa empirijskih istraživanja zahtevala je nekoliko postupnih faza, počevši od matematičko-statističke obrade podataka, preko sintezne obrade i kalibracije za primenu savremenih softvera za analizu Nivoa Usluge (HCS software 2000). Zahvaljujući ovakvom pristupu dolazi se do preciznih pokazatelja uslova u saobraćajnom toku, odnosno do analize kvalitativnih i kvantitativnih pokazatelja čija preciznost garantuje uspeh u identifikaciji uskih grla.

Pored detaljne analize PGDS-a i merodavnih vršnih protoka, u radu je analiziran i set vrednosti brzina saobraćajnih tokova dobijenih na osnovu empirijskih istraživanja, kao i preuzimanjem i obradom detaljnih podataka o brzinama dobijenih sa ABS. Analiza brzina slobodnog toka, realnih brzina sa ABS, realnih izmerenih brzina, eksploatacionih po modelima, ograničenih i prekoračenih brzina i broj saobraćajnih nezgoda (mikrolociran u prostoru) ukazuju na nedostatke klasičnih pristupa analizama Nivoa Usluge i stvaraju mogućnosti za novi koncept analiza efikasnosti saobraćaja i nebezbednog ponašanja vozača.

---

<sup>1</sup> Autor za korespondenciju : [marija.pavicevic2@gmail.com](mailto:marija.pavicevic2@gmail.com)

Imajući u vidu značaj brzine za učestalost i težinu posledica saobraćajnih nezgoda, u radu će biti analizirana i baza podataka o saobraćajnim nezgodama na potezu od Stepojevca do Lazarevca. Broj i karakteristike saobraćajnih nezgoda ukazuju na probleme nepoštovanja ograničenja brzine na pomenutoj deonici kao i na uslove okruženja koji vladaju na putu.

Cilj rada je ukazivanje na nedostatke klasičnih pristupa analizama efikasnosti i nebezbednosti i prednosti brže primene savremenih tehnologija u ovim analizama.

## 2. PREGLED LITETATURE

Sve savremene metode za analizu kapaciteta i nivoa usluge su analitičke procedure za argumentovano donošenje odluka. Takve analize moguće je sprovesti pomoću savremenih priručnika koje se koriste u svetu, kao što su američki priručnik HCM2000 i 2010 (Highway Capacity Manual) i nemački HBS2001 (Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen). Uz ove priručnike razvijeni su i aplikativni softveri (u ovom radu je korišćen HCS2000) koji na tradicionalan način tretiraju uslove u saobraćajnom toku. Jedan od ciljeva ovog rada je kritički osvrt na tradicionalan pristup, jer se na osnovu podataka sa ABS može uvrstiti set novih parametara kao što su  $V_{realABS}$ , prekoračenje dozvoljenih brzina i sl. Sa druge strane, empirijskim istraživanjima sa savremenom opremom, trenutne i prosečne brzine u različitim uslovima toka stvaraju osnov za preispitivanje modela za analizu brzina.

Brzina koja se realizuje na putu je kontraverzna tema o kojoj se često diskutuje i predmet je permanentnih istraživanja. Brzina se često posmatra u negativnom kontekstu, ali nesumnjive su i konkretne pozitivne koristi povećanja prosečne brzine saobraćajnog toka. Za korisnike ovo znači smanjeno vreme putovanja, povećanu mobilnost i pristupačnost ciljnim destinacijama. Značajne su i društvene koristi od smanjenja vremena prevoza robe i radnih putovanja. Međutim, uštede u vremenu zbog tradicionalnog prihvatanja prevaziđenog koncepta upravljanja brzinama na vangradskoj mreži, gde je osnovni alat ograničenje brzina putovanja su male. To, takođe važi u gradskim područjima gde povećana brzina donosi samo malu uštedu zbog kašnjenja na raskrscima i semaforima. U svojoj studiji o dugoročnim vezama između saobraćaja i produktivnosti, rasta i stabilnosti ekonomije u UK, Rod Edington je zaključio da bi eliminacija postojećeg zagušenja na putnoj mreži donela nekih 7-8 milijardi funti BDP godišnje (Edington, 2006).

Brzina saobraćajnog toka predstavlja i jedan od glavnih uzroka povećanog rizika od saobraćajnih nezgoda i težih posledica, pa zbog toga predstavlja jedan od ključnih faktora na koji treba delovati u cilju povećanja nivoa nebezbednosti saobraćaja. Brzina je bila faktor u 27% svih smrtnih slučajeva na putevima u Velikoj Britaniji (DfT, 2010b). Značajna istraživanja su obavljena tokom niza godina da se pokaže veza između brzine, učestalosti i ozbiljnosti nezgoda, i smanjenja broja saobraćajnih nezgoda. Mnogi istraživači su postavili modele specifične veze između nezgoda sa ozbiljno povređenim osobama, nezgoda sa fatalnim ishodom i brzine. Jedan od najčešće korišćenih modela sa dobrim prijemom je Nilsonov „Model stepena“, koji ilustruje da povećanje prosečne brzine za 5% dovodi do porasta nezgoda sa svim vrstama povreda od približno 10% i porast nezgoda sa fatalnim ishodom od 20% (OEBS/ECMT, 2006). Na osnovu rezultata istraživanja o uticaju brzina na efikasnost saobraćaja, s jedne strane, i bezbednosti učesnika s druge strane, definiše se jasna potreba za kompleksnijom analizom nivoa usluge na deonicama.

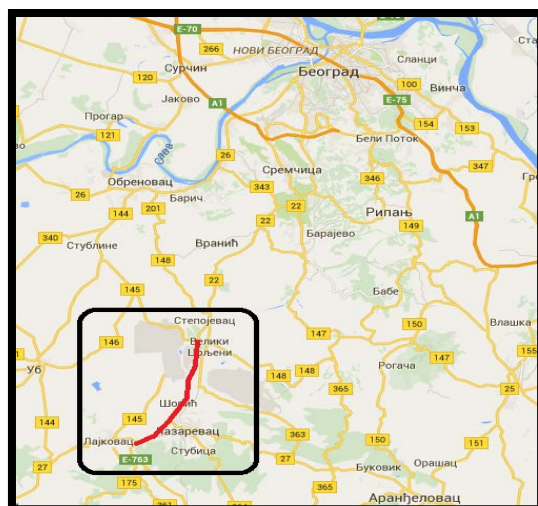
To se posebno odnosi na onaj deo putne mreže gde je godinama tokom eksploatacije konstantnim represivnim merama rešavan problem bezbednosti na štetu efikasnosti saobraćaja i gde je zaštita prolaznih saobraćajnih tokova i puta konceptom upravljanja kontrolom pristupa potpuno nepoznat proces.

## 3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

### 3.1. Rezultati analize tehničko-eksploatacionih karakteristika

U fokusu rada je potez od Stepojevca do Čelija koji predstavlja deo puta DP IA - 2 od Beograda do Preljine. Na slici 1 dat je prikaz položaj puta, a u tabeli 1 sintezno su dati rezultati analiza tehničko-eksploatacionih karakteristika puta i saobraćajnih tokova na osnovu referentnih baza i empirijskih istraživanja o kontroli pristupa .

# NOVI KONCEPT ANALIZA USLOVA U SAOBRAĆAJNOM TOKU - PRIMENA NA DP I A2 OD STEPOJEVCA DO ČELIJA



Slika 1. Položaj poteza Stepovevac-Čelije

Tabela 1. Tehničke i saobraćajne karakteristike poteza Stepovevac - Čelije

Deonica	Stepovevac - Lazarevac 1	Lazarevac 1-Čelije
ID deonice	230	231
Dužina deonice (km)	13,79	4,49
Vrsta puta	DP	DP
Broj traka	2	2
Širina kolovoza (m)	7,10	7,10
Širina trake (m) / BS (m)	3,50 / 1,00	3,50 / 1,00
Pros. UN (%)	0,4	0,75
Kritičan UN (%)	4	3
Dužina krit. UN (m)	273	292
Rmin (m)	425	310
IRI ukupno	2,5	3,6
Procenat zabr. preticanja (%)	53,26	46,61
Σ pristupa/ <b>Σ aktivnih pristupa</b>	<b>96/ 23</b>	<b>36/3</b>
Br. pristupa/km - <b>Br.aktivnih pr./km</b>	<b>6,96/ 1,67</b>	<b>8,01/0,67</b>
<b>qm200-ti sat - 2014.g. (voz/h)</b>	<b>1002</b>	<b>1249</b>
<b>PGDS2014 (voz/dan)</b>	<b>12009</b>	<b>13146</b>
<b>% KV</b>	<b>15,60</b>	<b>14,10</b>

Minimalno ograničenje brzine na pojedinim lokacijama - potezima iznosi 60 km/h, što takođe predstavlja dozvoljenu brzinu u mikro zonama brojača (ABS 1033-deonica Stepovevac - Lazarevac 1 i ABS 1141-deonica Lazarevac 1- Čelije). Identifikovana su 2 suštinska problema na ovom putnom potezu :

- broj pristupa (regularnih, neregularnih, kolskih, nekontrolisanih, privatnih i saobraćajno ne tretiranih) kreće se u rasponu od 3 - 23 po km
- iako je put projektovan sa veoma povoljnim elementima profila za brzine oko 100 km/h ograničenja brzine su veoma rigorozna i nisu u funkciji elemenata puta, a procenat zabrane preticanja je na ukupnom potezu prosečno na oko 50% dužine.

### 3.2. Analiza promene PGDS-a i strukture u periodu od 2005. do 2014. godine

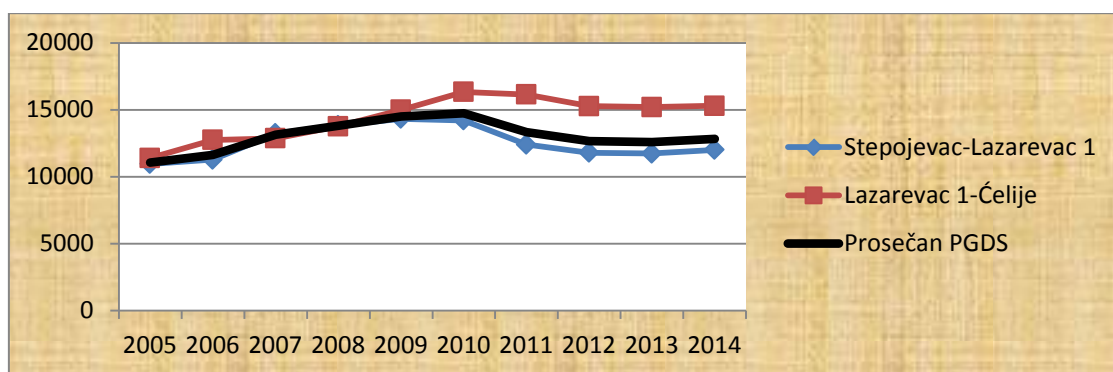
U tabeli 2 prikazani su rezultati promene PGDS-a i strukture toka u periodu od 2005. do 2014. godine. Pomenuta analiza zasniva se na relevantnim bazama podataka Javnog Preduzeća "Putevi Srbije" dobijenih sa automatskih brojača.

Podaci o saobraćajnim tokovima dobijeni iz tabele 2 pokazuju pad PGDS-a u periodu od 2009. do 2010. godine koji se beleži kao početak ekonomske krize u našoj zemlji. Osim generalnih trendova PGDS-a,

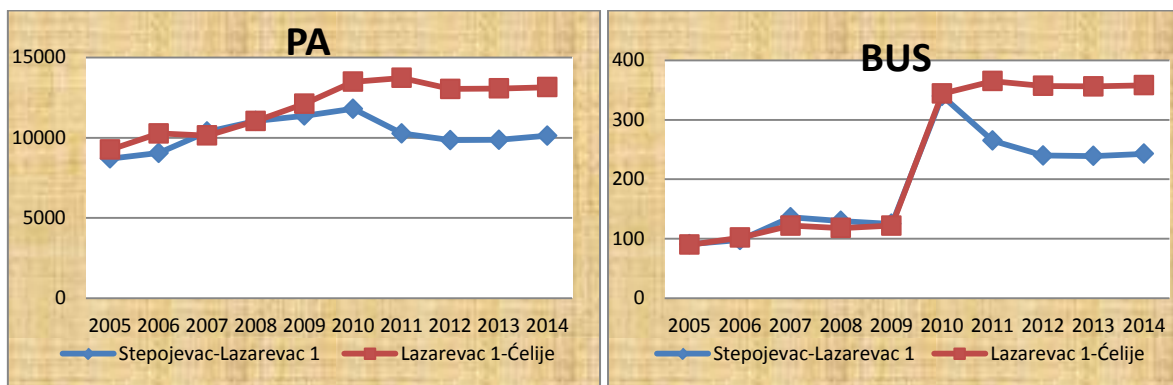
identifikovane su i drastične promene po kategorijama komercijalnih vozila koje su prikazane na narednim slikama.

**Tabela 2. PGDS i struktura saobraćajnog toka na deonici Stepojevac-Čelije**

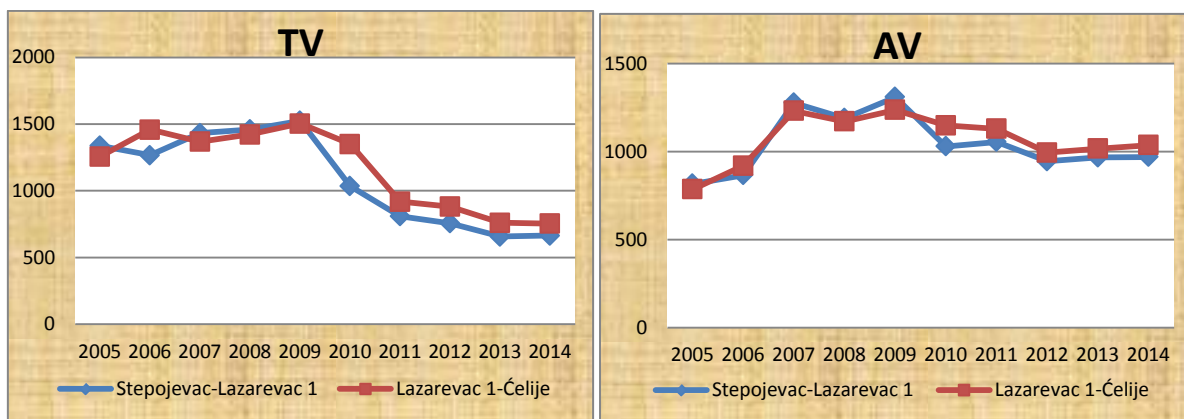
Godina	Kategorija vozila						PGDS(voz/dan)
	PA	BUS	LT	ST	TT	AV	
2005	8841	91	115	465	738	809	11058
2006	9350	99	91	438	784	879	11641
2007	10320	133	158	392	867	1267	13135
2008	11049	127	166	358	927	1186	13813
2009	11556	124	183	406	931	1292	14492
2010	12215	341	340	459	313	1059	14727
2011	11120	290	209	416	211	1074	13320
2012	10632	269	214	402	173	958	12646
2013	10655	268	206	350	126	979	12585
2014	10872	271	196	338	152	986	12816



**Slika 2. Promene PGDS u periodu od 2005. do 2014. godine**



**Slika 3. Promene PGDS-a putničkih automobila i autobusa u periodu od 2005. do 2014.g.**



**Slika 4. Promene PGDS-a teretnih vozila i autovozova u periodu od 2005. do 2014.g.**

Porast PGDS-a putničkih automobila identifikovan je uniformno na ukupnom potezu od Stepojevca do Čelija u periodu do 2005. do 2010. godine, a u periodu posle 2010. g, usled ekonomske krize beleži se značajniji pad. Ova pojava uzrokovana je odustajanjem vozača od korišćenja putničkih automobila na duže relacije i prelazak na putovanje autobusom. Ekonomska kriza i smanjena privredna aktivnost uzrokovala je značajnu nestabilnost i promenljivost kada su u pitanju negativni trendovi koji se odnose na teretna vozila i autovozove. Nakon 2010. godine primećen je pad učešća ovih kategorija vozila u strukturi saobraćajnog toka, što dalje implicira da ekonomska kriza još uvek nije prošla. Ono što je veoma indikativno je značajan porast učešća autobusa što može biti uzrokovano ili promenom sistema brojanja ili značajnijim preusmeravanjima ovog dela toka na široj mreži.

### 3.3. Analiza brzina i Nivoa Usluge

Upravljanje brzinama na putnoj mreži, važno je razumeti kroz celokupne posledice povećanja, odnosno smanjenja brzine putovanja. Na brzini se temelji najveći broj kriterijuma po kojima se ocenjuje efikasnost i bezbednost saobraćaja. Osnovni cilj svih korisnika u saobraćaju na vangradskoj putnoj mreži jeste bezbedno ostvarenje što je moguće većih brzina, čime se postiže ušteda u smanjenju vremena putovanja. Kojom će se brzinom vozači kretati zavisi od mnogobrojnih uticaja kao što su: geometrija puta, svrha putovanja, psihofizičko stanje vozača i stanje okoline. Pri tom, treba imati na umu da je brzina najčešći uzrok saobraćajnih nezgoda na vangradskim putevima. Adekvatna ograničenja brzine predstavljaju samo jedan element upravljanja brzinama, ali u budućnosti će nastaviti da čine okosnicu strategija i politika upravljanja brzinama.

Sve je razvijenija svest javnosti o pitanjima bezbednosti na putu i potrebom za kontrolom brzine koja iz njega proizlazi. Prihvatljivost ograničenja brzine i zakonsko regulisanje je na mnogo višem nivou nego ranije, a takođe je prisutan sve veći pritisak da se i podignu ograničenja brzine u različitim situacijama, u cilju povećanja efikasnosti saobraćaja koja se odnosi na smanjenje vremena putovanja i povećanje nivoa usluge. Na osnovu toga, dilemu o optimalnom ograničenju brzine koju je potrebno postaviti treba razrešiti kroz optimizacioni proces upravljanja brzinama kroz više kriterijuma. Naime, ako se brzina rigorozno ograniči, doći će do smanjenja efikasnosti saobraćajnog toka, čime će se smanjiti i nivo usluge na deonici puta. Niske brzine uz dobre karakteristike puta stvaraju novu turbulenciju kod vozača koja se odnosi na nepoštovanje postavljenog ograničenja. Prekoračenja brzine, izazvana revoltom vozača ili gubitkom poverenja u koncept upravljanja saobraćajem horizontalnom i vertikalnom signalizacijom, indukuju veliku disperziju u brzinama, a samim tim i povećan broj saobraćajnih nezgoda.

Na potezu puta od Stepojevca do Čelija, pojedinačno ali često minimalno ograničenje brzine iznosi 60 km/h, dok je prosečna brzina slobodnog toka na deonici od Stepojevca do Lazarevca 96 km/h, a na deonici Lazarevac - Čelije 92 km/h. Ova razlika od preko 30 km/h je u mnogim relevantnim istraživanjima potvrđena kao jedan od osnovnih uzročnika velikog procenta nepoštovanja postavljenih ograničenja.

Realne brzine vozila (tabela 3) na deonici Stepojevac-Lazarevac 1 izračunate su na osnovu podataka (svih 8760 sati tokom godine) dobijenih sa ABS i u periodu od 2011. do 2014. godine se nalaze u intervalu od 75 do 77 km/h.  $V_{real85\%}$  na ovoj saobraćajnoj deonici iznosi 85 km/h.

Na deonici puta od Lazarevca do Čelija realna brzina vozila dobijena sa ABS nalazi se u intervalu od 69 do 71 km/h za period od 2011. do 2014. godine, a razlog smanjenja ove brzine u odnosu na prvu deonicu može biti povećanje gustine saobraćajnog toka.

Na osnovu rezultata analiza prikazanih u tabelama 3 i 4, a na osnovu kategorije i funkcionalnog značaja tretiranog puta, identifikovana je neprihvatljiva razlika između Vsl i Vog. Ta razlika u brzinama stvara realnu procenu vozača da mogu da se kreću većim brzinama nego što je to rigoroznim ograničenjem propisano. Na osnovu svih relevantnih ulaznih podataka uz pomoć aplikativnog softvera (HCS 2000) urađena je kompletna analiza Nivoa Usluge i prosečnih brzina toka po modelu za obe deonice i rezultati su prikazani u narednim tabelama.

**Tabela 3. Sumarni rezultati analize brzina i NU na deonici Stepojevac-Lazarevac 1**

Deonica	God	PGDS (voz/dan)	Vogr (km/h)	Vslpros (km/h)	Vreal <sub>ABS</sub> (km/h)	Vreal 85%	Vekspl HCS	NU/ HCS
Stepojevac- Lazarevac 1 ABS 1033	2010	14205	60	96	/	/	/	
	2011	12401	60	96	75	85	/	
	2012	11791	60	96	/	/	/	
	2013	11733	60	96	76	85	/	
	2014	<b>12009</b>	60	96	<b>77</b>	85	<b>76</b>	<b>"D"</b>

**Tabela 4. Sumarni rezultati analize brzina i NU na deonici Lazarevac 1-Čelije**

Deonica	God	PGDS (voz/dan)	Vogr (km/h)	Vslpros (km/h)	Vreal <sub>ABS</sub> (km/h)	Vreal 85%	Vekspl HCS	NU/HCS
<b>Lazarevac 1 - Čelije ABS 1141</b>	2010	16331	60	92	/	/	/	/
	2011	16141	60	92	69	87	/	/
	2012	15272	60	92	69	87	/	/
	2013	15200	60	92	71	89	/	/
	2014	<b>15295</b>	60	92	<b>70</b>	88	<b>73</b>	<b>"D"</b>

Analiza dobijenih rezultata ukazuje da je na obe deonice identifikovan Nivo Usluge "D". Minimalna razlika između V<sub>realABS</sub> i V<sub>ekspl.HCM</sub> na prvoj deonici od 1 (km/h) i 3(km/h) je prihvatljiva, potvrđuje validnost modela i ukazuje na stabilne uslove u toku. Međutim, detaljnom analizom podataka o realnim brzinama sa ABS identifikovano je da se na obe deonice 15% vozila kretalo neprihvatljivo niskim brzinama od 10 - 30 (km/h). Uzrok može biti u izuzetnim vršnim časovnim opterećenjima koja na ovom potezu nisu detektovana analizom svih časovnih protoka tokom godine. Uzrok nestabilnosti toka se mora potražiti u već identifikovanoj haotičnoj izgradnji pored i velikom broju pristupa i posledično incidentnim situacijama. Hipotetički urađena je analiza kolika bi bila realna brzina toka ako bi se ovaj deo neprihvatljivo niskih brzina isključio iz analize. Rezultati ukazuju da je ovako dobijena prosečna realna brzina povećana za 18 (km/h).

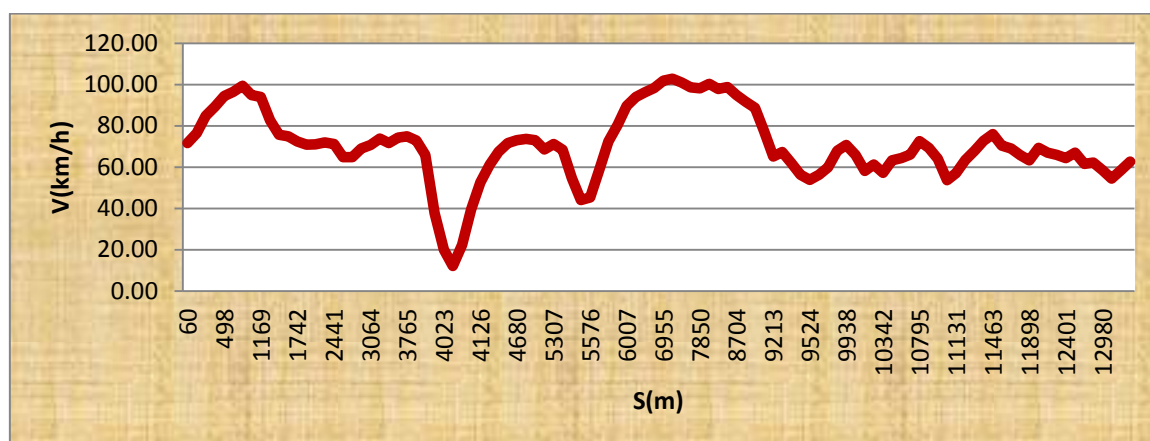
Empirijska istraživanja sa fokusom na brzine u realnom toku na predmetnom potezu izvršena su u periodu od 17-24.03.2016.g. uz pomoć aplikacije na Android telefonu (Merenje brzine) modifikovanom metodom pokretnog osmatrača koji se kretao u različitim uslovima toka (stabilan koji teži slobodnom, normalan, normalan koji teži zasićenom). Vozilo osmatrač se kretalo u toku oponašajući reprezentativno vozilo. Android aplikacija za snimanje brzina putovanja ima ograničenja, a najveće je preciznost GPS prijemnika. GPS prijemnik je zahtevao konekciju sa min. 6 satelita što je na ovom potezu ispunjeno, a greška koja se javlja u pozicioniranju sa ovim brojem konektovanih satelita prihvatljiva je u procesu merenja brzina. Rezultati sa sprovedenih empirijskih istraživanja prikazani su u tabeli 5 i na slikama 5 i 6.

**Tabela 5. Rezultati istraživanja brzina u različitim uslovima u saobraćajnom toku**

Dan/ datum istraživanja	SMER	Stepojevac - Lazarevac 1	Lazarevac 1 - Čelije	Napomena - uslovi u toku
		V (km/h)	V (km/h)	
Četvrtak	SMER 1	<b>72,85</b>	<b>64,76</b>	Stabilan
	SMER 2	<b>75,74</b>	<b>75,33</b>	Stabilan
	OBA SMERA	<b>74,35</b>	<b>70,05</b>	
Petak	SMER 1	<b>72,15</b>	<b>66,79</b>	Stabilan→Zasićen
Subota	SMER 2	<b>81,31</b>	<b>71,66</b>	Stabilan→Slobodan

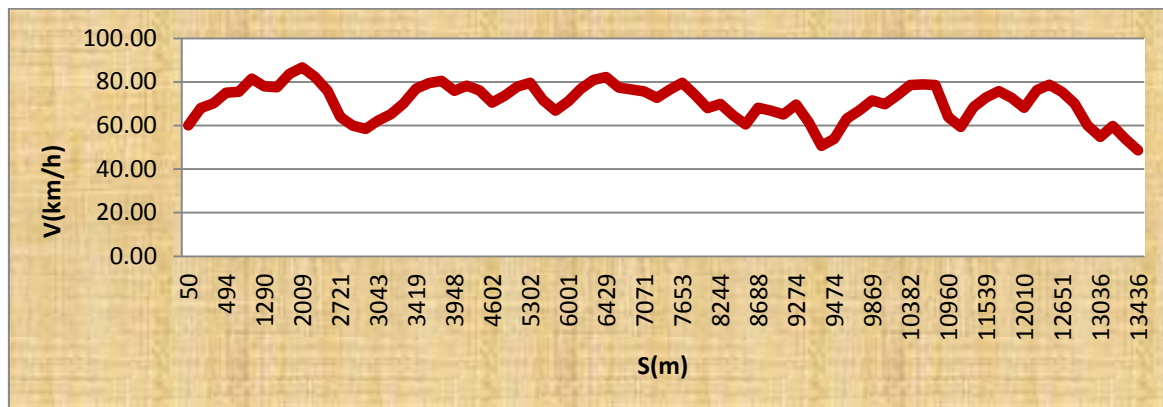
Nekoliko preliminarnih zaključaka može se izvući iz analize dobijenih rezultata (tabela 5 i slike 5 i 6) :

- pri sličnim merodavnim zahtevima i istim uslovima u toku na deonici Lazarevac 1 - Čelije značajna je razlika u brzinama po smerovima,
- ne postoji značajna razlika između prosečnih brzina u uslovima stabilnog toka i stabilnog toka koji je blizak zasićenju,



**Slika 5. Promene brzine toka na deonici Stepojevac-Lazarevac (smer 1) - uslovi stabilnog toka**

## NOVI KONCEPT ANALIZA USLOVA U SAOBRAĆAJNOM TOKU - PRIMENA NA DP I A2 OD STEPOJEVCA DO ČELIJA



**Slika 6.** Promene brzine toka na deonici Stepovevac-Lazarevac (smer 1) - uslovi zasićenog toka

- disperzija brzina u uslovima koji teže slobodnom toku je izuzetno velika i uzrokovana poremećajima koji nisu vezani za promenu protoka i elemenata puta već verovatno ili rizičnim ponašanjem vozača ili kao posledica omatanja toka sa nereguliranih pristupa, i
- disperzija brzine je značajna i u uslovima bliskim zasićenju (slika 6) uz konstantan protok.

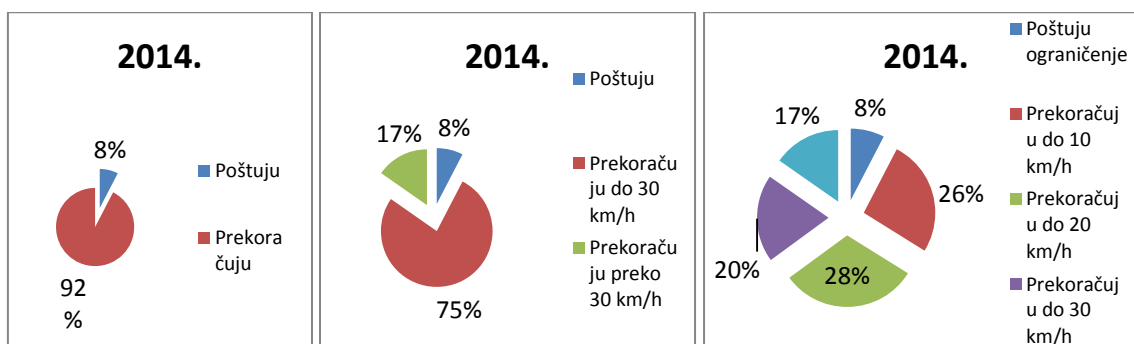
### 3.4. Analiza prekoračenja brzina

Rezultati analize prekoračenja brzine u zoni brojača (1000 m) na deonici od Stepovevca do Lazarevca u periodu od 2011. do 2014. godine prikazani su u sledećoj tabeli. Osnov ove analize su realni podaci sa ABS koji su dalje matemačko-statističkim metodama sinezno obrađeni.

**Tabela 6.** Rezultati analize poštovanja *V<sub>ogr.</sub>* na deonici Stepovevac-Lazarevac 1 u zoni ABS

Godina	PGDS	Poštuju		Prekoračuju		Prekoračenje po klasama			
		Broj	%	Broj	%	>10	10-20	20-30	>30
2011	12401	430740	10%	4095670	90%	32%	34%	20%	15%
2013	11733	347048	8%	3996212	92%	29%	33%	21%	17%
2014	12009	334459	8%	4047695	92%	28%	34%	21%	17%

Analizom podataka iz tabele 6 i sa slike 7, dolazi se do zaključka da samo 8-10% od ukupnog broja vozača poštuju propisano ograničenje brzine, odnosno 90-92% vozača ne poštuju ograničenje.



**Slika 7.** Analiza prekoračenja brzina na deonici Stepovevac-Lazarevac 1 za 2014. godinu

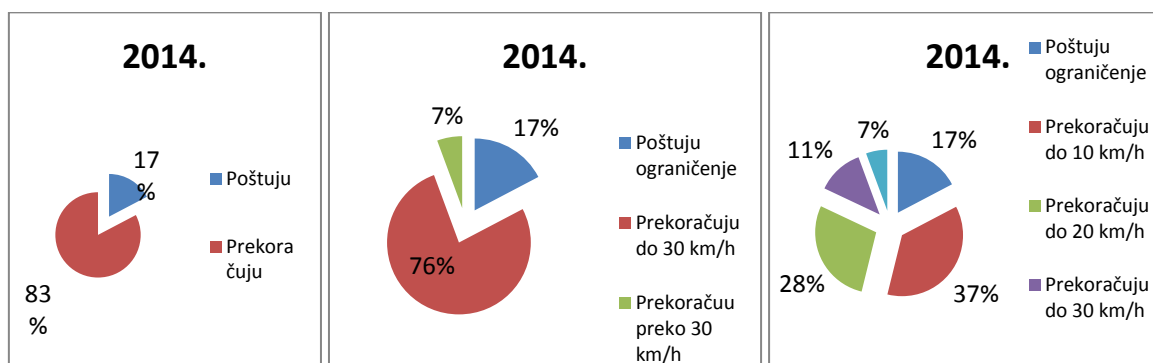
Procenat vozača koji brzinu prekoračuju do 10 km/h se smanjio sa 32 na 28% , ali se zato povećao procenat vozača koji prekoračuju brzinu iznad 10 km/h. Zabrinjavajuće je da se u kategoriji prekoračenja za više od 30 km/h 2011-2013. godine broj prekršilaca povećao za 2%. Ono što je veoma zabrinjavajuće sa aspekta bezbednosti saobraćaja je da se iznad opšteg ograničenja od 80 (km/h) kretalo između 35 - 38% vozača.

Rezultati analize prekoračenja brzine na deonici od Lazarevca do Čelija u periodu od 2011. do 2014. godine prikazani su u tabeli 7. Izvorni podaci sa ABS su na isti način obrađeni kao za prethodnu deonicu.

**Tabela 7. Rezultati analize poštovanja Vogr. na deonici Lazarevac1 - Čelije u zoni ABS**

Godina	PGDS	Poštuju		Prekoračuju		Prekoračenje po klasama			
		Broj	%	Broj	%	>10	10-20	20-30	>30
2011	16141	1051128	18%	4840670	82%	48%	33%	13%	6%
2012	15272	1004158	18%	4579947	82%	46%	34%	14%	6%
2013	15200	808642	15%	4739314	85%	43%	35%	16%	7%
2014	15295	965369	17%	4615550	83%	44%	34%	15%	7%

Za deonicu od Lazarevca do Čelija primećen je znatno veći procenat vozača koji poštuju ograničenje (15-18%), ali je broj prekršilaca i dalje zabrinjavajući. Procenat vozača koji brzinu prekoračuju do 10 km/h je 43-48%, ali se iz godine u godinu povećava procenat prekršilana brzine od 20 do 30 km/h i preko 30 km/h. Na sledećem grafikonu dat je prikaz rezultata analize prekoračenja brzine vozila u 2014. godini na deonici od Lazarevca do Čelija.



**Slika 8. Analiza prekoračenja brzina na deonici Lazarevac 1-Čelije za 2014. godinu**

### 3.5. Analiza saobraćajnih nezgoda - distribucija i mikrolociranje

Primenom EuroRAP metodologije (Evropski program za ocenu bezbednosti puta), izvršeno je mapiranje rizika na osnovu broja i posledica saobraćajnih nezgoda na DP IA-2 reda u periodu od 2010. do 2012. godine, a rezultati analize na deonici od Stepojevca do Lazarevca prikazani su u sledećoj tabeli.

**Tabela 8. Broj SN na deonici Stepojevac-Lazarevac 1 po kategorijama**

Godina	PGDS	SN sa MŠ	SN sa povr.	SN sa pog.	Ukupno
2010	14205	30	15	1	46
2011	12401	31	7	1	39
2012	11791	36	3	0	39

Saobraćajne nezgode za period od 2010. do 2012. godine razvrstane su po kategorijama, kao saobraćajne nezgode sa materijalnom štetom, sa povređenim i poginulim licima. Ukupan broj saobraćajnih nezgoda na ovoj deonici u 2010. iznosio je 46, dok je taj broj u 2011. i 2012. godini bio manji i iznosio je 39.

Najveći broj saobraćajnih nezgoda sa materijalnom štetom zabeležen je 2012. godine, u kojoj, za razliku od ostalih godina nije zabeležena nijedna saobraćajna nezgoda sa nastradalim licima. U 2010. i 2011. godini zabeležena je po jedna saobraćajna nezgoda sa nastradalim licima, ali se broj saobraćajnih nezgoda sa povređenima smanjuje iz godine u godinu.



## NOVI KONCEPT ANALIZA USLOVA U SAOBRAĆAJNOM TOKU - PRIMENA NA DP I A2 OD STEPOJEVCA DO ČELIJA

U tabeli 9 prikazan je broj saobraćajnih nezgoda po kilometru puta. Deonica od Stepojevca do Lazarevca podeljena je na 5 karakterističnih zona po broju saobraćajnih nezgoda. U prvoj zoni dužine 1,05 km zabeležen je najveći broj saobraćajnih nezgoda u 2010. godini, dok je najveći broj saobraćajnih nezgoda u 2011. godini zabeležen u zoni 5 koja ima dužinu od 0,970 km i 8,247 nezgoda. Zona 5 je zona ulaska u klasičnu površinsku raskrnicu sa značajnim levim skretanjima i nekontrolisanom ivičnom gradnjom.

**Tabela 9. Broj SN/km po 5 tipičnih zona**

Zona	Dužina (km)	Broj SN/km		
		2010. god	2011. god	2012. god
1	1,051	8,563	1,903	4,757
2	1,308	3,823	3,823	3,823
3	5,989	3,172	3,506	2,839
4	2,246	1,781	1,336	4,007
5	0,970	7,216	8,247	2,062

Zona 1 je dužine od oko 1000 m na kojoj je instaliran ABS brojač saobraćaja i za koju je urađena kompletna analiza realnih i prekoračenih brzina. Detaljnom analizom brzina sa empirijskih istraživanja u prostornoj bazi u svim uslovima saobraćajnog toka identifikovana je najveća nestabilnost toka upravo u toj zoni. Očekivani efekat od ograničenja brzine od 60 (km/h) je stabilna brzina uz minimalnu disperziju sa efektima po bezbednost saobraćaja. Svi dobijeni rezultati pokazuju suprotno pa se realno može postaviti pitanje postavljenog ograničenja.

#### 4. ZAKLJUČCI I PREPORUKE

U radu je prikazan koncept detaljnije analize parametara saobraćajnih tokova uz primenu savremenih tehnologija.

Analiza promene PGDS-a rađena je za period od deset godina i to od 2005. do 2014. godine. Saobraćajni tokovi u ovom periodu u potpunosti odražavaju promene u društveno ekonomskim indikatorima zemlje. Analizom promene strukture saobraćajnih tokova, došlo se do zaključka da je do 2009. godine postojala privredna i ekonomska stabilnost, ali je posle 2009.g. zabeleženo slabljenje mobilnosti stanovništva, odnosno drastično smanjenje PGDS-a teretnih vozila i autovozova kao posledica ekonomske krize i stagnacije koja još uvek traje.

Sprovedenom analizom poštovanja ograničenja brzine uočeni su veliki problemi jer brzinu prekoračuje od 85% do 92% vozača. Razlog ovog procenta prekršilaca se može tražiti u odnosu između dobrih tehničko-eksploatacionih karakteristika puta i postavljenog ograničenja brzine. Subjektivni osećaj vozača o brzini kojom se mogu kretati i slabe policijske kontrole mogu biti uzrok ovakvih rezultata.

Empirijskim istraživanjima brzine toka u različitim stanjima došlo se do rezultata da nestabilnost toka i disperzija brzina na putu nisu u jakoj korelativnoj zavisnosti sa promenama protoka i elementima profila, već da su uzroci nekontrolisani pristupi, sadržaji pored puta, problematična ograničenja brzine i veliki procenat zabrane preticanja.

Na osnovu ovih inicijalnih istraživanja može se koncipirati niz sledećih generalnih smernica i preporuka :

- primena savremenih tehnologija svakako je bazni preduslov za kompleksnije analize i identifikaciju osnovnih uzročnika nezadovoljavajućeg stanja,
- održanje zahtevanog nivoa usluge (efikasnost i bezbednost saobraćaja) za puteve u eksploataciji mora se uzročno-posledično posmatrati uz set mera koje su balans između kontradiktornih ciljeva,
- strategija upravljanja brzinama je permanentan zadatak uz optimiziranje po više kriterijuma (efikasnost, bezbednost, troškovi korisnika, ekološki aspekti),
- preispitivanje kompletnog koncepta ograničenja brzina ,

- upravljanje kontrolom pristupa i zaštita prolaznih - daljinskih tokova (primer tretirani potez) je urgentan zadatak,
- efikasniji rad nadležnih organa u praćenju i sankcionisanju prekršilaca (kamere za merenje brzina, radari i sl.) doprineo bi povećanju bezbednosti saobraćaja,
- permanentna kontrola postojećeg stanja puta - broj "divljih" priključaka i pristupa na put je pitanje poštovanja mnogih zakona koji izlaze iz domena putnog i saobraćajnog inženjerstva pa se moraju sistemski rešiti.

Pored same primene definisanih smernica - mera potrebno je vršiti i periodično praćenje efekata mera i promene stanja. Baze podataka o stanju saobraćajne infrastrukture i uslovima u saobraćajnom toku moraju biti on-line dostupne.

## Literatura

- [1] V.,Tubic, Maletin M., i ost. (2010-2012). Nova metodologija brojanja saobraćaja na državnim putevima Republike Srbije, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,
- [2] Brojanje saobraćaja na putevima Republike Srbije, JP "Putevi Srbije", Beograd, 2003. – 2013. godine
- [3] M.Maletin, V.Tubić, "Basic Characteristics of Traffic on Primary Rural Roads in Serbia", International Journal for Traffic and Transport Engineering, Volume 3(4) , pp 426-439, (2013).
- [4] "Highway Capacity Manual" HCM 2000, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2000.
- [5] "Highway Capacity Manual" HCM 2010, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2010.
- [6] FGSV "Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen - HBS 2001", Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen, Köln, 2001.
- [7] Nouvier, J; Alicandri, E. (2007). Speed Management: Main Conclusions of the OECD/ECTM Study, XXIII AIPCR Congrès, Paris
- [8] Anđus, V. (2007). Merodavne brzine u projektovanju puteva i bezbednost vožnje, Građevinski fakultet, (rad sa naučnog skupa), Palić
- [9] OECD/ECMT (2006). Speed management. Organisation for Economic Co-operation and Development OECD/European Conference of Ministers of Transport ECMT, Paris.
- [10] SWOV (2012). Speed choice: the influence of man, vehicle, and road, Leidschendam,
- [11] V.,Tubić, M.,Vidas, "Kontrola pristupa i klasifikacija pristupa u funkciji uticaja na bezbednost i nivo usluge deonice dvotračnih puteva", X Međunarodna Konferencija "Bezbednost saobraćaja u lokalnoj zajednici", Kragujevac, str. 9 -18, (2015.)
- [12] V.Tubić, M.Vidas, B.Stanić, 'Savremene metode za analizu kapaciteta i nivoa usluge dvotračnih puteva" II Medjunarodni naučni simpozijum "Novi horizonti saobraćaja i komunikacija", Saobraćajni fakultet, Doboj, Zbornik, str.. 25-31, (2009).

# SNIMANJE PROMENE BRZINE SAOBRAĆAJNOG TOKA NA DVOTRAČNIM PUTEVIMA PRIMENOM GPS UREĐAJA

**Marijo Vidas<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, m.vidas@sf.bg.ac.rs

**Marina Milenković<sup>2</sup>**

<sup>2</sup> Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, marina.milenkovic@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** Uticaj pristupa (kontrole pristupa) na uslove u saobraćajnom toku na glavnom pravcu dvotračnih puteva predstavlja karakteristiku koja nije dovoljno ispitana na putevima u R. Srbiji. HCM i veliki broj istraživanja potvrđuje značaj uključivanja u analizu Nivoa Usluge i kapaciteta ukupnog broja pristupa po jedinici dužine (gustine pristupa). Usled velikog broja pristupa na deonicama dvotračnih puteva u našoj zemlji, posebno u blizini naseljenih mesta, postavlja se pitanje korišćenja inostranih iskustava bez provere kroz istraživanje u realnim uslovima. U ovom radu predstavljeno je snimanje promena brzine na glavnom pravcu sa posebnim osvrtom na situacije kada je ta promena direktna posledica manevra na pristupu. Snimanje podataka je obavljeno korišćenjem GPS uređaja koji se nalazio u vozilu kojim se aktivno učestvovalo u saobraćajnom toku a kao izlaz prikazani su grafici brzina-pređeni put za svaku vožnju.

**Ključne reči:** brzina saobraćajnog toka, GPS, pristup

**Abstract:** The impact of the access (access control) to the conditions in the traffic flow on the main direction of two-lane roads represents a characteristic that has not been examined enough on the roads in the Republic of Serbia. HCM and a large number of research confirm the importance of including the total number of access per unit of length (access density) in the analysis of the Level of service and capacity. Due to the large number of access on the sections of two-lane roads in our country, especially near settlements, raises the question of using foreign experience without verification through research in real conditions. This paper presents the recording of speed changes on the main direction, with a special emphasis to the situations when that change is a direct consequence of the maneuver on the access. Data recording was conducted using a GPS device that was in the vehicle which actively participated in the traffic flow and, as the output, graphics speed-distance traveled for each drive are shown.

**Key words:** speed, GPS, access

## 1. UVOD

Pristupi predstavljaju jednu od karakteristika dvotračnih puteva koja u našoj inženjerskoj praksi još uvek nije pronašla odgovarajuće mesto. Pristupi odnosno vozila koja obavljaju različite manevre vezane za sam pristup (ulivanje ili izlivanje) utiču na glavni pravac odnosno na uslove u saobraćajnom toku na istom. Inostrana literatura prepoznaje ovaj problem i na različite načine pokušava da utvrdi odnosno umanjiti ove uticaje. Najkorišćeniji priručnik za proračun kapaciteta i nivoa usluge – HCM uvodi u proračun poseban ulazni podatak: *gustinu pristupa*. Gustina pristupa predstavlja ukupan broj pristupa i sa desne i sa leve strane podeljen sa ukupnom dužinom posmatrane deonice.

Prikupljanje podataka o osnovnim parametrima saobraćajnog toka u realnim uslovima, odnosno istraživanje kako jedna karakteristika puta utiče na uslove u saobraćajnom toku, predstavlja problem sa kojim se susreću saobraćajni inženjeri. Automatski brojači saobraćaja nam omogućavaju realne podatke o saobraćajnim zahtevima i brzini vozila na posmatranom preseku puta.

U ovom radu će biti prikazano istraživanje na deonici dvotračnog puta IA-2, koje predstavlja osnovu za utvrđivanje uticaja pristupa, odnosno vozila koja izvode neki manevar vezan za pristup, na uslove u glavnom saobraćajnom toku. Uticaj pristupa na uslove u saobraćajnom toku nije predmet ovog rada, ovde će biti prikazana metodologija i dobijeni rezultati prilikom snimanja karakteristika puta i brzine.

Našu putnu mrežu, posebno dvotračne puteve, karakteriše haotična urbanizacija u neposrednoj blizini puta. Najvažniji putni pravci u blizini naselja ili pri prolasku kroz manja naseljena mesta imaju veliki broj pristupa, što uslovljava uvođenje rigoroznijeg ograničenja brzine nego što bi tom putu po njegovom rangu odgovaralo. U našoj zemlji od 2012. godine i uvođenja nove kategorizacije državnih puteva, odnosno podele na: državne puteve IA, IB i DP II reda ispunjen je prvi preduslov za ozbiljnije bavljenje ovom problematikom.

---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: Marijo Vidas, m.vidas@sf.bg.ac.rs

Novom kategorizacijom državnih puteva jasno su definisani uslovi koji moraju vladati na kom rangu puta. Nažalost upravo dvotračni putni pravci koji nose oznaku IA i IB zbog svoje značajnosti i položaja u putnoj mreži imaju izražen problem velikog broja pristupa i ograničenja brzine. Iz tog razloga kao predmetna deonica ovog istraživanja izabrana je deonica državnog puta IA 2 u neposrednoj blizini Beograda na prolasku kroz naselje Meljak.

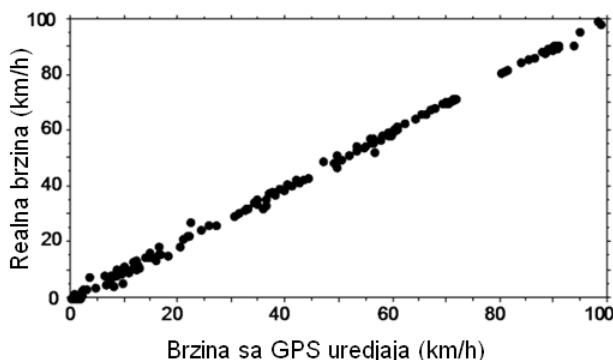
Kao metod istraživanja korišćeno je „plutajuće vozilo” opremljeno GPS uređajem, koje aktivno učestvuje u saobraćajnom toku. GPS uređaj je tako podešen da u svakoj sekundi beleži pređeni put i trenutnu brzinu vozila. Kao izlaz su dobijeni grafici zavisnosti brzine i pređenog puta, sa jasno naznačenim uslovima u saobraćajnom toku i uzrokom promene brzine. Promene brzine mogu biti posledica različitih uzroka ali u ovom istraživanju fokus je bio na manevre vezane za pristupe. Cilj ovog rada jeste predstavljanje korišćenja GPS uređaja u ispitivanju osnovnih parametara saobraćajnog toka.

## 2. PREGLED LITERATURE

Pre samog opisa istraživanja i dobijenih rezultata, upotrebljivost ove tehnologije (GPS) u saobraćajnim istraživanjima je dokazana kroz veliki broj radova.

GPS tehnologija i njena primena u prostornom pozicioniranju i praćenju vozila je dobro dokumentovana [1][2]. Osnovni izlazni podaci sa GPS uređaja su podaci o geografskoj dužini i širini, nadmorskoj visini plus i vreme kada su ti podaci snimljeni. Na osnovu toga je moguće doći do niza podataka o lokaciji u vremenskim intervalima manjim od jedne sekunde. Pored ovih osnovnih podataka sa GPS uređaja moguće je dobiti i još niz dodatnih podataka, a za nas najinteresantniji je podatak o trenutnoj brzini.

Postoje dva načina dobijanja podataka o brzini primenom GPS uređaja. Prvi metod je dobijanje brzine na osnovu razlike u poziciji. Ovo je moguće jer su svi podaci vezani i za tačno vreme kada su snimljeni, odnosno brzina se dobija deljenjem pređenog puta između uzastopnih GPS očitavanja sa odgovarajućom razlikom u vremenu (definisanim vremenskom intervalu u kojem uređaj beleži podatke). Ovaj način je moguć u svim slučajevima iz prostog razloga što svi GPS uređaji beleže vreme i poziciju. Drugi metod koji se koristi je upotreba GPS uređaja i odgovarajućeg protokola koji direktno daje podatke o brzini. Ovde se za dobijanje podataka o brzini koristi Doplerov efekat i ova očitavanja su nezavisna od proračuna pozicije. Glava razlika između ova dva metoda je tip brzine koji se dobija. Prema prvoj metodologiji dobija se prosečna brzina u vremenskom intervalu snimanja, dok u drugoj pošto su snimanja brzine i pozicije potpuno odvojena, odnosno za dobijanje brzine koristi se mnogo kraći vremenski interval, dobijena brzina predstavlja trenutnu brzinu. Ova dva metoda daju približne rezultate kada je interval snimanja u prvom slučaju dovoljno mali. Preciznost i pouzdanost ovako dobijenih podataka u proceni brzine proveravana je kroz niz eksperimenat u realnim uslovima (Slika 1.) [3].

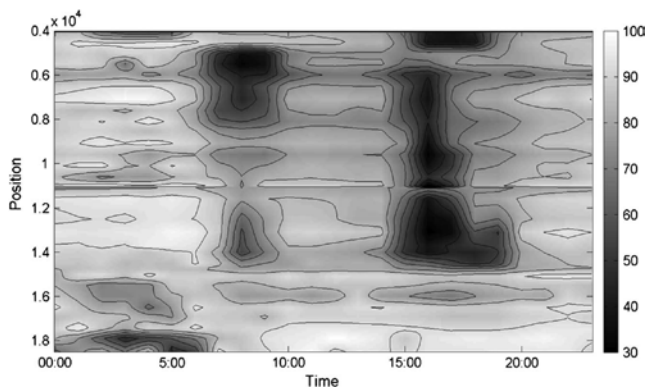


Slika 1. Poređenje brzine dobijene preko GPS-a i realne brzine [3]

GPS predstavlja jeftin i jednostavan alternativan metod za prikupljanje podataka korišćenjem metode pokretnog osmatrača. Mogu se dobiti podaci o lokaciji i brzini u vremenskim intervalima manjim od jedne sekunde, a ta prostorna komponenta GPS podataka omogućava direktno uključivanje u GIS za detaljniju analizu. Takođe prenosivost GPS uređaja omogućava značajne prednostu u odnosu na ugrađene uređaje. Oprema se lako i jednostavno može prebaciti iz jednog vozila u drugo, i koristiti u bilo kojoj kategoriji vozila od autovozova do motocikala. GPS predstavlja precizan mehanizam za prikupljanje realnih podataka o performansama putnog sistema [3].

U vozilima transportnih firmi, odnosno u komercijalnim vozilima, radi praćenja istih danas postoji GPS uređaj, nažalost u našoj zemlji postoji problem u njihovoj dostupnosti, tajnost podataka, za korišćenje u saobraćajnim analizama. U radu autora Bekhor et al. (2014) prikazana je upotreba takvih podataka u Izraelu, gde zbog pravila osiguravajućih kuća komercijalna vozila i deo privatnih automobila ima instaliran GPS uređaj.

Podaci su prikupljeni za deonicu autoputa u Tel Aviv-u, i poređeni su sa podacima dobijenim sa magnetnih detektora, i upravo poređenjem tih vrednosti potvrđena je dovoljna preciznost GPS u snimanju brzina. Na Slici 2. su prikazane prostorne varijacije izmerenih brzina, a zbog snimanja slobodnih brzina u analizama korišćeni su podaci od 22:00h do 06:00h [4].

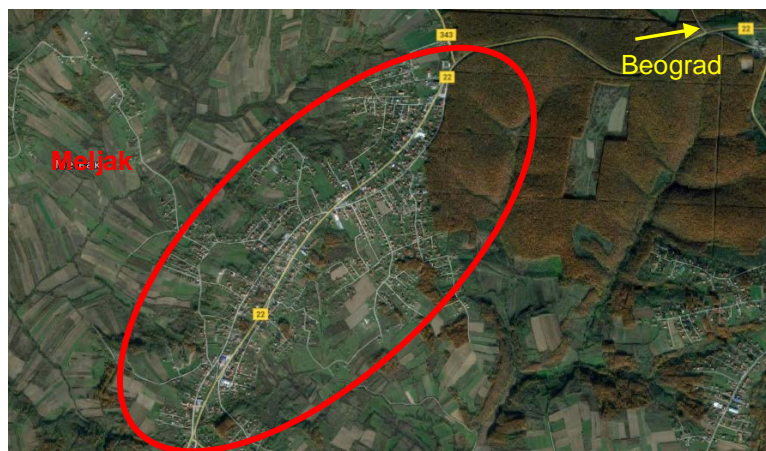


Slika 2. Prostorna varijacija izmerene brzine na Ayalon autoputu [4]

### 3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Da bi se snimila brzina saobraćajnog toka iskorišćena je ideja „plutajućeg vozila”, odnosno vozila istraživača koje se u potpunosti pokorava uslovima u saobraćajnom toku, odnosno kreće se brzinom kojom se kreće izabrana kolona vozila. U istraživanju odabrano je uključivanje vozila istraživača u kolonu vozila zbog veće verovatnoće da će neko vozilo skrenuti na neki od pristupa. Vozilo je opremljeno GPS uređajem Garmin koji je podešen da u svakoj sekundi beleži pređeni put i brzinu vozila, a na diktafonu je beležen koji je manevar bio u pitanju (uliv/izliv).

Kao deonica na kojoj je obavljeno istraživanje izabrana je deonica dvotračnog puta IA 2 Velika Moštanica – Vranić (Barajevo) (stara oznaka M -22), odnosno prolazak kroz naselje Meljak (Slika 3.). Posmatrana deonica predstavlja dobar primer uslova na dvotračnim putevima u R. Srbiji, odnosno haotične urbanizacije na najvažnijim državnim putnim pravcima. Ovi putni pravci zbog svog položaja i značaja u putnoj mreži predstavljaju svojevrzne generatore naseljenih mesta. Mnoga naselja koja su se nalazila u blizini istih vrlo brzo su svoj pravac daljeg širenja vezali upravo uz pomenute državne puteve zbog atraktivnosti i lakšeg pristupa. Direktna posledica jeste upravo veliki broj pristupa po jedinici dužine.



Slika 3. Položaj izabrane deonice  
Source: Google maps

Izabrana deonica prolazi kroz prigradsko naselje Meljak, koje pripada Beogradskoj opštini Barajevo. Prema popisu iz 2002 godine bilo je 1772<sup>2</sup> stanovnika (popis iz 2011 godine 2208<sup>3</sup> stanovnika). Naselje ima 588 domaćinstava, a prosečan broj članova domaćinstva je 3.1. Stepenn motorizacije za R. Srbiju je 3.998 stanovnika/PA ili 250 putničkih automobila na 1000 stanovnika.

Osnovna ideja preuzeta iz HCM-a jeste da svaki od pristupa možemo svrstati u jednu od kategorija: privatni (vode do privatnih domaćinstava, manje sabirne ulice), komercijalne i raskrsnice. Kao prvi korak istraživanja sniman je broj pristupa na posmatranoj deonici po smerovima. U smeru A (od Beograda) taj broj je 66 (Tabela 1), a u smeru B (ka Beogradu) je 45 (Tabela 2), odnosno ukupan broj pristupa na posmatranoj deonici je 111. Pored toga, GPS uređaj je iskorišćen za utvrđivanje tačnog položaja svakog pristupa, njegove širine, rastojanja do početka sledećeg pristupa i dodeljena mu je kategorija (Tabela 1 i 2). Izračunata je srednja vrednost širine pristupa i rastojanja između pristupa, standardno odstupanje i koeficijent varijacije za svaki smer (Tabela 3).

**Tabela 1. Spisak pristupa u smeru od Beograda (Smer A)**

Red. br.	Kategorija	Opis	Širina (m)
1	Raskrsnica		22
2	Komercijalni	stovarište	14
3	Stambeni	sabirna ulica	10
4	Komercijalni	restoran	41
5	Stambeni		9
6	Komercijalni	prodavnica	24
7	Komercijalni	stovarište	13
8	Stambeni	sabirna ulica	15
9	Komercijalni	prazan lokal	22
10	Stambeni		9
11	Stambeni		4
12	Komercijalni	restoran	23
13	Stambeni		6
14	Stambeni	sabirna ulica	8
15	Stambeni		4
16	Komercijalni	restoran	92
17	Stambeni		12
18	Stambeni		6
19	Stambeni		8
20	Stambeni		3
21	Stambeni		5
22	Komercijalni	prodavnica	31
23	Stambeni		6
24	Stambeni	sabirna ulica	10
25	Stambeni		7
26	Komercijalni	kamenorezac	18
27	Stambeni		5
28	Komercijalni	stovarište	22
29	Stambeni	sabirna ulica	11
30	Komercijalni	stovarište	36
31	Komercijalni	servis	22
32	Komercijalni	apoteka	17
33	Komercijalni	prodavnice	31

Red. br.	Kategorija	Opis	Širina (m)
34	Komercijalni	mesara Matijević	18
35	Komercijalni	zdrava hrana	11
36	Stambeni		8
37	Stambeni	sabirna ulica	37
38	Komercijalni	restoran	31
39	Komercijalni	vulkanizer	17
40	Stambeni		8
41	Komercijalni	kamenorezac	26
42	Stambeni		7
43	Stambeni		6
44	Komercijalni	stovarište	48
45	Komercijalni	prodavnica	15
46	Stambeni		6
47	Komercijalni	vulkanizer	50
48	Stambeni		8
49	Stambeni		5
50	Stambeni	sabirna ulica	4
51	Komercijalni	minimarket, restoran	84
52	Stambeni		6
53	Komercijalni	stovarište	12
54	Komercijalni	veterinar	25
55	Stambeni		6
56	Stambeni		15
57	Komercijalni	servis	21
58	Komercijalni	pogrebno	10
59	Komercijalni	teretana	22
60	Komercijalni	market AMAN	42
61	Komercijalni	stovarište	9
62	Stambeni	sabirna ulica	14
63	Komercijalni	prodavnica	11
64	Komercijalni	prodavnica	31
65	Komercijalni	prodavnica	9
66	Stambeni	sabirna ulica	18

<sup>2,3</sup> source: Republički zavod za statistiku, Republika Srbija

**Tabela 2.** Spisak pristupa u smeru ka Beogradu (Smer B)

Red. br.	Kategorija	Opis	Širina (m)
1	Raskrsnica		47
2	Raskrsnica		29
3	Stambeni		23
4	Komercijalni	pristup do firme i servisa	15
5	Komercijalni	sabirna stanovanje i firme	21
6	Komercijalni	vulkanizer	37
7	Stambeni		5
8	Komercijalni	pekara	67
9	Komercijalni	lokal za izdavanje	37
10	Komercijalni	restoran Era	24
11	Komercijalni	restoran Era	52
12	Stambeni		11
13	Stambeni		6
14	Stambeni		5
15	Stambeni		4
16	Stambeni		4
17	Komercijalni	starački dom	26
18	Stambeni		12
19	Stambeni		7
20	Stambeni		5
21	Komercijalni	lokal	5
22	Stambeni	sabirna ulica	9
23	Komercijalni	market IDEA	38

Red. br.	Kategorija	Opis	Širina (m)
24	Stambeni		12
25	Stambeni		9
26	Komercijalni	prodavnica	12
27	Komercijalni	robna kuća, firma	13
28	Raskrsnica		50
29	Komercijalni	kafe	35
30	Stambeni		6
31	Stambeni		7
32	Komercijalni	Servis	17
33	Stambeni		9
34	Stambeni		8
35	Stambeni		20
36	Stambeni		5
37	Stambeni		7
38	Stambeni		6
39	Komercijalni	motel, svečana sala	79
40	Stambeni		6
41	Komercijalni	lokal	21
42	Stambeni		5
43	Komercijalni	servis	15
44	Komercijalni	restoran, svečana sala	35
45	Raskrsnica		22

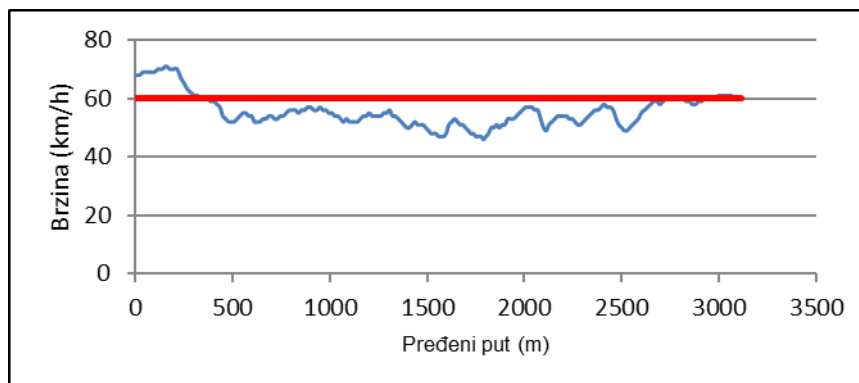
**Tabela 3.** Srednja vrednost širine pristupa i rastojanja između pristupa

Širina pristupa	Smer A	Smer B	Rastojanje između pristupa	Smer A	Smer B
Broj (N)	66	45	Broj (N)	66	45
Srednja vrednost (m)	18.27	19.73	Srednja vrednost (m)	29.77	50.73
Standardna devijacija (m)	16.81	17.76	Standardna devijacija (m)	49.51	50.51
Koeficijent varijacije	0.92	0.90	Koeficijent varijacije	1.66	1.00
	92.00%	90.01%		166.28%	99.55%

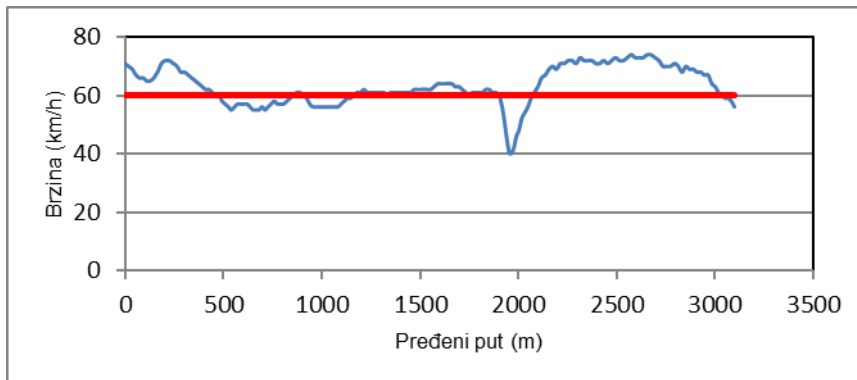
Iz prikazanih tabela možemo još zaključiti da pored haotične urbanizacije, sa aspekta broja pristupa, postoji još jedan problem a to je izostanak bilo kakve usaglašenosti između širina pristupa. Standardna devijacija za širinu pristupa u Smeru A je 16.81 metara a u Smeru B 17.76 metara.

#### 4. REZULTATI

U daljem tekstu biće prikazani primeri grafika promene brzine saobraćajnog toka na posmatranoj deonici. U toku istraživanja odrađeno je po 100 snimanja u svakom smeru (od Beograda i ka Beogradu).

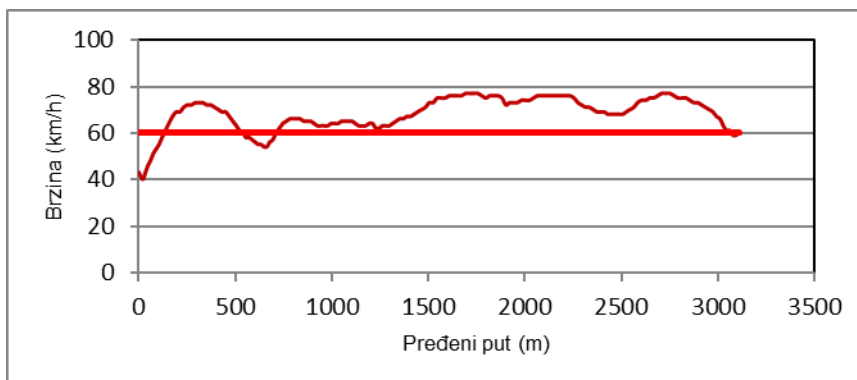
**Slika 4.** Vožnja u smeru od Beograda (Smer A) bez manevara vezanih za pristup

Na Slici 4. prikazana je jedna vožnja u smeru od Beograda (Smer A) u kojoj nije bilo manevara na pristupima. Ono što možemo primetiti jeste da je brzina na početku deonice veća od ograničenja brzine (crvena linija na grafiku), što se može objasniti prelaskom sa čisto vangradske deonice (prolazak kroz Lipovačku šumu), gde se vozi većim brzinama, na predmetnu deonicu kroz naselje Meljak.



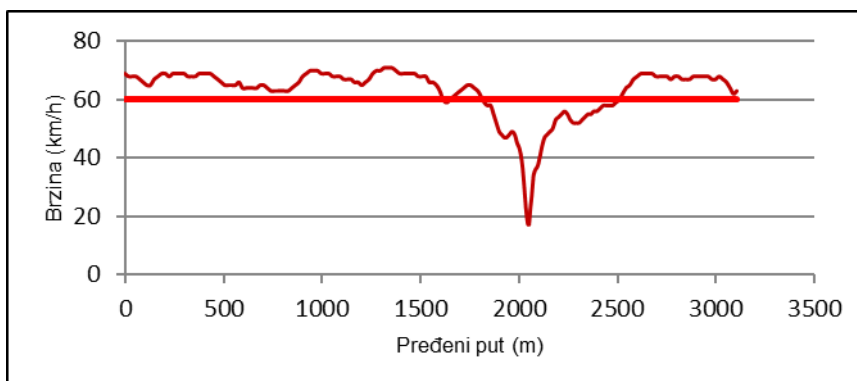
**Slika 5.** Vožnja u smeru od Beograda (Smer A) sa jednim maneuvrom vezanim za pristup

Na Slici 5. prikazana je promena brzine u smeri od Beograda (Smer A) kada u saobraćajnom toku imamo jedno vozilo koje se izlilo desno iz glavnog saobraćajnog toka. Taj manevar je prouzrokovao smanjenje brzine za nekih 20 km/h.



**Slika 6.** Vožnja u smeru ka Beogradu (Smer B) bez manevara vezana za pristup

Sa Slike 6. možemo primetiti promenu brzine u suprotnom smeru, odnosno ka Beogradu (Smer B). Ovde možemo primetiti da se na većem delu posmatrane deonice vozilo kretalo brzinom znatno iznad ograničenja brzine, gde su padovi brzine na početku i na kraju deonice posledica nailaska na raskrsnice, prva je skretanje za Barajevo a druga skretanje za Veliku Moštanicu.



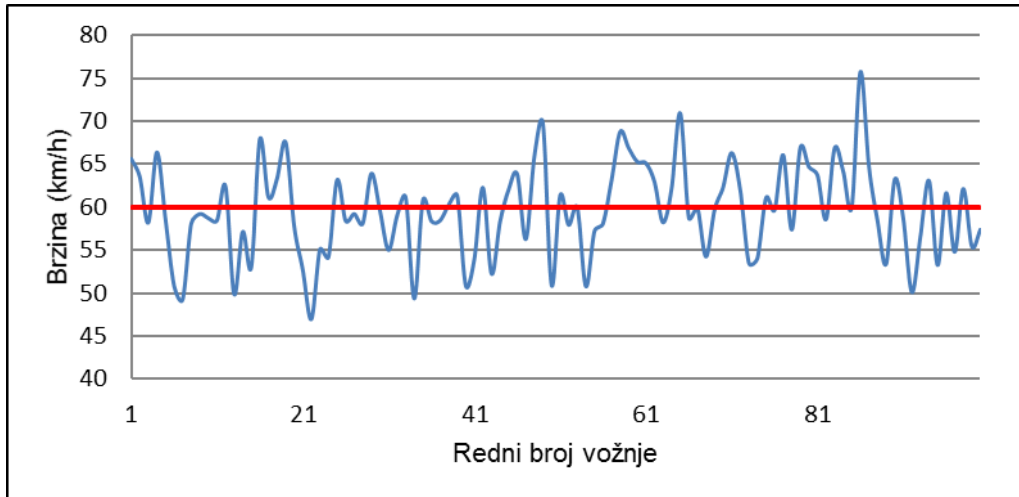
**Slika 7.** Vožnja u smeru ka Beogradu (Smer B) sa jednim maneuvrom vezanim za pristup

Na Slici 7. prikazana je situacija kada smo u saobraćajnom toku imali jedno vozilo koje se izliva levo iz glavnog saobraćajnog toka.

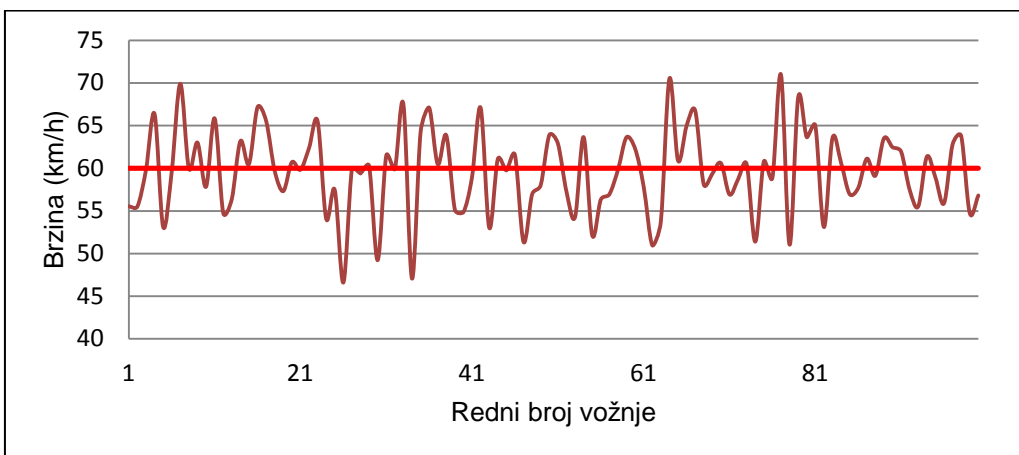


Leva skretanja su se pokazala kao najkritičnija sa aspekta smanjenja brzine, na Slici 7. smanjenje brzine je oko 40 km/h, ali nije bilo potpunog zaustavljanja saobraćajnog toka dok vozilo čeka bezbedno rastojanje sleđenja u suprotnom smeru.

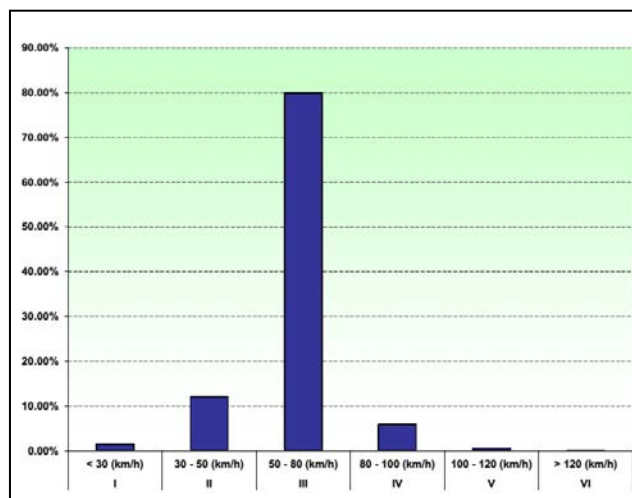
Na Slikama 8. i 9. prikazne su prosečne brzine za svaku vožnju u oba smera i njihov odnos sa ograničenjem brzine od 60 km/h.



**Slika 8.** Prosečne brzine za svaku vožnju u smeru ka Beogradu (Smer A)



**Slika 9.** Prosečne brzine za svaku vožnju u smeru od Beograda (Smer B)



**Slika 10.** Učešće vozila po klasama brzina ABS1002 Meljak  
Source: JP Putevi Srbije

Sa automatskog brojača saobraćaja ABS 1002 Meljak dobijena je vrednost prosečne brzine na posmatranoj deonici od 61 km/h, a na osnovu uzorka od 200 vožnji sa GPS uređajem prosečna vrednost brzine je 59.66 km/h.

## 5. ZAKLJUČAK

Na osnovu svega navedenog možemo zaključiti da GPS tehnologija ima svoje mesto u saobraćajnim istraživanjima, da li kroz izvođenje eksperimenata ili prikupljanja podataka iz drugih izvora (transportna preduzeća). Pored preciznosti u očitavanju brzine kretanja, dokazano kroz niz radova a i kroz predstavljeno istraživanje, najvažnija karakteristika dobijenih setova podataka je povezanost prostora (lokacije) i očitane vrednosti brzine. Kroz tako predstavljene rezultate možemo bolje sagledati i razumeti realne uslove u saobraćajnom toku na mreži puteva. Identifikovati koji delovi deonice indukuju određeno ponašanje vozača, odnosno gde voze brzinom ispod a gde brzinom većom od ograničenja. Podaci o brzinama dobijeni sa ABS-a, pored velikog uzorka, imaju nedostatak da su vezani za presek posmatrane deonice, dok preko GPS-a podaci dobijaju još jednu dimenziju - prostornu promenu brzina duž posmatrane deonice.

## Literatura

- [1] Leick, A. 1990. GPS Satellite Surveying, John Wiley and Sons, New York.
- [2] Hofmann-Wellenhof, B. 1993. Global Positioning System: Theory and Practice, SpringerVerlag, New York.
- [3] D'Este, G. M., Zito, R., and Taylor, M. A. P. 2002 . Using GPS to Measure Traffic System Performance in Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering, 14: 255-265.
- [4] Bekhor, S.; Lotan, T.; Gitelman, V.; and Morik, S. 2013. Free-Flow Travel Speed Analysis and Monitoring at the National Level Using Global Positioning System Measurements, Journal of Transportation Engineering, Vol. 139, No. 12: 1235-1243.

# ELEKTRONSKA NAPLATA PUTARINE KAO DEO ITS-A I ANALIZA INDIREKTNIH EFEKATA I KORISTI OD ENP ELECTRONIC TOLL COLLECTION AS PART OF ITS AND ANALYSIS INDIRECT EFFECTS AND BENEFITS OF THE ENP

Stanka Babić, dip. inž. saobr.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, Beograd, [stankababic02@gmail.com](mailto:stankababic02@gmail.com)

**Rezime:** Saobraćaj svojim funkcionisanjem utiče i izaziva niz pozitivnih neposrednih i posrednih efekata na privredu i društvo u celini. Međutim, saobraćaj je istovremeno i uzročnik mnogih neželjenih i štetnih posledica. Permanentno se nastoji da se te negativne posledice identifikuju i kvantifikuju, s ciljem preuzimanja odgovarajućih mera koje će da utiču na njihovo smanjenje. Kao jedna od tih mera jeste implementacija elektronske naplate putarine (ENP). Ova tehnologija je široko rasprostranjena i jedna je od glavnih istraživačkih tema ITS-a. Primena ove tehnologije ima značajne direktne i indirektno efekte i koristi u odnosu na manuelnu naplatu putarine. U ovom radu će se analizirati indirektni efekti i koristi i biće data komparativna analiza manualne i ENP tehnologije.

**Ključne reči:** elektronska naplata putarine (ENP), koristi, ITS, naplata putarine, životna sredina.

**Abstract:** The traffic affects their functioning and causes a number of positive direct and indirect effects on the economy and society as a whole. However, transport is also the cause of many unwanted and harmful consequences. Continuing effort is made to these negative consequences are identified and quantified, with the aim of taking the appropriate measures which will affect their reduction. As one of these measures is the implementation of electronic toll collection (ENP). This technology is widespread and is one of the main research topics of ITS. Application of this technology has significant direct and indirect effects and benefits compared to manual toll collection. This paper will analyze the indirect effects and benefits and will be given a comparative analysis of manual and ENP technology.

**Keywords:** electronic toll collection (ETC), benefits, toll collection, environment.

## 1. UVOD

Pored zadovoljavanja proizvodnih, ekonomskih i kulturnih potreba saobraćaj predstavlja bitnu komponentu privrede svake zemlje jer se njime zadovoljavaju i mnoge društvene potrebe. Zato je ulaganje u izgradnju i održavanje saobraćajne infrastrukture od velikog značaja i ima posledice koje utiču na društvo u celini (Hilden et al., 2004; Short i Cobb, 2005). Smanjenje troškova transporta je jedan od ključnih zadataka, pa veza između bilo koje dve zemlje ili grada treba da bude takva da skрати vreme putovanja, smanji zagušenja i poveća efikasnost i bezbednost na saobraćajnoj mreži. Pобољšanje efikasnosti sistema moguće je uz korišćenje savremenih tehnologija na saobraćajnoj mreži, a elektronska naplata putarine - ENP (Electronic Toll Collection-ETC) je jedna od njih. Elektronska naplata putarine je bezkontaktna naplata, pri kome vozila prolaze bez zaustavljanja ulaznom i izlaznom (naplatnom) saobraćajnom trakom i omogućava identifikaciju, klasifikaciju vozila i obradu transakcija (Lee et al., 2008, [9]). Cilj ovog rada je da prikaže koristi koje ENP pruža u odnosu na manuelnu naplatu putarine, s posebnim osvrtom na ekološki aspekt, a kroz prikaz različitih istraživanja sprovedenih u svetu koja su se bavila ovom temom.

## 2. PREGLED LITERATURE

Transport je postao od fundamentalnog značaja za svakodnevno funkcionisanje društva i privrede. Ipak, oslanjanje na motorizovani transport kao svakodnevne funkcije je suštinski doprinos globalnim klimatskim promenama. Mogućnost za odvajanje porasta saobraćaja od porasta emisije bi bila slaba, s obzirom da se 95% energije koja se koristi u saobraćaju dobija sagorevanjem fosilnih goriva. Minimiziranje emisije štetnih gasova iz automobila se može postići promovisanjem korišćenja manje zagađujućih opcija: pešačenje, bicikl, javni prevoz. Tehnološke promene igraju sve veću ulogu u smanjenju emisije gasova koje potiču od saobraćaja. Automobil proizveden danas emituje manje CO<sub>2</sub> od automobila proizvedenih pre deset godina (DfT- Department for Transport, 2004a, [4]). Pored toga, Sperling, 2003 i MacLean, 2004 smatraju da su biogoriva, prirodni gas, vodonik i elektromotori vredni razmatranja [14], [10]). Energija može biti spašena ekološkom vožnjom koja

---

<sup>1</sup> Stanka Babić, student Master akademskih studija: [stankababic02@gmail.com](mailto:stankababic02@gmail.com)

uključuje izbegavanje naglih ubrzanja i kočenja (SDC-Sustainable Development Commission, 2006). Ozan et al. 2011, su utvrđivali emisiju CO<sub>2</sub> na ruralnim putevima u Turskoj i njihovi rezultati su pokazali da je smanjenje emisije CO<sub>2</sub> pod uticajem novih tehnologija vozila [12]. Nadalje, Marrow et al., (2010) smatraju da uticaj saobraćajne politike utiče na smanjenje emisija, odnosno povećanje taksi na gorivo, putarine ili poreza za kupovinu novih vozila [11].

S druge strane brojna istraživanja su vršena da bi se utvrdilo koje su korisiti koje pruža elektronska naplata putarine u odnosu na manuelnu naplatu putarine - MNP (Manual Toll Collection-MTC) sa ekološkog aspekta. Pa tako, Coelho et al. (2005) su se bavili uticajem naplatnih objekata na emisiju CO na gradskim koridorima u Lisabonu. Otkrili su da je 99% emisije CO povezano sa ubrzanjem koje se ostvaruje nakon napuštanja naplatne stanice i utvrdili da se može ostvariti 61-80% smanjenja CO pomoću potpunog prelaska sa MNP na ENP [3]. Perez-Martínez et al. (2011) su objasnili da je potrošnja energije i emisija CO<sub>2</sub> usko povezana sa masom vozila, efikasnošću motora i ubrzanjem, ali i da tip sistema koji se koristi za naplatu putarine može imati veliki uticaj na potrošnju energije i emisiju CO<sub>2</sub> [13]. U New Jersey-u (Bartin et al., 2007) su na osnovu prikupljenih podataka između 1999. i 2005. godine ispitivali smanjenje zagađenja vazduha pre i nakon primene ENP. Rezultati su pokazali da su ukupna smanjenja emisije ugljen monoksida (CO), ugljovodonika (HC), azotnih oksida (NOx) i čestica (PM<sub>10</sub>) 10,1%, 11,2%, 3,4% i 13%, respektivno, nakon primene ENP [1]. S druge strane (Song et al., 2008) su u Pekingu sprovedli eksperiment na terenu, a vozilo koje su izabrali je bilo Volkswagen Jetta: Vozilo je prošlo kroz 48 naplatne stanice, a prikupljali su ujedno i emisije i brzine kretanja vozila istovremeno za MNP i ENP koristeći prenosivi sistem za merenje emisije (PEMS - portable emission measurement system). Rezultati su pokazali da su prosečne emisije NOx, HC i CO bile manje za 16,4%, 71,2% i 71,3%, respektivno na ENP trakama u odnosu na MNP trake [15].

### **3. KOMPARATIVNA ANALIZA ELEKTRONSKE I MANUELNE NAPLATE PUTARINE**

Kao jedan od najčešće korišćenih podсистема inteligentnih transportnih sistema (Intelligent Transport Systems-ITS), elektronska naplata putarine značajno poboljšava kapacitet autoputa na naplatnim rampama, smanjuje zagušenja, dovodi do povećanja brzina i efikasnosti saobraćajnog toka, a samim tim poboljšava Nivo Usluge na naplatnim rampama. Vreme obavljanja transakcije je kraće, jer ENP eliminiše potrebu za ručnim plaćanjem, omogućava efikasniju naplatu putarine i otklanjanja eventualne ljudske greške, dok se kod ručne naplate putarine zahteva veliki broj operacija, zaustavljanje vozila, otvaranje prozora ili vrata, pronalaženje gotovine itd. Pored toga omogućava smanjenje operativnih troškova jer je potreban manji broj službenika prilikom naplate i eliminiše se održavanje naplatnih kućica (Chaudhary, 2003 [2]).

Očigledne su prednosti ENP u odnosu na manuelnu naplatu putarine, kako u poboljšanju uslova u saobraćaju tako i u smanjenju uticaja na životnu sredinu. Saobraćajna sredstva na različite načine i u različitoj meri stvaraju određene ekološke probleme sa manjim ili većim posledicama, koje se mogu posmatrati sa dva aspekta: emisija iz vozila (ugljovodonik, ugljen monoksid i oksida azota) i potrošnja goriva (Weng et al., 2015, [16]). Povećana potrošnja goriva dovodi do povećanja zagađenja vazduha, zdravstvenih problema i ekoloških šteta. Naročito je zdravlje radnika ugroženo zbog izlaganja izduvnim gasovima iz vozila. Utvrđeno je da je učestalost bolesti gornjih disajnih puteva radnika na naplatnoj stanici veći nego kod drugih ljudi, zbog lošeg kvaliteta vazduha uzrokovanog emisijom izduvnih gasova iz vozila (Huang et al., 2006b [6]).

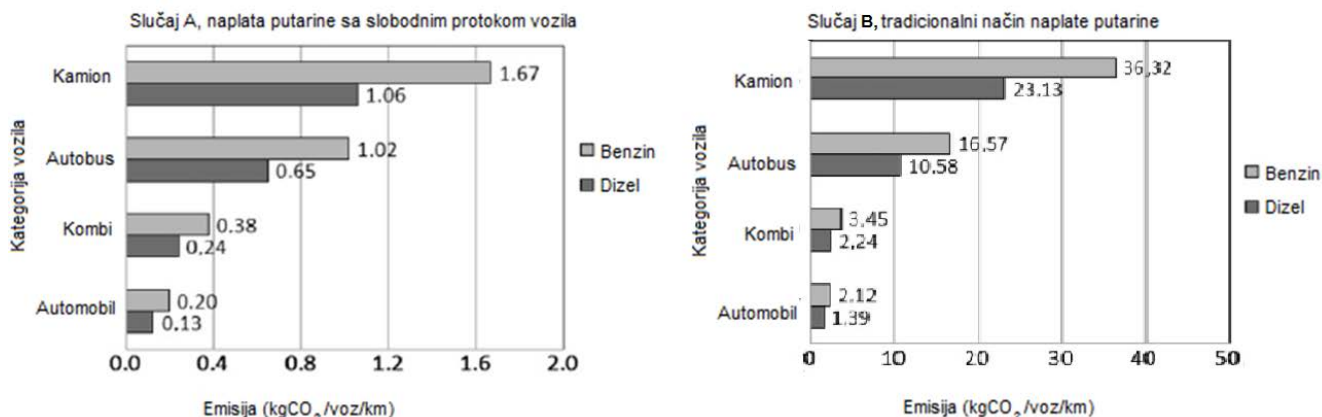
Uticaj ENP sistema na zaštitu životne sredine je mnogo teško odrediti u odnosu na uticaj ENP na parametere saobraćaja (zagušenje, kašnjenje, kapacitet, bezbednost). Razlog tome je taj što uticaj na životnu sredinu zavisi od različitih parametara (od tipa vozila, brzine kretanja, protoka i dužine reda). Međutim, naučno ocenjivanje uticaja ENP sistema na zaštitu životne sredine je od suštinske važnosti za ex-post analizu ENP sistema, a takođe pruža važne instrukcije za određivanje budućeg razvoja ENP strategija (Weng et al., 2015 [16]).

### **4. KORISTI ENP U ODNOSU NA MNP SA EKOLOŠKOG ASPEKTA**

Perez-Martínez et al., (2011) su prikazali komparativnu analizu između naplate sa slobodnim protokom vozila (free-flow tolling) i tradicionalne naplate putarine u Španiji. Odabrali su mehanički model i koristili su ga za ocenu emisije CO<sub>2</sub> i zahteva za energijom na putu pri različitim sistemima naplate putarine. Ovaj tip mehaničkog modela se u velikoj meri koristi u istraživanjima transporta (Burgess et al., 2003; Lai et al., 2005; Lutsey et al., 2005; Zachariadis et al., 2001) koji uzima u obzir otpor kotrljanja, otpor vazduha, inercijalne i gravitacione

gubitke [13]. Model je primenjen na delu autoputa AP-41 između Toleda (82.291 stanovnika) i Madrida (3.255.944 stanovnika) i predstavlja alternativni put autoputu A-4, koji povezuje južnu Španiju sa Madridom.

Na Slici 1a i 1b prikazana je emisija ugljen-dioksida ( $\text{kgCO}_2/\text{voz/km}$ ) za kategorije vozila (kamion, autobus, kombi i automobil) za naplatu putarine sa slobodnim protokom vozila i tradicionalnu naplatu putarine. Pored toga prikazana je i razlika u emisiji  $\text{CO}_2$  za benzin i dizel motore za ove dve vrste naplate putarine.



**Slika 1a.** Emisija  $\text{CO}_2$  kod naplate putarine sa slobodnim protokom vozila; **1b.** Naplata putarine sa zaustavljanjem kod koje postoje tri koraka: usporavanje, zaustavljanje i ubrzanje

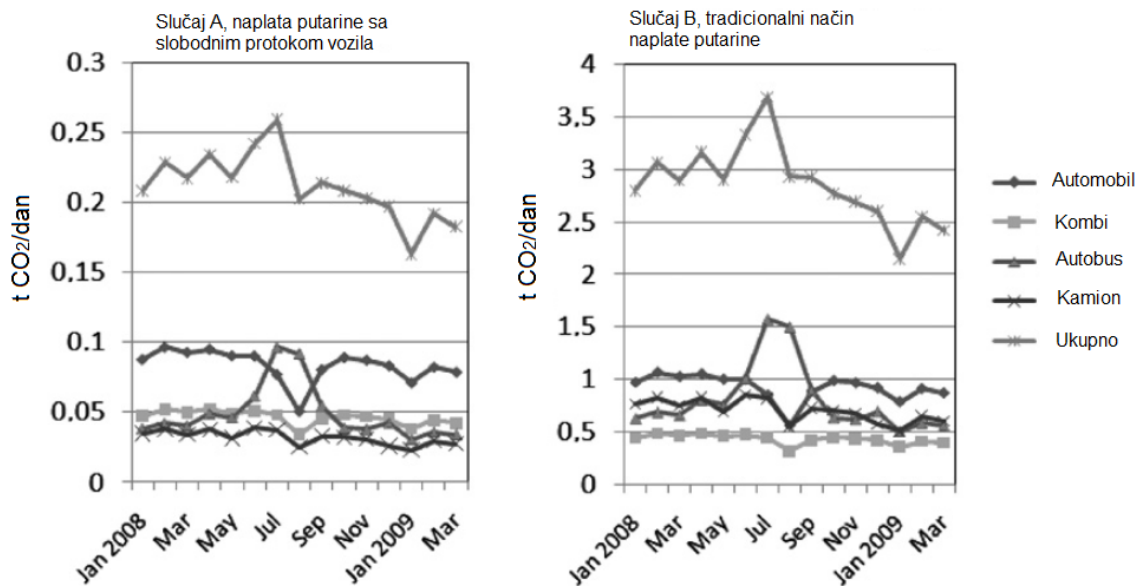
Izvor: (Perez-Martínez, P.J., Ming, D., Dell'Asin, G., Monzon A. 2011. Evaluation of the influence of toll systems on energy consumption and  $\text{CO}_2$  emissions: A case study of a Spanish highway. Centro de Investigación del Transporte, Universidad Politécnica de Madrid. Spain [13].)

Kod tradicionalne naplate putarine vozilo se zaustavlja, odnosno postoje tri koraka: usporavanje, zaustavljanje i ubrzanje. Vozilo ima tri minuta pauze pri naplati putarine tokom kojih nastavlja da troši gorivo i emituje  $\text{CO}_2$ . Za dizel i benzinske motore stopa emisija  $\text{CO}_2$  je 0,05 i 0,06  $\text{kg}/\text{min}$ , respektivno (Fuzzi et al., 2006, [5]). Kao rezultat toga, pauza u slučaju B doprinosi sa 0,15  $\text{kg}$  i 0,17  $\text{kg}$  od ukupnih emisija  $\text{CO}_2$ .

Očigledno je da masa vozila utiče na emisiju  $\text{CO}_2$ , jer teška vozila kao što su zglobni kamioni emituju čak 8 puta više  $\text{CO}_2$  od putničkog automobila. Pored toga, tip motora značajno utiče na emisiju  $\text{CO}_2$  posebno kod kamiona i autobusa. S obzirom na manji broj zaustavljanja kod naplate putarine sa slobodnim protokom vozila u odnosu na naplatu putarine sa zaustavljanjem primećuje se značajna razlika u emisiji  $\text{CO}_2$  po svim kategorijama vozila, a najveća razlika se primećuje kod kamiona (benzin motor) gde je 1,67  $\text{kgCO}_2/\text{voz/km}$  kod naplate putarine sa slobodnim protokom vozila, dok kod naplate putarine sa zaustavljanjem iznosi 36,32  $\text{kgCO}_2/\text{voz/km}$ .

Na Slici 2a je prikazana količina dnevne emisije  $\text{CO}_2$  za naplatu putarine sa slobodnim protokom vozila, dok je na Slici 2b prikazana količina dnevne emisije  $\text{CO}_2$  kod tradicionalne naplate putarine po kategorijama vozila (kamion, autobus, kombi i automobil) i ukupna dnevna emisija za sve kategorije vozila.

Slika 2a i 2b prikazuje značajne razlike emisija  $\text{CO}_2$  između ova dva scenarija po kategoriji vozila u periodu od januara (2008) do marta (2009). Evidentno je da je u slučaju B mnogo veća emisija  $\text{CO}_2$  u odnosu na slučaj A za sve vrste vozila. Preko cele godine putnička vozila imaju veću odgovornost za emitovanje  $\text{CO}_2$ , uprkos njihovoj niskoj stopi emisije  $\text{CO}_2$  po kilometru. Sva vozila imaju manje dnevne emisije tokom letnjeg perioda, izuzev autobusa koji u periodu maj-jul imaju najviše emisije  $\text{CO}_2$  zbog letnje turističke sezone na relaciji Toledo-Madrid. Procenjuje se da je emisija  $\text{CO}_2$  u 2008. godini pri naplati putarine slobodan protok vozila 80,1t, dok je kod tradicionalne naplate putarine 1087,7t.



**Slika 2a.** Dnevna emisija CO<sub>2</sub> kod naplate putarine bez zaustavljanja vozila slobodan tok; **2b.** Naplata putarine sa zaustavljanjem kod koje postoje tri koraka: usporavanje, zaustavljanje i ubrzanje  
 Izvor: (Perez-Martínez, P.J., Ming, D., Dell'Asin, G., Monzon A. 2011. Evaluation of the influence of toll systems on energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions: A case study of a Spanish highway. Centro de Investigación del Transporte, Universidad Politecnica de Madrid. Spain [13].)

Weng et al. (2015) su u Pekingu (11.510.000 stanovnika) sproveli istraživanje slično istraživanju koje je rađeno u Španiji, s tim što su se bavili i uštedom goriva. Cilj istraživanja je bio da se utvrdi emisija izduvnih gasova iz vozila i ušteda goriva. Ovo istraživanje je sprovedeno na terenu pomoću sistema za testiranje emisija od vozila (Vehicle Emissions Testing System-VETS), koje je prikazano na Slici 3. Testiranje ENP sistema u Pekingu je pokrenut od 1. maja 2009. godine. do decembra 2013. godine, a postojalo je više od 412 ENP traka i 1.154 miliona ENP korisnika.

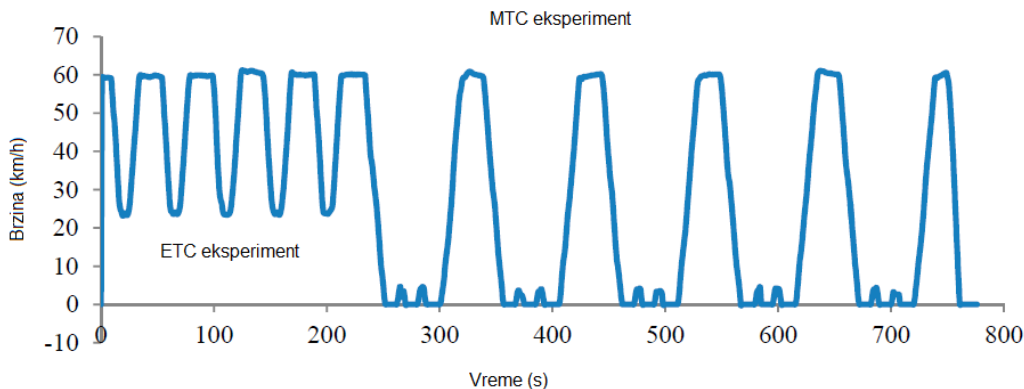


**Slika 3.** Vozilo radi pomoću sistema za testiranje emisija od vozila (VETS)

Izvor: (Weng, J., Wang, R., Wang, M., Rong, J. 2015. Fuel consumption and vehicle emission models for evaluating environmental impacts of the ETC System. Beijing key laboratory of traffic engineering, Beijing University of Technology [16].)

Da bi se izmerila potrošnja goriva i emisija različitih tipova vozila koji prolaze kroz trake ENP i MNP, u eksperimentu je korišćeno sedam tipova vozila: Volkswagen Audi A6L, Ford FIESTA, Chevrolet EPICA, Refine Business, Citroen C5, Volkswagen PASSAT i Nissan TEANA. Pored toga, neophodno je bilo utvrditi i zavisnost brzine i ubrzanja vozila u odnosu na približavanje naplatnoj stanici.

Na Slici 4 je prikazan simuliran proces putovanja za jednu vrstu vozila i način na koji se menja brzina vozila kod ENP i MNP s obzirom na približavanje naplatnoj tački.



**Slika 4.** Vreme-brzina za jedno eksperimentalno vozilo kod ENP i MNP

Izvor: (Weng, J., Wang, R., Wang, M., Rong, J. 2015. Fuel consumption and vehicle emission models for evaluating environmental impacts of the ETC System. Beijing key laboratory of traffic engineering, Beijing University of Technology [16].)

Rezultati koji su se dobili ovim istraživanjem su potrošnja goriva i emisija za sedam tipova vozila kada koriste ENP i potrošnja goriva i emisija za sedam tipova vozila kada je dužina reda za čekanje 0,1 i 2 vozila kod MNP. S obzirom na to, u Tabeli 1 je prikazana emisija izduvnih gasova iz vozila (HC, CO, NO<sub>x</sub>) i smanjenje potrošnje goriva po godinama u periodu od 2009 do 2013. godine.

**Tabela 1.** Koristi za životnu sredinu od primene ENP u Pekingu (2009-2013)

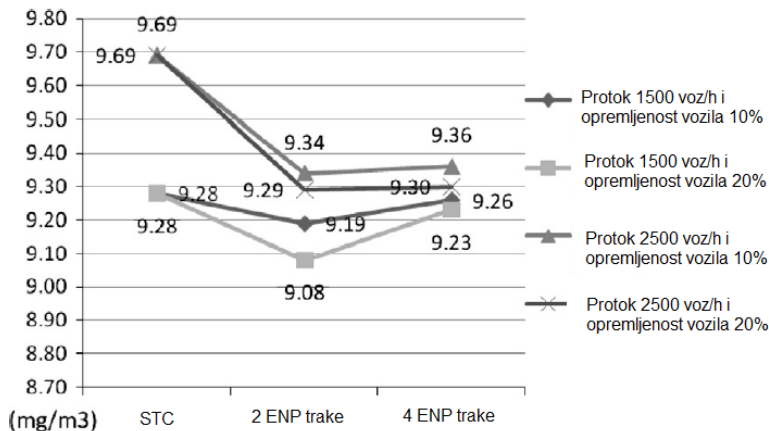
Godina	Ušteda goriva (L)	Smanjenje emisije HC (kg)	Smanjenje emisije CO (kg)	Smanjenje emisije NO <sub>x</sub> (kg)
2009	726.500	15.615,30	107.664,33	6.186,89
2010	1.654.000	35.550,42	245.113,04	14.085,32
2011	2.715.900	58.374,40	402.479,74	23.128,34
2012	3.317.000	71.294,14	491.558,79	28.247,23
2013	4.101.500	88.155,44	607.814,05	34.927,79
Ukupno	12.514.900	268.989,7	1.854.629,95	106.575,57
Ukupno smanjenje emisije izduvnih gasova za pet godina 2.230.195,22 (2230,20t)				

Izvor: (Weng, J., Wang, R., Wang, M., Rong, J. 2015. Fuel consumption and vehicle emission models for evaluating environmental impacts of the ETC System. Beijing key laboratory of traffic engineering, Beijing University of Technology [16].)

Kao što rezultati u Tabeli 1 pokazuju, uzimajući Peking kao primer, očekuje se da će ENP sistem da uštedi potrošnju goriva od 4.101.500 l, a smanjiti emisiju izduvnih gasova za 730,89 t u 2013. godini. Ukupno za ovih 5 godina (2009. g. – 2013. g.) biće uštedeno 12.514.900 l goriva, a emisija izduvnih gasova iz vozila će biti smanjena za 2230,20 t.

He et al. (2007) su sprovedli istraživanje u Kini, autoput Hefej-Nanjing i prikazali kako se menja emisija CO u odnosu na povećanje protoka vozila i opremljenosti vozila ENP. Koristeći podatke o protoku vozila, broju i konfiguraciji ENP traka, kao i podatke o procentu opremljenosti vozila, nivoi emisije polutanta su proračunati i nekoliko 3D kompjuterskih simulacija dinamike fluida (3D Computational Fluid Dynamics – CFD) za disperziju polutanta je sprovedeno upotrebom kompjuterskog programa FLUENT.

Na osnovu toga prikazani su rezultati emisije CO za slučajeve: polu-automatske naplate (Semi-Automatic Toll collection-STC) i ENP naplate: sa dve ili četiri trake i 10% ili 20% opremljenosti vozila. Uzimana je u obzir i veličina protoka od 1500 voz/h i 2000 voz/h, a rezultati ovog istraživanja su dati na Slici 5.



**Slika 5.** Zavisnost emisije CO u odnosu na različite naplate putarine, opremljenost vozila i protok (Kina, 2007.g.)  
 Izvor: (He, J., Qi, Z., Hang, W., King, M., Zhao, C. 2009. Numerical evaluation of pollutant dispersion at a toll plaza based on system dynamics and Computational Fluid Dynamics models. Transportation College, Nanjing, China [7].)

Za isti protok od 1500 voz/h i istim procentom opremljenosti vozila (ENP sa dve ili četiri trake-20%), prosečna koncentracija CO je najniža kada postoje dve ENP trake. Ista situacija je i kada je opremljenost vozila 10%, a protok takođe 1500 voz/h. Prosečna koncentracija je odprilike ista kod ENP sa četiri trake i kada se koristi STC, a postoji jasna prednost ENP sa dve trake u pogledu koncentracije CO (9,08mg/m<sup>3</sup> – kada je opremljenost vozila 20%, odnosno 9,19 mg/m<sup>3</sup> kada je opremljenost vozila 10%). Generalno, koncentracije CO su niže kod ENP sa dve trake u odnosu na ENP sa četiri trake, zbog kraćeg vremena putovanja, koje objašnjeno u Tabeli 2. Kada postoji ENP sa četiri umesto sa dve trake, ENP sa četiri trake su nedovoljno iskorišćene zbog niskog udela opremljenosti vozila. Prema tome, prosečno vreme putovanja za vozila koja nisu opremljena je veća pa su prosečne koncentracije zagađujućih materija veće nego na ENP sa dve trake.

Kada je protok 2500 voz/h i opremljenost vozila 20%, prosečne koncentracija CO kod ENP sa dve i četiri trake su veoma slične, a i jedna i druga su niže u odnosu na STC. Ista situacija je i kada je protok 2500 voz/h i opremljenost vozila 10%.

Takođe se može videti da se kod ENP sa dve i ENP sa četiri trake koncentracija CO smanjuje kako se povećava procenat opremljenosti vozila sa 10% na 20%. Smanjenje emisije CO kod ENP sa četiri trake je sa 9,36 mg/m<sup>3</sup> na 9,30 mg/m<sup>3</sup>, dok je smanjenje kod ENP sa dve trake sa 9,34 mg/m<sup>3</sup>, na 9,29 mg/m<sup>3</sup>.

Rezultati vremena putovanja kod STC naplate i ENP naplate sa različitim procentima opremljenosti vozila, za različite vrednosti protoka prikazani su u Tabeli 2.

**Tabela 2.** Vreme putovanja u zavisnosti od različitih naplata putarine, opremljenosti vozila i protoka (Kina, 2007.g.)

Prosečno vreme putovanja za dve vrste naplate putarine (s)					
Protok (voz/h)	Polu-automatska naplata putarine	ENP naplata putarine sa 10% opremljenosti vozila		ENP naplata putarine sa 20% opremljenosti vozila	
		2 ENP trake	4 ENP trake	2 ENP trake	4 ENP trake
	STC traka				
1500	38,77	38,44	42,75	33,04	34,89
2000	192,80	181,01	246,13	72,20	115,09

Izvor: (He, J., Qi, Z., Hang, W., King, M., Zhao, C. (2009). Numerical evaluation of pollutant dispersion at a toll plaza based on system dynamics and Computational Fluid Dynamics models. Transportation College, Nanjing, China [7].)

Iz Tabele 2 se može zaključiti da je prosečno vreme putovanja najkraće kada postoje ENP sa dve trake i da se prosečno vreme putovanja smanjuje kako se opremljenost vozila povećava sa 10% do 20%. Kada je opremljenost vozila 10%, prosečno vreme putovanja je kraće kod ENP sa dve trake u odnosu na ENP sa četiri



trake. To je zato što su četiri trake nedovoljno iskorišćene i vreme putovanja vozila koja nisu opremljena je produženo jer imaju na raspolaganju manji broj STC traka.

Kada je procenat opremljenosti vozila povećan na 20%, ova slika se menja. Slučaj ENP sa dve trake nastavlja da pruža najkraće vreme putovanja, ali slučaj ENP sa četiri trake daje znatno kraće vreme putovanja (posebno kada je 2500 voz/h), nego u slučaju STC. Sa većim procentom opremljenosti vozila, povećana je upotreba ENP traka i poboljšan kapacitet naplatne stanice, pa se i prosečno vreme putovanja smanjuje.

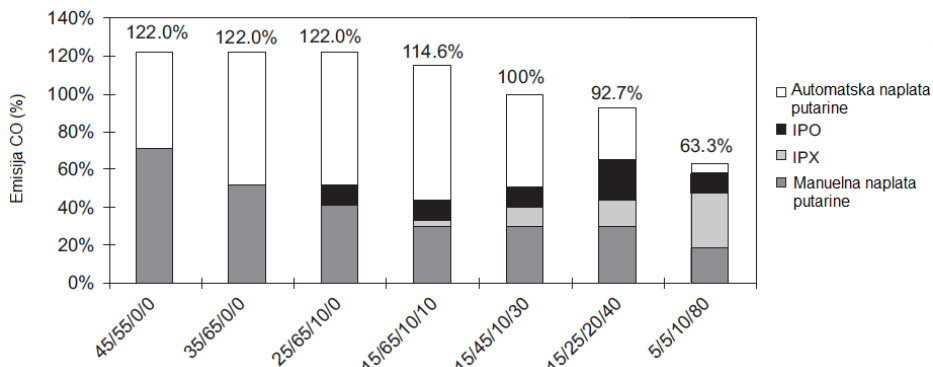
U Čikagu se ulažu veliki napori da se poboljša kvalitet vazduha i smanji zagađenje vazduha od izduvnih gasova iz vozila, s obzirom da u ovom gradu vozila učestvuju sa 75% od ukupnih emisija (U.S. Environmental Protection Agency, 2006). Lin and Yu (2006) su utvrđivali procenu kvaliteta vazduha koja uključuje analizu CO za sedam scenarija naplatne putarine. Vrste naplate putarine koje su u ovom istraživanju uzete u obzir je manuelna naplata putarine, automatska naplata putarine-davanje tačne novčanog vrednosti za putarinu, IPO i IPX (ORT) naplata putarine. U Čikagu se sistem ENP zove I-PASS, koji može biti IPO (I-PASS only) i IPX (I-PASS express). IPO trake i dalje zahtevaju značajno usporenje vozila, dok kod IPX postoje tzv. "brze trake" i omogućene su mnogo veće brzine nego kod IPO traka. Ukupan protok je fiksiran na 1000 voz/h za sve scenarije, a scenariji naplate putarine su prikazani u Tabeli 3.

**Tabela 3. Sedam vrsta naplate putarine**

Scenarijo	Manuelna naplata putarine (%)	Automatska naplata putarine-davanje tačnog novčanog iznosa (%)	IPO (%)	IPX (%)
45/55/0/0	45	55	0	0
35/65/0/0	35	65	0	0
25/65/10/0	25	65	10	0
15/65/10/10	15	65	10	10
15/45/10/30	15	45	10	30
15/25/20/40	15	25	20	40
5/5/10/80	5	5	10	80

Izvor: (Lin, J., Yu, D. 2006. *Traffic-related air quality assessment for open road tolling highway facility*. Department of civil and materials engineering, Institute of environmental science and policy, University of Illinois at Chicago, Chicago [8].)

Tabela 3 pokazuje da prva dva scenarija podrazumevaju tradicionalni način plaćanja, s tim što se kod automatske naplate putarine zahteva davanje tačnog novčanog iznosa. Sistem naplate putarine koji je bio uspostavljen na mreži prilikom istraživanja je 15% manuelna, 45% automatska, 10% IPO i 30% IPX naplate putarine. Ono što je bio cilj je da se 2010. godine uspostavi naplata putarine sa po 5% manuelne i automatske naplate, 10% IPO, dok bi najveći procenat naplate putarine bio IPX-80%. Upoređivanjem ovih scenarija izvršena je analiza CO i rezultati su dati na Slici 6.



**Slika 6. Zavisnost emisije CO u odnosu na različite naplate putarine**

Izvor: (Lin, J., Yu, D. 2006. *Traffic-related air quality assessment for open road tolling highway facility*. Department of civil and materials engineering, Institute of environmental science and policy, University of Illinois at Chicago, Chicago [8].)

Može se zaključiti da se ostvaruje smanjenje CO za oko 29,3%, ako se sa konvencionalnih načina plaćanja putarine (manuelna i automatska) pređe na 20% IPO i 40% IPX, što doprinosi značajnom poboljšanju kvaliteta vazduha. Cilj ovog istraživanja je pored prikaza uticaja različitih sistema naplate na emisiju CO, bio da se pokaže koji je to budući sistem naplate putarine koji može doprineti poboljšanju zaštite životne sredine u Čikagu. S obzirom na to prikazano je koje vrste naplate putarine mogu zameniti postojeću naplatu putarine (sistem naplate:15/45/10/30) i kakav je njihov doprinos zaštiti životne sredine. Kada bi se prešlo na naplatu putarine 20% IPO i 40% IPX smanjila bi se emisija za 7,3% CO, a u slučaju kada bi 90% naplate putarine bilo I-PASS (80% IPX i 10% IPO), emisija bi se smanjila 36,7% u odnosu na naplatu putarine koja je postojala kada je istraživanje sprovedeno.

## 5. ZAKLJUČAK

Elektronska naplata putarine u odnosu na manuelnu naplatu putarine ima određene prednosti sa opšte društvenog i komercijalnog aspekta. Cilj ovog rada je bio da se analiziraju indirektni koristi ENP sa opšte društvenog aspekta. U radu je pokazano da pored direktnih koristi (ušteda u vremenu putovanja, potrošnji goriva, itd.) elektronska naplata putarine ima i indirektni koristi (smanjenje emisije štetnih materija, buke, itd.), koje takođe treba uzeti u obzir prilikom donošenja različitih odluka vezanih za sisteme za naplatu putarine. U radu su veoma detaljno prikazane metode prikupljanja i obrade podataka, kao i najvažniji rezultati do kojih se došlo u dosadašnjim inostranim istraživanjima. Trenutno je jako teško kvantifikovati ove efekte u Srbiji, ali možda u nekom budućem periodu i to bude moguće. Ovaj rad će svakako predstavljati dobru osnovu za neka buduća istraživanja u lokalnim uslovima.

## Literatura

- [1] Bartin, B., Mudigonda S., Ozbay, K. (2007). Impact of electronic toll collection on air pollution levels-estimation using microscopic simulation model of large-scale transportation network, *Transp. Res. Rec.* 2011, 68-77.
- [2] Chaudhary, R. H. 2003. A model for the benefits of electronic toll collection system, University of South Florida.
- [3] Coelho, M., Farias, T., Roupail, N., (2005). Measuring and modeling emission effects for toll facilities, *Transp. Res. Rec.* 1941, 134-144.
- [4] DfT, 2004a. The Future of Transport, A Network For 2030. UK Department for Transport, Crown Copyright 2004, 140pp.
- [5] Fuzzi, F., Cocco, I., Bassoli, N., Grassi, A. 2006. L'inquinamento alle code dei caselli autostradali. Università di Bologna.
- [6] Huang, Z.N.; Pan, J.C.; Wu, Y.J.; Huang, C.Y. (2006). Investigation on health effect of indoor air pollution in the toll-gates. *Occupational Health and Emergency Rescue* 24, 43-44.
- [7] He, J., Qi, Z., Hang, W., King, M., Zhao, C. 2009. Numerical evaluation of pollutant dispersion at a toll plaza based on system dynamics and Computational Fluid Dynamics models. Transportation College, Nanjing, China.
- [8] Lin, J., Yu, D. 2006. Traffic-related air quality assessment for open road tolling highway facility. Department of civil and materials engineering, Institute of environmental science and policy, University of Illinois at Chicago, Chicago.
- [9] Lee, W. H.; Tseng, S. S.; Wang, C. H. (2008). Design and implementation of electronic toll collection system based on vehicle positioning system techniques, *Comput. Commun.* 31 (12) 2925-2933.
- [10] Maclean, H.L. 2004. Alternative transport fuels for the future. *International Journal of Vehicle Design* 35, 27-49.
- [11] Marrow, W., Gallagher, K., Collantes, G., Lee, H. (2010). Analysis of policies to reduce oil consumption and greenhouse-gas emissions from the US transportation sector, *Energy Policy* 38 (3) 1305-1320.
- [12] Ozan, C., Haldenbilen, S., Ceylan, H. (2011). Estimating emissions on vehicular traffic based on projected energy and transport demand on rural roads: policies for reducing air pollutant emissions and energy consumption, *Energy Policy* 39 (5) 2542-2549.
- [13] Perez-Martinez, P.J., Ming, D., Dell'Asin, G., Monzon, A. 2011. Evaluation of the influence of toll systems on energy consumption and CO2 emissions: A case study of a Spanish highway. Centro de Investigacion del Transporte, Universidad Politecnica de Madrid. Spain.

- [14] Sperling, D. 2003. *Cleaner vehicles*. In: Hensher, D.A., Button, K.J.(Eds.), *Handbooks in Transport 4: Handbook of Transport and the Environment*. Elsevier, pp. 185–202.
- [15] Song, G., Yu, L., Zhang, X. (2008). Emission Analysis at a Toll Station in Beijing Using PEMS Measurements. In *Proceedings of the 87th Transportation Research Board Annual Meeting*, Washington, DC, USA, 13–17 pp. 106–114.
- [16] Weng, J., Wang, R., Wang, M., Rong, J. 2015. Fuel consumption and vehicle emission models for evaluating environmental impacts of the ETC System. Beijing key laboratory of traffic engineering, Beijing University of Technology.

# PREGLED RAZVOJA SISTEMA ZA UPRAVLJANJE SAOBRAĆAJEM U GRADOVIMA

Doc. dr Nikola Čelar, dipl.inž.saobr.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Saobraćajni fakultet, Beograd, [n.celar@sf.bg.ac.rs](mailto:n.celar@sf.bg.ac.rs)

Jelena Kajalić, dipl.inž.saobr.<sup>2</sup>

<sup>2</sup>Saobraćajni fakultet, Beograd, [j.kajalic@sf.bg.ac.rs](mailto:j.kajalic@sf.bg.ac.rs)

Stamenka Stanković, dipl.inž.saobr.<sup>3</sup>

<sup>3</sup>Saobraćajni fakultet, Beograd, [s.stankovic@sf.bg.ac.rs](mailto:s.stankovic@sf.bg.ac.rs)

**Rezime:** Saobraćajna infrastruktura u gradovima je dostigla zadovoljavajući stepen izgrađenosti. Smanjenje realne mogućnosti za izgradnju novih infrastrukturnih objekata stavlja sve veći akcenat na proces upravljanja saobraćajem na postojećoj mreži. Najveći zahtev za primenu upravljačkih mera pojavljuje se na elementima mreže na kojima se ostvaruje najveći obim saobraćaja.

U radu je dat istorijski prikaz razvoja sistema upravljanja saobraćajem putem svetlosnih signala u Beogradu, poslednjih četrdeset godina, i perspektive njegovog daljeg razvoja primenom savremenih tehnologija.

**Ključne reči:** ulična mreža, upravljanje saobraćajem, Inteligentni transportni sistemi (ITS).

**Abstract:** Road infrastructure in modern cities has reached a sufficient level of development. Reduced building new infrastructure potential, have placed more important role on traffic management at current network. Traffic management measures have the greatest impact on highly occupied network elements.

This paper presents a historical review of traffic management system in Belgrade, the last 40 years, and further development perspectives using advanced technology.

**Key words:** urban network, traffic management, Intelligent transportation systems (ITS).

## 1. UVOD

Savremeno čovečanstvo se poslednjih decenija susreće sa paradoksom razvoja velikih gradova. Individualni saobraćaj koji je bio podstrek za ekonomskog razvoja i širenja urbanih celina tokom XX veka, postaje kočnica daljeg razvoja i samog funkcionisanja istih. Zagušenja na uličnoj mreži, definisana kao stanja sistema u kojima je ispostavljen saobraćajni zahtev veći od kapaciteta mreže, odnosno dela mreže na kojoj se javlja, se šire u gradovima današnjice u prostornom i vremenskom smislu. Procena je da na nivou Evropske unije, troškovi usled nastajanja zagušenja na mreži puteva i ulica iznose oko 2-4% BDP-a.

Racionalna potreba za povećanjem kapaciteta postojeće mreže organičena je hroničnim nedostatkom prostora, nemogućnostima ili visokim troškovima izgradnje nove saobraćajne infrastrukture. U tom smislu, nameće se potreba za boljim iskorišćenjem postojećeg kapaciteta ulične mreže. Mogućnost za ublažavanje problema zagušenja, između ostalog, se nalazi u domenu upravljanja saobraćajem putem svetlosnih signala. Iako razvoj i primena sistema upravljanja može obezbediti efikasniji i bezbedniji saobraćaj, klasično upravljanje, posmatrano kao zasebna celina, ne može rešiti sve novonastale saobraćajne probleme.

Poslednjih decenija, začajna pažnja se počinje pridavati integraciji drugih sistema u okvire upravljanja saobraćajem, primenom savremenih tehnologija, odnosno koncepta Inteligentnih Transportnih Sistema (ITS). Razvoj u domenu ITS-a predstavlja strateški neophodnu komponentu razvoja saobraćajnog sistema svake države. Mnoge aplikacije ITS-a već su ušle u okvir nacionalnih strategija razvoja budućeg, popularno nazvanog, e-transporta, zasnovanog na visokom stepenu integracije svih vidova transporta na osnovu različitih informacionih platformi.

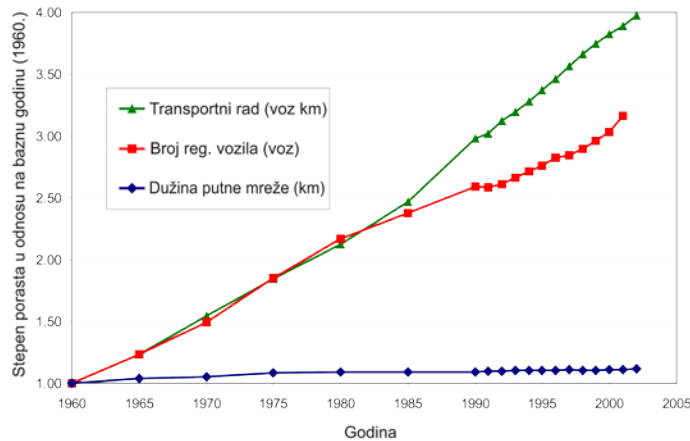
## 2. UPRAVLJANJE SAOBRAĆAJEM I INTELIGENTNI TRANSPORTNI SISTEMI

Razvoj drumskog saobraćaja u gradskim sredinama, praćen inicijalnim porastom stepena motorizacije u prvoj fazi, zahtevao je izgradnju i kompletiranje saobraćajne infrastrukture sa ciljem povezivanja urbanih saobraćajnih težišta. U tim, ranim fazama razvoja sistema, klasično regulisanje saobraćaja, zasnovano na definisanju statičkih pravila pomoću elemenata saobraćajne signalizacije, predstavljalo je okosnicu

<sup>1</sup>Doc. dr Nikola Čelar: [n.celar@sf.bg.ac.rs](mailto:n.celar@sf.bg.ac.rs)

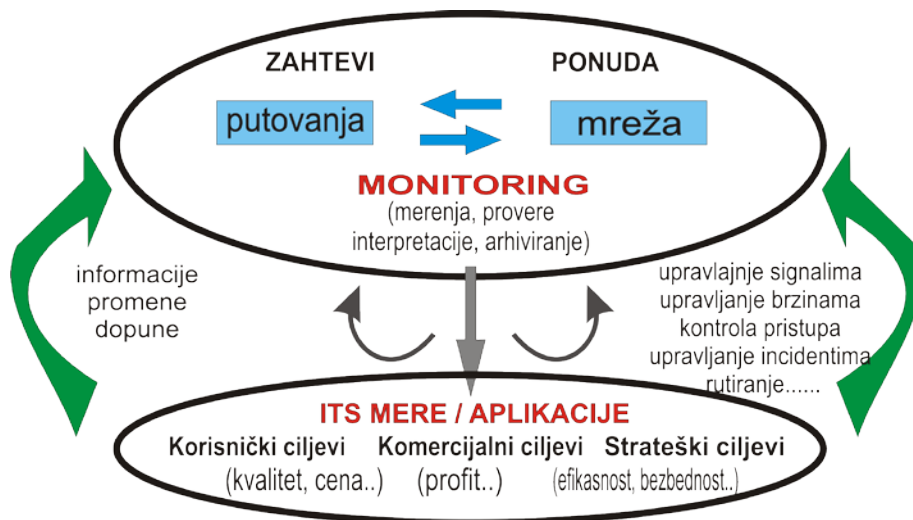
saobraćajnog inženjerstva. Neočekivani, nagli ali logičan porast stepena motorizacije i mobilnosti na infrastrukturi ograničenog kapaciteta, doveo je do pojave nove discipline, upravljanja saobraćajnim tokovima. Baza definisano, upravljanje saobraćajem predstavlja dinamičko regulisanje saobraćaja u prostoru i u vremenu sa osnovnim ciljem prilagođavanja neravnomernostima saobraćajnih zahteva, na osnovu dostupnih, dominantno istorijskih podataka o saobraćajnim zahtevima, odnosno opterećenju.

U saobraćajnim sistemima današnjice, tradicionalne upravljačke mere imaju ograničene efekte. Razvoj tehnike i tehnologije u drugim, nematičnim oblastima, brzo nalazi svoju primenu u domenu saobraćaja, razvijajući se u oblast poznatu po nazivu – Inteligentni transportni sistemi. Pojam Inteligentnih transportnih sistema često se definiše kao integracija telekomunikacija, elektronike i informatike sa saobraćajnim inženjerstvom. Ovakav pristup multidisciplinarnosti daje novu dimenziju procesu upravljanja u realnom vremenu na osnovu aktuelnih parametara saobraćajnog toka.



**Slika 1.** Dijagram odnosa promene transportnog rada, broja registrovanih vozila i dužine putne mreže  
Izvor: (US Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics, 2003)

Kvalitet realizacije saobraćajnog procesa na urbanoj mreži definisan je odnosom ponuđenog kapaciteta mreže i saobraćajnog zahteva, odnosno broja putovanja, kao njihovom krajnjom realizacijom. U klasičnom upravljanju postoji stalna, jednostrana težnja za povećanjem, prilagođavanjem kapaciteta aktuelnim saobraćajnim zahtevima. U tom smislu, osnovu za realizaciju sistemskog uticaja na obe komponente, predstavlja monitoring sistema, odnosno proces prikupljanja i analize aktuelnih podataka o stanju. Raspoloživost realnih informacija o stanju sistema ili delova sistema, omogućava primenu adekvatnih ITS mera, u formi odgovarajućih ITS aplikacija. Svaka od primenjenih mera ima definisane strateške, korisničke i komercijalne ciljeve. Njihovom primenom u sistemu utiče se na obe suprotstavljene strane – na ponudu, kroz adekvatno povećanje kapaciteta, sa jedne strane, odnosno na broj putovanja, prostornom, vremenskom i modalnom distribucijom zahteva na elemente ulične mreže, sa druge strane.



**Slika 2.** Uloga ITS-a u upravljanju saobraćajem

Pored upravljanja saobraćajem, ISO (International Standardization Organization) definisala je ukupno 11 funkcionalnih područja primene ITS-a i to:

1. Informisanje putnika (Traveller Information)
2. Upravljanje saobraćajem (Traffic Management and Operations)
3. Vozila (Vehicles)
4. Prevoz tereta (Freight Transport)
5. Javni prevoz (Public Transport Operations)
6. Dežurne službe (Emergency service)
7. Elektronska plaćanja vezana za saobraćaj (Transport related Electronic payment)
8. Sigurnost osoba u drumskom saobraćaju (Road Transport Related Personal Safety)
9. Nadzor vremenskih uslova i okoline (Weather and Enviromental Monitoring)
10. Upravljanje odzivom na velike nezgode (Disaster Response Management and Coordination)
11. Nacionalna sigurnost i zaštita (National Security).

### 3. PREGLED RAZVOJA SISTEMA UPRAVLJANJA SAOBRAĆAJEM U BEOGRADU

Postavlja se pitanje na kom strateškom i operativnom nivou je današnji sistem upravljanja saobraćajem svetlosnim signalima u Beogradu. Od prvog semafora koji je 1939. godine postavljen na raskrsnici Bulevara kralja Aleksandra i Takovske ulice, do današnjeg veoma naprednog sistema MOTION koji je instaliran na potezu Bulevara kralja Aleksandra, sistem upravljanja saobraćajem je prolazio kroz brojne faze, u kojima je različito tretiran, razvijan i primenjivan. U narednom delu teksta dat je kratak opis i prikaz razvoja ovog sistema poslednje četiri decenije.

Početak realizacije sistema za automatsko upravljanje saobraćajem (SAUGUM) u Beogradu, počinje uvođenjem ovog sistema na mrežu sa 14 raskrsnica, prilikom rekonstrukcije Ulice kneza Miloša, 1972. godine. SAUGUM je predstavljao sistem za upravljanje saobraćajem pomoću svetlosne signalizacije koji omogućuje centralizovano upravljanje saobraćajem i kontrolu ispravnosti rada opreme na svim raskrsnicama. Oblast SAUGUM, u prostornom smislu, obuhvatala je 10 gradskih opština (Čukarica, Novi Beograd, Palilula, Rakovica, Savski venac, Stari grad, Voždovac, Vračar, Zemun i Zvezdara). Sistemom je predviđeno formiranje četiri upravljačke zone (Slavija, Kalemegdan-Terazije, Vukov spomenik-Nemar, Novi Beograd-Zemun). Koordinisani potezi obuhvatali su saobraćajnice: Ustanička, Bulevar vojvode Mišića-Radnička, Požeška-Kirovljeva, Ugrinovačka, Cara Dušana-Batajnički drum. U sistemu je planirano ukupano 376 raskrsnica, od kojih su 74 u individualnom režimu rada.

SAUGUM je predviđao hijerarhijsku strukturu fizičkih komponenti u 4 nivoa:

- Glavno komandno mesto (GKM) i informaciono-eksploatacioni centar (IE centar)
- Zonski centri (ZC)
- Koordinatori
- Kontroleri, detektori

Glavno komandno mesto je upravljačko-koordinacioni centar sistema. Ono je direktno povezano sa zonskim centrima, sa IE centrom i sa individualnim raskrsnicama izvan zona i koordiniranih poteza. Zonski centri su povezani sa kontrolerima u zonama i koordinatorima na potezima koji su najbliži pojedinim zonama. Koordinatori su povezani sa kontrolerima koordinisanih poteza i najbližim zonskim centrima. Kontroleri u zonama povezani su sa zonskim centrima. Kontroleri na koordinisanim potezima povezani su sa koordinatorima, a kontroleri na individualnim raskrsnicama povezani su direktno sa glavnim komandnim mestom. Detektori su povezani sa najbližim kontrolerima.

Osnovne funkcije sistema SAUGUM su:

- Sprovođenje strategije upravljanja saobraćajem pomoću svetlosne signalizacije.
- Kontrola funkcionisanja celog sistema.
- Prikupljanje, obrada, čuvanje i distribucijaja podataka o saobraćaju i o radu sistema.
- Korišćenje obrađenih statističkih podataka za određivanje režima saobraćaja i rešavanje drugih zadataka tehničkog regulisanja saobraćaja.

Formiranje kontrolnog centara u Sekterarijatu za saobraćaj, 1995. godine, predstavljao je novi pokušaj modernizacije sistema svetlosne signalizacije.

U tom periodu, realizovane su naredne aktivnosti:

- Nabavljena je nova oprema i softver za centar, instaliran je sistem za prenos podataka i u centar su povezane zone sa ukupno 114 uređaja.
- U Sekretarijatu za saobraćaj formiran je kontrolni centar za nadgledanje funkcionisanja 26 uređaja fabrike Pupin (Euro 2000).

- U službi za održavanje opreme, JKP Beograd put, formirani su centri za kontrolu funkcionisanja kontrolera različitih domaćih proizvođača.

Nažalost, zbog hroničnog nedostatka sredstava za održavanje centara, ovi centri danas samo delimično funkcionišu.

Nedostatak sredstava za finansiranje strategije razvoja saobraćaja i upravljanja pomoću svetlosne signalizacije, realizacija drugih prioriteta u oblasti razvoja saobraćaja u gradu je, pored relativno dobrog predloga strategije upravljanja saobraćajem pomoću svetlosne signalizacije, značajno usporilo i praktično obezbedilo predložene programe. Objektivni i subjektivni razlozi koji su doveli do nepredvidivosti mera komunalne politike, direktno su uticali na dinamiku realizacije i rešenost domaćih projekatata i proizvođača opreme da se trajnije angažuju za rad u ovoj oblasti. Nedostatak jasno definisane strategije upravljanja saobraćajem uslovio je, u proteklom periodu, relativno "haotičan" razvoj sistema.

Početkom 2000-ih primena savremenih načina upravljanja postaje standard na izolovanim, individualnim raskrsnicama. Prva radikalnija novina u sistemu upravljanja predstavlja uvođenje sistema MOTION na Bulevaru kralja Aleksandra.

Rekonstrukcija Bulevara je osim unapređenih rešenja u okviru građevinskog projekta, zahtevala i savremenu saobraćajno tehničku opremu i primenu novog sistema za upravljanje saobraćajem.

U Bulevaru je primenjen adaptibilni sistem upravljanja saobraćajem na 14 raskrsnica. Instaliran je centar za upravljanje sa serverom u prostorijama Sekretarijata za saobraćaj i softverski paket Siemens Sitraffic Scala kao osnovna softverska platforma kompletnog sistema. Na ovaj način su obezbeđene sledeće funkcije:

- Koordinisani detektorski rad signala duž Bulevara kralja Aleksandra u oba smera;
- Prilagođavanje dužine ciklusa i faznih pomaka u linijskoj koordinaciji u realnom vremenu u zavisnosti od opterećenja na mreži, pri čemu se utvrđivanje vrednosti parametara rada svetlosnih signala vrši u intervalima od najviše 15 minuta;
- Dodeljivanje zelenog vremena fazama u okviru svakog ciklusa u zavisnosti od opterećenja na mreži u realnom vremenu, pri čemu se utvrđivanje trajanja zelenih vremena vrši u svakom ciklusu; upravljački algoritam u okviru raskrsnice dodeljuje zeleno samo ako postoji najava za određene učesnike u saobraćaju;
- Podatke o stanju na mreži sistem obezbeđuje na osnovu sopstvenog podsistema za detekciju i snimanje onih parametara tokova vozila i pešaka koji su uključeni u algoritam upravljačke logike.
- Parametre za rad sistema određuju se na osnovu permanentnog snimanja parametara saobraćajnih tokova na mreži (24 sata/7 dana).

Stalni nedostatak finansijskih sredstava za obuku kadrova i nesporna činjenica da je sistem sa korisničkog aspekta formiran po principu "crne kutije", umanjili su efekte i ovog sistema za upravljanje saobraćajem.

#### **4. PERSPEKTIVE RAZVOJA SISTEMA UPRAVLJANJA**

Iako primena ITS-a u upravljanju saobraćajem omogućava primenu velikog broja različitih aplikacija, zbog ograničenog obima rada, na generalnom nivou, analiziran je samo aspekt perspektive razvoja u domenu upravljanja pomoću svetlosnih signala. Predložene mere upravljanja su u daljem tekstu konceptualno opisane, pri čemu bi svaka od mera zahtevala dalju detaljnu razradu.

Koncept adaptibilnog upravljanja svetlosnim signalima zasniva se na primeni dve osnovne metode:

- adaptibilnog upravljanja baziranog na modelima;
- adaptibilnog upravljanja baziranog na pravilima (definisanih algoritmima detektorskog upravljanja).

Metoda upravljanja bazirana na modelima podrazumeva neprekidno i dinamičko modelovanje stanja sistema, odnosno njegovih delova, korišćenjem realnih, aktuelnih podataka sa mreže (mernih mesta). Na osnovu analize podataka u okviru modela, može se uočiti preliminarna pojava poremećaja u saobraćajnom toku, na osnovu koje je moguće preduzeti odgovarajuće mere u upravljanju svetlosnim signalima. Koncept adaptibilnog upravljanja ovoga tipa teži ka direktnoj optimizaciji osnovnih pokazatelja efikasnosti, kao što su vreme putovanja, vremenski gubici i broj zaustavljanja. Ovakav metod upravljanja može se primeniti na celokupnoj mreži uže centrane zone, kao i na ostalim primarnim gradskim koridorima.

Metoda upravljanja zasnovana na pravilima podrazumeva izmenu ili korekciju signalnih programa, koja se vrši na osnovu definisanih algoritama detektorskog upravljanja (individualna raskrsnica), odnosno algoritmom definisanih izbora signalnih programa iz baze unapred formiranih fiksnih programa rada (Plan selection). Ovakav tip upravljanja predlaže se za sekundarne i tercijarne koridore, ali i za koridore višeg ranga u perifernim gradskim zonama, kao i za individualne, izolovane signalisane raskrsnice.

U navedenom konceptu linijska koordinacija predstavlja apsolutni, dominantni način upravljanja duž glavnih koridora. Takođe, duž koridora potrebno je obezbediti prioritet vozilima javnog prevoza na signalisanim raskrsnicama, naročito na lokacijama gde se njihovo kretanje realizuje nezavisnom trasom ili rezervisanim trakama.

Na koridorima sa većim brojem saobraćajnih traka po smerovima, bez razdelnog ostrva i izraženim debalansom protoka po smerovima kretanja, potrebno je analizirati mogućnost primene sistema izmenjivog broja traka.

Obezbeđivanje zahtevanog nivoa usluge na primarnim gradskim koridorima i užoj centralnoj zoni može se ostvariti primenom elemenata kontrole pristupa pomoću svetlosnih signala, u kombinaciji sa drugim upravljačkim strategijama.

Za upravljanje na deonicama sa neometanim tokovima (gradski autoput i mostovi) potrebno je primeniti ITS aplikacije koje bi obezbedile:

- Nadzor saobraćajnih tokova i uslova okruženja putem detektora u kolovozu i sistema video detekcije/nadzora
- Upravljanje saobraćajnim tokovima, pomoću elemenata izmenjive saobraćajne signalizacije, (upravljanje brzinama, incidentim situacijama, informisanje korisnika i slično)
- Kontrola pristupa na ulivim rampama u cilju održanja nivoa usluge
- Dinamičko rutiranje u situacijama pojave zagušenja ili realizacije vanrednog režima saobraćaja.

Prostorna obuhvatnost sistema zahteva formiranje većeg broja upravljačkih zona. Kao kriterijumi za njihovo definisanje koristilo bi se geografski položaj delova mreže u sistemu i homogenost primenjenog načina upravljanja.

Cilj predloženih strategija za upravljanje raskrsnicama je efikasan i bezbedan saobraćajni sistem, koji zadovoljava interese i očekivanja svih uključenih strana, odnosno učesnika u saobraćaju, vršioca transportnih usluga, upravljača sistemom i lokalne samouprave. Ovo, takođe, može dovesti do značajnog poboljšanja nivoa usluge na mreži saobraćajnica u poređenju sa fiksnim signalnim planovima, koji se trenutno koriste na većini raskrsnica. Planirane, adaptibilne metode upravljanja (bazirane na pravilima) mogu poboljšati nivo usluge na raskrsnicama duž koridora korišćenjem raspoloživih rezervi kapaciteta i njegovim optimalnim raspoređivanjem.

## 5. ZAKLJUČAK

U protekle četiri decenije u Beogradu je utrostručen broj stanovnika, a teritoriji grada je pripojeno još 7 opština, što ukazuje da su povećani i saobraćajni zahtevi, kao i potreba za što efikasnijim sistemom upravljanja saobraćajem. Razvoj ITS-a i njegova primena u oblasti upravljanja saobraćajem doprinosi lakšem rešavanju pomenutih problema.

Razvoj savremenih gradova, nameće potrebu za uvođenje racionalnijeg saobraćajnog sistema, koji je ekonomski efikasan i ekološki opravdan, što zahteva novi način posmatranja i rešavanja saobraćajnih problema. Realizacija tih zahteva iziskuje novi pristup u formiranju, funkcionisanju i upravljanju svim komponentama u okviru saobraćajnog sistema, kroz efektivniju primenu savremenih upravljačkih, računarskih i komunikacionih tehnologija. U tom cilju, gradske vlasti treba da se koncentrišu na optimalno iskorišćenje postojeće infrastrukture primenom novih metoda upravljanja saobraćajem, sistema prioriteta javnog prevoza, mera za smanjenje transportnih zahteva kao kombinacije tarifne politike i aplikacija ITS-a.

## Literatura

- [1] Mc Shane, et al., 2011. *Traffic Engineering Handbook*, Prentice Hall.
- [2] *Traffic Engineering Handbook*, 6th edition, 2009. ITE.
- [3] Institut Saobraćajnog fakulteta, Institut "Mihailo Pupin", Gradski Sekretarijat za saobraćaj,



1990. Sistem automatskog upravljanja u gradskoj mreži Beograda,
- [4] Institut Saobraćajnog fakulteta, Planung Transport Verkehr, Centar za planiranje urbanog razvoja, 2003. Optimizacija saobraćaja na centralnom području grada Beograda.
  - [5] ITS Handbook, 2006, ITE America
  - [6] Taylor, M., 2001. Intelligent Transport System – Handbook of Transport System and Traffic Control, Pergamon
  - [7] <http://www.transtats.bts.gov/>

# INCORPORATION OF THE RAINFALL DATA IN INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES

Nikola Mitrovic<sup>1</sup>, Dusan Jolovic<sup>2</sup>, Darko Cvoric<sup>3</sup> and Justin Dauwels<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Nanyang Technological University, Singapore, nikola001@e.ntu.edu.sg

<sup>2</sup> New Mexico State University, Las Cruces, NM, djolovic@nmsu.edu

<sup>3</sup> Routing Ltd, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina, darko.cvoric@routingbl.com

<sup>4</sup> Nanyang Technological University, Singapore, jdauwels@ntu.edu.sg

**Abstract:** Intelligent Transportation Systems (ITS) often operate on large road networks and gather traffic-related information from multiple sources. The collected information can prove highly useful for management centers in generating the operational strategies for regular and especially non-recurrent traffic conditions. In this study, we focus on rainfall information, obtained from meteorological stations, and explore how this exogenous information can be embedded in ITS. We present the results of the most recent studies that analyze the impact of the rainfall on traffic stream parameters. We also provide an overview of the commonly used techniques to (pre)process rainfall data since it has not been primarily collected for traffic purposes. We discuss the effect of the rainfall data on prediction performance of traffic parameters in the context of data-driven techniques. Finally, we highlight the shortcomings of the existing research and explore the feasibility of the similar ITS platforms for traffic network of Serbia.

**Keywords:** ITS, traffic prediction, rainfall data, non-recurrent traffic conditions, weather

## 1. INTRODUCTION

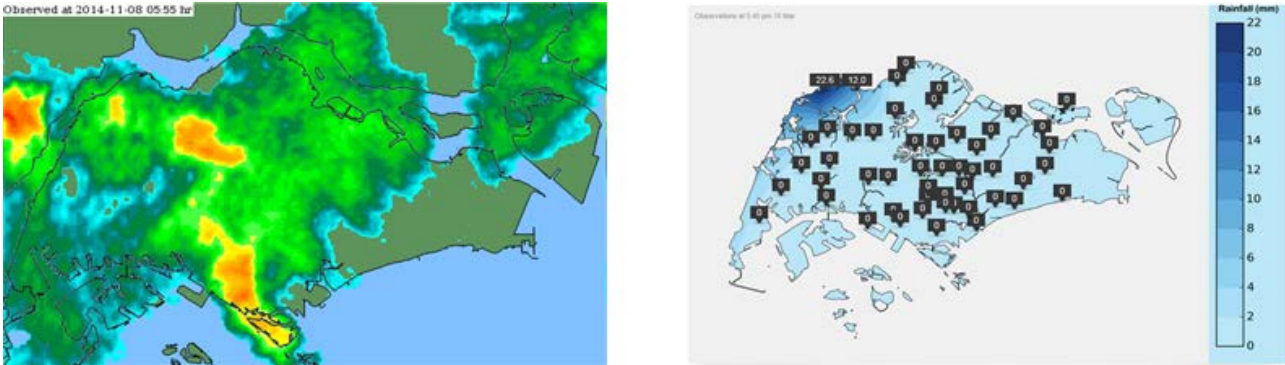
With the recent improvements in sensor technology, traffic information has been collected from multiple sources with a high temporal resolution. Once this data is received and fused with other relevant information within traffic management centers (TMC), decision processes are executed, and this data then drives real-time applications/systems such as travel time messages and variable speed limits. The generated traffic information is frequently disseminated via a wireless network and delivered to the end-user through the smartphone or in-vehicle device [1].

In the recent years significant attention has been dedicated to the traffic-related information that is not inherently dedicated for traffic applications. In particular, information about the rainfall, explicitly collected for weather forecasting purposes, can prove highly useful for management centers in dealing with non-recurrent traffic conditions [2,3]. However, (pre)processing of the data obtained from “external” sources should be carefully considered due to their intrinsic nature. This problem tends to be even more severe in coming years due to ever-growing performance of sensor technology and its capability to gather various traffic-related data.

In this paper we discuss the potential and challenges of the rainfall data in the context of traffic applications. We start by presenting an overview of the most recent traffic-related studies that are dealing with information about the rainfall. Then, we explore the key features of the collected rainfall data such as sampling rate and data structure. In the former, the rainfall data is often collected with a high temporal resolution (5-10 min). However, for offline analysis information about the rainfall is frequently aggregated on hourly or even daily increments which might significantly limit potential of gathered data. In the context of structure of the collected data, the explicit rainfall information is frequently given either in the form of an image (see Fig. 1 left) or as explicit numerical values plotted on the top of an underlying map (see Fig. 1 right). These numerical values often represent an average rainfall intensity for a (sub) region. The implicit information about the rainfall might be obtained from the social media (e.g., Twitter) and video cameras.

Collected rainfall data set (see Fig. 1) suffer unavoidable missing values due to occasional irregularities in reporting rainfall maps, especially during inclement weather. We present Optical Character Recognition (OCR) technique in combination with straightforward interpolation method to deal with the problem of missing data. OCR technique is capable of accurately extracting the “time-stamp” information from the rainfall-map data (see upper left corner of Fig. 1 left). This information helps us to match, in temporal context, weather and corresponding traffic information. In order to efficiently match the rainfall and traffic data in a spatial manner, we propose incorporation of Geographical Information System’s components such as area maps.

<sup>1</sup> Nikola Mitrovic: nikola001@e.ntu.edu.sg



**Figure 1:** Rainfall intensity might be represented in the color form (left) and / or associated numerical value (right) on the top of underlying weather map. Source: <http://www.nea.gov.sg/> [4].

Once the weather and traffic information are combined and accurately matched, one could explore the correlations between the processed traffic and rainfall data. The impact of the rainfall intensity on traffic conditions should be investigated in different times of the day and for various rainfall intensities and road categories. Furthermore, this impact of rainfall should be evaluated for current/historical and future traffic conditions, leading to the common traffic applications such as estimation and prediction, respectively. In the former, the large historical datasets are used to infer functional relationships between traffic and rainfall data for various level of data aggregation, ranging from 5-min up to 1-day of sampling rate. In the case of traffic forecasting, rainfall information is embedded in the short-term prediction models as an exogenous variable. The performance of these prediction models are frequently evaluated against the benchmark model that contains only explicit traffic and temporal information, and the same set of model parameters. Noteworthy, traffic prediction is commonly applied for short-term prediction horizons, ranging from 5 min up to 1 hour.

The paper is structured as follows. In Section 2, we provide a brief overview of the relevant literature. We also present the results and challenges of the most recent studies that incorporate information about the rainfall rate in applications of traffic estimation and prediction. In Section 3, we discuss rainfall information in the context of available data sources and updating rate. In Section 4 we list the machine learning techniques that are frequently used to (pre)process, analyze and store the recorded rainfall data. We also present a methodology to assess the network-wise impact of the rainfall on traffic conditions. In Section 5 we discuss the potential and challenges of the collected rainfall information for traffic application in the context of Serbian traffic network. In Section 6 we summarize our work and suggest topics for future research.

## 2. OVERVIEW OF THE RELEVANT LITERATURE

Weather conditions tend to have a significant impact on the driving behavior and the key parameters of traffic stream. Various studies have shown that different weather factors such as temperature [5,6], precipitation [7,8,9] and visibility [10,11], can degrade the capacity while simultaneously increase a frequency of crashes on the roads. Among these parameters the rainfall intensity is frequently identified as an external factor that has the highest impact on driving conditions and network performance [7,12]. Even light rain tends to enhance the drivers' carefulness and a number of interactions in traffic flow, which in turn, leads to the reduction in roadway capacity.

The reduction in road capacity changes the relationships between the fundamental traffic parameters (e.g., volume, speed, and density) and further leads to unavoidable increase in travel times [7]. In addition, non-optimal weather conditions affect the driver behavior and comfort. In particular, the reduced visibility can cause a dramatic increase in a total number of crashes while simultaneously reducing the number of casualties and severity of these accidents as the consequence of enhanced drivers' consciousness [8]. Finally, inclement weather might significantly affect the departure time, mode, and the route of the planned trip [13,14].

Different rainfall intensities can have different impacts on the key traffic stream parameters and their relationships [12,15,16,17,18]. This quantifiable effect is frequently utilized to develop mathematical and regression models that can assess and predict traffic conditions based on the given rainfall intensities [12,15,19,20]. These models that frequently rely on neural networks and various vector autoregressive moving average methods use the information about the rainfall as an exogenous variable. The results indicate that rainfall information might prove useful in assessing the traffic conditions during inclement

weather. However, additional information about the rainfall only marginally improves or sometimes even degrades the performance of traffic forecasting methods [19,21,22,23].

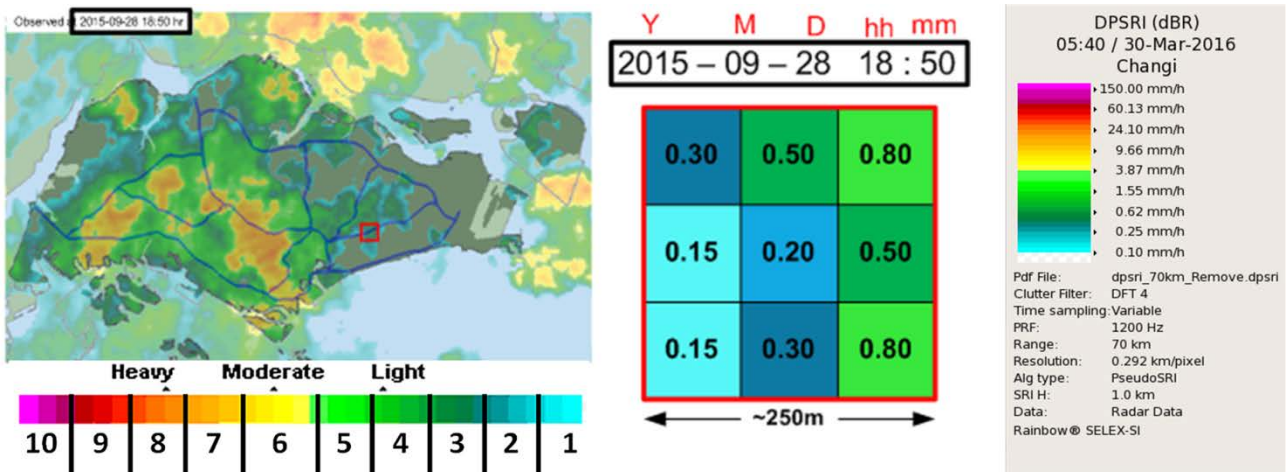
### 3. DATA COLLECTION

The information about the rainfall intensity, and other weather parameters, are often collected from automated weather instruments within meteorological stations [4]. The information is frequently published on dedicated internet sites and often updated with the high frequency (5-10 minutes) [4]. All recorded data is often efficiently compressed and stored for the historical analysis. However, in these processes recorded weather data are frequently aggregated on hourly or even daily bases, which might significantly affect the applications of the collected data.

With the recent improvements in smart-phone and sensor technology, qualitative information about the weather condition can be inferred from the social media data [24] and video cameras, respectively. This qualitative information is continuously recorded and transmitted in the real time, usually by third parties. Due to large space requirements of the video formats, the data from the traffic cameras are frequently stored for the short period of time (usually 1-2 days).

### 4. COMMONLY USED TECHNIQUES

Once the weather data are collected, the next step would be to accurately link them with the corresponding traffic data in temporal and spatial manners. Optical character recognition (OCR) technique is frequently used to infer the time attributes from the rainfall data given in the form of a map (see upper-left corner and top-middle part of Fig. 2). This technique that has been widely deployed in image processing efficiently converts text images into text in ASCII format. To further increase the accuracy of the OCR, text images should be scaled and binarized [25]. In the case of the tabular rainfall data, the time value is explicitly provided [4]. In both cases it is crucial that the rainfall and corresponding traffic data are synchronized, i.e., sampling intervals of traffic and weather data overlap significantly.



**Figure 2:** Rainfall map (Fig 1 left) is integrated with the roadway network in order to assess rainfall intensity at specific road segment (left). The rainfall intensity of the neighborhood area (middle-bottom part) is often observed to assess the link-wise rainfall rate. Rainfall is quantified with the help of conventional (right) or custom (left-bottom corner) scales. Time stamp of the rainfall map (upper left corner) is processed with the help of OCR in order to infer the time attributes of the recorded figure (top-middle part). Source: <http://www.nea.gov.sg/> [4].

To accurately estimate rainfall intensity at any arbitrary road segment, one needs to overlay rainfall and traffic road maps in order to estimate the location of the segment on the rainfall map (see left corner of Fig. 2). Then, Doppler Radar reflectivity is used to derive rainfall intensity at a single pixel of the map visualization.

$$r = a (10^{\frac{d}{10}})^b,$$

where  $r$  is rainfall rate in millimeters per hour,  $d$  is reading from the image visualization and  $a$  and  $b$  are empirically estimated parameters using a provided scale (see right part of Fig. 2). An alternative way would be to define a customized scale and estimate the link based rainfall intensity with the help of Red-Green-Blue values (see bottom-left corner of Fig. 2) [26]. The rainfall intensity at specific segment is often approximated as the average of rainfall intensities in the area of that segment (see the middle part of Fig. 2). In the case of numerically provided weather information, the rainfall intensity at certain link is usually estimated using a straightforward interpolation technique; i.e., as weighted average of the rainfall rates at weather stations in the link's neighborhood. The weights are inversely proportional to distances between the road segment and weather stations.

Quantifying the impact of the rainfall on traffic conditions is not trivial, especially in the context of large traffic networks. While light showers and moderate amount of rainfall may not have any significant effect on road traffic, heavy showers, on the other hand, typically have strong impact on driving conditions. Furthermore, the resultant changes in traffic due to rain may be different during peak hours than non-peak hours. The changes in traffic conditions may also differ among various road categories in the network. Finally, the rainfall often affects only a portion of the network and makes the fair comparison of network-wide traffic conditions during rainy and dry instances even more challenging. In the following we present an adequate solution for this problem.

Let us assume that the traffic parameter ( $a_{ij}$ ) and the rainfall rate ( $b_{ij}$ ) are given every 5-min for each segment  $s_j \{1,2,..n\}$  during the observational period  $T_i \{1,2,..m\}$ . Let us also restrict our attention on day  $d$  and time instance  $t_{in}$ , without any loss of generality. For this  $d-t_{in}$  subset, we compute the average network-wide traffic conditions ( $V_{d-t_{in}}^\ell$ ) during the inclement weather as a mean value of the average congestion level of the subnetwork  $C \{c_1, c_2, \dots, c_c\} \subseteq \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  where the rainfall intensity  $b_{i,j}$  ( $i \in d-t_{in}$ ) is at least once above the threshold  $\ell$ . We write that as follows:

$$V_{d-t_{in}}^\ell = \sum_{j=1}^{c_{d-t_{in}}^\ell} \left( \frac{\sum_{i=1}^{r_{d-t_{in}}^\ell(j)} a_{i,j}}{r_{d-t_{in}}^\ell(j)} \right), \quad \forall i \in d-t_{in} \text{ such that } b_{i,j} > \ell,$$

where the  $c_{d-t_{in}}^\ell$  is the size of subnetwork  $C_{d-t_{in}}$  that corresponds to certain  $d-t_{in}$  and threshold  $\ell$ .  $r_{d-t_{in}}^\ell(j)$  shows how many times, for particular  $d-t_{in}$ , the rainfall intensity (for link  $j$ ) is above the threshold  $\ell$ . Similarly, we compute the network congestion level for dry weather  $V_{d-t_{in}}^B$  as the average level of congestion of the identical subset of the links  $C_{d-t_{in}}$  if there is no rain ( $b_{i,j} = 0, \forall t_{in}$ ). We write that as follows:

$$V_{d-t_{in}}^B = \sum_{j=1}^{c_{d-t_{in}}^B} \left( \frac{\sum_{i=1}^{r_{d-t_{in}}^B(j)} a_{i,j}}{r_{d-t_{in}}^B(j)} \right), \quad \forall i \in d-t_{in} \text{ such that } b_{i,j} = 0,$$

where  $r_{d-t_{in}}^\ell(j)$  is the total number of instances within the  $d-t_{in}$  when the rainfall intensity (for certain link  $j$ ) is 0.

State-of-the-art techniques that deals with the text and video data are often deployed to infer the weather information from social media [24] and traffic cameras, respectively. Conventional methods, such as the ones in [27,28] can also be used for applications of compression and missing data imputations.

#### 4. CHALLENGES

The scope of the relevant studies remains limited to the special cases. For instance, the studies [12,21,22,23,24] consider a short segment or single intersection only. Moreover, most of the studies deal with a limited database where the data is frequently collected for short periods such as a few weeks or even days and often aggregated in hourly or even daily increments [12,19,21,22,23,24,29]. Such an approach

might be inappropriate due to intrinsic nature of the rainfall accidents, which are in general quite rare events whose severity often vary temporally and spatially.

The applied prediction algorithms are restricted to vector autoregressive moving average methods and neural networks. Moreover, in most of the cases additional information about the rainfall degrades the prediction performance. One of the reasons might be underlying prediction mechanism which often assigns higher importance to historical traffic data than to exogenous information about the rainfall. Another reason might be insufficient training data points during inclement weather conditions.

## 5. OPPORTUNITIES FOR TRAFFIC NETWORK IN SERBIA

In Serbia, rain can be persistent throughout the year. The rainfall often affects the driving conditions and the key trip parameters such as departure time, mode of transportation and chosen route. Quantifying this impact could help transportation operators to better manage the safety and efficiency of transportation system during intense rainfall accidents. For instance, the use of variable speed limits (VSLs) during the rainy conditions can increase the safety by providing the drivers with the information about the speeds that are appropriate for the prevailing conditions [2]. This information can be displayed on existing and forthcoming variable message signs along the major highways and arterial roads.

Similarly, weather-responsive signals are capable of generating appropriate timing plans to accommodate non-recurrent fluctuations in traffic demand and travel speeds, explicitly caused by adverse weather [3]. The core of these and many other weather-responsive strategies is an accurate assessment of expected degradation in traffic stream parameters and precise estimation of near-future traffic conditions under the inclement weather. This degradation varies across the day, network and for different rainfall intensities. Relevant literature shows that considerable databases of high-resolution traffic and weather data are required to estimate the amplitude of such degradation in traffic and driving conditions.

## 6. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

Information about the rainfall is quite helpful for management centers and often used in traffic-related applications. Significant amount of research has been dedicated to an investigation of an impact of the inclement weather on traffic conditions and practical applications of weather-related information in traffic environment. We list some of the main contributions of the relevant studies and propose their implementations in Serbian road network:

- Continuous collection of weather and traffic related-parameters with high temporal frequency is necessary. These databases should be built at first for the major highways (such as E-75) with the option to be extended to other high-priority regional and city roads.
- Impact of the rainfall on traffic and driving conditions should be carefully explored for different rainfall thresholds, road categories and periods of the day. Quantifying such impact might prove extremely helpful for traffic operators in generating time/spatial-dependent solutions and strategies. At first, the focus should be on variable speed limits and weather-responsive signals since these techniques have already proven significant benefits in numerous case studies. Then, the scope of the research should be potentially extended to attractive prediction-related traffic applications that consider weather data to improve forecasting performance.
- Once the implementation take place, before and after evaluation study on weather related crashes should be conducted to quantify safety effects of such systems.
- Successful implementation in Serbia can be an encouraging example for the regional countries with similar climate to implement comparable systems and enhance their traffic operations during inclement weather conditions.

Future work will be conducted towards an investigation of an impact that adverse weather has on traffic and driving conditions in the contexts of large network and traffic predictions. A depth analysis of these topics is still missing in the relevant literature. The benefits of this analysis might be potentially proposed for implementation in traffic network in Serbia.

## Bibliography

- [1] Nikola Mitrovic et al., "On Centralized and Decentralized Architectures for Traffic Applications," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. PP, no. 99, pp. 1-10, 2016.
- [2] B Katz et al., "Guidelines for the use of variable speed limit system in wet weather," Technical Report 2012.
- [3] H Perrin, P Martin, and B Hansen, "Modifying signal timing during inclement weather," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, no. 1748, pp. 66-71, 2001.
- [4] National Environment Agency. (2016) National Environment Agency. [Online]. <http://www.nea.gov.sg/>
- [5] W K Lee et al., "A time series study on the effects of cold temperature on road traffic injuries in Seoul, Korea," in *Environmental Research*, vol. 132, 2014, pp. 290-296.
- [6] J Borgen and T Gustavsson, "RSI-road status information: A new Method for detection of road conditions," in *17th International Road Weather Conference*, 2014.
- [7] W H Lam, M L Tam, X Cao, and X Li, "Modeling the effects of rainfall intensity on traffic speed, flow, and density relationships for urban roads," *Journal of Transportation Engineering*, vol. 139, no. 7, pp. 758-770, 2013.
- [8] A K Anderson, "Winter Road Conditions and Traffic Accidents in Sweden and UK - Present and Future Climate Scenarios," 2010.
- [9] V R Tomas, M Pia-Castells, J J Martinez, and J Martinez , "Forecasting Adverse Weather Situations in the Road Network," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. PP, no. 99, pp. 1-10, 2016.
- [10] A S Mueller and L M Trick, "Driving in fog: The effects of driving experience and visibility on speed compensation and hazard avoidance," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 48, pp. 472-479, 2012.
- [11] C A MacCarley, C Ackles, and T Watts, "A study of the response of highway traffic to dynamic fog warning and speed advisory messages," in *85th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C., 2006.
- [12] A Bartlett, W Lao, Y Zhao, and A W Sadek, "Impact of inclement weather on hourly traffic volumes in Buffalo, NY," in *92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., 2013.
- [13] M Sabir, Mark J Koetse, and P Rietveld, "The impact of weather conditions on mode choice: Empirical evidence for The Netherlands," in *17th Annual conference EAERE*, Amsterdam, 2008, p. 24.
- [14] S Saneinejad, M J Roorda, and C Kennedy, "Modelling the impact of weather conditions on active

- transportation travel behaviour," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 17, no. 2, pp. 129-137, 2012.
- [15] H Lu, "Short-term traffic prediction using rainfall," *International Journal of Signal Processing Systems*, vol. 2, no. 1, pp. 70-73, 2014.
- [16] M Agarwal, T Maze, and R Souleyrette, "The weather and its impact on urban freeway traffic operations," in *85th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C., 2006.
- [17] R Billot, N E El Faouzi, and F De Vuyst, "Multilevel assessment of the impact of rain on drivers' behavior: Standardized methodology and empirical analysis," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, no. 2107, pp. 134-142, 2009.
- [18] H Rakha, M Farzaneh, M Arafteh, and E Sterzin, "Inclement weather impacts on freeway traffic stream behavior," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, no. 2071, pp. 8-18, 2008.
- [19] L Tsigotis, E I Vlahogianni, and M G Karlaftis, "Does information on weather affect the performance of short-term traffic forecasting models?," *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, vol. 10, no. 1, pp. 1-10, 2012.
- [20] S H Huang and B Ran, *An application of neural network on traffic speed prediction under adverse weather condition - PhD Dissertation.*: University of Wisconsin - Madison, 2003.
- [21] W Qiao, A Haghani, and M Hamed, "Short-term travel time prediction considering the effects of weather," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, no. 2308, pp. 61-72, 2012.
- [22] D I Tselentis, E I Vlahogianni, and M G Karlaftis, "Improving short term traffic forecasts: To combine models or not to combine?," *IET Intelligent Transport Systems*, vol. 9, no. 2, pp. 193-201, 2014.
- [23] S Butler, J Ringwood, and D Fay, "Use of weather inputs in traffic volume forecasting," in *ISSC 2007 Conference*, 2007.
- [24] L Lin et al., "Modeling the impacts of inclement weather on freeway traffic speed: An exploratory study utilizing social media data," in *94th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, 2015.
- [25] Thomas M Breuel, "The OCRopus open source OCR system ," *Electronic Imaging 2008: International Society for Optics and Photonics*, p. 68, 2008.
- [26] W L Leong et al., "Improving traffic prediction by including rainfall data," in *14th Intelligent Transportation Systems Asia-Pacific Forum*, 2015, p. 5.
- [27] T Asif, K Srinivasan, N Mitrovic, J Dauwels, and P Jaillet, "Near-lossless compression for large traffic networks," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 16, no. 4, pp. 1817-1826, August 2015.



- [28] M T Asif, N Mitrovic, L Garg, J Dauwels, and P Jaillet, "Low-dimensional models for missing data imputation in road networks," in *38th IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 2013, pp. 3527-3531.
- [29] S Dunne and B Ghosh, "Weather adaptive traffic prediction using neuro wavelet models," *Intelligent Transportation Systems IEEE Transactions*, vol. 14, no. 1, pp. 370-379, 2013.

# PLANNING FRAMEWORK FOR SELF-DRIVING VEHICLE MOBILITY TRANSITION: CASE STUDY OF BELGRADE, SERBIA

Miloš N. Mladenović, Pascale Blyth<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Built Environment, Aalto University, Finland

**Abstract:** Self-driving vehicles (SDVs) represent a convergence of computing, sensing, and communications technologies. SDV technology is currently in the rapid development and implementation stage. Several countries across the world are already having SDVs in actual traffic, and commercial models are expected to appear in the next decade. This disruptive technology promises many benefits, but is also facing a number of disadvantage and constraints. This research starts by identifying a range of potential positive and negative effects. Considering that the actual technological development is happening almost exclusively in only few countries, there is a need to a planning framework for SDV mobility transition in Serbia. Such a framework would enable the Serbian society to respond to the potential large risks and societal disruption originating from the SDV technology. In addition to the traditional transport planning approach, and in order to accommodate for a wider range of aspects, this research builds upon the work on technology transitions. The resulting planning framework includes technologies, infrastructures, practices, norms, and institutional and business ecosystems. The framework points to a range of state and city-level stakeholders that will be affected by the emergence of SDV technology. Focusing on the City of Belgrade, as a case study, the research develops a set of recommendations for SDV mobility transition. The special focus is dedicated to the changes in travel patterns, road capacity, vehicle ownership, mobility services, land use, safety, energy consumption, environmental effects, and introduction of automated driving zones. Finally, recommendations for necessary further actions from the public and private sector are included.

**Keywords:** autonomous vehicle, connected vehicle, transport planning, Sustainable Urban Mobility Plan, transport policy.

## 1. INTRODUCTION

Serbia, together with other highly automobilized societies, is on the verge of a major technological disruption. Despite gradual innovation and total overhauls of components and vehicle technology, the concept of automobile has remained fundamentally stagnant over the last century. However, advances in sensing, communication, and computation technology have created conditions for emergence of self-driving vehicle (SDV) technology. The convergence of automation and connectedness will enable individual vehicles to navigate their environment by performing all safety-critical driving actions without the need for a driver. Moreover, these technical capabilities will, for example, enable the formation of cooperative vehicle systems [1] and generate significant amount of data. Similarly to vehicles in the 20<sup>th</sup> century [2], SDVs are predicted to be one of the biggest disruptive technologies of the 21<sup>st</sup> century, deeply affecting societies and economies worldwide, as well as a range of human activities, including traveling, working, socializing, etc. [3-5].

Several potential benefits are listed in support of SDV technology development, starting from reducing the number of road accidents and fatalities, fuel savings, congestion avoidance, and parking savings [6, 7]. Other predicted benefits include reducing vehicle ownership [7-9], ability to do other activities, such as reading or working, whilst travelling [10], or significant export potential [11]. However, there is are significant uncertainties and potential disadvantageous consequences leading to increased risk stemming from large-scale SDV deployment. Considering the unknown developmental trajectory of SDV technology, the foundational vision plays an important role. Thus, there is a requirement for a proactive approach, considering a range of localized features of the society and technology.

## 2. SELF-DRIVING VEHICLE TECHNOLOGY

According to their definition, SDVs can have different automation levels [12], starting from "technology-augmented requiring driver assistance" to "completely autonomous requiring no driver" (**Error! Reference source not found.**). As it is often the case with disruptive technologies [13], SDVs have evolved from a confluence of different technologies. First component of technological convergence enabling SDVs was sensing technology that enabled real-time gathering of data about the vehicle and its environment (e.g., GPS coordinates, speeds, directions, accelerations, obstacles, etc.) [12, 14]. Second, development of short-range vehicle-to-vehicle and vehicle-to-infrastructure communication enabled transfer of periodic or activated

---

<sup>1</sup> Corresponding author: milos.mladenovic@aalto.fi

messages that can inform the surrounding vehicles (or vehicle's driver) and infrastructure, relaying data e.g., on vehicle's speed, position, or direction [15, 16]. Third, computation technology enabled storing and processing of larger amounts of data, comparable to a typical personal computer [17].

Level	Name	Narrative definition	Execution of steering and acceleration/deceleration	Monitoring of driving environment	Fallback performance of dynamic driving task	System capability (driving modes)	BASf level	NHTSA level
<b>Human driver monitors the driving environment</b>								
0	No Automation	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a	Driver only	0
1	Driver Assistance	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes	Assisted	1
2	Partial Automation	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	System	Human driver	Human driver	Some driving modes	Partially automated	2
<b>Automated driving system ("system") monitors the driving environment</b>								
3	Conditional Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	Human driver	Some driving modes	Highly automated	3
4	High Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	System	Some driving modes	Fully automated	3/4
5	Full Automation	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	All driving modes		

**Figure 1. Levels of Driving Automation for On-Road Vehicles**

Source: Society of Automation Engineers, German Federal Highway Research Institute BASf, US National Highway Traffic Safety Administration

In reality, SDVs are well under development in US, UK, Germany, France, Sweden, Netherland, Spain, Italy, Japan, South Korea, China, Singapore, and Australia [18]. In the US, Google has already rolled out prototype SDVs. The UK government is promoting the testing of SDVs in Milton Keynes, Buckinghamshire. Singapore is to start testing SDVs on its public highways in 2015. Mercedes-Benz is moving, incrementally, toward the development of SDVs: it already has demonstration vehicles capable of 99 per cent autonomous operation and commercially available vehicles that are 70 per cent autonomous. Volvo will have two test routes for SDVs in Göteborg by 2017. Cadillac division at General Motors is promising a "super cruise" technology in its 2017 models. Nissan is working on a range of SDVs that it claims will be for sale sometime between 2020 and 2025. Audi, BMW, Jaguar, Toyota, Continental, Bosch, Tesla, and Apple are some of the other companies that have publicly expressed their intention in developing SDVs. Moreover, Vienna Convention treaty was modified to allow the introduction of SDVs in Europe. On the other side, the State of Nevada has passed legislation to permit AVs on its highways. In addition to this, a range of information and communication technology (ICT) companies across the world have started developing organizational ecosystems for developing SDV and related technologies. For example, organizations such as Connected Vehicle Trade Association have already been formed, with the predictions that connected car market will generate a revenue of \$141 Billion by 2020 [19].

Research and development related to passenger and freight SDVs has been carried out for several decades under different names (e.g., Automated Highway System [20]). Starting from 1990s, technological development has made significant progress on adaptive cruise control (ACC) systems that can maintain the distance to the preceding vehicle [21]. Recently, ACC has been supplemented by a range of other vehicle systems, such as, blind spot monitoring, obstacle and collision warning, lane keeping support, and emergency braking [22]. In the past several years, there has been a dozen of large scale projects related to developing and testing SDV technology (e.g., HAVEit [23], SARTRE [24], CityMobil2 [25], iTETRIS [26]). An example of one of the large-scale developments is establishment of an artificial urban environment for testing of SDV technology initiated by the University of Michigan Transportation Research Institute (UMTRI). Moreover, a recent US Department of Transport's Strategic Plan for Intelligent Transportation Systems

announced realizing connected vehicle implementation and advancing automation as the primary technological drivers of current and future Intelligent Transport Systems (ITS) work across many sectors [27].

Smaller scale research projects have been focusing on specific aspects of SDV technology implementation. One of the largest groups of research projects focused on studying effects on traffic flow, concluding mostly positively changing flow properties as compared to traffic flow properties with manually driven vehicles [28-31]. In addition, there have been series of research project related to development of traffic control mechanisms (review in [32]), mostly concluding improvement to conventional traffic control (e.g., [33-38]). However, some research has attempted to point to the need for wider consideration when developing traffic management technology for SDVs [39, 40]. The second large group of research projects focused on in-vehicle human behavior in SDVs. This previous research stream suggests that high levels of vehicle automation result in reduced driver situation awareness as drivers show higher tendency to become involved with non-driving related tasks [41]. Moreover, previous research of human factors shows that there is an element of learning involved not only in knowing about system limitations, but also in responding to potential hazardous situations [42] (e.g., drivers might take approximately 15 seconds to resume control and up to 40 seconds to stabilize vehicle control [43]). Furthermore, there are some unpredictable behavior changes, such as tendency to avoid lane change, and consequent increase in travel time, for lower levels of automation [41]. Finally, previous research underlines changes in social interaction in between and in-vehicle that could potentially affect the quality of time spent in the vehicle [44].

Several surveys have been initiated to investigate public perceptions of SDV technology, showing contradictory results, and emphasizing the importance of relationship between human behavior and attitudes and introduction, adoption, and use of SDVs. In one of the surveys [45], two thirds of the participants a priori accepted fully automated driving and wanted to use it. Subjects stated intention to use fully automated driving on highways, in traffic congestion and for automatic parking, as well as expressed interest in driving under influence, despite the awareness of their responsibility. In a survey of British motorists [10], only 24% said they would consider purchasing the SDV in the future. In another survey, conducted by UMTRI in US, UK, Australia, China, India, and Japan [46], the majority of respondents had a positive initial opinion of the technology, and had high expectations about the benefits of the technology. The majority of respondents expressed a desire to have SDV technology. Contradiction continues in a recent survey of 2,000 drivers [47], 64% of participants said computers were not capable of the same quality of decision-making that human drivers exhibit, with 20% of drivers saying they would buy a fully autonomous car if one were available. In addition to these surveys, interviews with focus groups from California, Illinois, and New Jersey showed divided user opinions related to SDVs, with willingness to use SDV depending on the location the person is coming from and their gender [48].

Some of potential SDV benefits are mentioned in the previous section, including reduction in the number of road accidents and fatalities, fuel savings, congestion avoidance, and parking savings [6, 7]. Another often mentioned benefit is the potential for reducing individual car ownership, by enabling shared-vehicle mobility solutions or Mobility as a Service (MaaS) with mobility service operators providing a comprehensive and integrated range of mobility services to customers [7]. Previous research on vehicle ownership approximates up to 43% reduction in average ownership rate [8, 9]. In addition, one of the often mentioned benefits includes enhanced productivity for autonomous goods delivery vehicles [49] or changes in road design and maintenance [50]. Finally, previous research informs us that one of the potential benefits taken into consideration is a significant export potential [11] and potential for return on investment [51].

Besides a range of potential benefits, previous research also identifies several obstacles for large scale SDV deployment, continuing the argument of unsure benefits and disadvantages from SDV technology originating from the public opinion investigation [52]. The most often obstacles are infrastructure needs [7], data ownership, privacy, and cyber security [10, 46, 53]. One of the significant concerns present in general public bases on the opinion that hat electronics systems have become critical to the functioning of the modern automobile, and that these are presenting new human factors challenges [54]. In addition, respondents in previous surveys have expressed high level of concern whether SDV could perform as well as actual drivers [10, 46, 47]. In one of the large scale surveys, a majority of respondents (except in China and India) was also

unwilling to pay extra for the technology [46]. Finally, there have been some research highlighting the potential for increase in total distance travelled, vehicle costs, liability issues, and losing jobs [6, 45].

Despite the recent positive trend in the development and evaluation of SDV technology, there is an evident and substantial lack of evaluation of larger socio-economic implications, neglecting the fact that technological change has economic, political, and cultural dimensions. In addition, methodologies implemented in previous research primarily stem from a reductionist perspective of SDV technology, failing to completely consider the subject of social practices, everyday behavioral routines and interactions that require the use of a vehicle for the enactment of sociality, such as household and work communities. For example, SDVs are consistently perceived as progressing only through discrete levels of automation, with isolated focus on SDV itself. Consequently, this completely neglects road network characteristics or human behavior in the vehicle.

It is important to emphasize that SDV and other related technologies are already under development. This foundational development is primarily happening outside of Serbia. This external technology development is adding another layer of disruptiveness, stressing the timely opportunity for Serbia to have a say in the future of its technological economy and shaping of societal structures. Otherwise, leaving the technological transition to global-market forces, will not only result in Serbia underutilizing this technology, but potentially having very detrimental consequences on the whole country

### **3. STATE-OF-THE-ART TRANSPORT PLANNING IN EUROPE**

As described in the previous section, despite a number of international efforts related to SDVs, there is a lack of efforts in Serbia. Considering the context of SDV technological development, transport planners have to respond to the emerging technology and its potential disruption. As a benchmark for the state-of-the-art transport planning, one can account the concept of Sustainable Urban Mobility Plan (SUMP). SUMPs are a recently-created European-level policy tool; and the guidelines for their definition and implementation were published as recently as 2014. SUMP [55] is defined as “a strategic plan designed to satisfy the mobility needs of people and businesses in cities and their surroundings for a better quality of life.” Thus, SUMP “builds on existing planning practices and takes due consideration of integration, participation, and evaluation principles” [56]. SUMP aims to represent a new approach to planning mobility that departs from the traditional transport planning, focusing on people instead of traffic. SUMP does so by aiming at the long term planning, and going beyond administrative boundaries to serve geographical areas. Among other SUMP elements, there is a greater focus on public involvement, better cooperation between providing agencies, as well as greater accountability and measurability [57]. Individual components of the SUMP process are depicted on the Figure 2. Considering the improvements to the SUMP framework so far, the current state of the SUMP process [58] includes:

- A focus on 'functioning cities' rather than municipal administrative regions.
- A focus on the future development of the urban area, transport and mobility infrastructure and services in the long-term as well as the short-term delivery plan for implementation.
- A careful assessment of the present and future performance of the urban transport system.
- A balanced development of all relevant transport modes; encourages a shift towards more sustainable modes; and puts forward an integrated set of technical, infrastructure, policy-based, and soft measures to improve performance and cost-effectiveness.
- A horizontal and vertical integration by means of a high level of cooperation, coordination and consultation between the different levels of government and relevant authorities; as well as appropriate structures and procedures.
- Transparency and participation.
- Monitoring, review, and reporting of the implementation.
- Mechanisms at Local Planning Authorities for ensuring the quality and validating the compliance of the SUMP with the requirements of the SUMP concept.

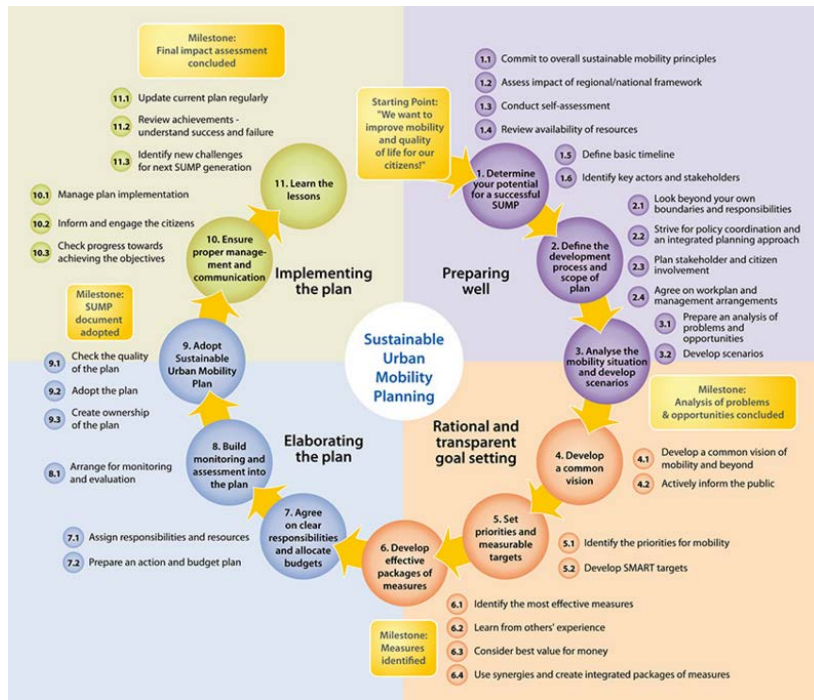


Figure 2. Sustainable Urban Mobility Plan process

Source: <http://www.eltis.org/content/sump-process>

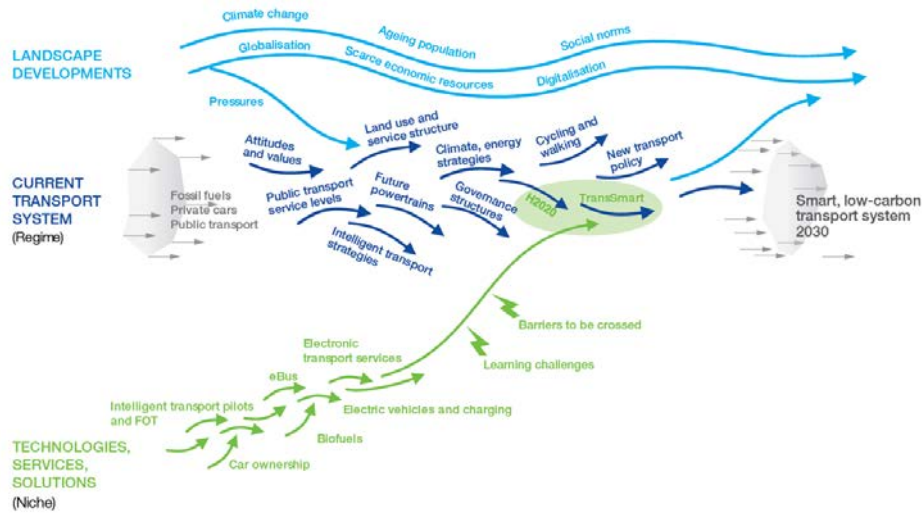
However, although technological disruptiveness is usually determined in hindsight [59], simple thought exercises can allow one to realize enormous societal relevance and disruptiveness of SDVs in Serbia. Despite its advances in comparison to the conventional, four-step modelling based approach [60], the current transport planning paradigm does not have explicit mechanism for tackling significantly disruptive technologies, such as SDVs. As a result, there is a need for adaptation and evolution of planning principles, if benefits and disadvantages related to SDVs are to be managed locally.

#### 4. BUILDING BLOCKS OF THE EXPANDED PLANNING FRAMEWORK

In order to respond to the disruption from the emerging SDV technology, there is a need for a novel methodological approach. With a deterministic approach to future, previous research neglects complex interdependence of system elements, and the inherent impossibility of linear prediction of consequences. This results in an approach where future is something already decided or "inevitable", as opposed to the future being something that can be shaped. Considering the complexity of societal challenges and SDVs as sociotechnical systems, as well as the necessary solution-oriented approach, there is a need to combine necessary multidisciplinary perspectives into a novel methodological framework.

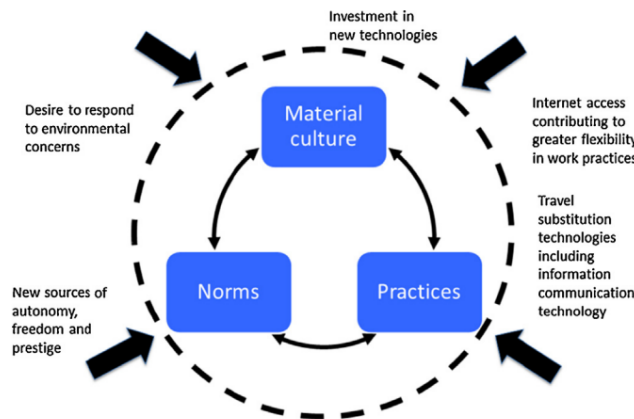
Such a methodological approach should build upon the state-of-the-art transport planning paradigm, such as SUMP. However, the novel planning paradigm needs to draw from the conventional technological transition theories. For example, the conventional multilevel perspective on technological transitions [61] recognizes landscape, regime, and niche levels of interaction (**Error! Reference source not found.**). Socio-technical landscape represent macro level, long-term, relatively stable elements that provide context for transitions (e.g., trade conditions, culture, global political constellation, etc.). Regime include meso level, prevailing, mainstream order in activities among social groups. Finally, niche consists of origins of creation of novel technologies and practices in the micro level. Complementary theories have recognizes the influence of social networks around a specific technology, consisting of specific actors and institutions. Despite the fact that socio-technical landscapes have not been used for SDV technology, this perspective brings up an excellent point that social and technological changes evolve together, through mutual influence. Consequently, transitions are influenced by interactions between many social groups: public authorities,

private companies, user groups, scientific communities, social movements, special interest groups, etc. However, this innovation-driven perspective fails to completely incorporate the modern life complexity, considerations for human behaviour, and mutual shaping between the social values and the technology.



**Figure 3.** Multi-level perspective on technological transitions in transport  
 Source: Typology of sociotechnical transition pathways [62]

Besides the knowledge originating from technology transitions theory, an improved planning framework needs to build further upon the holistic understanding of the technology in a social context. Furthermore, the anthropocentric methodology should also be foresight-oriented. Thus, the intention of the framework is not to predict the future, but to help in building it by placing human as its central pillar. Consequently, the planning framework should include elements of action-orientation, openness to alternative futures, and participatory design, while embracing elements of complexity. On the contrary to the technology transition theory, the framework needs to progress away from the word 'landscape', which implies a complete picture of the present or future world and Archimedean standpoint. Instead, the planning framework replaces the idea of the 'landscape' with the term 'horizon'. In this context, the horizon implies a perspective that accepts a range of alternative futures, while simultaneously thinking about changes in tangible (e.g., institutional networks, company clusters, technologies, built environment) and intangible world (e.g., practices, societal norms and values). Similarly to the Energy Cultures framework [63] show on Figure 4, a comprehensive planning framework thus includes interdependency between societal norms, practices and material culture. Thus, the methodological approach observes SDVs as complex artefacts in a large sociotechnical system. This sociotechnical system includes people, hardware, software, physical surroundings, other technologies, institutional and business networks and procedures, laws and regulation, data and structures, etc.



**Figure 4.** Example of the Energy Cultures framework  
 Source: Conceptualizing transport transitions: Energy Cultures as an organizing framework [63]

In addition to the expanded perspective, a novel planning framework requires a change in planning processes. Instead of the primarily expert-driven approach, there is a need for a participatory approach [64], which can create normative and desirable future visions and roadmaps [65]. Moreover, instead of forecasting, the planning framework should focus on a backcasting approach, by looking back from the desired future and creating decisive steps and pathways to the present [66, 67]. In addition, the recommendations for action should be planned as short-term (highly detailed), medium-term (semi-detailed), and long-term (general), with year 2040 as the temporal destination point for transition pathways. In this procedural approach, the planning framework can enable both bottom-up and top-down input. Finally, the planning framework should consider all automation levels, as well as different percentages of SDVs in traffic, different user profiles, and relations to freight transport.

## 5. POLICY RECOMMENDATION IN THE CONTEXT OF THE CITY OF BELGRADE AND SERBIA

Having in mind the previous framework components, this section will identify examples of the disruption in Serbia, with a particular focus on the City of Belgrade, as the largest metropolitan area. In addition, this section will present specific recommendation for future action from the public and private sector. First, following are some examples of SDV technology manifestation, with reflection of potential positive and negative implications, for Serbia and the City of Belgrade:

- SDV technology has the potential to address mobility needs of Belgrade region through cooperative vehicle platoons or new demand-based mobility services. However, in terms of in-vehicle comfort level, SDV might radically reconfigure the experience of traveling. While mobility is integral to the management of household or work communities, it is only one element in a support structure of the social organization and the human activities in locations such as households or workplaces. Consequently, despite being primarily a mobility technology, SDVs might relate to significant changes in human household, leisure, mobility, work, and other activity. These changes might result in an increased number of vehicles in use, increased urban sprawl, declined use of public transport, increased energy consumption, and detrimental environmental effects throughout the metropolitan area.
- SDV technology has a potential to improve traffic safety by removing human error. However, there are risks stemming from the existing infrastructural and technological legacies in transportation system [50]. For example, a failure to develop mechanism for proper infrastructure investment in combination with adverse weather conditions might result in detrimental technological and infrastructural failures, leading to negative effects on vulnerable road users, such as pedestrians or bicyclists, with lives and trust lost.
- SDV technology has the potential to provide highly needed mobility for elderly and disabled [68], as well as children. In the context is mobility of elderly and disabled, there is potential for improvement of functional and working ability. However, changes in human activity patterns from SDV use might also result in negative impacts on health and well-being. For example, instead of active living behavior, wide-spread adoption of SDVs might increase obesity throughout age groups. In addition, due to technological complexity or lack of trust [69] in SDVs, these vehicles might not be used by elderly, failing to prolong their working or functional capacity.
- SDV technology can enable economic development and productivity of the whole metropolitan region, providing efficient logistics services over long distances. Moreover, in the Serbian context, one aspect of changes might relate to increased flexibility in workplace location and emergence of new forms of employment [70]. One example includes changes in job descriptions, where delivery driver switches from being solely an operator of the vehicle, to include value-added services, such as household appliance installation. In the case of autonomous delivery vehicles, a person could still present, but instead of driving, the worker focuses on locating and collecting packages [49], or can perform other enriched tasks. In the case of social services, this could mean a home care worker that escorts the elderly from their home to meet other senior citizens. However, regional and economic equality may get worse if SDVs are too expensive for the lower income classes, or mobility



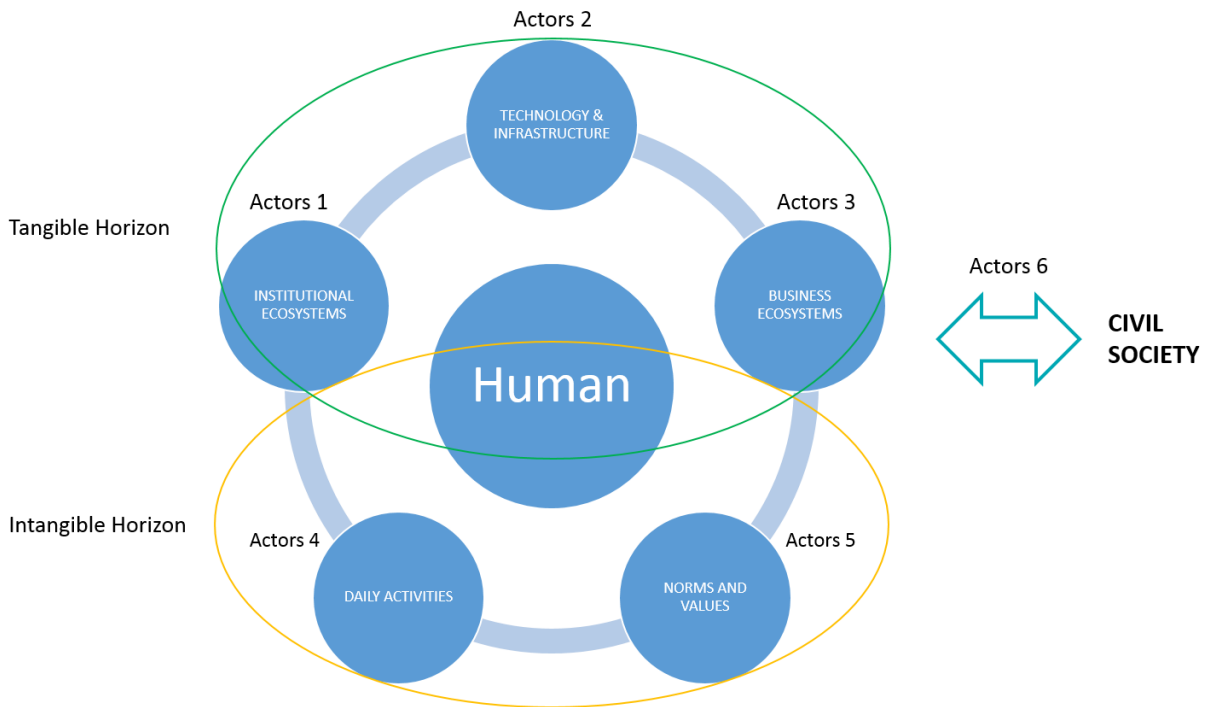
services cover only densely populated areas, thus creating mobility challenges for low income citizens in suburban areas.

These brief examples point to a range of potential changes, from travelling practices to societal norms, such as trust and equality. In addition to high emphasis on changes in human activity, SDV technology will affect a range of institutions and organizations. For example, SDV technology will affect taxi companies, ride-sharing companies, freight companies, retailers, air and rail companies, auto repair companies, hotels and rest areas, planning and engineering organizations, road maintenance authorities, mass transport agencies, parking agencies, real estate companies, telecommunication companies, consulting companies, enforcement, insurance companies, lawyer agencies, emergency health care providers, electricity suppliers, driving schools, vocational/trade schools and universities. All these, and many other institutions will need to reconsider their institutional structures, operational methods, and competencies in order to utilize SDV technology.

Consequently, there is an urgent need for a broad consideration of interdependent benefits and disadvantages stemming from SDVs in Serbia. Disruptiveness stemming from SDV technology will introduce significant changes and risks in the public sector, the private sector, and the civil society. The first step for action is the identification of institutional interdependencies and structures (e.g., legislation, administrative decisions, etc.), along with identifying institutional bottlenecks, is important for supporting comprehensive technology utilization. As previous research recommends [5-7, 71], public sector will need to have a very important role in influencing the complex technological transition process. Moreover, public sector will have an important role in enabling conditions to utilize SDV technology in Serbia, in a socially responsible manner. However, an approach would require an interdependent network of groups of stakeholders (actors), with a significant public participation in the process of transition (Figure 5). Despite the leading role of the public sector, a range of private and non-government stakeholders should be involved.

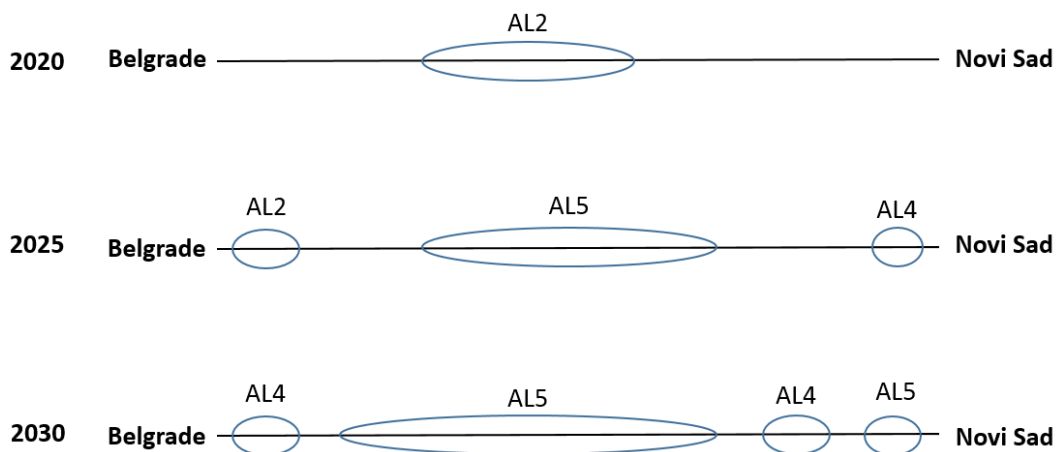
Considering the complexity of SDV technology, the groups of stakeholders will need to simultaneously focus on several aspects for developing optimal transition plans. One aspect is initiating a development of an integrated approach for land use, housing, transport, service structure and operating conditions for business. In general, the public sector will need to introduce coherence in policy portfolio, as opposed to current practice of 'silo-based' policies and local activities. In addition to vertical, horizontal, and timing coordination of policies, the public sector will need to consider a range of policies, from taxation to flexible regulation of work and incentives for working longer. Moreover, considering high technological dependence on road and communication infrastructure, the public sector will have to determine its role in relation to infrastructural investments [72] or ensuring mobility for all country's regions. This will potentially require the implementation of new operating models and methods for the public sector. For example, actions will require changes in funding schemes and municipal responsibilities. In addition, the public sector will need to recognize and cooperate with a range of agents of technological transitions, including corporations, researchers, non-government organizations, and citizens. Often, there are exceptional leaders and pioneers with cross-generational thinking that can skillfully connect and mobilize complex networks of actors across system levels and organizational boundaries. Serbian public sector can support societal actors and establish collaborative network by developing an understanding of those leaders and pioneers. Finally, in order to anticipate and manage risk, Serbian public sector will need to enable policy learning and develop strategic institutional agility, while improving conditions for institutional and decision-making transparency.

Adapting to change will also require that all societal elements have necessary skills, knowledge, and resources. It is important to remember that Serbia has the chance to develop supportive innovation networks and national-level value creation ecosystem of companies. Moreover, SDV technology has the potential to enable sustainable business activities based on renewable natural resources and integrated with social ways of providing services. For Serbian companies (particularly the SMEs) to play a significant role in the development of SDVs, the local ecosystem must be diversified by attracting new participants, such as large automotive companies, to join in and set up operations in Serbia. This would not necessarily mean manufacturing, but R&D, prototyping, and field-testing.



**Figure 5.** Example of the proposed planning framework  
Source: Authors

As an immediate step required is setup of the legislative procedures for enabling SDVs in Serbia. Legislative support can support initial piloting and testing, necessary to contextualize further actions. One recommendation is that instead of generally allowing SDV operation in Serbia, a dedicated autonomous driving zones (ADZs) according to automation level (AL) are established. These ADZs might be implemented on certain road network sections, and potentially even at certain time periods. A simplistic example in Figure 6 shows allowing the use of SDVs of certain automation level (AL) at certain zones on the road network. Moreover, ADZs allowing lower level AL might be applicable to urban arterials. In a longer time span, the extent of ADZs and their AL will gradually increase. As further testing provides empirical evidence, ADZs might expand. This approach will also enable to account for a range of services and practices that will have to evolve along with the capability of automated driving, as well as a mixture of automation levels among the vehicle population, due to gradual renewal.



**Figure 6.** Example of SDV technology roadmap for network segment in Serbia  
Source: Authors

## 6. CONCLUSION

Considering the advent of SDV technology and the level of potential disruption stemming from it, Serbia has to take a proactive role in technological transition, and shaping its future. However, taking into account the novelty of the situation that transport planning is facing with the advent of SDV technology, there is a need for a paradigm shift. Instead of focusing solely on transport and using forecasting methods, a planning framework needs to account for a range of elements, starting from travelling practices, societal norms, up to institutions and technologies. In addition, forecasting approach needs to be replaced with a foresight-based approach, imagining a range of alternative futures, and developing roadmaps to the present. This research presents such a new planning framework, building upon the SUMP approach, and combined with a perspective from technology transitions theories. This new planning paradigm will require development of a network of stakeholders, from both public, private, and civil society. An immediate step for improving the localized understanding of implications from SDV technology, legislation needs to allow the development of autonomous driving zones.

## References

1. Baskar, L.D., et al., *Traffic control and intelligent vehicle highway systems: a survey*. IET Intelligent Transport Systems, 2011. 5(1): p. 38-52.
2. Womack, J.P., D.T. Jones, and D. Roos, *The machine that changed the world* 2008: Simon and Schuster.
3. Manyika, J., et al., *Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy*. Vol. 180. 2013: McKinsey Global Institute San Francisco, CA.
4. *10 Breakthrough Technologies*. MIT Technology Review, 2015.
5. Anderson, J.M., et al., *Autonomous Vehicle Technology: A Guide for Policymakers* 2014: Rand Corporation.
6. Fagnant, D. and K. Kockelman, *Preparing a Nation for Autonomous Vehicles: Opportunities, Barriers and Policy Recommendations*. Eno Center for Transportation. October, 2013.
7. Godsmark, P., et al., *Automated vehicles: the coming of the next disruptive technology*, 2015, The Conference Board of Canada's Centre for Transportation and Infrastructure, The Van Horne Institute, and The Canadian Automated Vehicles Centre of Excellence.
8. Schoettle, B. and M. Sivak, *Potential impact of self-driving vehicles on household vehicle demand and usage*, 2015, The University of Michigan Transportation Research Institute.
9. Spieser, K., et al., *Toward a Systematic Approach to the Design and Evaluation of Automated Mobility-on-Demand Systems: A Case Study in Singapore*, in *Road Vehicle Automation* 2014, Springer. p. 229-245.
10. Barton, R., *Automotive Trends 2015 Changing Lanes: Understanding consumer attitudes and future trends in the UK motoring industry*, 2015, Future Thinking.
11. Shladover, S.E., *Recent International Activity in Cooperative Vehicle-Highway Automation Systems*, 2012, Office of Corporate Research, Technology, and Innovation Management, Federal Highway Administration.
12. Ziegler, J., et al., *Making Bertha Drive? An Autonomous Journey on a Historic Route*. Intelligent Transportation Systems Magazine, IEEE, 2014. 6(2): p. 8-20.
13. Kostoff, R.N., R. Boylan, and G.R. Simons, *Disruptive technology roadmaps*. Technological Forecasting and Social Change, 2004. 71(1): p. 141-159.
14. Ozguner, U., T. Acarman, and K.A. Redmill, *Autonomous ground vehicles* 2011: Artech House.
15. Karagiannis, G., et al., *Vehicular networking: A survey and tutorial on requirements, architectures, challenges, standards and solutions*. Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 2011. 13(4): p. 584-616.
16. Misener, J.A., et al., *Vehicle-Infrastructure Cooperation*, in *Vehicular networks: from theory to practice*, S. Olariu and M.A.C. Weigle, Editors. 2009, Chapman & Hall/CRC.
17. Leen, G. and D. Heffernan, *Expanding automotive electronic systems*. Computer, 2002. 35(1): p. 88-93.
18. *Automated Driving Roadmap*, 2015, ERTRAC Task Force.
19. *Global Connected Car Market (Technology, Connectivity Solutions, Product & services, Applications & Geography): Size, Share, Global Trends, Company Profiles, Demand, Insights, Analysis, Research, Report, Opportunities, Segmentation & Forecast, 2013-2020*, 2014, Allied Market Research

20. *Demo '97 proving AHS works*. Public Roads, 1997. Vol 61(No.1).
21. Xiao, L. and F. Gao, *A comprehensive review of the development of adaptive cruise control systems*. Vehicle System Dynamics, 2010. 48(10): p. 1167-1192.
22. Öörni, R., *Implementation road map. iCar Support D3.1.*, 2012, European Commission.
23. Hoeger, R., et al. *Highly automated vehicles for intelligent transport: have-it approach*. in *15th World Congress on Intelligent Transport Systems and ITS America's 2008 Annual Meeting*. 2008.
24. Chan, E., et al. *Cooperative control of SARTRE automated platoon vehicles*. in *19th ITS World Congress, Vienna, Austria*. 2012.
25. Alessandrini, A., et al., *CityMobil2: Challenges and Opportunities of Fully Automated Mobility*, in *Road Vehicle Automation 2014*, Springer. p. 169-184.
26. Gozalvez, J., et al., *iTETRIS: the framework for large-scale research on the impact of cooperative wireless vehicular communications systems in traffic efficiency*. Information and Communications Technologies (ICT-MobileSubmit 2009), 2009.
27. Barbaresso, J., et al., *USDOT's Intelligent Transportation Systems (ITS) ITS Strategic Plan 2015-2019*, 2014, US Department of Transportation.
28. Van Arem, B., C.J. Van Driel, and R. Visser, *The impact of cooperative adaptive cruise control on traffic-flow characteristics*. Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on, 2006. 7(4): p. 429-436.
29. Davis, L., *Effect of adaptive cruise control systems on traffic flow*. Physical Review E, 2004. 69(6): p. 066110.
30. Li, K. and P. Ioannou, *Modeling of traffic flow of automated vehicles*. Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on, 2004. 5(2): p. 99-113.
31. Yuan, Y.-M., et al., *Traffic flow characteristics in a mixed traffic system consisting of ACC vehicles and manual vehicles: A hybrid modelling approach*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2009. 388(12): p. 2483-2491.
32. McPherson, T. and M.N. Mladenović, *Ethical Principles for the Design of Next-Generation Traffic Control Technology*, 2014, Virginia Tech ISCE Applied Ethics Initiative Sponsored Paper.
33. Mladenovic, M.N. and M.M. Abbas. *Self-organizing control framework for driverless vehicles*. in *Intelligent Transportation Systems-(ITSC), 2013 16th International IEEE Conference on*. 2013. IEEE.
34. Mladenovic, M.N. and M. Abbas, *Anthropocentric development of intersection control principles for self-driving vehicles under considerations of social justice*. mobil. TUM, 2015.
35. Mladenovic, M.N. and M. Abbas. *Evaluation of priority-based traffic control framework for self-driving vehicles under considerations of social justice*. in *94th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington, DC*. 2015.
36. Mladenovic, M.N. and M. Abbas. *Priority-based intersection control framework for self-driving vehicles: Agent-based model development and evaluation*. in *Connected Vehicles and Expo (ICCVE), 2014 International Conference on*. 2014. IEEE.
37. Abbas, M.M. and M.N. Mladenovic. *Agent-based control for adaptive high performance connected vehicle streams*. in *Connected Vehicles and Expo (ICCVE), 2013 International Conference on*. 2013. IEEE.
38. Mladenovic, M.N. and M.M. Abbas. *Socially sustainable control framework for self-driving vehicles*. in *Connected Vehicles and Expo (ICCVE), 2013 International Conference on*. 2013. IEEE.
39. Mladenovic, M.N. and T. McPherson, *Engineering Social Justice into Traffic Control for Self-Driving Vehicles? Science and engineering ethics*, 2015: p. 1-19.
40. Mladenovic, M.N., M. Abbas, and T. McPherson. *Development of socially sustainable traffic-control principles for self-driving vehicles: the ethics of anthropocentric design*. in *Ethics in Science, Technology and Engineering, 2014 IEEE International Symposium on*. 2014. IEEE.
41. Jamson, A.H., et al., *Behavioural changes in drivers experiencing highly-automated vehicle control in varying traffic conditions*. Transportation research part C: emerging technologies, 2013. 30: p. 116-125.
42. Larsson, A.F., K. Kircher, and J.A. Hultgren, *Learning from experience: Familiarity with ACC and responding to a cut-in situation in automated driving*. Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, 2014. 27: p. 229-237.
43. Merat, N., et al., *Transition to manual: Driver behaviour when resuming control from a highly automated vehicle*. Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, 2014. 27: p. 274-282.
44. Juhlin, O., *Social media on the road: the future of car based computing*. Vol. 50. 2010: Springer Science & Business Media.
45. Payre, W., J. Cestac, and P. Delhomme, *Intention to use a fully automated car: Attitudes and a priori acceptability*. Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, 2014. 27: p. 252-263.

46. Schoettle, B. and M. Sivak, *Public opinion about self-driving vehicles in China, India, Japan, the US, the UK, and Australia*, 2014, The University of Michigan Transportation Research Institute.
47. Vallet, M. *Survey: Drivers ready to trust robot cars?* 11/11/2013]; Available from: <http://www.carinsurance.com/Articles/autonomous-cars-ready.aspx>.
48. *Self-Driving Cars: Are We Ready?*, 2013, KPMG LLC.
49. Kamin, C. and D. Morton. *A Financial Analysis of Different Scenarios for Using Autonomous Vehicles to Deliver Packages*. in *Transportation Research Board 94th Annual Meeting*. 2015.
50. Lutin, J.M., A.L. Kornhauser, and E. Lerner-Lam, *The revolutionary development of self-driving vehicles and implications for the transportation engineering profession*. ITE Journal, 2013. 83(7).
51. *Creative Disruption: Exploring Innovation in Transportation*, 2013, Intelligent Transportation Society America - Leadership Circle.
52. Blyth, P., et al. *Driving the self-driving vehicle: Expanding the technological design Horizon*. in *21st IEEE International Symposium on Technology and Society, Dublin, Ireland*. 2015.
53. *Automotive Cyber Security: An IET/KTN Thought Leadership Review of risk perspectives for connected vehicles*, 2015, Institution of Engineering and Technology, Knowledge Transfer Network.
54. *The Safety Promise and Challenge of Automotive Electronics: Insights from Unintended Acceleration*, 2012, Committee on Electronic Vehicle Controls and Unintended Acceleration, Transportation Research Board, Board on Energy and Environmental Systems, Computer Science and Telecommunications Board
55. *Action Plan on Urban Mobility What can the EU do ?*, 2013, The European Union.
56. F. Wefering, S.R., S. Bührmann, S. Böhrer-Baedeker, and Rupprecht Consult, *Developing and implementing a sustainable urban mobility plan*, 2013.
57. May, A.D., *Encouraging good practice in the development of Sustainable Urban Mobility Plans*. Case Studies on Transport Policy, 2015. 3(1): p. 3-11.
58. Blyth, P., Mladenovic, M. , *Sustainable Urban Mobility Plans: Towards a Common European Transport Planning Framework*. Journal of Road and Traffic Engineering, 2015. 61(4): p. pp. 5-14.
59. Danneels, E., *Disruptive technology reconsidered: A critique and research agenda*. Journal of product innovation management, 2004. 21(4): p. 246-258.
60. Mladenovic, M. and A. Trifunovic, *The Shortcomings of the Conventional Four Step Travel Demand Forecasting Process*. Journal of Road and Traffic Engineering, 2014. 60(1): p. 5-12.
61. Geels, F.W. and J. Schot, *Typology of sociotechnical transition pathways*. Research policy, 2007. 36(3): p. 399-417.
62. *Smart Sustainable Mobility*, 2014, VTT Technical Research Center.
63. Stephenson, J., D. Hopkins, and A. Doering, *Conceptualizing transport transitions: Energy Cultures as an organizing framework*. Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment, 2015. 4(4): p. 354-364.
64. Reason, P. and H. Bradbury-Huang, eds. *The SAGE Handbook of Action Research: Participative Inquiry and Practice*. Second Edition ed. 2013, Sage: London.
65. Tuominen, A., *Knowledge production for transport policies in the information society*2009: VTT.
66. Neuvonen, A., et al., *Low-carbon futures and sustainable lifestyles: A backcasting scenario approach*. Futures, 2014. 58: p. 66-76.
67. Arnkil, R., *Remembering the future: future dialogue and the future of dialogising*, in *Dialogue in Working Life Research and Development in Finland*, J. Lehtonen and S. Kalliola, Editors. 2008, Peter Lang: Frankfurt am Main.
68. Shergold, I., G. Lyons, and C. Hubers, *Future mobility in an ageing society—Where are we heading?* Journal of Transport & Health, 2014.
69. Stave, C., et al., *Older drivers' needs for safety and comfort systems in their cars: a focus group study in Sweden*, 2014, Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI).
70. *New forms of employment*, 2015, Eurofound, Publications Office of the European Union Luxembourg.
71. Rupp, J.D. and A.G. King, *Autonomous Driving: A Practical Roadmap*, 2010, SAE Technical Paper.
72. Bell, M.G.H., *Policy issues for the future intelligent road transport infrastructure*. Centre for Transport Studies, Imperial College London, 2006.

# POLICY IMPLICATIONS FOR CONGESTION PRICING IN THE CITY OF BELGRADE

Miloš N. Mladenović<sup>1</sup>, Dušan Jolović<sup>2</sup>, Draženko Glavić<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Built Environment, Aalto University, Finland

<sup>2</sup> Department of Civil Engineering, New Mexico State University, USA

<sup>3</sup> Faculty of Traffic and Transportation Engineering, University of Belgrade, Serbia

**Abstract:** Congestion pricing is an emerging trend in the urban environments across the world, with a primary objective of transport demand management. Stemming from the transport economics theory, congestion pricing is an example of a Pigouvian tax. The assumption is that the user is paying an additional 'tax' amount equal to the marginal external costs. The economic perspective is that when a road user decides to travel additional kilometers or additional trips, she imposes costs on herself, other road users, infrastructure, and the rest of the society. Consequently, introducing a pricing mechanism is considered as a good approach to ensure that a limited good is made accessible to those who value it the most. As a result, those with the highest willingness to pay receive the good. However, despite its economic roots, congestion pricing has a strong socio-political dimension. A range of issues arise since congestion pricing affect the distribution of benefits and disadvantages in society, thus raising the questions of public and political acceptance. As a result, despite several successful implementations across the world, congestion pricing has often been rejected in many cities. Drawing on the policy lessons from abroad, this research investigates a potential for congestion pricing in the City of Belgrade. Taking into account crucial socio-political aspects and their importance for a country in transition, as well as emerging development of road pricing technology, this research investigates a potential for mobility credit scheme. Moreover, the policy implications draw on the common European transport planning framework – Sustainable Urban Mobility Plan.

**Keywords:** road pricing, transport economics, public acceptance, policy learning, demand management.

## 1. INTRODUCTION

Congestion pricing, as one implementation of road pricing theory, and enabled by the advent of Intelligent Transport Systems technology, offers significant promises for managing demand and transport externalities in urban environments. Considering the level of service on the Belgrade network, congestion pricing can be considered as one policy-level alternative for tackling ongoing demand management issues. In addition to the benefits from demand management, congestion pricing can be an effective policy in financing transport infrastructure. However, despite the attractiveness of some immediate benefits, congestion pricing is very complex policy measure. At the core of this complexity are often contradicting institutional and user criteria. A discussion on institutional and user perspectives in road pricing has been an open question since the seminal Pigou and Knight papers [1]. These two perspectives still persist, with several dimensions, such as economic, political, or technological. For example, an institutional perspective might need to take into consideration total revenue from road pricing, investment costs, and maintenance and operations costs, adaptability of tolling technology, tolling system interoperability, access control, vulnerability issues, organizational resources, or level of potential user abuse [2]. Contrary to the institutional perspective, one important element of the user perspective is acceptability of road pricing scheme [3-11]. User acceptance is important since lack of public acceptance can be crucial for successful implementation of a road pricing scheme [7]. For example, extreme cases of lacking public acceptance of road pricing have resulted in boycott and demonstrations [12]. On the other hand, other issues relate to the economic dimension of user perspective. For example, it is a fact that users cannot precisely calculate direct and indirect costs during travel [13]. With this in mind, economic literature often hypothesizes about a monetary borderline value where an individual would be willing to pay to secure the use of the goods or service, i.e., willingness to pay [14]. In addition to willingness to pay, economists often discuss willingness to accept, as the minimum amount an individual would be willing to accept to give up using the goods or service. Taking into account institutional and user perspectives, there is an evident need for a balance between the two. Moreover, previous research informs us that we cannot underestimate the importance of case specific implementation factors [15]. This research will build from the fundamentals of road pricing theory, to draw policy lessons for considering congestion pricing in the City of Belgrade. Having the benefit of existing international

---

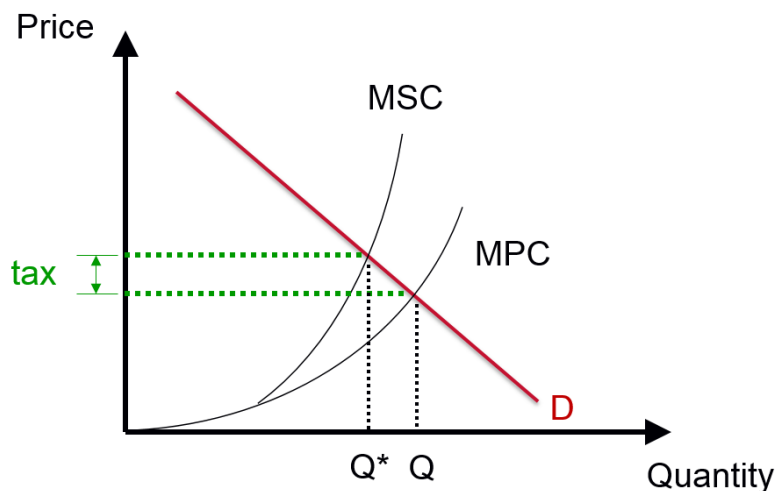
<sup>1</sup> Corresponding author: milos.mladenovic@aalto.fi

experiences from congestion pricing, City of Belgrade can engage in policy learning, to avoid pitfalls and enable benefits.

## 2. ROAD PRICING FUNDAMENTALS

Until the 19<sup>th</sup> century, road pricing charges have been integrally related to financing the road construction and maintenance [16, 17]. Prior to this period, the building and maintenance of roads was usually the responsibility of local residents and towns that benefited from this infrastructure. In addition, publicly financed roads have been perceived as unfair since very small percentage of population owned a vehicle [18]. In the previous decades, several European countries have considered road pricing systems, using mostly time-based vignette or kilometer-based system [16, 19, 20]. The infrastructure pricing policy at the EU level primarily concerns freight traffic, while the question of pricing for passenger vehicles was left to individual member states. For example, Directive 2004/52/EC of the European Parliament focuses on the conditions for interoperability of electronic road toll systems in Europe, with the intention to ensure straightforward car travel across national borders. Furthermore, Directive 2006/38/EC and 2011/76/EU of the European Parliament focus on recommendations for internalizing external costs of road transport. In practice, only a limited number of road pricing proposals has actually been implemented for passenger vehicles [15, 19, 21], with most of the EU countries having road pricing schemes primarily for heavy vehicles [16]. The actual road pricing schemes differ between European countries, with different road prices and charge methods [22].

Complementary to the institutional perspective, road pricing has strong origins in the economic theory. Transport economists have argued that the search for maximum efficiency in the provision of scarce resource is achieved by application of marginal cost pricing [23-26]. Road user charging is therefore a classic application of a Pigovian tax (Figure 1), where the user is paying additional 'tax' amount equal to the marginal external costs [24, 27]. The argument is that when a road user decides to travel additional kilometers or additional trips, she imposes costs on herself, other road users, infrastructure, and the rest of the society [17]. These costs to oneself are referred to as private costs. Other costs are referred to as external costs. Consequently, there is a need for the price to reflect these additional external costs, and act as signal to the traveler's decision-making. Marginal signal to an efficient car use links to the cost of making a particular trip, in order to influence individuals' decisions on whether, how, when, and what route to travel [19, 28]. In addition to the signaling effect, the price mechanism is considered a good approach to ensure that a limited good is made accessible to those who value it the most. As a result, by raising price by certain amount of the Pigovian tax until the total demand is equal to the available quantity, those with the highest willingness to pay receive the good. This way, the price shifting from marginal private costs (MPC) to marginal social costs (MSC), effectively reducing the demand.



**Figure 1.** *Pigovian tax representation*  
Source: Authors

Despite the potential benefits stemming from the Pigovian tax idea, there are several practical reasons why this theoretical consideration of marginal cost pricing might not be optimal in road transport [29]. Some of the reasons include complexity of measuring short-run MSC, questions of equity, investment decisions and technology choice, financing and institutional issues, and price distortions elsewhere in the economy. Nevertheless, while some of these concerns might lead to a need to depart from pure marginal cost pricing, the measurement of MSC remains an essential starting point in any efficient pricing policy [17]. Consequently, the theory on user value of time and willingness to pay lies in the center of road pricing questions.

After decades of research, value of travel time is not completely understood, and it depends on very specific factors [30]. This often leads to an approximation and estimation of value of time (e.g., 50% of gross wage rate [31]). In relation to road pricing, value of time is often estimated as a price the user is willing to pay for travel time savings. Resulting relationship was often analyzed in view of users' income [32]. For example, [32] conclude that with 1% increase in income, willingness to pay for travel time savings increases by 0.45% for business trips, 0.65% for commuting trips, and 0.35% for other trips. Similarly, other studies conclude that with the increase of income there is an increase in value of travel time savings [33-36]. However, these values are often difficult to estimate, as people often underestimate their willingness to pay for actual time savings [30]. A range of studies has specifically focused on willingness to pay for road use, indicating a range of values [37]. For example, a 1998 study indicates that users are willing to pay from \$3.50 to \$5.00 per one hour of travel time savings, or 15 to 25% of hourly wage [38]. Similarly, another study indicates that the mean value of travel time savings was \$7.95 [39]. Contrary to these values, several other studies indicate higher values of users' willingness to pay from travel time savings, including mean values such as \$22.0 [40], \$22.87 [41], and \$30 [42]. In addition, previous studies have determined willingness to pay per distance as well, resulting in a value of 0.60 \$/km [43].

Previous studies have also concluded that willingness to pay depends on a range of other variables. One example is dependency based on the road type, with users valuing travel time savings on rural roads higher than those on urban roads [40]. Additionally, previous research informs us that users distinguish between values based on trip distance and based on days in the week [44]. Moreover, previous studies also conclude that willingness to pay depends on travel time [38, 45]. Another example is willingness to pay as a function of motorway use frequency, with more frequent users being less willing to pay [46]. However, it is important to note that most of the previous studies of willingness to pay have identified a relationship to users' income, similar to the previous studies of travel time valuation. Finally, several previous studies have also identified a relationship between willingness to pay and risk of traffic accidents [40, 47, 48]. These studies conclude that users value higher preventing risk of traffic accidents with casualties as compared to those with injuries.

In addition to the previous studies focusing on willingness to pay, a range of studies have concluded that there is often a high percentage of users not willing to pay road pricing. For example, [43] conclude that 13.67% of users are not willing to pay road pricing, mentioning reasons such as traveling out of peak time or rarely using the motorway. Similarly in EU, the public often does not accept road pricing, with acceptability varying intra-personally, inter-personally, and chronologically [7]. A range of literature describes different variables affecting acceptability, including problem perception and awareness, attribution of responsibility, subjective knowledge, the attitude towards car driving, mobility-related social norms, and perceived effectiveness and fairness of road pricing [3, 6, 9, 10, 49]. Most of this research states that psychological factors have a significant effect on acceptance of road pricing, as opposed to willingness to pay. For example, previous studies point to environmentally conscious users [5], or users convinced about the introduction of road pricing [8]. Contrary to the attitudinal factors, some studies often found smaller influence of socio-economic factors, such as income [5]. In addition to psychological factors, an important element is the relation between road pricing and social justice, especially through perceived infringement of freedom of movement [6, 49]. Finally, a very crucial factor for influencing the user acceptability of road pricing is the use of revenue from tolls [49, 50].



### 3. POLICY TRANSFER FRAMEWORK

Considering the multidimensionality of road pricing theory and practice, this research observes the question of congestion pricing in the City of Belgrade from the perspective of policy transfer theory. Policy transfer theory originates from the fields of political science and public policy [51-53]. Thus far, the work by Dolowitz and Marsh (2000) has been one of the most comprehensive attempts to study and understand the policy transfer process. This work draws attention to the applied terminology in which the term 'policy transfer' is preferred to 'lesson drawing' since it covers both the volunteer and coercive transfer processes [1]. Moreover, Dolowitz and Marsh define policy transfer as a "*process in which knowledge about policies, administrative arrangements, institutions, etc. in one time and/or place is used in the development of policies, administrative arrangements and institutions in another time and/or place* [54]. The framework provided by Dolowitz and Marsh (2000) answers to a series of fundamental questions underlying the policy transfer process, and has been widely applied to the policy transfer studies across different policy arenas.

Transport planning has been one of the significant areas influenced by policy transfer and the similar concepts including policy learning, best practices, and lesson-drawing. It is a common practice that national and city governments look for solutions from other locations to tackle transport policy problems. This can be partly explained by the fact that the awareness of transportation's implications on social and environmental problems has increased [8]. Despite the commonality of policy transfer in transport planning practice, there is a limited amount of literature studying transport policy transfer processes [55]. Moreover, much of the research on transport policy transfer has focused on the context of developed world [56-58]. However, contrary to the cities in the developed countries, the cities in developing countries experience different types of urban transport problems [59, 60], and are consequently more vulnerable to transfer of policies from other locations. In case of transport planning, few cities in the developing world have already started to tackle their transport problems through policy innovations [61-63]. The change in the nature of policy transfer in the transport arena originates from the opportunity of global policy transfer. Moreover, the changes arises due to the emergence of sustainable transport concept accompanied by the growth in global communication. As a state-of-the-art in sustainable transport planning, this research will draw parallels from the common European transport planning framework, named Sustainable Urban Mobility Plan [64].

### 4. INTERNATIONAL CONGESTION PRICING LESSONS

#### 4.1. Successful Examples

Taking a practical perspective, a range of lessons can be derived from existing successful examples of congestion pricing (CP) across the world. The City-state of Singapore was one of the first to introduce manual road pricing in 1975, with the electronic road pricing started in 1998 [65]. Since its inception, road pricing in Singapore was effective, reducing traffic volumes by 10-15%. Still, there is a concern on users privacy but the operator keeps improving the security of the system to minimize the issue [66]. The second famous example is London, UK, where CP was introduced in 2003. In London's CP scheme, all vehicles entering downtown area have to pay a congestion fee. The London Congestion Charge is an £11.50 daily charge for driving a vehicle within the charging zone between 07:00 and 18:00, Monday to Friday. The easiest way to pay the charge is by registering for Congestion Charge Auto Pay. There are a range of exemptions and discounts available to certain vehicles and individuals [67]. CP excludes motorcycles, taxis, vehicles for disabled, passenger vans, government and fuel-efficient vehicles, buses, and some emergency vehicles. Residents in the area of CP are eligible for up to 90% fee discount. During the first few weeks of operation, the violation rate was high due to the confusion and errors on both drivers and operators sides (e.g., optical recognition was not properly calibrated; the users took time to get used to payment system, etc.). The CP was heavily criticized in the beginning but was generally accepted afterwards. The benefits of the system can be summarized as follows: bus ridership increased by 14%, average speeds increased by 37%, peak congestion declined 30%, bus travel time declined by 50%, taxi travel cost were reduced by 30% on average, and it is observed increase in moped and bicycle travels. However, there is still concern of program fairness to the lower income and people who must drive, privacy issues, cost of the system operation and the non-variable fee during heavy congested time periods [68]. The transit service has to be

reliable to make people switch the mode of transport. The total gain in travel time for all paying vehicles is estimated to be £135 million per year [69].

Another successful example of CP is Stockholm, Sweden, where CP was introduced in 2006. The charging system is defined by two cordon lines: the first encircles the inner city of Stockholm, the second divides the encircled area in a northern and a southern part along the water connection between lake Malaren and the sea (see Figure 1). The charged area of inner city of Stockholm has a diameter of approximately 5–6 km. Hourly price of CP in Stockholm varies throughout the day (Table 1). CP in Stockholm went from very negative to considerable public and political support [70]. Stockholm example shows reduced congestion, emissions of greenhouse gasses decline of almost 3% on a country level and 10-14% in a city center. The traffic crashes decreased by 3.6%. Reduction in emissions is mostly attributed to the higher sales of alternative fuel vehicles, which were exempt of the congestion charge until the end of 2008. Overall system yielded to a large surplus, covering both operating and investment costs. All the costs were recovered in about 4 years and the lifetime of the system is estimated to be 20 years [71, 72]. The Stockholm case suggests that the crucial factors in successful implementation of CP are political acceptance, which includes influence over the use of revenues and the design of the system, and the efficient and reliable public transit alternatives [Borjesson 2012]. Similarly, first results from the City of Gothenburg, where the CP is introduced in 2013, shows positive effects of CP as well [73, 74].



**Figure 2.** Cordon lines of the congestion-charging system in Stockholm  
 Source: Eliasson and Mattsson [72]

**Table 1.** Hourly congestion price in Stockholm

Time of Day	Price (€)
00:00-06:29	0.00
06:30-06:59	1.62
07:00-07:29	2.70
07:30-08:29	3.77
08:30-08:59	2.70
09:00-09:29	1.62
09:30-14:59	1.19
15:00-15:29	1.62
15:30-15:59	2.70
16:00-17:29	3.77
17:30-17:59	2.70
18:00-18:29	1.62
18:30-23:59	0.00

Source: Wikipedia [75]

In Milan, Italy, CP named Ecopass was introduced in 2008 with the primary goal of reducing air pollution. CP area in Milan is shown in the Figure 3. In addition, details of the CP scheme are presented in Table 2. Besides these prices, entry in the CP area is free for hybrid and electric vehicles, as well as scooters. Moreover, discounts were introduced to the base 5€ toll to make the toll more acceptable to some categories. Commercial activities can be associated to ‘Service vehicles’ which benefit from a reduced fare of €3 per day. Residents inside the cordon enjoy a package of 40 free entrances per year, and pay a discounted €2 per day for any extra entrance. All tolls can be prepaid or paid within a day after entering. A ‘mini-fine’ of €15 has been introduced for later payments made within seven days [76]. Findings from Milan’s example show reduction in air pollution, congestion and an increase in utilization of buses and trams. In tolled area, the crashes were reduced by 18%, with no reduction in number of deaths due to traffic collisions. Milan’s example points out the importance of the test phase setup (the pilot project) before public referendum, existence of infrastructure for alternative traffic modes (e.g., bikes, pedestrians, public transport), definition of specific discounts, and estimation of number of trips in the area which are mainly for leisure [76, 77].



**Figure 3.** Milan’s Ecopass area and the entry points  
Source: Rotaris et al. [76]

**Table 2.** Congestion pricing scheme in Milan

	Gasoline		Diesel	
Euro Level	1 to 6	0	4 to 6	0 to 3
non-resident	5 euros	banned	5 euros	banned
resident	2 euros		2 euros	
commercial	3 euros		3 euros	
public service	free		free	

Source: Wikipedia [78]

Due to the heavy congestion issues and enormous pollution, Beijing plans to develop the congestion pricing scheme as well. On a case study in Beijing, Linn et. al. showed that well planned congestion pricing can be just to the poor and affect mostly the wealthier population [79]. The authors emphasize that, if CP is set properly, on specific roads around the city where wealthier population live, CP can be politically acceptable and help alleviate the congestion issues. Other successful examples of CP pricing include three Swedish cities – the City of Bergen (1986), the City of Oslo (1990), and the City of Trondheim (1991), and also the City of Rome, Italy (2001), Durham, UK (2002), and Valletta, Malta (2007).

## 4.2. Unsuccessful Examples

Besides the range of successful example, there is a range of cities with failed attempts to introduce CP. Examples include Edinburgh, Manchester, New York City, and the Netherlands [80-84], with individual factors for failure. For example, the failure of the New York City CP proposal provided valuable lessons for the other cities. New York example revealed several key factors in building support for the CP program, including leadership with a vision, understanding of broader goals by the public (e.g., climate change, land use opportunities), outreach to community groups, cooperation with non-government groups in discussions, and funding availability. In the case of Manchester, UK the citizens turned down the CP proposal in the referendum. Additionally, there was no political will to push the idea of CP toward implementation level. The City of Edinburgh, Scotland also failed to gain public acceptance for road charging scheme, which was under development for almost a decade. The main reasons of failure were the opposition of car owners, weak support of proposal from the non-vehicle owners and public transportation users, very complicated charging scheme misunderstood by public, and the lack of political will. In the Netherlands, out of two road pricing schemes, neither one was introduced.

## 4.3. Advanced Pricing Mechanisms

Lessons from practical CP schemes have pointed out to the importance of multidimensional thinking about introducing CP in an urban area. Similar to general road pricing theory, that developed its roots in the economics, CP theory has to take into account a range of other socio-technical and socio-political questions. At the core of the CP acceptance issues is the question of distributive impacts, i.e., the distribution of burdens and benefits. As an alternative to conventional area based CP, theory of tradable mobility credits (TMC) is undergoing development. The theory of tradable mobility credits derives its roots from the theory and practice of personal carbon trading [85-87], with similar efforts to introduce personal carbon trading in road transport for reducing emissions [88]. Compared to CP, TMC theory underlies the fact that simple command and control restrictions do not alter the incentive structure surrounding the vehicle use restriction [89]. However, contrary to direct relationship with emissions, TMC theory recognizes that besides carbon emissions, transport involves other externalities, such as noise, safety, and congestion [90]. These externalities depend on such mobility factors as vehicle miles traveled, time of driving, area of driving, and vehicle used. As a result, common to TMC instrument are the following features [90-92]:

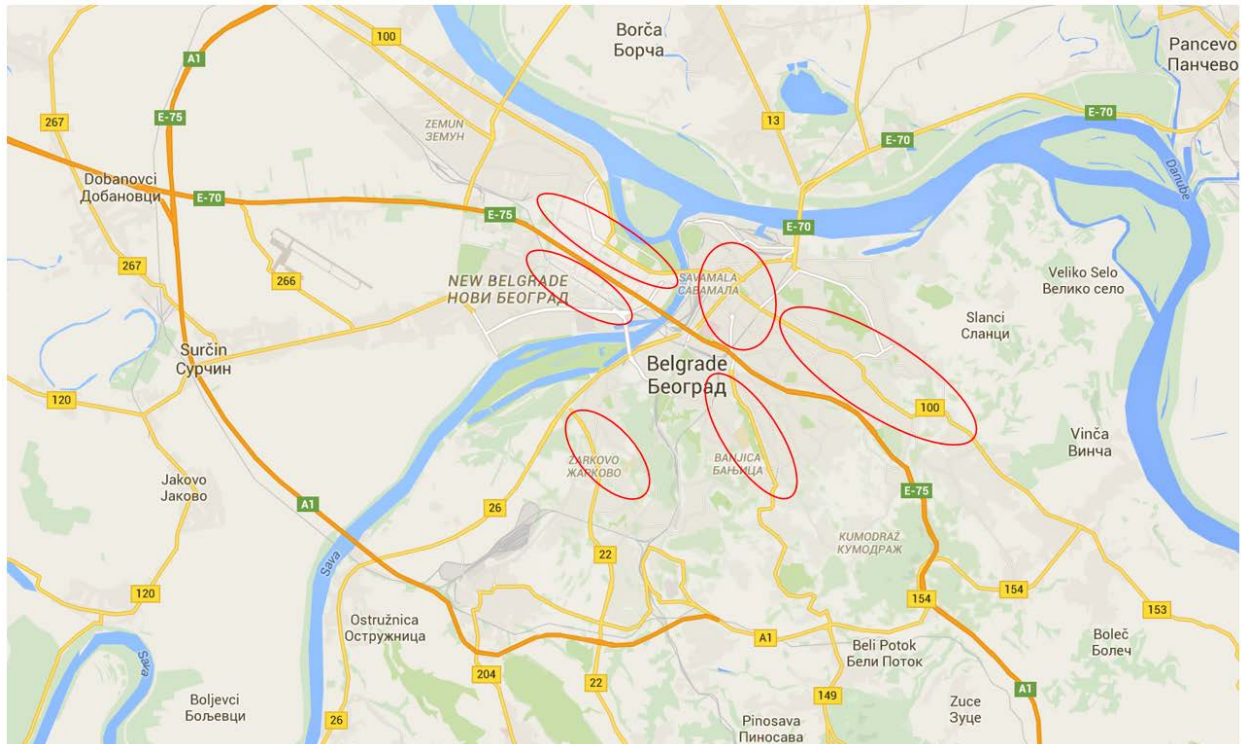
- Predetermined total quota of TMP in an area;
- Initial endowment for allocating permits to specific receivers;
- Permit holders have the right to use the permits to access roadways or to exchange with other holders;
- Roadway usage consumes the permits, differing by time, place, and vehicle characteristics;
- Necessary enforcement to validate use and trade;

In addition to the context of CP, non-monetary mobility credit scheme is proposed in the context of self-driving vehicles for the purpose of demand management [93-99]. TMC are suitable for controlling time-dependent and place-dependent externalities [90]. Moreover, an important effect on acceptability can be made through free initial credit allocation [91]. Technological capabilities, such as the advent of smart card and smart phone technology allow for protecting anonymity in TMC schemes. Furthermore, TMC schemes can account for efficiency and equity elements of CP, especially through deeper connection to user psychology [100]. However, a range of other questions remains open with respect to TMC. Some examples include initial setup and trading rules [89], cost of transactions [91], interactions with other taxes, parking charges, public transport instruments, physical restrictions [100], or determining if credits are assigned to the vehicle or the user [101].

## 5. POLICY IMPLICATIONS FOR THE CITY OF BELGRADE

The need for clarity, simplicity, and pragmatism in congestion pricing, requires policy learning both from international lessons and pricing theory. Despite the advent of road pricing technology, City of Belgrade has to evaluate a range of contextual factors. However, one important aspect is the lack of localized congestion

area. Rather, congestion points are spread around the city network. Moreover, the centers of activity are spread on both sides of the Sava River. This is one of the critical points that might require consideration of TMC scheme, instead of a conventional, area-based, CP scheme.



**Figure 4.** Examples of congestion areas across City of Belgrade  
Source: Authors

Considering an additional complexity stemming from the properties of congestion on Belgrade's network, developing and implementing CP will have to account for a set of factors. Drawing upon the lessons from practice and theory, as well as following the principles and the process of Sustainable Urban Mobility Plan paradigm [64], City of Belgrade will have to consider the following points:

- **CP scheme design.** As previous experience informs us, CP scheme can include several components pertaining price, time, geographical area, and discounts. In addition, mobility credits schemes relate to a range of factors pertained to allocation, transfer, and spending. In the case of Belgrade, a relationship to parking charging scheme needs to be clarified.
- **Strong leadership and clear political will.** An important aspect for generating political will is the cost-effectiveness of the CP scheme, which has to be evaluated. In the case of Belgrade, a critical component might be providing resources for investment costs. Leadership consisting of both transport planners and politicians needs to have clear objectives why CP in Belgrade is implemented, which can range from demand management, through environment impact mitigation, up to transport infrastructure financing.
- **Public engagement in the process of developing and evaluating CP scheme.** In order for the public to be engaged, planning process will have to account for including public throughout the planning process, not just at the stage of evaluation. The interaction with public will also depend on informing and educating the public. An important aspect of public support is transparency, especially in the distribution of the revenue from CP scheme. Another aspect will be communicating the distribution of burdens and benefits for several alternative CP schemes, as opposition from losers might be often a greater obstacle for CP implementation.
- **Small scale piloting during the planning process.** Piloting is an excellent way for testing and increasing public acceptance for CP scheme. Moreover, implementation in stages will avoid 'big-bang' effect, and allow for the users to adjust their travel behavior.
- **Evaluating the alternative transport infrastructure.** Public transport alternative is very important to the users who would be affected by the pricing scheme. Public transport service has to be reliable, efficient and accessible from all parts of the city. Earmarking CP revenue for investments in public

transport can be an important factor in gaining public support, and proving cost-effectiveness of the CP scheme.

- **Pricing and enforcement technology.** When implementing CP, attention should be on choosing between low-tech (e.g., satellite) and high-tech options (e.g., license plate recognition) for toll collection. Moreover, installing the technology can relate to additional functions and interoperability with the traffic management center. Special attention related to technology has to be paid to privacy concerns, as these can relate to public acceptability. Moreover, an important aspect is the vehicle fleet age, as older vehicles are not equipped with on-board units for distance based tolls.

## 6. CONCLUSION

Considering the advent of Intelligent Transport Systems technology for CP, technology cannot be considered a crucial obstacle for implementation of CP schemes in the City of Belgrade. However, if City of Belgrade is to tackle its congestion issues on a strategic level, multidimensionality of CP has to be accounted for. Going beyond the economic origins of road pricing theory, implementation of urban CP depends on a range of socio-technical and socio-political questions. Drawing on theoretical understanding and international lessons, this paper presents a set of policy recommendations for initiating planning process of a CP scheme in the City of Belgrade.

## References

1. Pahaut, S. and C. Sikow, *History of thought and prospects for road pricing*. Transport Policy, 2006. 13(2): p. 173-176.
2. Glavić, D., *SWOT analiza sistema naplate putarine u Evropi*. Put i saobraćaj, 2013. 59(4): p. 21-30.
3. Fürst, E.W.M. and M. Dieplinger, *The acceptability of road pricing in Vienna: the preference patterns of car drivers*. Transportation, 2014. 41(4): p. 765-784.
4. Giuliano, G., *An assessment of the political acceptability of congestion pricing*. Transportation, 1992. 19(4): p. 335-358.
5. Jaensirisak, S., M. Wardman, and A.D. May, *Explaining variations in public acceptability of road pricing schemes*. Journal of transport economics and policy, 2005: p. 127-153.
6. Jakobsson, C., S. Fujii, and T. Gärling, *Determinants of private car users' acceptance of road pricing*. Transport Policy, 2000. 7(2): p. 153-158.
7. Owen, R., et al., *Public acceptability of road pricing*, 2008, Department for Transport, London.
8. Schade, J. and M. Baum, *Reactance or acceptance? Reactions towards the introduction of road pricing*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2007. 41(1): p. 41-48.
9. Schade, J. and B. Schlag, *Acceptability of urban transport pricing strategies*. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2003. 6(1): p. 45-61.
10. Steg, L., *Factors influencing the acceptability and effectiveness of transport pricing*, in *Acceptability of Transport Pricing Strategies*, J. Schade and B. Schlag, Editors. 2003, Elsevier: London. p. pp. 187-202.
11. Viegas, J.M., *Making urban road pricing acceptable and effective: searching for quality and equity in urban mobility*. Transport Policy, 2001. 8(4): p. 289-294.
12. Raux, C. and S. Souche, *The acceptability of urban road pricing: A theoretical analysis applied to experience in Lyon*. Journal of transport economics and policy, 2004: p. 191-215.
13. Čičević, S. and A. Trifunović, *Stavovi korisnika auto-puta prema elektronskoj naplati putarine*. Put i saobraćaj, 2013. 59(1): p. 57-62.
14. Hanemann, W.M., *Willingness to pay and willingness to accept: how much can they differ?* The American Economic Review, 1991: p. 635-647.
15. Noordegraaf, D.V., J.A. Annema, and B. Van Wee, *Policy implementation lessons from six road pricing cases*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2014. 59: p. 172-191.
16. Ollila, J., R. Murto, and T. Suvanto, *Fair and Intelligent Transport: Working Group Final Report*, 2014, Finnish Ministry of Transport and Communications.
17. Nash, C. and B. Matthews, *Transport Pricing and Subsidy*. The SAGE Handbook of Transport Studies, 2013: p. 293.
18. Ungemah, D., *This land is your land, this land is my land: Addressing equity and fairness in tolling and pricing*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2007. 2013: p. 13-20.
19. Matthews, B. and J. Nellthorp, *National Road User Charging: Theory and Implementation*, in *Cars and Carbon* 2012, Springer. p. 295-323.

20. Queiroz, C., et al., *Road user charges: current practice and perspectives in Central and Eastern Europe*, in *Transport Papers 2008*, The World Bank Group: Washington, D.C.
21. Levinson, D., *Equity effects of road pricing: A review*. *Transport Reviews*, 2010. 30(1): p. 33-57.
22. *Road Pricing in Europe (Second version)*, 2012, Association of European Vehicle and Driver Registration Authorities.
23. Vickrey, W.S., *Pricing in urban and suburban transport*. *The American Economic Review*, 1963: p. 452-465.
24. Pigou, A., *The economics of welfare* 1920, London: MacMillan and Co., Ltd.
25. Walters, A.A., *The theory and measurement of private and social cost of highway congestion*. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1961: p. 676-699.
26. Newbery, D.M., *Cost recovery from optimally designed roads*. *Economica*, 1989: p. 165-185.
27. Knight, F.H., *Some fallacies in the interpretation of social cost*. *The Quarterly Journal of Economics*, 1924: p. 582-606.
28. Morrison, S.A., *A survey of road pricing*. *Transportation Research Part A: General*, 1986. 20(2): p. 87-97.
29. Rothengatter, W., *How good is first best? Marginal cost and other pricing principles for user charging in transport*. *Transport Policy*, 2003. 10(2): p. 121-130.
30. Small, K.A., *Valuation of travel time*. *Economics of transportation*, 2012. 1(1): p. 2-14.
31. Small, K., *Urban transportation economics* 1992, Chur, Switzerland: Harwood Academic Publishers GmbH.
32. Hensher, D.A. and P. Goodwin, *Using values of travel time savings for toll roads: avoiding some common errors*. *Transport Policy*, 2004. 11(2): p. 171-181.
33. *The Value of Travel Time on UK Roads - report prepared for the Department of Transport, London*, 1999, Accent Marketing and Research and Hague Consulting Group.
34. *The Value of Travel Time Savings*, in *Policy Journals* 1997, The MVA Consultancy, Institute of Transport Studies University of Leeds, Transport Studies Unit University of Oxford, : Newbury.
35. Wardman, M., *The value of travel time: a review of British evidence*. *Journal of transport economics and policy*, 1998: p. 285-316.
36. Abrantes, P.A. and M.R. Wardman, *Meta-analysis of UK values of travel time: An update*. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2011. 45(1): p. 1-17.
37. Ardic, O., J.A. Annema, and G. van Wee, *Non-Implementation of road pricing policy in the Netherlands: An application of the "advocacy coalition framework"*. *European Journal of Transport and Infrastructure Research (EJTIR)*, 15 (2), 2015, 2015.
38. Calfee, J. and C. Winston, *The value of automobile travel time: implications for congestion policy*. *Journal of Public Economics*, 1998. 69(1): p. 83-102.
39. Kockelman, K.M. and S. Kalmanje, *Credit-based congestion pricing: a policy proposal and the public's response*. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2005. 39(7): p. 671-690.
40. Hensher, D.A., et al., *Estimating the willingness to pay and value of risk reduction for car occupants in the road environment*. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2009. 43(7): p. 692-707.
41. Lam, T.C. and K.A. Small, *The value of time and reliability: measurement from a value pricing experiment*. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2001. 37(2): p. 231-251.
42. Brownstone, D., et al., *Drivers' willingness-to-pay to reduce travel time: evidence from the San Diego I-15 congestion pricing project*. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2003. 37(4): p. 373-387.
43. Jou, R.-C. and G.-L. Huang, *Willingness to pay price for tolls and on-board units for short-distance freeway users who normally avoid toll booths*. *Transport Policy*, 2014. 31: p. 10-18.
44. Jou, R.-C., et al., *Freeway drivers' willingness-to-pay for a distance-based toll rate*. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2012. 46(3): p. 549-559.
45. Li, Z., D.A. Hensher, and J.M. Rose, *Willingness to pay for travel time reliability in passenger transport: a review and some new empirical evidence*. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2010. 46(3): p. 384-403.
46. Yusuf, J.-E.W., L. O'Connell, and K.A. Anuar, *For whom the tunnel be tolled: A four-factor model for explaining willingness-to-pay tolls*. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2014. 59: p. 13-21.
47. Baumgarten, P. and J. Middelkamp, *On interurban road pricing schemes and the impacts of traffic diversion on road safety in Germany: Empirical findings and implications*. *European Journal of Transport and Infrastructure Research (EJTIR)*, 2015. 15(2): p. 147-162.

48. Elvik, R., *Paradoxes of rationality in road safety policy*. Research in transportation economics, 2013. 43(1): p. 62-70.
49. Santos, G. and L. Rojey, *Distributional impacts of road pricing: The truth behind the myth*. Transportation, 2004. 31(1): p. 21-42.
50. Jones, P., *Gaining public support for road pricing through a package approach*. Traffic engineering & control, 1991. 32(4): p. 194-196.
51. Bennett, C.J., *What is policy convergence and what causes it?* British journal of political science, 1991. 21(02): p. 215-233.
52. Rose, R., *What is lesson-drawing?* Journal of public policy, 1991. 11(01): p. 3-30.
53. Dolowitz, D.P. and D. Marsh, *Learning from abroad: The role of policy transfer in contemporary policy-making*. Governance, 2000. 13(1): p. 5-23.
54. Dolowitz, D. and D. Marsh, *Who learns what from whom: a review of the policy transfer literature*. Political studies, 1996. 44(2): p. 343-357.
55. Marsden, G. and D. Stead, *Policy transfer and learning in the field of transport: A review of concepts and evidence*. Transport policy, 2011. 18(3): p. 492-500.
56. Marsden, G., et al., *How do cities approach policy innovation and policy learning? A study of 30 policies in Northern Europe and North America*. Transport policy, 2011. 18(3): p. 501-512.
57. Timms, P., *Urban transport policy transfer: "bottom-up" and "top-down" perspectives*. Transport policy, 2011. 18(3): p. 513-521.
58. Bray, D.J., M.A. Taylor, and D. Scafton, *Transport policy in Australia—Evolution, learning and policy transfer*. Transport policy, 2011. 18(3): p. 522-532.
59. Stead, D., M. de Jong, and I. Reinholde, *Urban transport policy transfer in Central and Eastern Europe*. disP-The Planning Review, 2008. 44(172): p. 62-73.
60. Gwilliam, K., *Urban transport in developing countries*. Transport Reviews, 2003. 23(2): p. 197-216.
61. Wright, L. *Latin American busways: moving people rather than cars*. in *Natural resources forum*. 2001. Wiley Online Library.
62. Rabinovitch, J. and J.P. Hoehn, *A Sustainable Urban Transportation System: The "surface Metro" in Curitiba, Brazil*.
63. Montezuma, R., *The transformation of Bogota, Colombia, 1995–2000: Investing in citizenship and urban mobility*. Global Urban Development, 2005. 1(1): p. 1-10.
64. Blyth, P., Mladenovic, M. , *Sustainable Urban Mobility Plans: Towards a Common European Transport Planning Framework*. Journal of Road and Traffic Engineering, 2015. 61(4): p. pp. 5-14.
65. Goh, M., *Congestion management and electronic road pricing in Singapore*. Journal of Transport Geography, 2002. 10(1): p. 29-38.
66. Phang, S.-Y. and R.S. Toh, *From manual to electronic road congestion pricing: The Singapore experience and experiment*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 1997. 33(2): p. 97-106.
67. *Congestion Charge*. 2016 [01/04/2016]; Available from: <https://tfl.gov.uk/modes/driving/congestion-charge>.
68. Litman, T., *London congestion pricing: Implications for other cities*. Victoria Transport Policy Institute, 2006. 10.
69. Santos, G. and J. Bhakar, *The impact of the London congestion charging scheme on the generalised cost of car commuters to the city of London from a value of travel time savings perspective*. Transport policy, 2006. 13(1): p. 22-33.
70. Eliasson, J., et al., *The Stockholm congestion–charging trial 2006: Overview of effects*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2009. 43(3): p. 240-250.
71. Eliasson, J., *A cost–benefit analysis of the Stockholm congestion charging system*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2009. 43(4): p. 468-480.
72. Eliasson, J. and L.-G. Mattsson, *Equity effects of congestion pricing: quantitative methodology and a case study for Stockholm*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2006. 40(7): p. 602-620.
73. Börjesson, M. and I. Kristoffersson, *The Gothenburg congestion charge. Effects, design and politics*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2015. 75: p. 134-146.
74. Nilsson, A., et al., *The road to acceptance: Attitude change before and after the implementation of a congestion tax*. Journal of Environmental Psychology, 2016. 46: p. 1-9.
75. *Stockholm congestion tax*. 2016 [01/04/2016 ]; Available from: [https://en.wikipedia.org/wiki/Stockholm\\_congestion\\_tax](https://en.wikipedia.org/wiki/Stockholm_congestion_tax)
76. Rotaris, L., et al., *The urban road pricing scheme to curb pollution in Milan, Italy: Description, impacts and preliminary cost–benefit analysis assessment*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2010. 44(5): p. 359-375.



77. Beria, P., *Effectiveness and Monetary Impact of Milan's Road Charge, One Year After Implementation*. International Journal of Sustainable Transportation, 2015(just-accepted).
78. *Milan Area C*. 2016 01/04/2016]; Available from: [https://en.wikipedia.org/wiki/Milan\\_Area\\_C](https://en.wikipedia.org/wiki/Milan_Area_C)
79. Linn, J., Z. Wang, and L. Xie, *Who will be affected by a congestion pricing scheme in Beijing?* Transport policy, 2016. 47: p. 34-40.
80. de Palma, A. and R. Lindsey, *Traffic congestion pricing methodologies and technologies*. Transportation research part C: emerging technologies, 2011. 19(6): p. 1377-1399.
81. Gaunt, M., T. Rye, and S. Allen, *Public acceptability of road user charging: the case of Edinburgh and the 2005 referendum*. Transport Reviews, 2007. 27(1): p. 85-102.
82. Ahmed, B., *Manchester congestion charge scheme: A review*. Journal of Civil Engineering and Construction Technology, 2011. 2(11): p. 236-241.
83. Schaller, B., *New York City's congestion pricing experience and implications for road pricing acceptance in the United States*. Transport policy, 2010. 17(4): p. 266-273.
84. Ardiç, Ö., J.A. Annema, and B. van Wee, *The reciprocal relationship between policy debate and media coverage: The case of road pricing policy in the Netherlands*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2015. 78: p. 384-399.
85. Starkey, R., *Personal carbon trading: A critical survey: Part 1: Equity*. Ecological Economics, 2012. 73: p. 7-18.
86. Fawcett, T., *Personal carbon trading: A policy ahead of its time?* Energy Policy, 2010. 38(11): p. 6868-6876.
87. Starkey, R., *Personal carbon trading: A critical survey Part 2: Efficiency and effectiveness*. Ecological Economics, 2012. 73: p. 19-28.
88. Wadud, Z., *Personal tradable carbon permits for road transport: Why, why not and who wins?* Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2011. 45(10): p. 1052-1065.
89. Goddard, H.C., *Using tradeable permits to achieve sustainability in the world's large cities: policy design issues and efficiency conditions for controlling vehicle emissions, congestion and urban decentralization with an application to Mexico City*. Environmental and Resource Economics, 1997. 10(1): p. 63-99.
90. Verhoef, E., P. Nijkamp, and P. Rietveld, *Tradeable permits: their potential in the regulation of road transport externalities*. Environment and Planning B: Planning and Design, 1997. 24(4): p. 527-548.
91. Raux, C., *The use of transferable permits in transport policy*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2004. 9(3): p. 185-197.
92. Fan, W. and X. Jiang, *Tradable mobility permits in roadway capacity allocation: Review and appraisal*. Transport policy, 2013. 30: p. 132-142.
93. Mladenovic, M.N. and M. Abbas. *Priority-based intersection control framework for self-driving vehicles: Agent-based model development and evaluation*. in *Connected Vehicles and Expo (ICCVE), 2014 International Conference on*. 2014. IEEE.
94. Mladenovic, M.N. and M. Abbas, *Anthropocentric development of intersection control principles for self-driving vehicles under considerations of social justice*. mobil. TUM, 2015.
95. Mladenovic, M.N. and M. Abbas. *Evaluation of priority-based traffic control framework for self-driving vehicles under considerations of social justice*. in *94th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington, DC*. 2015.
96. Mladenovic, M.N., M. Abbas, and T. McPherson. *Development of socially sustainable traffic-control principles for self-driving vehicles: the ethics of anthropocentric design*. in *Ethics in Science, Technology and Engineering, 2014 IEEE International Symposium on*. 2014. IEEE.
97. Mladenovic, M.N. and M.M. Abbas. *Self-organizing control framework for driverless vehicles*. in *Intelligent Transportation Systems-(ITSC), 2013 16th International IEEE Conference on*. 2013. IEEE.
98. Mladenovic, M.N. and M.M. Abbas. *Socially sustainable control framework for self-driving vehicles*. in *Connected Vehicles and Expo (ICCVE), 2013 International Conference on*. 2013. IEEE.
99. Mladenovic, M.N. and T. McPherson, *Engineering Social Justice into Traffic Control for Self-Driving Vehicles?* Science and engineering ethics, 2015: p. 1-19.
100. Grant-Muller, S. and M. Xu, *The role of tradable credit schemes in road traffic congestion management*. Transport Reviews, 2014. 34(2): p. 128-149.
101. Gulipalli, P.K., S. Kalmanje, and K. Kockelman. *Credit-based congestion pricing: expert expectations and guidelines for application*. in *Journal of the Transportation Research Forum*. 2011.

# ANALIZA NAPLATE PUTARINE U SRBIJI I UPOREDNA ANALIZA SA NOVIM TRENDOVIMA U EU I SVETU

dr **Draženko Glavić**, dipl.inž.saob.

Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, drazen@via-vita.org.rs

**Rezime:** U stručnim krugovima, kao i u široj javnosti, često se postavlja pitanje rada postojećeg sistema putarine. Svedoci smo nezadovoljavajućeg stanja unazad par decenija u oblasti naplate putarine, kao i loše politike razvoja naplate putarine u Srbiji. Plan razvoja putarine se baziraju na subjektivnim stavovima, a ne na kvalitetnim studijama koje bi ponudila optimalna kratkoročna i dugoročna rešenja. U međuvremenu korisnici srpskih autoputeve se svakodnevno sreću sa čekanjima i redovima da bi platili putarinu. Često plate i više nego što koriste. A pojedine grupe korisnika autoputeva izbegavaju putarinu što zbog loše tarifne politike, što zbog navedenih redova i čekanja. Analize putarine u ovom radu rezultiraće predlogom mera poboljšanja.

**Ključne reči:** Putarina, ANPR, smartcard, vinjeta, MLFF, GNSS-CN, RFID, Smartphone.

## 1. UVOD

U javnosti kao i među stručnjacima vode se rasprave na temu kritike postojećeg sistema naplate putarine kao i potrebe za poboljšanjima koja često sežu i do potpune promene sistema naplate putarine. Sva ova rasprave vodi se manje više sa subjektivnim stavovima i ličnim preferencama pojedinaca često potpuno van struke, bez poznavanja osnovnih vrsta i tehničkih saobraćajnih ekonomskih, finansijskih, ekoloških osobina sistema za naplatu putarine, bez poznavanja trendova u ovoj oblasti, kao i bez poznavanja buduće evropske zajedničke politike po ovom pitanju.

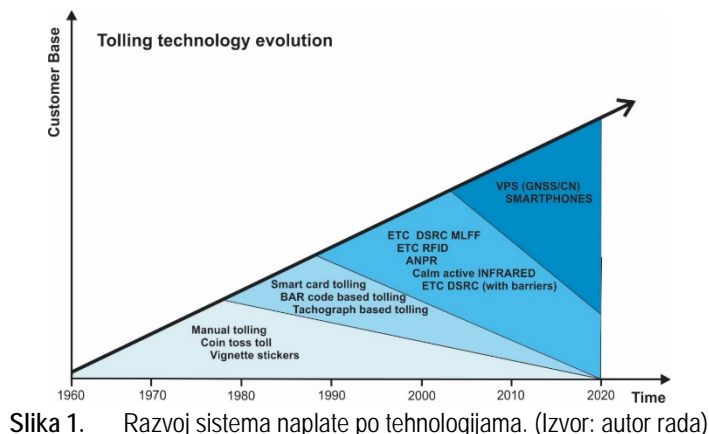
Nivo poznavanja karakteristika sistema naplate putarine kako tehničkih, eksploatacionih pa i finansijskih je veoma nizak. Cilj ovog rada je edukacija stručne javnosti o putarini i upućivanje nadležnim poruke, gde su sada sa sistemom putarine, gde bi trebali biti za 5 godina, kao i gde bi trebali biti za 15-20 godina, i na osnovu čega donositi odluke.

Rad će ukratko prikazati postojeće sisteme naplate u Evropi, postojeće tehnologije i trendova razvoja, kao i regulative i smernica koje EU daje po ovom pitanju. Takođe rad će dati kratku analizu putarine u Srbiji sa osnovnim predlozima otklanjanja negativnih pojava u postojećem sistemu putarine.

## 2. RAZVOJ TEHNOLOGIJA I POSTOJEĆI SISTEMI PUTARINE U EVROPI

### 2.1. Razvoj tehnologija putarine

Naplata putarine se kretala kroz istoriju od manuelne naplate pa do raznih oblika elektronske naplate. Razvoj elektronike i elektronske tehnologije je veoma dinamičan poslednjih godina i prouzrokovao je brzu primenu više tehnologija u naplati putarine. Slika 1 prikazuje detaljno napredak u razvoju sistema naplate po tehnologijama.

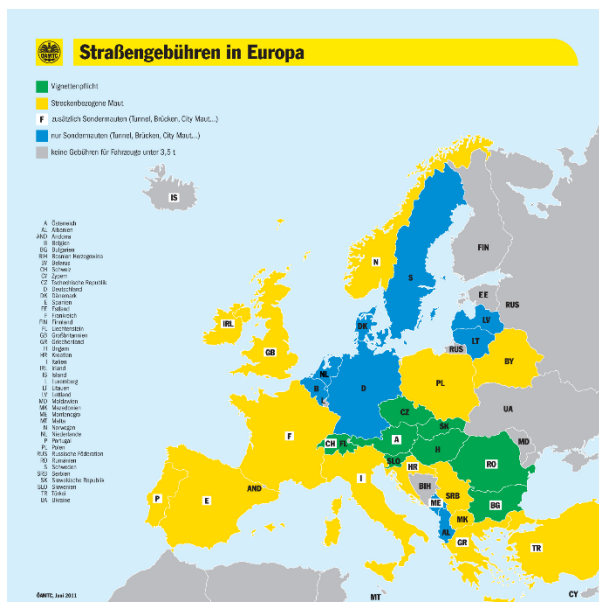


Ukratko opis tehnologija je:

- Vinjeta je nalepnica čijom se kupovinom plaća putarina u određenom vremenskom periodu.
- ETC DSRC tehnologija (ETC sa barijerama) je bez kontaktna naplatne putarine, automatska bez zaustavljanja vozila. Vozilo je potrebno da uspori vožnju, kako bi se uspostavio kontakt i prepoznanje OBU i sistem automatski naplaćuje i propušta vozilo.
- U DSRC MLFF sistemu, antene su postavljene iznad određenih lokacija (između dve petlje) duž autoputa. Tehnologija koja se koristi u MLFF sistemu je projektovana na takav način da vozila održavaju svoju brzinu i mogu menjati trake (uključujući i zaustavne trake) kada prolaze ispod naplatnog portala.
- ETC zasnovan na barkodu je podkategorija ETC-a. Kod ovog sistema barkod nalepnica je zalepljena na vetrobransko staklo vozila i ona se očitava laserskim skenerom prilikom prolaska vozila kroz naplatnu rampu. To je najjednostavnija i najstarija tehnologija [1].
- RFID ETC sistem sadrži OBU koji je instaliran na prednjem delu vetrobranskog stakla vozila. Na naplatnim stanicama, ovaj sistem se očitava RFID čitačem frekvencije ili antenom. On može biti prepaid ili postpaid, sa rampom ili bez [2].
- VPS (GNSS/CN) tehnologija se sastoji od globalnog satelitskog navigacionog sistema inkorporiranog sa mehanizmom GSM/3G/4G komunikacije. Radi uz pomoć globalnog sistema za pozicioniranje (GPS/Gallileo/Glonas) instalirane na OBU uređaju, koji skladišti koordinate vozila i šalje informaciju transakcije do nadležnih za naplatu putarine preko GSM/3G/4G [3][4].
- ANPR sistem koristi stacionarnu kameru za snimanje i identifikaciju broja registarske tablice vozila koja prolaze kroz naplatnu rampu. Identifikovane registarske oznake se povezuju u bazi i putarina se naplaćuje (skida se određena svota novca) [2][5].
- Calm active infrared je slična je RFID i ETC DSRC sistemu, jedina razlika je u tome što ona ima aktivnu infracrvenu jedinicu (uređaj) instaliranu u vozilu koja sadrži sve informacije [6][7][8].
- Tahograf tehnologija beleži pređenu kilometražu korisnika putem OBU uređaja koji je elektronskim putem povezan sa odometrom (meračem pređene kilometraže) vozila.
- Smart card zapravo predstavlja memorijsku karticu u koju se skladište podaci o određenoj osobi i vozilu i određeni iznosi novca. Glavni cilj ove pametne kartice je da se pomoću nje plati putarina [9].
- Smartphones tehnologija je još uvek u početnoj fazi. Primer ETC integracije mobilnih telefona i smartphone je m-Toll project ili GeoToll project.

## 2.2. Postojeći sistemi putarine u Evropi

Trenutno u Evropi po pitanju sistema naplate putarine, tehnologije, zatim po pitanju cena i tarifiranja, kao i po tarifnim grupama vozila vlada tzv. "haos u putarini" ne samo od države do države već i u okviru jedne države. Ovaj problem je još složeniji jer se u određenim državama vrši naplata putarine za putničke automobile i za teretna vozila po različitim sistemima (npr. Austrija i Slovenija imaju sistem vinjeta za putnički automobile, dok za teretna vozila, koriste ETC sistem).



Slika 2. Status sistema naplate putarine po državama Evrope (Izvor: ASFINAG)

Žutom bojom su prikazane zemlje koje primenjuju naplatu putarine po km koristeći . Ako je simbol zemlje prikazan u beloj kutiji, zemlje imaju posebnu putarinu za neke specifične infrastrukturne objekte npr. tunele, mostove. "Plave zemlje" primenjuju samo "specijalne" putarine za određenu infrastrukturu. Države označene sivom bojom ne primenjuju putarinu za putnička vozila. Zelenom bojom označene zemlje primenjuju vremenski zavisne naplate putarine korišćenjem nalepnica ili vinjeta.

## 3. BUDUĆNOST NAPLATE PUTARINE U EVROPI

EU nizom direktiva pokušava da uvede red u ovu oblast, kako po pitanju vrste i sistema naplate tako i po ostalim neusaglašenim pitanjima. Glavni cilj EU je **interoperabilnost** koju želi postići politikom **jedno tržište, jedan sistem naplate, jedan OBU (On Board Unit)**. **Ostali ciljevi odnose se na usaglašene cene i kategorije vozila.**

EU bazira svoju politiku putarine na sledeća dva dokumenta:

- **Directive 2004/52/EC.** Ova direktiva propisuje uslove potrebne da se obezbedi interoperabilnost elektronskog sistema putarina u EU. To se odnosi na elektronske naplate svih vrsta naknada puteva, na celoj mreži puteva, gradskih i međugradskih, autoputeva, brzih puteva, i raznih infrastrukturnih i putnih objekata, kao što su tuneli, mostovi, pa čak i za trajekte.
- **Commission Decision 2009/750/EC.** Ova odluka daje opis tehničkih sistema i interfejsa neophodnih za EETS.

Da bi se izbegla situacija na jednom putovanju npr. od Španije do Srbije da vetrobransko staklo bude izlepljeno sa više vinjeta i više OBU kao na slici 3.



Slika 3. Posledice postojanja velikog broja različitih i ne-interoperabilnih sistema putarine po korisnikov automobil

Ili da se korisnici susreću sa radovima na naplatnim mestima kao na slici 4.



Slika 4. Posledice neefikasnih sistema putarine po korisnika autoputa

EU saglasno Direktivi 2004/52/EC i odluci 2009/75/EC kreira naplatu putarine u Evropi prema principu „1 OBU jedinica (TAG uređaj) 1 Ugovor“ što je i prikazano na slici 5:



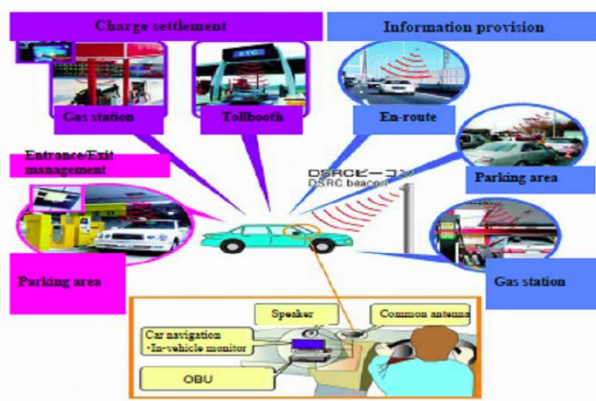
Slika 5. EU politika razvoja EETS putarine

### 3.1. EETS

European Electronic Toll Service (EETS) će omogućiti učesnicima u saobraćaju da plate putarinu u celoj Evropskoj uniji (EU) sa jednim ugovorom o pretplati sa jednim provajderom i jednim OBU. EETS će biti dostupan na svim funkcionalnim delovima mreže, kao što su autoputevi, tuneli, mostovi, feriji, itd. To će osigurati interoperabilnost elektronskih sistema putarina na celoj EU putnoj mreži, ograničiti gotovinske transakcije na naplatnim stanicama i eliminisati velike procedure. EETS će poboljšati protok saobraćaja i smanjiti gužve.

Korišćenje EETS dovesti će do sledećih efekata:

- ◆ Interoperabilnosti među sistemi putarine.
- ◆ Interoperabilnosti sa ostalim plaćanjima (parking garaže, ulazak u centralnu zonu grada i sl).
- ◆ Smanjiti emisije štetnih gasova.
- ◆ Uštede u vremenu putovanja.
- ◆ Uštede u troškovima eksploatacije vozila.
- ◆ Uštede u energiji.
- ◆ Smanjenje emisije štetnih gasova.
- ◆ Povećati bezbednost saobraćaja i uopšte bezbednost.
- ◆ Povećati efikasnost transportnih kompanija
- ◆ Unapređenje usluge korisnicima puta.



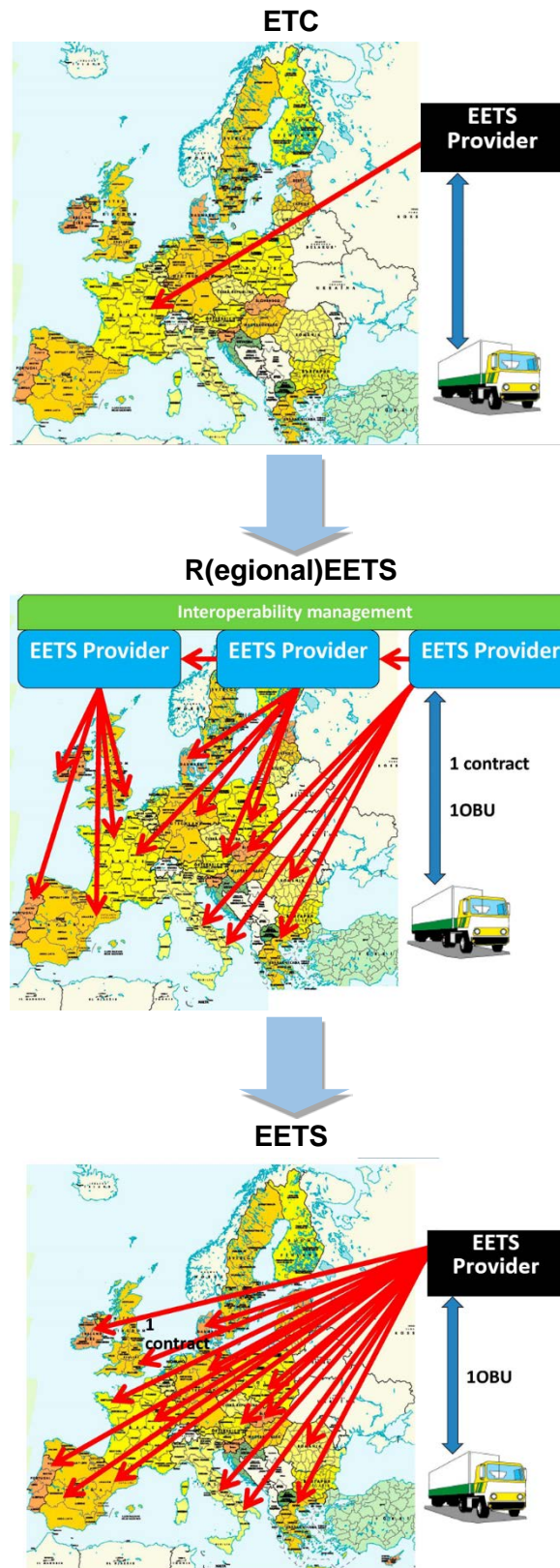
Slika 6. Prikaz interoperabilnosti sa ostalim uslugama

### 3.2. REETS

REETS (Regional European Electronic Toll Service) projekat ima za cilj da podrži zakon Evropske unije o interoperabilnosti. Pilot projekat uključuje sledećih sedam država članica: Austrija, Danska, Francuska, Nemačka, Italija, Poljska i Španija, kao i Švajcarska (bez sufinansiranja EU). Trenutno je REETS operativan u zemljama:

- ◆ Austrija Norveška i Švedska
- ◆ Španija Portugal

REETS predstavlja način da se dođe do konačnog cilja a to je EETS. U tom smislu avgusta 2012: EC predlaže „korak po korak pristup“ (COM [2012] 474) - Regionalni pristup kao početak razvoja EETS (REETS) je prikazan na slici 7.



Slika 7. EU politika postepenog razvoja putarine od klasičnog ETC preko REETS do EETS

#### 4. ANALIZA STANJA PUTARINE U SRBIJI

Osim već navedenih loših politika razvoja putarine, kao i veoma nisko iskorišćenog instaliranog ENP sistema, ovde će se ukratko navesti nedostaci sa korisničkog aspekta i to kroz analizu:

- REETS R(egional)ETS
- TARIFIRANJE
- USER- FRIENDLINESS sistema
- POPULARIZACIJA ENP sistema

**REETS R(egional)ETS** - Prisutan u Evropi, predstavlja ugovore između provajdera usluge naplate putarine koji omogućavaju međusobno korišćenje istog OBU. Srpski ENP bi primenom ovog principa mogao da se koristi u Hrvatskoj, BiH (Republici Srpskoj i FBiH) i šire. Što bi olakšalo putovanje korisnicima srpskog ENP-a.

**TARIFIRANJE** - Ne postojanje značajnih popusta, kao i nepostojanje tarifne politike prema kategorijama korisnika. Ovo smanjuje broj korisnika na autoputevima Srbije. Na taj način smanjuje prihode JPPS, a takođe određene korisnike tera da koriste putnu mrežu nižeg ranga, koja nije predviđena za tu vrstu saobraćaja i na taj način ju ubrzano uništavaju.

**USER FRIENDLINESS** postojećeg ENP sistema - Korisnici Srpskog ENP sistema su maksimalno maltretirani i to kroz vidove i načine plaćanja dopuna, mogućnosti korišćenja i nabavke OBU, pa sve do kontrole korišćenja i plaćanja. Ne postoji mogućnost dopune preko interneta, na kioscima, svim pumpama itd. Do nedavno je dopuna mogla da se izvrši samo na 3-4 mesta u celoj državi i to po veoma komplikovanoj proceduru, što je destimulisalo korisnika autoputa da koriste ENP. Ne postoji sajt gde se korisnik može ulogovati i proveriti stanje kredita i dosadašnja putovanja i plaćanja. Ne postoji aplikacija za smart telefone gde se može kontrolisati račun putovanja i dopune. Da li ovo neko namerno radi?

**POPULARIZACIJA ENP sistema** - Iako sistem postoji oko 10 godina on je i dalje u zanemarivoj upotrebi. Neinformisanost je tolika da mnogi korisnici i ne znaju da postoji ENP, te idu na ENP trake da plate ručno putarinu i tako prave redove i za korisnike ENP sistema. Instaliranje ovako skupog sistema sa procenat korišćenja do pre godinu dana oko 2-3% predstavlja neizmerljivu štetu nanetu korisnicima ali i JPPS i budžetu Srbije. Jednostavno sa velikom učešćem korisnika TAG se povećavaju prihodi JPPS **smanjuju malverzacije**, smanjuju operativni troškovi, a nivo usluge korisnika i zadovoljstvo korisnika se povećava. Treba se zapitati da li je neko namerno kočio ENP sistem u Srbiji do sada i iz kojih razloga. Treba se upitati takođe zašto je mali procenat korisnika ENP, zašto se ENP ne dobija gratis uz kupovinu određenog kredita? Zašto procenat korišćenja ENP nije minimum 50%?

#### 5. PREDLOG MERA UNAPREĐENJA SA ZAKLJUČCIMA

Rad je ukratko sa više aspekata, prikazao tehnologije, trenutno stanje i trend razvoja sistema naplate putarine u Evropi.

Analiza stanja putarine u Srbiji je ukratko pokazala osnovne nedostatke u funkcionisanju postojećeg sistema putarine u Srbiji.

Iz rada proizilaze sledeće kratkoročne i dugoročne mere unapređenja sistema putarine:

- I. **Kratkoročne mere unapređenja** → otkloniti nedostatke nabrojane u naslovu 4 ovog rada. Otklanjanje negativnih činjenica nabrojanih u tački 4 je praktično moguće bez bilo kakvih ulaganja samo organizacionim merama.



- II. **Dugoročne mere unapređenja** → uraditi naučno-stručnu studiju odabira optimalnog sistema putarine. Koja će dati odgovore zasnovane na analizama i proračunima a ne na subjektivnim stavovima što je trenutna praksa.

Zaključak rada je da je procenat upotrebe ENP i nakon desetak godina od instaliranja izuzetno nizak što je posledica loše vođene politike razvoja naplate putarine....ili je u pitanju namerno vođenje takve politike? Jedino u Srbiji se korisnici autoputa merama JPPS destimulišu za korišćenje ENP.

Zaključak rada je da postojeći sistem putarine u Srbiji sa čekanjima na naplatnim kućicama ne stimuliše korisnike autoputa da isti koriste već ih tera na alternativnu mrežu.

Na kraju korisnik autoputa očekuje da plaća putarinu bez zaustavljanja, a oni koji su primorani da se zaustave jer nemaju ENP ne žele da se susreću sa čekanjima u redovima.

Kad JPPS budu uspeli da zadovolje ovaj princip korisnici će imati i pozitivniji stav prema njima. Jer na kraju ipak važi pravilo kupac ili klijent ili u ovom slučaju korisnik usluge autoputa je uvek u pravu.

### Literatura:

- [1] Sharma, P., & Sharma, V. (2014). Electronic toll collection technologies: A state of art review. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 4 (7), 621-625.
- [2] Sorensen, P.A., & Taylor, B.D. (2005). Review and synthesis of road-use metering and charging systems. Report Commissioned by the Committee for the Study of the Long-Term Viability of Fuel Taxes for Transportation Finance, UCLA Institute of Transportation Studies.
- [3] Blythe, P. (1999). RFID for road tolling, road-use pricing and vehicle access control. *RFID Technology* (Ref. No. 1999/123), IEE Colloquium on, 8, 1-816.
- [4] Charpentier, G and Fremont, G. (2003). The ETC system for HGV on motorways in Germany: first lessons after system opening. *Proceedings of the European transport conference (ETC)*, October 2003, Strasbourg, France.
- [5] Bibaritsch, M., and Egeler, C. (2004). GO MAUT: enforcement: the enforcement system of the Austrian heavy goods vehicle toll. *European Congress on Intelligent Transportation Systems and Services, 4th, 2004, Budapest, Hungary*.
- [6] Shieh, J.S. (1995). Method and system for two-way packet radio-based electronic toll collection. ed: Google Patents.
- [7] Staudinger, M. & Mulka, E. (2004). Electronic vehicle identification using active infrared light transmission," in *At the Crossroads: Integrating Mobility Safety and Security. ITS America 2004, 14th Annual Meeting and Exposition*.
- [8] Tropartz, S., Horber, E., & Gruner, K. (1999). Experiences and results from vehicle classification using infrared overhead laser sensors at toll plazas in New York City. *Intelligent Transportation Systems, Proceedings. 1999 IEEE/IEEJ/JSAI International Conference on*, pp. 686-691.
- [9] Sridhar, V., & Nagendra, M. (2012). Smart card based toll gate automated system. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology*, 1 (5), 203-212.
- [10] European Parliament's Committee on Transport and Tourism. (2014). Technology options for the European Electronic Toll Service. <http://www.europarl.europa.eu/studies>.
- [11] Figueira, J., de Smet, Y., Brans, J.P., 2004. MCDA methods for sorting and clustering problems: Promethee TRI and Promethee CLUSTER, Université Libre de Bruxelles. Service de Mathématiques de la Gestion, Working Paper 2004/02.
- [12] GINA (GNSS for INnovative road Applications). (2010b). How Can EGNOS and Galileo Contribute to Innovative Road Pricing Policy? First Findings and Proposals from GINA Project. Brussels.
- [13] Glavić, D. (2013). SWOT analysis of toll collection systems in Europe. *Journal of Road and Traffic Engineering*, 59 (4), 21-30.
- [14] Lee, W.H., Tseng, S.S., & Wang, C.H. (2008). Design and implementation of electronic toll collection system based on vehicle positioning system techniques. *Computer Communications* 31, 2925-2933.
- [15] Vats, S., Vats, G., Vaish, R., & Kumar, V. (2014). Selection of optimal electronic toll collection system for India: A subjective-fuzzy decision making approach. *Applied Soft Computing*, 21, 444-452.

# COMPARATIVE ANALYSIS OF ROAD TOLLING TECHNOLOGIES

Draženko Glavić, Ph.D. TE<sup>1</sup>, Marina Milenković, M.Sc. TE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, V. Stepe 305, 11000, Belgrade, Serbia

**Summary:** Road tolling through the history was moving from manual to various forms of electronic payment. The development of electronic technology is very dynamic in recent years and caused a rapid implementation of various technologies in this field. Currently in Europe and around the world large number of different, mostly electronic tolling systems are in use. The aim of this work is to conduct comparative analysis of various toll technologies. This paper will analyze the toll technologies from technical, financial, traffic, ecological and socio aspects. Paper will present latest trend in technology in EU and around the world. Also paper will analyze regulations and directives that will define future development of tolling. As a result of this analysis basic strengths and weakness of different technologies will be defined through SWOT analysis.

**Keywords:** Toll technology, technical aspect financial aspect, traffic aspects, environmental aspect, social aspect.

## 1. INTRODUCTION

Among general audience as well as among experts there is discussion about existing toll collection system and the need for improvements, that often go to a complete change of road tolls system. All of this discussion leads with more or less subjective views and personal preferences of individuals who are often completely out of the tolling profession, without knowing the basic types of tolling technologies and its traffic, technical, economic, financial, environmental characteristics, without knowing the trends in this field, and without knowing the future European common policy on this issue.

The paper will briefly present the existing technologies. Paper will present comparative analysis of road tolling technologies through SWOT analysis.

## 2. DEVELOPMENT OF TOLL TECHNOLOGIES

Through the history tolling was moving from the manual to various forms of electronic technologies. The development of electronic technology is very dynamic in recent years and caused a more rapid implementation of various technologies in the toll collection. Figure 1 shows in detail the progress in the development of toll technology.

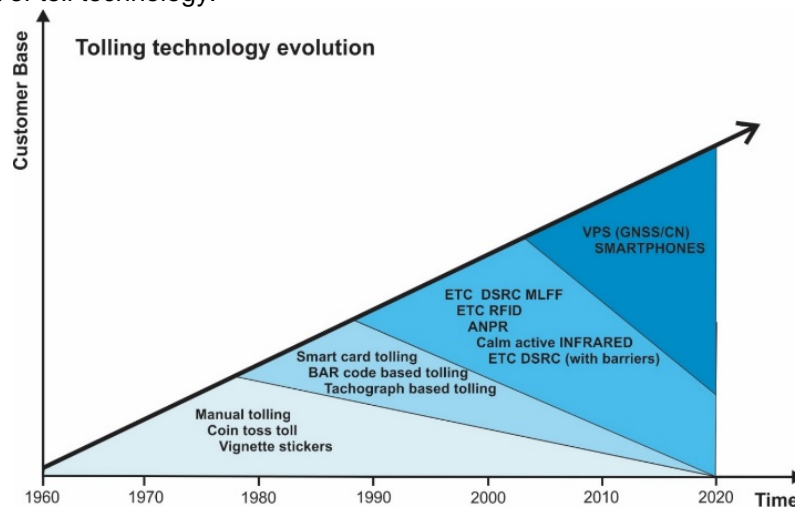


Figure 1. Development of the toll collection by technology. (Source: author)

Description of toll technologies is presented chronologically in narrative and illustrative forms as follows:

- **Manual road toll**- Cash paying for motorway usage is conducted manually by tolling staff. Paying take significant time and queuing is usual for this type of tolling. This have consequence that manual tolling have high Opex, low toll both capacity resulting with low LOS. [1].



Figure 2. Manual toll

- **Automated coin machine-ACM** is a machine with a slot for inserting coins or paper money. By doing this toll is paid for motorway usage. This technology has better service time then manual, resulting with lower delays. [1].



Figure 3. Automated coin machine based tolling

- **The vignette** is the sticker by whose purchase and sticking to a windshield a toll is paid for a certain period of time. This duration can vary, including 7, 10, 30, or 365 days [2]. The vignette is suitable for every day users, but occasional users are facing unfair pricing. In addition, frequent buying of sticker can lead to a decreased sight through the windshield, having both esthetic and safety consequences.



Figure 4. Vignette based tolling

- **ETC DSRC with barriers** is a contactless toll technology, not requiring the vehicle's stopping. However, the vehicle is required to decrease the speed to 10-40 km/h in order to establish communication and identify the on-board unit (OBU) when passing through tollbooth [3]. Consequently, users have higher LOS compared to the manual, ACM, or smartcard technology. This system has no enforcement costs.



Figure 5. ETC DSRC with barriers tolling

- In the **ETC DSRC MLFF** system, antennas are placed on gentries above the motorway. MLFF system is designed in such a way that vehicles maintain their speed and can change lanes (including the emergency lane) when passing under the toll portal. Toll paying is contactless, not requiring the driver to take any action besides driving [1][3]. As a result, drivers have high LOS, and practically do not notice tolling operation. However, this system has significant enforcement costs.



Figure 6. ETC DSRC MLFF based tolling

- **ETC BAR CODE** based toll technology is a subcategory of ETC. The barcode label is fixed to the windscreen of the vehicle and it is read by laser scanner on gentry when the vehicles pass through the toll gate or by hand reader device if tollgate is with barriers. It is the simplest and oldest technology but very unreliable [1][4]. Drivers have low LOS.



Figure 7. ETC barcode based tolling

- **ETC RFID** toll technology contains RFID sticker installed on the vehicle's windscreen. The communication is established through the RFID reader frequency at the toll stations. ETC RFID can be prepaid or postpaid, with a ramp or without. Technology is similar to ETC DSRC, but OBU is cheaper and can be in form of RFID sticker [5].



Figure 8. RFID ETC with and without barriers tolling

- **VPS (GNSS/CN)** toll technology bases on the global satellite navigation system, combined with a GSM/3G/4G communications. The Global Positioning System (GPS/Galileo/GLONASS) installed in the OBU device stores the coordinates of the vehicle and sends transaction information to the relevant toll center over GSM/3G/4G network [6][7]. This technology has high LOS, many other benefits regardless tolling, but simultaneously high Opex-operational expenditure and Capex-capital expenditure.



Figure 9. VPS (GNSS/CN) based tolling

- **ANPR** toll technology uses a stationary camera to record license plates of vehicles passing through the toll gate. Identified license plates are recognized in the database, and toll is charged automatically or by paper billing [5][8]. This technology is unreliable in bad weather conditions. ANPR technology is not widely spread due to some difficulties in charging foreign vehicles which one are not in country's database.

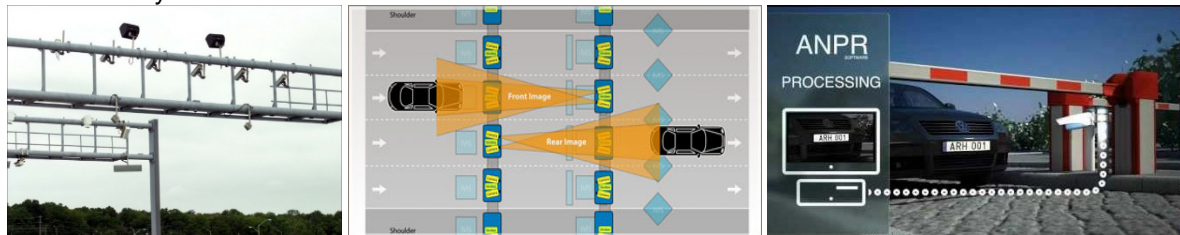


Figure 10. ANPR based tolling

- **Calm active infrared** toll technology is similar to RFID and ETC DSRC toll technology. The only difference is that it has an active infrared OBU installed in the vehicle, which contains all the needed information for charging [9][10][11].



Figure 11. Calm active infrared based tolling

- **Tachograph** toll technology records the mileage of motorway users via the OBU device that is connected to the vehicles odometer [1][3]. Tachograph toll is mainly used in trucks. Correct pricing can be questionable, since Tachograph measures all millage not only millage spent on motorways.

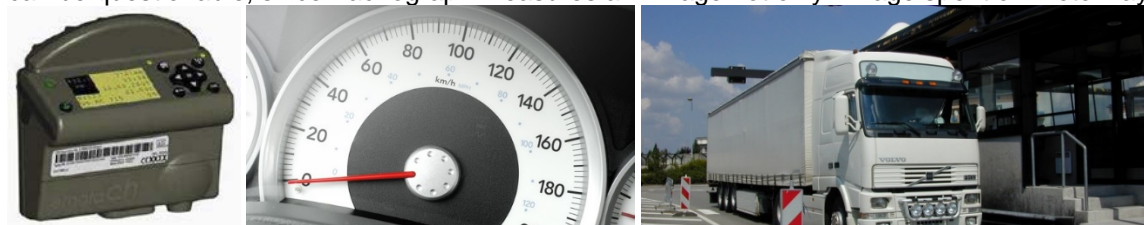


Figure 12. Tachograph based tolling

- **Smart card** toll technology represents the memory card in which are stored data about a particular person and vehicle, as well as a certain amount of money. Smart card can be with physical contact or contactless [12]. Drivers' LOS is low since they need to stop to conduct toll transaction.



Figure 13. Smart card toll technology

- **Smartphones** toll technology is still in its initial stage. Example of ETC integration of mobile phones and smartphones is M-toll project and GEO toll project [1][3].

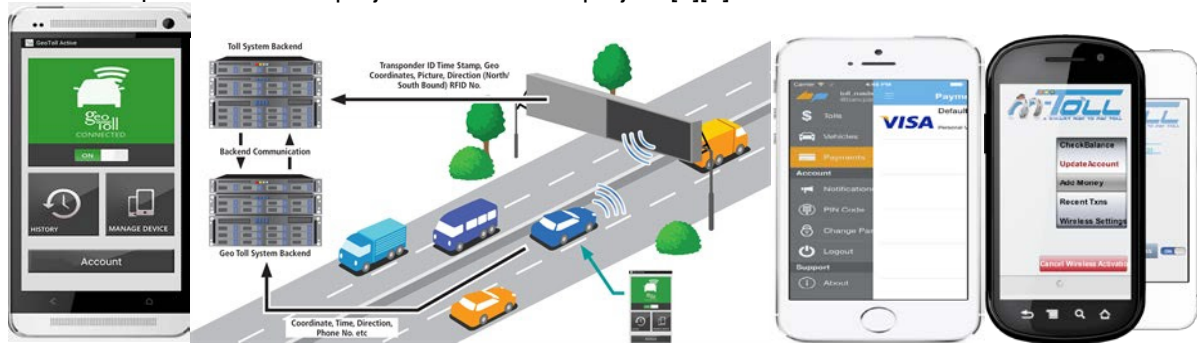


Figure 14. Smartphones based tolling

### 3. COMPARATIVE ANALYSIS OF TOLLING TECHNOLOGIES

Comparative analysis of tolling technologies is presented in next table.

**Table 1.** Comparative analysis of toll technologies

Toll technology		Advantage	Weaknesses
Vignette		Stimulating the everyday users to use motorways; Decrease of noise; Decrease of air pollution; Savings in infrastructure costs	Applicability; Not fair pricing for foreigners and occasional users; Many stickers on the windshield visually degrade vehicles; High enforcement costs; The difficulties of controlling all vehicles
Short-range communication (DSRC)	ETC DSRC (ETC with barriers)	Payment without stopping; No queuing; Decrease of VOC; Decrease of TTC; Less environmental degradation; Pay in accordance with travelled kilometres; Large number of DSRC OBUs currently in operation;	Inefficient for occasional users without OBU; High capital expenditure and maintenance cost of tolling infrastructure; Difficult to modify the tolled network once implemented;
	DSRC MLFF (ETC without barriers)	Payment without stopping; Payment without decreasing the speed; No delays and queuing; Without increase of VOC and TTC; Increase of traffic safety; Minimum of environmental degradation; Pay in accordance with travelled kilometres; Widely adopted, simple and tested technology; High reliability & performance, low signal interference; Large number of DSRC OBUs currently in operation; User friendly	Inefficient for occasional users without OBU; High enforcement costs; The difficulties of controlling vehicles without OBU. Necessity to install road-side infrastructure (gantries) along the road; High capital expenditure and maintenance cost of tolling infrastructure; Difficult to modify the tolled network once implemented;
Barcode-based ETC		The simplest technology; Pay in accordance with travelled kilometres;	Unreliability; Less accurate during bad weather; Lack of flexibility; Low rate of reading data; Low passenger comfort
Radio-frequency identification RFID ETC		Payment without stopping; No queuing; Decrease of VOC; Decrease of TTC; Less environmental degradation; Pay in accordance with travelled kilometres; High rate of reading data;	High opex and capex; The problem of interference with the frequencies of other devices; Inefficient for occasional users without OBU;
Calm active infrared		Payment without stopping; No queuing; Decrease of VOC; Decrease of TTC; Less environmental degradation; Pay in accordance with travelled kilometres; High rate of reading data; High reliability; Accurate in all weather condition;	The problem of interference (interference with other signals); High opex and capex;
Smart card		Reduced queuing time; Small decrease of VOC; and TTC; Environmental degradation;	Payment with stopping; Reliability
ANPR		Payment without stopping; No queuing; Decrease of VOC; Decrease of TTC; Less environmental degradation; No OBU; Can deliver cost savings for automatic handling processing, subject to fine tuning and secondary processing methods used; Most successful when combined with other technologies; No performance restrictions regarding vehicle speeds	Requires good quality licence plates; Susceptible to poor lighting and weather conditions; Access to vehicle data needed of foreigners vehicle database; Cost of manual checking can increase operational costs; Suitable for supporting relatively simple charging policies
GNSS/CN (VPS)		Payment without stopping; Payment without decreasing the speed; No delays and queuing; Without increase of VOC and TTC; Minimum of environmental degradation; Pay in accordance with travelled kilometres; Increase of traffic safety; Flexibility to define and modify what is to be charged and how it is to be charged; Once installed, less costly to maintain; Easily expandable to other roads and regions	Privacy of the user's movement; High opex and capex; Inefficient for occasional users without OBU; High enforcement costs; Less used and mature technology than other technologies; Accuracy errors in certain sections of the tolled network, such as parallel free roads and intersections; Additional roadside devices need to be installed;
Tachograph-based tolling		Absence of privacy and data protection issues; Investment in tolling infrastructure is relatively independent of the tolled network within the area; Low toll collection costs; Maintenance of tolling infrastructure is limited to cross-border control stations	Rigidity in defining and modifying what is to be charged and how it is to be charged within the tolled area; Low accuracy of the tolling technology ( $\pm 4\%$ ); Complex and costly on-board unit; No interoperability; High start-up costs of cross-border control stations; Not commonly used technology;
Mobile communications (GSM and smartphones)		Flexibility to define and modify what is to be charged and how it is to be charged; Little physical tolling roadside infrastructure investment; No need for in-vehicle device or costly enforcement infrastructure; User-friendly interface; Interoperability with other tolling technologies; Low maintenance costs	Device battery duration; Less used and mature technology than other options; Can become obsolete quickly, given technological developments in the sector; Variable proliferation of mobile and smart phones in different areas; Some areas do not have appropriate GSM coverage; No proven data about accuracy on certain sections of the tolled network, such as parallel free roads and intersections; Not able to classify vehicles; No standards currently available

## References:

- [1] Sharma, P., & Sharma, V. (2014). Electronic toll collection technologies: A state of art review. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 4 (7), 621-625.
- [2] Sorensen, P.A., & Taylor, B.D. (2005). Review and synthesis of road-use metering and charging systems. Report Commissioned by the Committee for the Study of the Long-Term Viability of Fuel Taxes for Transportation Finance, UCLA Institute of Transportation Studies.
- [3] Blythe, P. (1999). RFID for road tolling, road-use pricing and vehicle access control. *RFID Technology* (Ref. No. 1999/123), IEE Colloquium on, 8, 1-816.
- [4] Charpentier, G and Fremont, G. (2003). The ETC system for HGV on motorways in Germany: first lessons after system opening. *Proceedings of the European transport conference (ETC)*, October 2003, Strasbourg, France.
- [5] Bibaritsch, M., and Egeler, C. (2004). GO MAUT: enforcement: the enforcement system of the Austrian heavy goods vehicle toll. *European Congress on Intelligent Transportation Systems and Services, 4th, 2004, Budapest, Hungary*.
- [6] Shieh, J.S. (1995). Method and system for two-way packet radio-based electronic toll collection. ed: Google Patents.
- [7] Staudinger, M. & Mulka, E. (2004). Electronic vehicle identification using active infrared light transmission," in *At the Crossroads: Integrating Mobility Safety and Security. ITS America 2004, 14th Annual Meeting and Exposition*.
- [8] Tropartz, S., Horber, E., & Gruner, K. (1999). Experiences and results from vehicle classification using infrared overhead laser sensors at toll plazas in New York City. *Intelligent Transportation Systems, Proceedings. 1999 IEEE/IEEJ/JSAI International Conference on*, pp. 686-691.
- [9] Sridhar, V., & Nagendra, M. (2012). Smart card based toll gate automated system. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology*, 1 (5), 203-212.
- [10] European Parliament's Committee on Transport and Tourism. (2014). Technology options for the European Electronic Toll Service. <http://www.europarl.europa.eu/studies>.
- [11] Figueira, J., de Smet, Y., Brans, J.P., 2004. MCDA methods for sorting and clustering problems: Promethee TRI and Promethee CLUSTER, Université Libre de Bruxelles. Service de Mathématiques de la Gestion, Working Paper 2004/02.
- [12] GINA (GNSS for INnovative road Applications). (2010b). How Can EGNOS and Galileo Contribute to Innovative Road Pricing Policy? First Findings and Proposals from GINA Project. Brussels.
- [13] Glavić, D. (2013). SWOT analysis of toll collection systems in Europe. *Journal of Road and Traffic Engineering*, 59 (4), 21-30.
- [14] Lee, W.H., Tseng, S.S., & Wang, C.H. (2008). Design and implementation of electronic toll collection system based on vehicle positioning system techniques. *Computer Communications* 31, 2925-2933.
- [15] Vats, S., Vats, G., Vaish, R., & Kumar, V. (2014). Selection of optimal electronic toll collection system for India: A subjective-fuzzy decision making approach. *Applied Soft Computing*, 21, 444-452.



# ANALIZA DIREKTNIH TROŠKOVA MANUELNE I ENP TEHNOLOGIJE PUTARINE - PRIMER SLUČAJA NAPLATE PUTARINE U SRBIJI

Vanja Vožni<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Saobraćajni fakultet, Beograd; vanja.vozni@gmail.com

**Rezime:** *Različite tehnologije naplate putarine imaju različite parametre efikasnosti. Efikasnost određene putarine može se meriti raznim parametrima, od kapaciteta jedne naplatne trake, preko brzine kretanja i broja zaustavljanja do vremena provedenog u čekanju i dr. Dodavanjem određenim parametrima efikasnosti ekonomki prefiks možemo i ekonomski analizirati putarine. Različite tehnologije imaju različite troškove investicija i održavanja, a korisnici putarine korišćenjem različitih putarina nemaju iste parametre TTC i VOC. Cilj ovog rada je da se na primeru slučaja putarine u Srbiji uporede dve tehnologije naplate (manuelna i ENP) i da se prikažu direktne uštede za korisnike u zavisnosti od korišćenog sistema naplate putarine. Kao rezultat rada dobiće se uštede koje se mogu ostvariti prelaskom sa manuelne na elektronsku naplatu putarine.*

**Ključne reči:** Putarina, ENP, VOC, TTC, Direktni efekti

**Summary:** *Different technologies of toll collection have a different parameters of efficiency. The effectiveness of a particular toll can be measured by various parameters, from the capacity of particular toll collection point, speed of vehicles and number of stops to the waiting time, etc. By adding the economic prefix to a certain parameters of efficiency we can analyze the economic efficiency of tolls. Different technologies have a different investment and maintenance costs, and users of different tolls do not have the same parameters of TTC and VOC. The aim of this paper is to compare, in the case of toll in Serbia, the two technologies of toll collection (manual and ETP) and to present the direct savings for the users, depending on toll collection system. As a result, the savings will be obtained by switching from a manual to an electronic toll collection.*

**Key words:** Toll, ETC, VOC, TTC, Direct effects

## 1. UVOD

Prihodi od putarina su jako važan deo upravljanja putevima, održavanja, optimizacije upotrebe autoputeva, kao i puteva na kojima se dostižu velika brzina. Uspešna optimizacija korišćenja puteva u velikoj meri zavisi od reakcije korisnika na putarine. Prihodi od putarina su važan izvor finansiranja izgradnje novih i održavanja postojećih puteva, a efikasna politika cena je važan deo transportne politike u dodeljivanju ograničenih resursa za izgradnju i korišćenje infrastrukture bilo kog puta na mreži (3).

Optimalni sistem putarine je onaj koji je prihvatljiv, efikasan i „fer“ za korisnike, ali i onaj od kojeg postoji ekonomska korist za društvo. Tradicionalna, manuelna naplata putarine se sve više zamenjuje elektronskom naplatom (ETC-Electronic Toll Collection), kao što je GNSS (Global Navigation Satellite System – globalni nacionalni navigacioni sistem), DSRC (Dedicated Short Range Communication namenska komunikacija kratkog dometa), MLFF (Multi Line Free Flow-višetračni slobodni protok)... Glavni razlozi sve veće upotrebe ENP je negativan uticaj manuelnih sistema naplate na stvaranje redova i kolona na naplatnim rampama, što za posledicu ima povećanje vremena putovanja korisnika, negativne uticaje na životnu sredinu, kao i povećavanje troškova putovanja (1).

Cilj ovog rada je da se definišu uštede korisnika u vremena putovanja u slučaju manuelne u odnosu na elektronsku naplatu putarine na mreži autoputeva u Srbiji.

## 2. PREGLED LITERATURE

Analiza troškova i koristi manuelne i elektronske naplate je tema mnogih studija i istraživanja u svetu. Poseban akcenat se stavlja na vrednovanje, odnosno utvrđivanje realnih (direktnih) koristi elektronske naplate putarine u odnosu na manuelnu.

Rad autora Saffarzadeh-a i Rezaee-Arjroody-a iz Teherana (2) je baziran na ekonomskoj i tehničkoj analizi ENP, koja je sprovedena na autoputevima Teheran-Qom i Teheran-Karaj. U radu su proračunate uštede u potrošnji goriva, uštede zbog eliminacije štampanja kartica – „računa“ za korisnike i smanjenog broja zaposlenih, kao i uštede u vremenu putovanja u slučaju elektronske naplate putarine u odnosu na manuelnu naplatu. Autori ove studije su do ušteda u potrošnji goriva došli tako što je prvo izračunata prosečna

potrošnja goriva na čas po jednom vozilu. Nakon toga, izračunate su uštede u vremenu putovanja kada se manuelna naplata zameni elektronskom, a konačne uštede u potrošnji goriva dobijene su množenjem dve navedene vrednosti. Uštede u broju odštampanih i izdatih „računa“ u slučaju manuelne naplate zavisi od broja vozila koja koriste autoput, a uštede zbog manjeg broja zaposlenih izračunate su na osnovu prosečnih mesečnih primanja.

Konačni rezultat ove studije pokazuje da su uštede u gorivu na godišnjem nivou 8,7 milijardi iranskih rijala, odnosno oko 256.627 EUR za slučaj autoputa Teheran-Karaj i 3,5 milijardi iranskih rijala, odnosno oko 100.304 EUR za slučaj autoputa Teheran-Qom. Godišnje uštede zbog smanjenog broja zaposlenih iznose 480 miliona iranskih rijala, odnosno oko 14.056 EUR u slučaju oba posmatrana autoputa, dok su uštede zbog smanjenog broja zaposlenih 3 milijarde rijala (89.902 EUR), na autoputu Teheran-Karaj, odnosno 1,2 milijarde rijala (35.140 EUR) na autoputu Teheran-Qom. Ukupne godišnje uštede u vremenu putovanja iznose 5.678.304, odnosno 2.219.270 časova za autoputeve Teheran-Karaj i Teheran-Qom, respektivno. Finansijske uštede su oko 4 biliona rijala (oko 116.404.519 EUR) za autoput Teheran-Karaj i 155 milijardi iranskih rijala, odnosno 4.539.044 EUR za autoput Teheran-Qom.

U radu čiji je autor Rajesh Chaudhary (4), prikazan je model koji prikazuje koristi ENP koje imaju korisnici puteva sa naplatom putarine (uštede u vremenu putovanja, uštede u potrošnji goriva), ali i koristi koje ima društvo u celini (smanjena emisija štetnih gasova). Ulazni parametri u ovom istraživanju su PGDS i broj traka na naplatnoj stanici, kao i vrste naplatnih traka. Koristi su izračunate za slučaj zamene određenog broja traka sa manuelnom naplatom trakama sa ENP i u slučaju izgradnje dodatnih traka sa ENP, pored postojećih sa manuelnom naplatom.

Ova studija podrazumeva da ukupno vreme čekanja u slučaju manuelne naplate putarine predstavlja sumu vremena usporavanja, vremena čekanja u redu, vremena transakcije i vremena ubrzavanja vozila do željene brzine. Prema istraživanjima, vreme usporavanja vozila je 13 sekundi, vreme transakcije je u proseku 8 sekundi po vozilu, vreme čekanja u redu varira u zavisnosti od nekoliko parametara, dok je vreme, koje je potrebno za ponovno dostizanje željene brzine, oko 10 sekundi. U slučaju ENP eliminiše se vreme usporavanja, čekanja i ubrzavanja, pa je vreme naplate putarine u stvari vreme transakcije i iznosi 2,4 sekunde.

Dobijeni rezultati su pokazali da u slučaju pet naplatnih rampi (3 sa manuelnom naplatom i 2 sa ENP), nakon pet godina korišćenja ENP, koristi počinju da se smanjuju i u tom trenutku je potrebno zameniti još jednu traku sa manuelnom naplatom trakom sa ENP. Broj traka sa ENP se povećava u zavisnosti od zasićenosti traka sa ENP. Zasićenost predstavlja odnos broja vozila koja dolaze na rampu i vremena transakcije. Finansijska analiza je pokazala da će, za slučaj da protok vozila u prvoj godini korišćenja ENP odgovara maksimalno projektovanom kapacitetu, uštede korisnika na godišnjem nivou iznositi oko 2.091.000 dolara (1.856.192 EUR). Ukoliko je saobraćajni tok u prvoj godini za 30% veći od projektovanog, uštede iznose 11.465.718 dolara (10.178.182 EUR), dok će uštede iznositi 28.001.000 (24.856.646 EUR), ukoliko protok vozila u prvoj godini bude za 70% veći od projektovanog.

U slučaju izgradnje traka sa ENP, pored postojećih traka sa manuelnom naplatom, koristi od ENP se konstantno povećavaju sa povećavanjem broja vozila na naplatnim rampama, pod uslovom da se, kao u prvom slučaju, u trenutku zasićenja postojećih traka sa ENP izgrađuju i otvaraju nove, a broj traka sa manuelnom naplatom ostaje isti.

Rezultati istraživanja transportnog centra u Kentakiju, u SAD (6), pokazali su da traka sa ENP tri puta povećava protok vozila na naplatnim rampama u odnosu na traku sa manuelnom naplatom. U Kaliforniji je istraživanje pokazalo da su ukupne vremenske uštede motornih vozila, zbog smanjenih gužvi na naplatnim rampama, preko 6 miliona časova na godišnjem nivou, dok je uvođenje elektronske naplate u Nju Džersiju omogućilo uštedu od 1,3 miliona časova godišnje.

Pilot istraživanje o koristima ENP je rađeno i u Kaliforniji (7), na mostu Carquinez. Ova lokacija je izabrana zbog zadovoljavajućeg protoka vozila na naplatnoj rampi, kako na trakama sa manuelnom, tako i na trakama sa elektronskom naplatom putarine. Prilikom proračuna koristi, uzeto je u obzir da se broj vozila na pomenutoj naplatnoj rampi, godišnje povećavao u proseku za 2%.

Rezultati ovog istraživanja su pokazali da su godišnje uštede u vremenu putovanja oko 79.919 časova, odnosno oko 1,07 miliona dolara, što iznosi oko 894.793 EUR. Uštede u gorivu su iznosile oko 209.806 litara godišnje, odnosno oko 54.174 EUR.

### 3. KARAKTERISTIKE SISTEMA

#### 3.1. Manuelna naplata putarine

Manuelni način naplate putarine je tradicionalni način naplate. Podrazumeva postavljanje naplatnih rampi na autoputevima, pri čemu vozila prilikom nailaska na rampu moraju da smanje brzinu kretanja do zaustavljanja, lično izvrše plaćanje korišćenja puta i zatim ubrzavaju do željene brzine. Veliki nedostaci ovog sistema su čekanja i formiranje redova na naplatnim rampama, što stvara velike troškove za korisnike. Osim toga, stajanje u redu ili pokretanje i zaustavljanje automobila čak nekoliko puta za vreme čekanja, negativno utiče na životnu sredinu i povećava emisiju štetnih gasova. Ovaj sistem naplate putarine stvara i veće troškove za vršioca naplate, jer zahteva veliki broj radnika na svakoj naplatnoj rampi.

#### 3.2. Elektronska naplata putarine

Osim što smanjuje gužve na naplatnim rampama, smanjuje troškove korisnika i upravljača puteva, ENP je i moguće rešenje u razvoju i pružanju informacija u saobraćaju, preko istog uređaja instaliranog u vozilima: automatski hitni poziv u slučaju nezgode, informacije o uslovima u saobraćaju, vremenu putovanja itd. (10).

Pri elektronskoj naplati putarine vozila prolaze bez zaustavljanja ulaznom/naplatnom saobraćajnom trakom, što znači da je omogućen sistem naplate na daljinu. Sistem detektuje vozilo koje sadrži transponder – tag i automatski mu omogućava prolaz bez zaustavljanja i pri tom naplaćuje naknadu za korišćenje deonice autoputa sa elektronskog računa, gde je vozač prethodno uplatio „kredit“. Danas u Evropi ima oko 10 miliona korisnika elektronskog sistema naplate putarine, i očekuje se njihov dalji porast po godišnjoj stopi od oko 10% tokom iduće decenije.

Sistemi elektronske naplate obično uključuje tri dela (5):

- automatsku identifikaciju vozila (AVI),
- automatsku klasifikaciju vozila (AVC),
- video sistem kontrole (VEC).

Ovi sistemi koriste „vozilo-put“ komunikacionu tehnologiju, mikrotalasne ili infracrvene talase ili u poslednje vreme (najčešće) i satelitske tehnologije (Global Positioning System-GPS), kako bi se omogućio elektronski transfer novca između korisnika (vozila) koje prolazi naplatnu stanicu i upravljača puta, odnosno onoga ko vrši naplatu putarine. ENP oprema zamenjuje ljude koji su do sada vršili naplatu putarine u kabinama. Ona omogućava da se ova transakcija vrši pri brzinama koje su manje, ali bliske normalnim brzinama putovanja.

Novi tipovi sistema naplate zasnovani na sistemu pozicioniranja vozila (Vehicle Positioning Systems - VPS), rade preko satelitske tehnologije. Glavne prednosti ovih sistema su izostanak potrebe za ENP putnom infrastrukturom i mnogo veća fleksibilnost u definisanju ili menjanju pozicije sistema za naplatu, uz pomoć jednostavnih „virtuelnih“ naplatnih zona.

U svetu postoji nekoliko vrsta elektronske naplate, koje mogu da se podele u dve grupe:

- elektronska naplata bez barijera -MLFF (Multi Line Free Flow) i
- ENP sa barijerama.

MLFF sistem podrazumeva da vozila prilikom naplate putarine ne moraju da usporavaju, već se transakcija novca može izvršiti i pri velikim brzinama kretanja, karakterističnim za autoputeve.

ENP sa barijerama zahteva od vozača da prilikom nailaska na naplatnu rampu uspori kretanje vozila na brzinu koja je dovoljna da se ostvari kontakt između TAG uređaja i antene na rampi i da se podigne rampa, čime se omogućava prolazak vozila i ponovno ubrzavanje do željene brzine. Ovakav sistem naplate putarine postoji i koristi se u Srbiji.

### 4. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Cilj ovog istraživanja je da se utvrde uštede u vremenu putovanja i potrošnji goriva u slučaju ENP u odnosu na manuelnu. Troškovi, odnosno uštede su računate za dve kategorije vozila: putnički automobil (PA) i autobus (BUS). Usvojene su pretpostavke da vozilo prilikom nailaska na naplatnu rampu ravnomerno

usporava, odnosno, nakon prolaska rampe, ravnomerno ubrzava. Takođe je usvojeno da putnički automobil počinja da usporava pri brzini od 120 km/h, a BUS pri brzini od 100 km/h.

Prilikom proračuna troškova vremena putovanja kod manuelne naplate putarine računato je vreme koje vozilo provede usporavajući, zatim vreme čekanja na plaćanje, kao i, nakon izvršenog plaćanja, vreme ubrzavanja do željene brzine. Kod vremena čekanja uzeto je u obzir da u redu za naplatu putarine prosečno čekaju dva vozila.

Kod proračuna troškova vremena putovanja za slučaj ENP, pretpostavka je da vozilo sa brzine od 120 km/h usporava na brzinu od 50 km/h, vrši se transakcija i vozilo ponovo ubrzava do 120 km/h. U ovom slučaju nema redova i nema čekanja na naplatu.

Dobijene direktne koristi za korisnike dobijene su kao razlika troškova elektronske i manuelne naplate putarine.

## 5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

### 5.1. Troškovi vremena putovanja

Prilikom proračuna troškova vremena putovanja (9), svrhe putovanja podeljene su na poslovne i ostale.

#### Manuelna naplata putarine

➤ Troškovi vremena putovanja putničkog automobila, u slučaju manuelne naplate putarine, računati su prema obrascu:

$$T_{PAM} = t_{PAM} * (C_{\check{C}PPA} * N_{PA} * P_{PPA} + C_{\check{C}OPA} * N_{PA} * P_{OPA})$$

pri čemu su:

- $T_{PAM}$  - ukupni troškovi putovanja za jedan putnički automobil (din/voz),
- $t_{PAM}$  – vreme usporavanja, vreme čekanja i vreme ubrzavanja (h),
- $C_{\check{C}PPA}$  – cena časa poslovnih putovanja putnički automobilom (355 din/h),
- $N_{PA}$  – popunjenost PA (2,1),
- $P_{PPA}$  – udeo poslovnih putovanja putnički automobilom (0,25),
- $C_{\check{C}OPA}$  – cena časa ostalih putovanja putnički automobilom (127 din/h),
- $P_{OPA}$  – udeo ostalih putovanja putnički automobilom (0,75).

Ukupno vreme usporavanja ( $t_1$ ), čekanja ( $t_2$ ) i ubrzavanja ( $t_3$ ) putničkog automobila dobijeno je kao:

$$t_{PAM} = t_{1PAM} + t_{2PAM} + t_{3PAM}$$

pri čemu je:

- $t_{1PAM}$  (vreme usporavanja) = 18 s = 0,0050 h

Pri brzini od 120 km/h i putu zaustavljanja od prosečno 300 metara, vreme usporavanja je 18 sekundi (0,0050 h) po vozilu.

- $t_{2PAM}$  (vreme čekanja) = 30 s = 0,0083 h

Usvojeno je prosečno vreme opsluge automobila u slučaju manuelne naplate putarine 10 sekundi, pri čemu u redu za naplatu prosečno čeka dva vozila, pa se dolazi do zaključka da je prosečno vreme čekanja za plaćanje putarine 30 sekundi (0,0083 h) po vozilu.

- $t_{3PAM}$  (vreme ubrzavanja) = 15 s = 0,0042 h

Ovde je usvojena pretpostavka da vozilo, nakon zaustavljanja i izvršenog plaćanja putarine, brzinu od 120 km/h može dostići za prosečno 250 m, odnosno za prosečno 15 sekundi (0,0042 h) po vozilu.

- Troškovi vremena putovanja putnika u autobusima, u slučaju manuelne naplate putarine, računati su prema obrascu:

$$T_{BUSM} = t_{BUSM} * (C_{\check{C}PBUS} * N_{BUS} * P_{PBUS} + C_{\check{C}OBUS} * N_{BUS} * P_{OBUS})$$

pri čemu je:

- $T_{BUSM}$  – ukupni troškovi vremena putovanja za jedan autobus (din/voz),
- $t_{BUSM}$  – vreme usporavanja, vreme čekanja i vreme ubrzavanja (h),
- $C_{\check{C}PBUS}$  – cena časa poslovnih putovanja autobusom (320 din/h),
- $N_{BUS}$  – popunjenost BUS (45),
- $P_{PBUS}$  – udeo poslovnih putovanja autobusom (0,1),
- $C_{\check{C}OBUS}$  – cena časa ostalih putovanja autobusom (110 din/h),
- $P_{OBUS}$  – udeo ostalih putovanja autobusom (0,9).

Ukupno vreme usporavanja ( $t_1$ ), čekanja ( $t_2$ ) i ubrzavanja ( $t_3$ ) autobusa dobijeno je kao:

$$t_{BUSM} = t_{1BUSM} + t_{2BUSM} + t_{3BUSM}$$

pri čemu je usvojeno da je:

- $t_{1BUSM}$  (vreme usporavanja) = 36 s = 0,01 h

Pri brzini od 100 km/h i putu zaustavljanja od prosečno 500 metara, pa je vreme usporavanja 36 sekundi (0,01 h) po vozilu.

- $t_{2BUSM}$  (vreme čekanja) = 45 s = 0,0125 h

Ukoliko se uzme u obzir da je prosečno vreme opsluge autobusa u slučaju manuelne naplate putarine 15 sekundi i da u redu za naplatu prosečno čeka dva vozila, dolazi se do zaključka da je prosečno vreme čekanja za plaćanje putarine 45 sekundi (0,0125 h) po vozilu.

- $t_{3BUSM}$  (vreme ubrzavanja) = 21,6 s = 0,006 h

U ovom slučaju je usvojena pretpostavka da vozilo, nakon zaustavljanja i izvršenog plaćanja putarine, brzinu od 100 km/h može dostići za prosečno 350 m, odnosno za prosečno 25 sekundi (0,006 h) po vozilu.

Na osnovu navedenih obrazaca, ukupni troškovi vremena putovanja jednog putničkog automobila u slučaju manuelne naplate putarine su:

$$T_{PAM} = (0,0050 + 0,0083 + 0,0042) * (355 * 2,1 * 0,25 + 127 * 2,1 * 0,75)$$

$$T_{PAM} = 0,0175 * 386,4 = 6,762 \text{ din/voz}$$

dok su troškovi po jednom autobusu:

$$T_{BUSM} = (0,01 + 0,0125 + 0,006) * (320 * 45 * 0,1 + 110 * 45 * 0,9)$$

$$T_{BUSM} = 0,0285 * 5895 = 168,00 \text{ din/voz}$$

### Elektronska naplata putarine

U slučaju ENP, ne postoji vreme čekanja, nego samo vreme, tj. troškovi vremena usporavanja, transakcije i ubrzavanja.

- Za putnički automobil, troškovi vremena putovanja u slučaju ENP su:

$$T_{PAE} = t_{PAE} * (C_{\check{C}PPA} * N_{PA} * P_{PPA} + C_{\check{C}OPA} * N_{PA} * P_{OPA})$$

gde je:

$$t_{PAE} = t_{1PAE} + t_{2PAE} + t_{3PAE}$$

Vanja Vožni

pri čemu je:

- $t_{1PAE}$  (vreme usporavanja) = 8,47 s = 0,0024 h

Pri brzini od 120 km/h vozilo usporava ravnomerno na brzinu od 50 km/h za prosečno 200 metara, pa je vreme usporavanja 12,7 sekundi (0,0024 h) po vozilu.

- $t_{2PAE}$  (vreme čekanja) = 3 s = 0,00083 h

U slučaju elektronske naplate nema redova na naplatnim rampama i prosečno vreme transakcije iznosi 3 sekunde (0,00083 h) po vozilu.

- $t_{3PAE}$  (vreme ubrzavanja) = 6,35 s = 0,0018 h

Ovde je usvojena pretpostavka da vozilo sa brzine od 50 km/h do brzine od 120 km/h ubrzava za prosečno 150 m, odnosno za prosečno 6,4 sekunde (0,0018 h) po vozilu.

➤ Za autobus, troškovi vremena putovanja u slučaju ENP su:

$$T_{BUS_E} = t_{BUS_E} * (C_{\check{C}P_{BUS}} * N_{BUS} * P_{P_{BUS}} + C_{\check{C}O_{BUS}} * N_{BUS} * P_{O_{BUS}})$$

gde je:

$$t_{BUS_E} = t_{1BUS_E} + t_{2BUS_E} + t_{3BUS_E}$$

pri čemu je:

- $t_{1BUS_E}$  (vreme usporavanja) = 12 s = 0,0033 h

Pri brzini od 100 km/h autobus usporava ravnomerno na brzinu od 50 km/h za prosečno 250 metara, pa je vreme usporavanja 12 sekundi (0,0033 h) po vozilu.

- $t_{2BUS_E}$  (vreme čekanja) = 3 s = 0,00083h

U slučaju elektronske naplate nema redova na naplatnim rampama i prosečno vreme transakcije iznosi 3 sekunde (0,00083h) po vozilu.

- $t_{3BUS_E}$  (vreme ubrzavanja) = 9,6 s = 0,0027 h

Ovde je usvojena pretpostavka da autobus sa brzine od 50 km/h do brzine od 120 km/h ubrzava za prosečno 200 m, odnosno za prosečno 9,6 sekundi (0,0027 h) po vozilu.

Na osnovu navedenih obrazaca, ukupni troškovi vremena putovanja jednog PA u slučaju elektronske naplate putarine su:

$$T_{PAE} = (0,0024 + 0,00083 + 0,0018) * (355 * 2,1 * 0,25 + 127 * 2,1 * 0,75)$$
$$T_{PAE} = 0,00495 * 386,4 = 1,913 \text{ din/voz}$$

dok su troškovi po jednom autobusu:

$$T_{BUS_E} = (0,0033 + 0,00083 + 0,0027) * (320 * 45 * 0,1 + 110 * 45 * 0,9)$$
$$T_{BUS_E} = 0,0068 * 5895 = 40,283 \text{ din/voz}$$

## 5.2. Troškovi goriva

Dodatni troškovi goriva se računaju po jednom ciklusu zaustavljanja vozila (9). U slučaju manuelne naplate, taj ciklus podrazumeva usporavanje, zaustavljanje i ubrzavanje, dok kod ENP podrazumeva usporavanje i ubrzavanje. U nastavku rada biće ponaosob prikazani dodatni troškovi za putničko vozilo (PA), autobus (BUS) i komercijalno vozilo (KV).

Obrasci za proračun dodatne potrošnje goriva su:

- u slučaju manuelne naplate:
  - za PA:  $T_g = C_g * (0,04 + 0,78 * t_{o_{PA}})$
  - za BUS:  $T_g = C_g * (0,22 + 3,2 * t_{o_{BUS}})$
  - za KV:  $T_g = C_g * (0,22 + 3,2 * t_{o_{KV}})$
- u slučaju elektronske naplate:
  - za PA:  $T_g = C_g * 0,04$
  - za BUS:  $T_g = C_g * 0,22$
  - za KV:  $T_g = C_g * 0,22$

gde je:

- $C_g$  – prosečna cena goriva za 1l,
- 0,04 – faktor dodatne potrošnje PA za jedan ciklus ( $V_{e1} \rightarrow V_{e2} \rightarrow V_{e1}$ ),
- 0,22 – faktor dodatne potrošnje BUS i KV za jedan ciklus ( $V_{e1} \rightarrow V_{e2} \rightarrow V_{e1}$ ),
- 0,78 – faktor dodatne potrošnje PA za rad motora u mestu,
- 3,2 – faktor dodatne potrošnje BUS i KV za rad motora u mestu,
- $t_{o_{PA}}$  – vreme stajanja PA (h),
- $t_{o_{BUS}}$  – vreme stajanja BUS (h),
- $t_{o_{KV}}$  – vreme stajanja KV (h).

Kada se uzme u obzir prosečna cena goriva od 128 din/l, dodatni troškovi goriva iznose:

- za manuelnu naplatu:
  - za PA:  $T_g = C_g * (0,04 + 0,78 * t_o) = 128 * (0,04 + 0,78 * 0,0083) = 5,95 \text{ din/voz}$
  - za BUS:  $T_g = C_g * (0,22 + 3,2 * t_o) = 128 * (0,22 + 3,2 * 0,0125) = 33,28 \text{ din/voz}$
  - za KV:  $T_g = C_g * (0,22 + 3,2 * t_o) = 128 * (0,22 + 3,2 * 0,0125) = 33,28 \text{ din/voz}$
- za elektronsku naplatu:
  - za PA:  $T_g = 128 * 0,04 = 5,12 \text{ din/voz}$
  - za BUS:  $T_g = 128 * 0,22 = 28,16 \text{ din/voz}$
  - za KV:  $T_g = 128 * 0,22 = 28,16 \text{ din/voz}$

### 5.3. Ukupne uštede

Troškovi vremena putovanja i dodatni troškovi goriva za slučaj manuelne i elektronske naplate putarine, kao i uštede dati su u narednim tabelama (tabele 1 i 2).

Tabela 1. Troškovi vremena putovanja po vozilu za slučaj MNP i ENP i uštede

	Manuelna naplata putarine (din/voz)	Elektronska naplata putarine (din/voz)	Ukupne uštede (din/voz)
<b>PA</b>	6,762	1,913	<b>4,849</b>
<b>BUS</b>	168,00	40,283	<b>127,717</b>

Tabela 2. Dodatni troškovi goriva po vozilu za slučaj MNP i ENP i uštede

	Manuelna naplata putarine (din/voz)	Elektronska naplata putarine (din/voz)	Ukupne uštede (din/voz)
<b>PA</b>	5,95	5,12	<b>0,83</b>
<b>BUS</b>	33,28	28,16	<b>5,12</b>
<b>KV</b>	33,28	28,16	<b>5,12</b>

Kada se dobijeni rezultati pomnože sa PGDS na mreži autoputeva Srbije u 2015. godini (tabela 3) i brojem dana u godini, dobijaju se uštede na dnevnom i godišnjem nivou za PA i BUS. Podaci su prikazani u tabelama 4 i 5, respektivno.

Tabela 3. PGDS u 2015. godini

OD	DO	PA	BUS	KV	UKUPNO
petlja Sirig	petlja Novi Sad sever	6.540	587	1.602	8729
petlja Inđija	petlja Stara Pazova	14.627	588	3.061	18276
petlja Nova Pazova	petlja Novi Banovci	17.402	338	2.460	20199
petlja Batajnica	petlja Beograd	16.922	314	2.385	19622
petlja Bubanj Potok	petlja Tranšped	28.721	1.709	4.285	34714
petlja Tranšped	petlja Vrčin	26.652	1.643	4.167	32461
petlja Vrčin	petlja Mali Požarevac	25.641	1.618	4.147	31407
petlja Mali Požarevac	petlja Umčari	18.379	1.267	3.587	23232
petlja Umčari	petlja Vodanj	17.954	1.256	3.545	22754
petlja Vodanj	petlja Kolari	16.741	553	2.646	19939
petlja Kolari	petlja Smederevo	16.755	1.187	3.397	21339
petlja Smederevo	petlja Požarevac	17.717	1.278	3.965	22961
petlja Požarevac	petlja Velika Plana	15.034	1.106	3.648	19787
petlja Velika Plana	petlja Markovac	15.268	1.159	3.792	20219
petlja Markovac	petlja Lapovo	15.727	1.194	3.867	20789
petlja Lapovo	petlja Batočina	15.526	1.187	3.830	20542
petlja Batočina	petlja Jagodina	10.935	321	2.019	13275
petlja Jagodina	petlja Čuprija	12.770	974	3.351	17095
petlja Čuprija	petlja Paraćin	12.707	992	3.347	17046
petlja Paraćin	petlja Pojate	11.862	944	3.132	15939
petlja Pojate	petlja Ražanj	10.831	463	2.606	13899
petlja Ražanj	petlja Aleksinački rudnici	9.857	800	2.820	13477
petlja Aleksinački rudnici	petlja Aleksinac	10.114	765	2.843	13721
petlja Aleksinac	petlja Trupale	12.470	494	2.634	15597
petlja Merošina	petlja Doljevac	7.179	226	1.254	8659
petlja Preševo	granica SRB/BJRM (Preševo)	5.166	137	821	6123
petlja Beograd	petlja Bubanj Potok (Leštane)	37.869	783	3.588	42240
petlja Batrovci	petlja Adaševci	5.590	142	985	6718
petlja Adaševci	petlja Kuzmin	5.747	276	1.605	7628
petlja Kuzmin	petlja Sremska Mitrovica	7.846	445	1.952	10244
petlja Sremska Mitrovica	petlja Ruma	9.324	557	2.188	12069
petlja Ruma	petlja Pećinci	11.933	780	2.312	15024
petlja Pećinci	petlja Šimanovci	12.088	782	2.315	15185
petlja Trupale	petlja Niš sever	10.173	313	1.932	12418
	UKUPNO:	505.371	27.429	97.869	630.663

Izvor: [www.putevi-srbije.rs](http://www.putevi-srbije.rs)

Tabela 4. Ukupne uštede na dnevnom nivou (din/dan)

	Uštede vremena putovanja	Uštede goriva
<b>PA (din/dan)</b>	2.450.543,98	419.457,93
<b>BUS (din/dan)</b>	3.503.149,59	140.436,48
<b>KV (din/dan)</b>		501.089,28
<b>Ukupno</b>	<b>5.953.693,57</b>	<b>1.060.983,69</b>



Tabela 5. Ukupne uštede na godišnjem nivou (din/god)

	Uštede vremena putovanja	Uštede goriva
<b>PA (din/dan)</b>	894.448.552,34	153.102.144,45
<b>BUS (din/dan)</b>	1.278.649.601,45	51.259.315,20
<b>KV (din/dan)</b>		182.897.587,20
<b>Ukupno</b>	<b>2.173.098.153,78</b>	<b>387.259.046,85</b>

## 5. ZAKLJUČAK

Koristi sistema elektronske naplate mogu da budu direktne (vreme putovanja, troškovi goriva, itd.) i indirektna (emisija štetnih gasova, nivo buke itd.). Cilj ovog rada bio je da se na primeru slučaja putarine u Srbiji prikažu direktne uštede za korisnika u zavisnosti od sistema naplate putarine (manuelna i ENP).

U radu su direktne uštede za korisnika svedene na uštede u vremenu putovanja za putnički automobil i autobus, dok su direktne uštede u potrošnji goriva prikazane za PA, BUS i KV. Nakon prikazanih rezultata za pojedinačno vozilo, prikazani su i podaci o dnevnim, odnosno godišnjim uštedama za 2015. godinu.

Konačni rezultat rada je da su troškovi vremena putovanja u slučaju ENP za putnički automobil manji za 4,849 dinara u odnosu na manuelnu naplatu, dok su za slučaj autobusa troškovi vremena putovanja manji za 127,717 dinara. Dodatni troškovi goriva, koji nastaju zbog usporavanja, čekanja i ubrzavanja u slučaju manuelne naplate, odnosno usporavanja i ubrzavanja u slučaju ENP, su za 0,83 dinara manji za PA, 5,12 dinara za autobuse i teretna vozila, kada se posmatra ENP u odnosu na manuelnu. Ukoliko se posmatraju troškovi vremena putovanja za PA i BUS na godišnjem nivou u evrima, oni iznose 7.271.939,45 EUR za PA i 10.395.525,22 EUR za BUS. Dodatni troškovi goriva na godišnjem nivou su 1.244.732,88 EUR za PA i 416.742,40 EUR za BUS i 1.486.972,25.

Prilikom tumačenja rezultata treba uzeti u obzir usvojene vrednosti određenih parametara, kao i da to da je analiza rađena za slučaj da 100% vozila koristi ili manuelnu ili elektronsku naplatu putarine. Kako bi direktne koristi ENP mogle da budu jedan od parametara koji se vrednuju prilikom odabira sistema naplate putarine, potrebno je uraditi detaljne analize u smislu proračuna direktnih i indirektnih koristi na godišnjem nivou, a zatim dobijene vrednosti uporediti sa troškovima investicija i održavanja sistema. Prilikom ove analize potrebno je uzeti u obzir troškove i koristi svih subjekata koji učestvuju u investiranju, održavanju i korišćenju sistema.

## 6. Literatura

- [1] Kramberger, T; Curin, A. 2011. *Does electronic toll collection technology matter to economic and financial viability of roads*, The Singapore Economic Review, Vol. 56, No. 4, 561–572
- [2] Saffarzadeh, M, Rezaee-Arjroody, A. 2006. Cost-benefit analysis of electronic toll collection (ETC) system in Iranian freeways (case study: Tehran-Qom freeway), PIARC International Seminar on Intelligent Transport System (ITS) In Road Network Operations, Kuala Lumpur, Malaysia
- [3] Zarrillo, M. L, Radwan, A. E, Al-Deek, H. M. 1997. Modeling traffic operations at electronic toll collection and traffic management systems, Computers & Industrial Engineering. Volume 33, Issues 3-4, 857-860
- [4] Chaudhary, R. H. 2003. *A model for the benefits of electronic toll collection system*, Graduate Theses and Dissertations, Department of Industrial & Management Systems Engineering, College of Engineering, University of South Florida
- [5] U. S. Department of transportation 1997. Departmental Guidance for the Valuation of Travel Time in Economic Analysis
- [6] Crabtree, J. D, Wallace, C. Y, Maamrill, N. J. 2008. Technology Scan for Electronic Toll Collection, Kentucky Transportation Center, College of Engineering
- [7] Gillen, D. et al. 1999. *Assessing the Benefits and Costs of ITS; Projects: Volume 2 An Application to Electronic Toll Collection*, California PATH Program, University of California
- [8] Electronic Toll collection, dostupno na <http://www.q-free.com> (19.3.2016.)
- [9] Kuzović, Lj. 1994. *Vrednovanje u upravljanju razvojem i eksploatacijom putne mreže*, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu
- [10] Elektronska naplata putarine, dostupno na <http://www.putevi-srbije.rs/> (22.3.2016.)

# NEKONVENCIJALNA SAOBRAĆAJNA REŠENJA PUTNIH RASKRSNICA

Branimir Stanić<sup>1</sup>, Ana Trpković<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, 11000 Beograd, b.stanic@sf.bg.ac.rs

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, 11000 Beograd, a.trpkovic@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** Putne raskrsnice predstavljaju jednu od najvažnijih tema kojima se bave saobraćajni inženjeri u oblasti putogradnje. Načelno, putne raskrsnice se mogu podeliti u dve grupe. Prvu grupu čine tradicionalna i uglavnom standardizovana saobraćajna rešenja, koje označavamo kao konvencionalna. U drugu grupu spadaju rešenja koja su inovativna, posebna i koja se razlikuju od uobičajenih primera u praksi. Ova rešenja nazivamo nekonvencionalnim i ona predstavljaju osnovni predmet razmatranja u ovom radu. Nekonvencionalna saobraćajna rešenja putnih raskrsnica su u radu detaljnije opisana, uz prikaz njihovih najvažnijih karakteristika i diskusiju parametara njihove efikasnosti dobijenih terenskim istraživanjima. Projektovanje ovih raskrsnica je posebno karakteristično za američku školu projektovanja u putogradnji, gde se najčešće koriste prilikom rekonstrukcije postojeće, već izgrađene putne infrastrukture, a sa osnovnim ciljem povećanja kapaciteta i bezbednosti u korišćenju. Na kraju rada prikazane su procene koje se odnose na mogućnost primene ovakvih rešenja u našim uslovima.

**Ključne reči:** putne raskrsnice, nekonvencionalna rešenja;

## 1. UVOD

U saobraćajnom i građevinskom inženjerstvu, projektovanje raskrsnica je jedna od najvažnijih tema. Posebna pažnja, u procesu projektovanja, usmerava se ka saobraćajnom rešenju koje je osnovna podloga za pripremu građevinskog rešenja i kasniju gradnju, ili drugu intervenciju na mreži.

Raskrsnice se mogu definisati kao posebno projektovani i izgrađeni saobraćajni objekti. Svaka raskrsnica je na neki način posebna građevina i predstavlja "planirano mesto sukoba" saobraćajnih tokova na putnoj ili uličnoj mreži. Raskrsnica je mesto na mreži na kome se javlja diskontinuitet u kretanju tokova. Na mreži se takva mesta označavaju kao čvorovi. Svaki diskontinuitet ili prekid u kretanju tokova na mreži je čvor, iz čega sledi da je svaka raskrsnica čvor, ali svaki čvor nije raskrsnica. Raskrsnicu uvek formiraju najmanje dve saobraćajnice, putevi ili ulice, koje se u nekom prostoru spajaju, ukrštaju, sustiču ili dodiruju. Važno je uočiti da raskrsnice nisu "posebno uređene površine" ili "tačke" na kojima se saobraćaj "odvija", kako se u literaturi često pogrešno interpretiraju. Raskrsnice, kao i čvorovi, spadaju među najvažnije elemente putne i ulične saobraćajne mreže, i kao takve imaju značajan uticaj na njene performanse, saobraćajnu efikasnost i bezbednost.

Raskrsnice se dele na različite načine, ali se najviše ističu dve podele: prva ih grupiše «lokacijski» dakle određuje njihovu pripadnost putnoj (vangradskoj) ili uličnoj (naseljskoj) mreži a druga ih razvrstava po broju nivoa na one (razvijene) u jednom nivou (jednoj «površini») i na one razvijene na više nivoa (denivelisane). Prvu grupu raskrsnica, dakle raskrsnice razvijene u jednom nivou, ponekad se (pogrešno) nazivaju površinskim a druge «petljama». Sve raskrsnice, bez obzira da li su razvijene u jednom ili više nivoa su u suštini površinske (ako se posmatraju u odnosu na zemljinu koru) dok termin «petlja», nije prigodan jer indirektno asocira na složenost i na razliku ovakve raskrsnice od onih «prostih», površinskih. Osim navedenog važnog je istaći da saobraćajno rešenje raskrsnice i njeni prostorno – programski elementi zavise i od saobraćajnih zahteva (protoka) i ranga saobraćajnica koje je formiraju (dakle ranga puteva ili ulica), od primenjenog načina upravljanja saobraćajem, raspoloživog prostora, zahtevanog nivoa usluge itd.

Raskrsnice, kao i putevi su najstarije spontano nastali ili «namerno» građeni saobraćajni objekti. Ta činjenica je jednostavna i logična jer su se i prvobitne staze i putevi u nekom krajoliku morali u nekom trenutku ukrstiti ili spojiti. Ako su raskrsnice mesta na kojima možete promeniti smer i pravac svog kretanja, to uvek podrazumeva da su to mesta na kojima se svaki vozač orijentiše i usporava kretanje. U istoriji su raskrsnice i važna mesta oko kojih se razvijaju naselja, ali i mesta na kojima se markiraju putograditelji ili se razapinju i kažnjavaju lopovi, razbojnici, ili se ona koriste kao uporišne tačke za neki vojni pohod itd. ...

Iz navedenog se jasno može zaključiti da su raskrsnice složeni, više funkcionalni objekti, vrlo uticajni na kvalitet i sigurnost svake saobraćajne mreže.

<sup>1</sup> Branimir Stanić: b.stanic@sf.bg.ac.rs

«Pripadnost» neke raskrsnice vangradskoj ili uličnoj mreži umnogome utiče na saobraćajno rešenje i potencijale raskrsnice. Putne (vangradске) raskrsnice se projektuju na drugačiji način u odnosu na ulične a, same razlike potiču pre svega od načina upravljanja saobraćajem i različitih brzina vozila na putevima i ograničenog pristupa pešaka, dece, biciklista i drugih koji su kao korisnici raskrsnica tipični za naselja i gradove.

U saobraćajnom inženjerstvu, postoje dva opšta koncepta kojima se koristimo tokom projektovanja raskrsnica: A. ujednačena, uniformna, tipska saobraćajna rešenja, standardizovani projektantski elementi, koji vozačima omogućavaju prepoznavanje i korišćenje sugerisanjem “očekivane saobraćajne situacije” – važan je princip kontinuiteta – jednom primenjeno rešenje se uvek ponavlja na isti način; ovakav način je upravo je karakterističan za projektovanje putnih raskrsnica i B. različita, posebna saobraćajna rešenja dobijena “slobodnijim” kombinovanjem standardizovanih projektantskih elemenata i unapređena, inovativna ili hibridna rešenja koja su različita u odnosu na uniformna a uz poštovanje zahteva sigurnosti i bezbednosti u saobraćaju. Prvu grupu smatramo konvencionalnim rešenjima a drugu označavamo kao nekonvencionalna rešenja.

## 2. KONVENCIJALNO *visa* NEKONVENCIJALNO

Razmatranje konvencionalno i nekonvencionalno saobraćajno rešenje putne raskrsnice, treba usmeriti pre svega ka činjenici da će broj svrsishodnih konvencionalnih rešenja putnih raskrsnica, još dugo vremena dominirati na putevima. Nekonvencionalna saobraćajna rešenja u tom kontestu posmatrano su očigledno usmerena ka putevima višeg i visokog ranga a to se opravdava pre svega zahtevima nivoa usluge i kapaciteta koja se podrazumevaju na takvim saobraćajnicama.

### 2.1. Dvotračni putevi i višetračni putevi

Dvotračni putevi su najbrojniji u svakoj putnoj mreži. I pored brojnih varijacija u dizajnu, “standardni” dvotračni put je jedan od najstarijih oblika puteva i karakterističan je upravo po konvencionalnim rešenjima, posebno raskrsnica. Na slici 1. je prikazana jedna T – raskrsnica, pravilne geometrije, kanalisana ostrvima od horizontalne signalizacije, sa odgovarajućim radijusima horizontalnih krivina (2+1 traka – put, Švedska).



**Slika 1.** Konvencionalna T raskrsnica

Nekonvencionalno rešenje T- raskrsnice odnosno njeno nekonvencionalno saobraćajno rešenje podrazumeva visoke protoke, viši rang ukrštajućih puteva i naravno prostor za razvijanje rešenja. Na slici 2 prikazano je jedno takovo rešenje koje se koristi u USA pod oznakom DLT raskrsnica (Displaced Left Turn) – prevedeno “raskrsnica sa izmeštenim levim skretanjima”. Raskrsnica poseduje pravilnu geometriju i kanalisana je tzv. fizičkim ostrvima, a sigurno funkcionisanje je obezbeđeno primenom svetlosnih signala. Ovo je najjednostavniji oblik tzv. CFI (Continual Flow Intersection) odnosno “raskrsnice sa kontinualnim tokovima”.



**Slika 2.** *Nekonvencionalna DLT raskrsnica*

Istovetni koncept saobraćajnog rešenja je sprovodiv, naravno, i na četvorokrakim raskrsnicama, lociranim na prolazima puteva kroz naselja odnosno u suburbanim zonama naselja i gradova.



**Slika 3.** *Nekonvencionalna DLT raskrsnica*

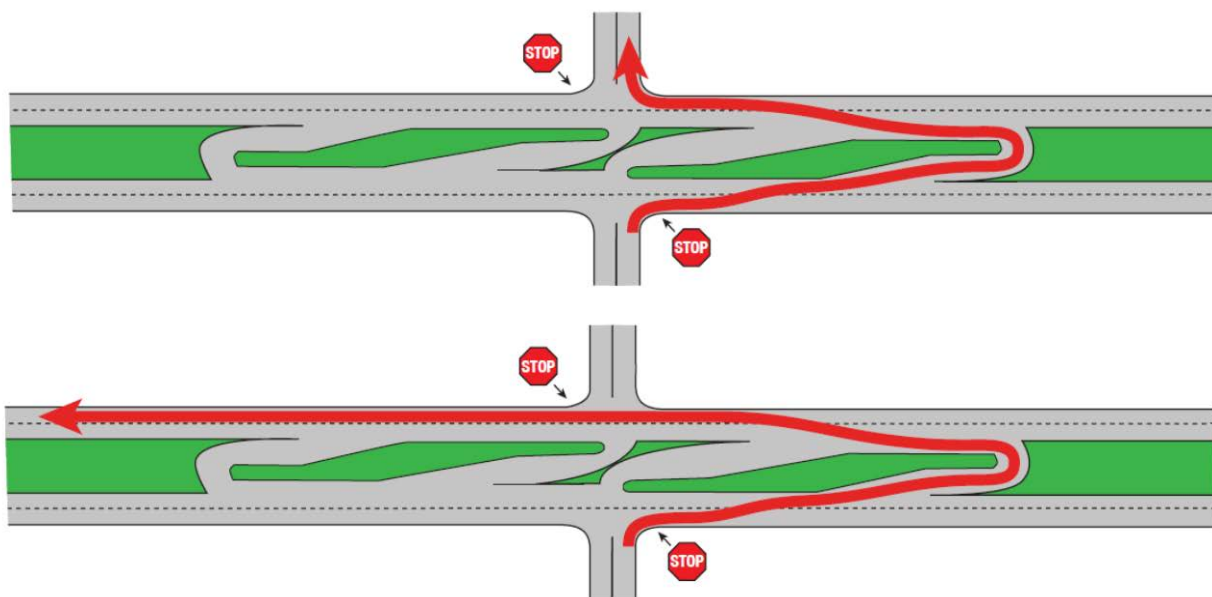
U Tabeli 1. prikazani su osnovni efekti objavljeni u Sjedinjenim Američkim Državama.

**Tabela 1.** *Efekti primene alternativnih rešenja raskrsnica u SAD [4]*

Posmatrani parametri:	Procenat redukcije u odnosu na konvencionalno rešenje:	
	4 izmeštena leva skretanja (%)	2 izmeštena leva skretanja (%)
vremenski gubici glavnog toka sa uravnoteženim protocima na kracima	10 - 90	36 - 39
vremenski gubici glavnog toka sa neuravnoteženim protocima na kracima	69 - 82	30
broj zaustavljenih vozila u zasićenju	15 - 30	15 - 30
dužina reda vozila	34 - 88	34 - 88

Ako je primena ovih rešenja bila uzrokovana pre svega sa ciljem poboljšanja "performansi" raskrsnica, moguće je primenom nekonvencionalnih rešenja obezbediti i sprovođenje kontrole pristupa (sa različitih priključaka i ruralnih puteva) na put višeg ranga i bolje funkcionisanje priključaka na prolaze puteva kroz

naselja ili obilazne puteve (Slika 4). Ujedno, ovakav koncept omogućava i poboljšanje lokalnog javnog prevoza na mestu okretnice (proširenjem prostora za okretanje na suprotnoj strani kolovoza).



**Slika 4.** Nekonvencionalna "U turn" raskrsnica

Prikazano rešenje je varijanta, već poznate, "U - turn" raskrsnice odnosno "raskrsnice sa indirektnim skretanjima" (u američkoj literaturi ova se raskrsnica označava i kao "J - turn", a saobraćajnice u suburbanim područjima na kojima se one koriste su označene su kao "super ulice").

Ovakvo rešenje očigledno uspostavlja prioritet levih skretanja na "glavnom" putu, a ostale konflikte tačke "pomera" ili razmešta u širem prostoru raskrsnice (Slika 5). U odnosu na "klasično", konvencijalno saobraćajno rešenje četvorokrake kanalisane raskrsnice, "U - turn" raskrsnica je zbog "pomeranja" konfliktnih tačaka dekomponovana na jedan "glavni" čvor i dva sekundarna (okretnice). Postoji i varijanta ovakvog rešenja sa centralno lociranim kružnim raskrsnicama na mestima okretnice.



**Slika 5.** Nekonvencionalna "U turn" raskrsnica [2]

Iz prikazanog se može zaključiti da nekonvencionalno rešenje raskrsnice u nivou može biti i bez "contra flow" (kontra tok) organizacije, kao što je bilo prikazano na primerima sa slika 2. i 3.

Takođe je važno istaći, da se trotračni put sa profilom 2+1 saobraćajna traka, kao varijantno rešenje povećanja kapaciteta dvotračnog puta, može smatrati nekonvencionalnim rešenjem puta, ali su raskrsnice na njemu konvencionalno dizajnirane.

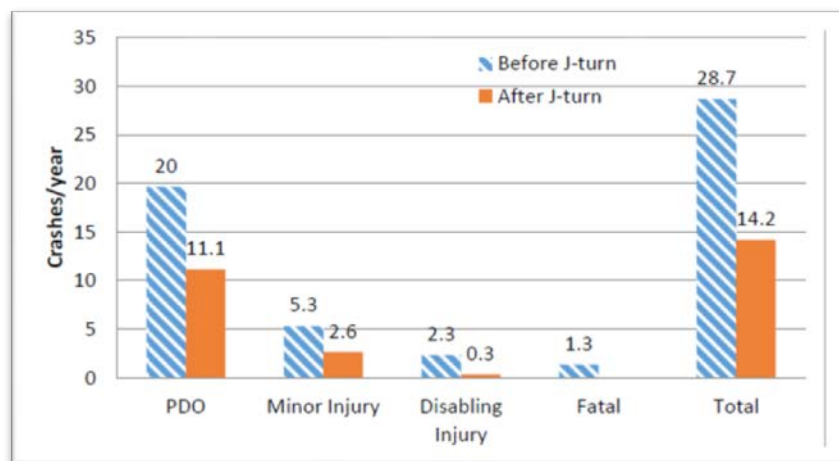
Saobraćajno rešenje raskrsnice sa izmeštenim levim skretanjima može biti postavljeno i samo na jednom kraku raskrsnice kako je to prikazano na sledećem primeru (Slika 6).



**Slika 6.** Nekonvencionalna DLT raskrsnica

Iz izgleda raskrsnice se može uočiti da postoje razlike u rangovima saobraćajnica, tj. da je krak na kom je primenjena "contra flow" organizacija kretanja višeg ranga, a da je krak nižeg ranga klasično, konvencionalno rešen. Ovo sugeriše da je "raskrsnicu sa izmeštenim levim skretanjima" moguće primeniti i u kombinaciji sa delimično konvencionalnim rešenjem, što je važna prednost osnovne ideje "contra flow" organizacije. Takođe se može uočiti, da je kontrola pristupa organizovana priključcima koji su pomereni u odnosu na centar raskrsnice, a da tokovi u desnim skretanjima imaju vrlo pogodne uslove i konforme radijuse za skretanje. Inače, primena ideje "contra flow" organizacije na raskrsnicama, potiče još iz 1970. godine kada je ovakvo rešenje primenjeno u Francuskoj, na denivelaciji autoputa A13 u blizini Versaja. U Francuskoj danas funkcionišu tri raskrsnice sa ovim konceptom.

Prema američkim iskustvima, “contra flow” organizacija raskrsnice se smatra “jeftinim” rešenjem u slučaju pojave zagušenja. Može se postaviti pitanje da li “contra flow” organizacija raskrsnice ili neka od varijanti “U – turn” rešenja ima i svoje nedostatke. Ono što je direktno vidljivo iz izgleda raskrsnica je da takva rešenja podrazumevaju veliki i zaštićeni prostor puteva koji formiraju raskrsnicu. Takođe je vidljivo da “podređeni” tokovi imaju duže putanje kretanja u samoj raskrsnici i da se funkcionalnost raskrsnice mora podržati svetlosnim signalima (što ovakva rešenja “usmerava” na prolaze puteva kroz naselja, suburbane zone i obilazne puteve). Osim toga, važna činjenica koja omogućava dobre performanse ovih rešenja je disciplina vozača (mali broj pogrešnih manevara) i njihovo relativno jednostavno privikavanje na “contra flow” organizaciju. Ovakva rešenja, sa druge strane, ističu ulogu prioriteta na raskrsnicama i njegovo rigorozno poštovanje. Prema podacima objavljenim u referenci [2] nekonvencionalno rešenje raskrsnice u konceptu “J – turn”, istraživano na pet lokacija u državi Misuri 2014. godine, pokazalo da je posle primene nove organizacije raskrsnice, ukupan broj nezgoda na nivou jedne godine opao za 51 % i da nisu registrovane saobraćajne nezgode sa poginulim licima.



**Slika 8.** Broj saobraćajnih nezgoda pre i posle primene "U turn" rešenja [2]

I bez ulaženja u mnoge detalje ovog istraživanja i uz uvažavanje svih specifičnosti vozača i rešenja koja su posmatrana, dobijeni efekti se ne mogu zanemariti.

## 2.1. Gradski autoputevi

Ako prihvatimo činjenicu da se gradski autoputevi razlikuju od vangradskih, pre svega po primenjenom saobraćajnom rešenju, obliku i izgledu denivelisanih raskrsnica itd. možemo bolje razumeti razloge za primenu nekonvencionalnih rešenja za raskrsnice na njima [5].

Pre svega, gradski autoputevi su saobraćajnice najvišeg ranga u uličnoj, dakle urbanoj mreži i podrazumevaju najviša saobraćajna opterećenja i neretko pojavu zastoja i zagušenja. U Sjedinjenim Američkim Državama se gradski autoputevi grade intenzivno posle II svetskog rata, a od pedesetih godina prošlog veka se ozbiljno proučavaju svi fenomeni saobraćajnog toka karakteristični za ovakve puteve uz traženje novih rešenja za poboljšanje performansi denivelisanih raskrsnica. Kao što je pomenuto, nekonvencionalno rešenje denivelacija na gradskim autoputevima, zasnovano je takođe na konceptu “contra flow”. Ovakva “organizacija” raskrsnice je ciljano trebala da poboljša performanse denivelacije u oblasti kapaciteta i vremenskih gubitaka, smanji broj konflikata, olakša leva skretanja i razumljivo povisi stepen sigurnosti vozača.





**Slika 9.** *Nekonvencionalna DDI raskrsnica*

U SAD ovakvo rešenje je označeno kao **Diverging Diamond Interchange** odnosno **DDI** koncept [5], a koncept je osim nekonvencionalnosti, dobio prefiks "alternativni" ili "hibridni". Suština rešenja je da se koncept "contra flow" koristi na glavnoj raskrsnici (iznad ili ispod kolovoza autoputa) umesto na krakovima raskrsnica (kada su one u jednom nivou). Prva DDI raskrsnica (prva raskrsnica sa "contra flow" je primenjena 1970. u Francuskoj) u USA, je "otvorena" u Springfieldu (država Merilend) 2009. Rešenje je uglavnom primenjivano na dvonivoskim raskrsnicama tipa "dijamantska denivelacija" (Double Crossover Diamond – DCD raskrsnica). Inače, "dijamantska denivelacija" je karakteristična upravo za gradske autoputeve i njihovu specifičnu konfiguraciju sa paralelnim saobraćajnicama u prostoru autoputa (Slika 9).



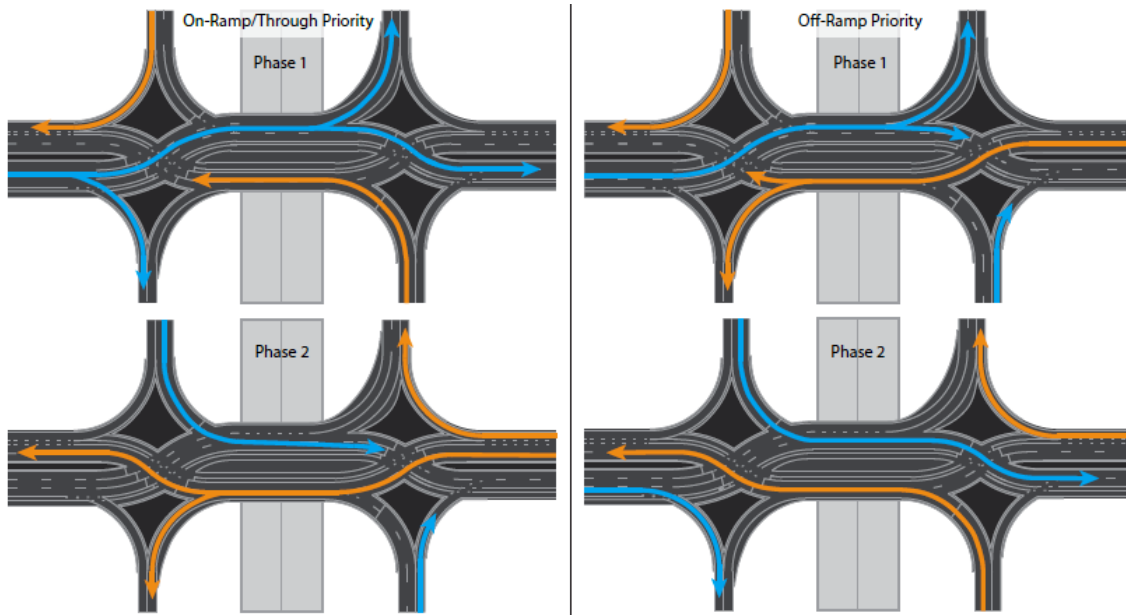
**Slika 10.** *Nekonvencionalna DDI raskrsnica*

Rešenja sa DDI konceptom (Slika 10) su primenjivana i na već izgrađenim denivelacijama, ali su i građene brojne nove denivelisane raskrsnice. Ova činjenica ističe veliku adaptibilnost rešenja u konceptu “contra flow”, koje u određenim slučajevima ne zahteva veliki raspoloživi prostor, kao ni komplikovane intervencije na raskrsnicama.



**Slika 11.** *Nekonvencionalna DDI raskrsnica*

Na slici 10. prikazana je denivelacija sa “contra flow” organizacijom na jednom vijaduktu, izgrađena u Džordžiji a na Slici 11. je prikazana denivelacija sa odvojenim kolovozima na vijaduktima, država Juta. [3]

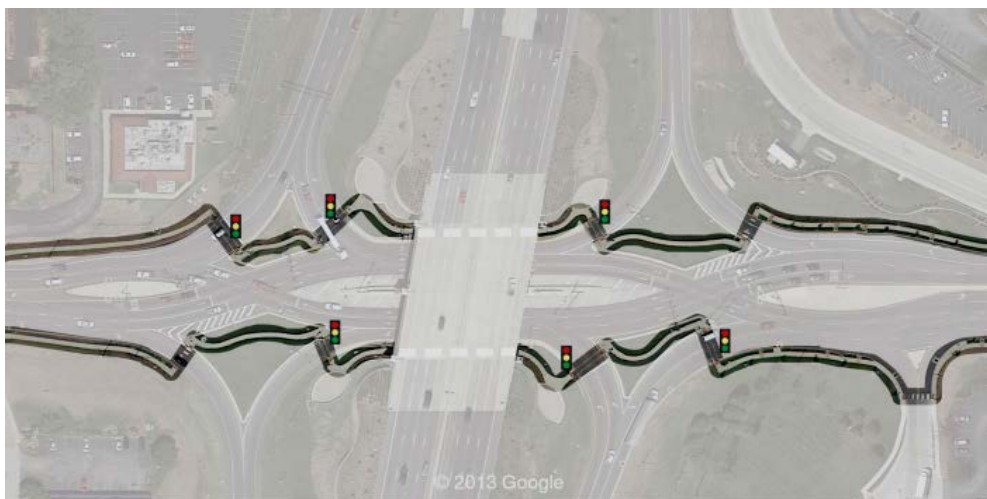


**Slika 12.** Upravljački koncept DDI raskrsnice

Slika 12. prikazuje “upravljački koncept” DDI raskrsnice koji je podržan svetlosnim signalima. Podrška svetlosnim signalima je neophodna upravo zbog nekonvencionalnosti rešenja odnosno primene “contra flow” tehnike.

Upravljanje saobraćajem raspodelom zelenih vremena omogućava i davanje različitih prioriteta pojedinim tokovima (za različite saobraćajne zahteve tokom dana), ali i kontrolu veličine protoka na ulivnim rampama, kojima se može održavati kvalitet usluge na gradskom autoputu. Ovo je vrlo značajna pogodnost primene DDI koncepta na denivelacijama.

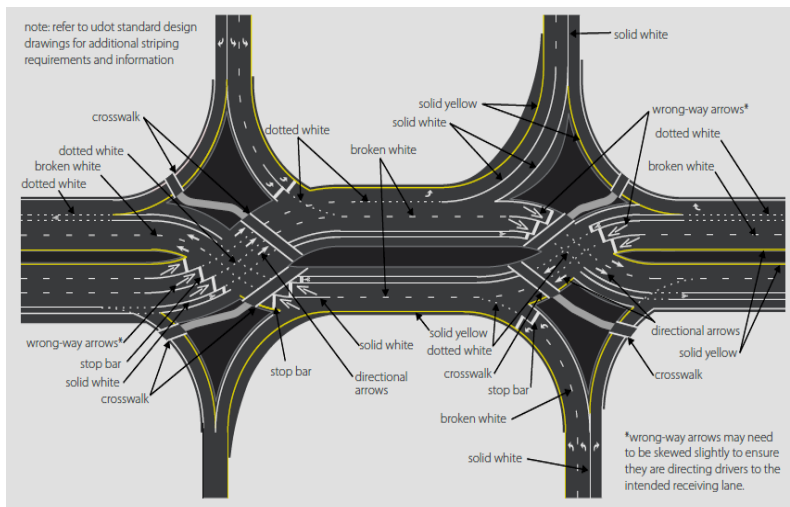
Posebna pažnja pri dizajniranju i primeni DDI raskrsnica, obzirom da se radi o gradskim autoputevima, posvećena je sigurnom vođenju pešaka i biciklista. Primenjena rešenja i zahtevi koje postavljaju pešaci i biciklisti, karakteristični su za urbana područja kao i upotrebu svetlosnih signala.



**Slika 13.** Vođenje pešaka na DDI raskrsnici [3]

Na slici 13. prikazani su koridori za vođenje pešaka na DDI raskrsnici u Minesoti [3]. Funkcionisanje raskrsnica je obezbeđeno i podrškom posebno projektovane vertikalne signalizacije, vrlo pažljivim i detaljnim dizajnom fizičkih ostrva, položajem svetlosnih signala i druge saobraćajne opreme.

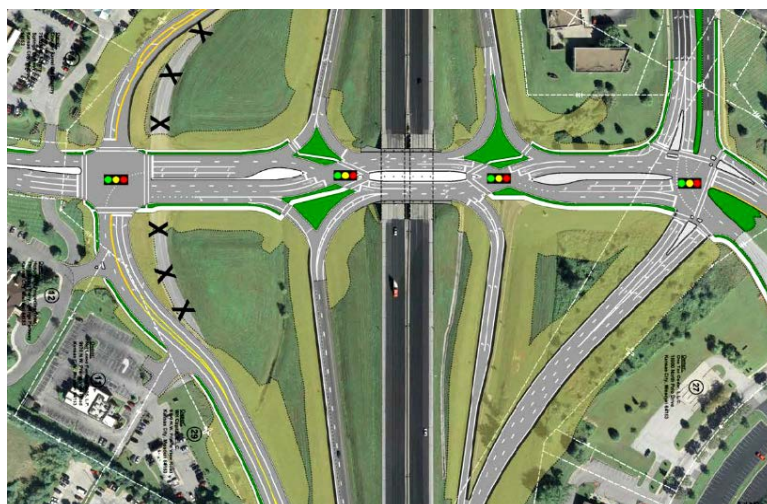
Osnovni geometrijski elementi za oblikovanje raskrsnice su: ukrštanje tokova je pod uglom 40 do 50 stepeni (preporuka je 40 stepeni), brzine su od 40 do 50 km/sat a radijusi krivina su od 60 do 100 m. Detaljniji izgled saobraćajnog rešenja jedne DDI raskrsnice prikazan je na Slici 14.



Slika 14. Osnovni elementi DDI koncepta [4]

Sa slike (Slika 14) se može uočiti da su saobraćajnim rešenjem predviđene i trake za bicikliste, koji su takođe u konceptu "contra flow". Rampe na denivelaciji su trotračne. Na mestima gde je prilaz raskrsnici namenjen promeni smeru, projektovane su i primenjene posebno dizajnirane strelice u horizontalnoj signalizaciji. Strelice za usmeravanje su postavljene i na početku izlaza raskrsnice (pre početka pešačkog prelaza). Ovakva rešenja se znatno drugačija od konvencionalne horizontalne signalizacije.

- [1] Vrlo značajan doprinos primene "contra flow" koncepta na denivelisanim raskrscinama gradskog autoputa je činjenica da je takvo rešenje moguće uklopiti u upravljanje svetlosnim signalima na (gravitirajućim) delovima ulične mreže, odnosno da je moguće integrisati rad svetlosnih signala na denivelacijama sa uličnom mrežom, što znači da je moguće sa "jednog" mesta upravljati i kontrolisati saobraćaj na gradskom autoputu. Takav koncept kod konvencionalnih denivelacija nije moguće primeniti posebno u slučaju kada su denivelacije na gradskom autoputu projektovane kao i na vangradskim deonicama, dakle neupravljive svetlosnim signalima (Slika 15). [4]



Slika 15. Upravljački koncept DDI raskrsnica

Prema raspoloživim podacima, u Sjedinjenim Američkim Državama DDI denivelacija danas ima oko 100 izgrađenih, u procesu rekonstrukcije i izgradnje oko 20 raskrsnica.

### 3. ZAKLJUČAK

I jednostavne analize pokazuju da DDI koncept raskrsnica u eksploataciji pokazuje dobre rezultate i da je prilagodljiv za različite slučajeve denivelacija, ali je najveći broj primenjen na "dijamantskim denivelacijama". Klasična denivelacija tipa "dijamantska raskrsnica" ima ukupno 26 konfliktnih tačaka (po smerovima kretanja), dok varijantno rešenje sa jednom centralnom raskrsnicom na denivelaciji tipa "dijamantska raskrsnica" ima 24 konfliktna tačka a DDI koncept odnosno koncept "contra flow" ima samo 18. Ta činjenica sama po sebi već upućuje na bolje funkcionisanje raskrsnice, onemogućavanje pogrešnih manevara odnosno smanjenje vremena putovanja, broja zaustavljanja, vremenskih gubitaka i naravno veći kapacitet rampi i viši nivo usluge raskrsnice. Rad svetlosnih signala je takođe dosta pojednostavljen, lako primenljiv a postoji mogućnost mrežnog upravljanja, što deonicu gradskog autoputa integriše u sistem upravljanja saobraćajem na uličnoj mreži. U konceptu DDI raskrsnica nisu posebno ugroženi pešaci i biciklisti, geometrija raskrsnice i njena preglednost je dobra, tako da su ukupne performanse dosta povoljne.

Ovakva su rešenja, za sada, osim Francuske, primenjena i u Kanadi, a planira se njihova izgradnja i u Engleskoj i Danskoj.

Odgovor na pitanje da li je moguća primena ovakvih rešenja u Srbiji je dosta jednostavan: moguće je ali se moraju obezbediti neki preduslovi – rigorozna zaštita prostora puta, striktna kontrola pristupa na puteve višeg ranga i gradnja višetravnih puteva odnosno gradskih autoputeva sa denivelacijama na kojima je moguće primeniti organizaciju "kontra toka".

#### Literatura

- [1] Application of European 2+1 Roadway Designs. This digest summarizes the results of NCHRP Project 20-7/Task 139 2003.
- [2] Edara, P. Sun,C; Breslow,S. (2014). Evaluation of J-turn Intersection Design Performance in Missouri - Final Report, Final Report Prepared for Missouri Department of Transportation.
- [3] Schroeder, B.; Cunningham, C.; Ray, B; Daleiden,A; Jenior,P; Knudsen, J. (2014). *Diverging Diamond Interchange Informational Guide*. Kittelson & Associates.Inc. Report No. FHWA-SA-14-067.
- [4] Wahlstedt, M. (2014). Diverging Diamond Intershanges in Kansas City. Alternative Intersection and Intershanges Symposium. TRB . Salt Lake City, USA.
- [5] Chlewicki, G. (2003). New interchange and intersection designs: the synchronized split-phasing intersection and the diverging diamond interchange. Proceedings of the 2nd Urban Street Symposium. Anaheim, California, USA.

# ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКО ВРЕДНОВАЊЕ ПРИ ИЗБОРУ ТРАСЕ ЗА РЕКОНСТРУКЦИЈУ ПРУГЕ ПАНЧЕВО ГЛАВНА – ВРШАЦ – ДРЖАВНА ГРАНИЦА

## MULTI-CRITERIA EVALUATION AND IT'S APPLICATION FOR THE RECONSTRUCTION OF RAILWAY LINE PANČEVO – VRŠAC – STATE BORDER

Милош Ивић<sup>1</sup>, Универзитету Београду Саобраћајни факултет, m.ivic@sf.bg.ac.rs

Милана Косијер, Универзитету Београду Саобраћајни факултет, m.kosijer@sf.bg.ac.rs

Иван Белошевић, Универзитету Београду Саобраћајни факултет, i.belosevic@sf.bg.ac.rs

Небојша Међедовић, Универзитету Београду Саобраћајни факултет, n.medjedovic@live.com

**Резиме:** Савремени трендови, глобализација и интернационални процеси, за последицу имају појаву либерализације и дерегулације тржишта, као и стварање хармонизоване и компатибилне европске привреде. Наравно, такво изражено привредно јединство захтева ефикасан проток капитала, људи, добара, информација и енергије. Познато је да нема ефикасног транспортног система без трансевропске мреже саобраћајница свих видова саобраћаја чији су основни атрибути дефинисани и зацртани у свим документима саобраћајне политике Европске уније и свих земаља чланица, а за то је неопходна подједнако добра инфраструктура. Повољан транспортни и транзитни положај Србије даје велике шансе и могућности да се наша транспортна привреда активније укључи у европске токове путника и робе. За то су неопходна значајнија улагања у развој саобраћајне инфраструктуре. Сходно томе у плану су модернизација и реконструкција главних железничких праваца, а један од њих је пруга Панчево Главна – Вршац – државна граница. У циљу проналажења најповољнијег решења за реконструкцију ове пруге, у складу са усвојеним критеријумима, примењена је вишекритеријумска оптимизација и метода Fuzzy VIKOR.

**Кључне речи:** реконструкција пруге, вишекритеријумско вредновање, Fuzzy VIKOR метода

**Abstract:** Contemporary trends, globalization and international processes, resulted in the occurrence of market liberalization and deregulation, as well as the creation of a harmonized and compatible European economy. Of course, such an expressed economic unity requires an efficient flow of capital, people, goods, information and energy. It is known that transport system can't be effective without establishing Trans-European infrastructure network of all modes whose main attributes are defined and outlined in documents related to transport policy within the European Union and all member states. Favorable transport and transit position of Serbia makes opportunities for revival of our transport industry which should play a more active role in the European flows of passengers and goods. For this transport activation it is necessary to attract substantial investment in the development of transport infrastructure. In accordance with this strategy, the plan is to modernize and reconstruct main railway lines, and one of them is the line Pančevo – Vršac (state border). In order to find the best variant solution for the reconstruction of the railway line in accordance with the adopted criteria it is suggested multi-criteria evaluation applying Fuzzy VIKOR method.

**Keywords:** Railway route reconstruction, Multi-criteria evaluation, Fuzzy VIKOR

### 1. УВОД

Савремени трендови, нарочито изражени на европском тлу, као што су глобализација и интернационални процеси, за последицу имају појаву либерализације и дерегулације тржишта, као и стварање хармонизоване и компатибилне европске привреде. Наравно, такво изражено привредно јединство захтева ефикасан проток капитала, људи, добара, информација и енергије. Према томе, може да се закључи да железнички саобраћајни систем представља веома важан фактор развоја привреде. Познато је да нема ефикасног транспортног система без трансевропске мреже саобраћајница свих видова саобраћаја чији су основни атрибути дефинисани и зацртани у свим документима саобраћајне политике Европске уније и свих земаља чланица. Тежи се да цео систем функционише ефикасно, а за то је неопходна подједнако добра инфраструктура. Повољан транспортни и транзитни положај Србије даје велике шансе и могућности да се наша транспортна привреда активније укључи у европске токове путника и робе. На жалост због разних дешавања у прошлости на овим просторима, Србија је у односу на западне земље почела да заостаје у развоју привреде, индустрије, па и инфраструктуре због минималних улагања.

<sup>1</sup> Милош Ивић<sup>1</sup>, m.ivic@sf.bg.ac.rs

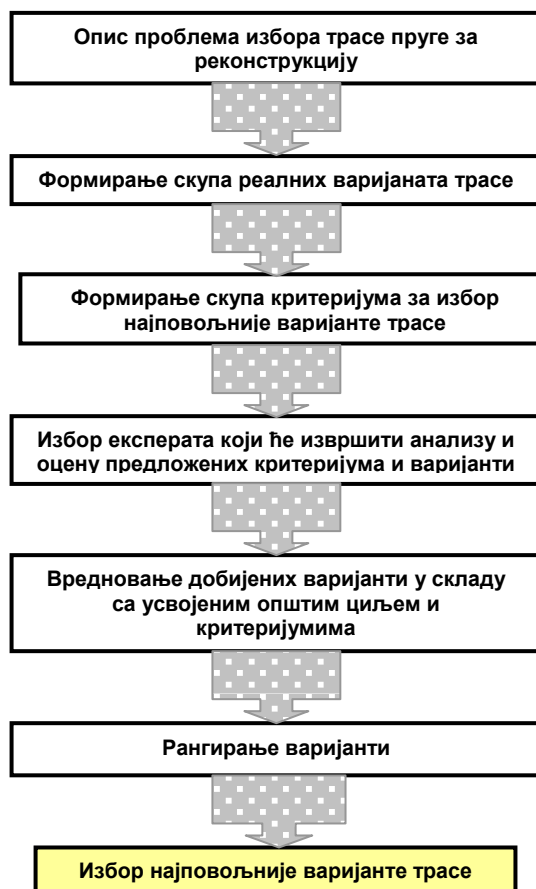
У последње време у плану су модернизација и реконструкција већине железничких праваца или њихових делова. Реализације неких пројеката је већ у току. Између осталог, у плану за реконструкцију је и пруга Панчево Главна – Вршац – државна граница (Стамора Моравита), што је и предмет овог рада. Ова пруга је главни железнички правац у Јужнобанатском округу, али и део коридора XI (Бари –Бар–Београд–Темишвар – Букурешт). Пруга је магистрална, једноколосечна и неелектрифицирана. Њена дужина износи 81,119 km, а постојеће стање инфраструктуре ове пруге задовољава само тренутне потребе одвијања железничког саобраћаја. Међутим, како је реално очекивати повећавање обима саобраћаја у будућности, појављују се и нови захтеви у погледу увођења већих брзина. Тако се ова пруга нашла у плану за реконструкцију.

У оквиру овог рада биће извршено поређење три предложена варијантна решења реконструкције која подразумевају довођење елемената пруге за пројектовану брзину ( $V_1$ ), за брзину до 120 km/h ( $V_2$ ) или за брзину до 160 km/h ( $V_3$ ). Вредновање и рангирање дефинисаних варијантних решења остварено је применом Fuzzy VIKOR методе у циљу проналажења и предлога решења, које ће у односу на постављене критеријуме, бити најповољније за реконструкцију. Имајући у виду карактеристике примењене методе биће неопходно, пре свега, дефинисати јасну методологију чија примена ће довести до предлога коначног решења.

## 2. МЕТОДОЛОГИЈА ИЗБОРА ТРАСЕ ЗА РЕКОНСТРУКЦИЈУ ЖЕЛЕЗНИЧКЕ ПРУГЕ

Методологија избора трасе за реконструкцију железничке пруге је веома сложен итеративни процес и захтева велики број итерација, различитих фаза и нивоа [3], као што су (слика 1):

- дефинисање и опис проблема за решавање,
- формирање скупа реалних варијаната трасе за реконструкцију,
- формирање скупа критеријума на основу којих ће се вршити избор најповољније варијанте,
- избор експерата који ће извршити анализу и оцену предложених критеријума и варијанти,
- вредновање добијених варијанти у складу са усвојеним општим циљем и критеријумима,
- рангирање варијанти,
- одлучивање и избор најповољније варијанте трасе за реконструкцију.



Слика 1. Алгоритам примењене методологије избора трасе за реконструкцију

## 2.1. Избор критеријума за вредновање варијаната трасе за реконструкцију

Листа релевантних критеријума за вредновање варијаната трасе за реконструкцију се добија на основу општег циља који треба да оствари свака железничка пруга након изградње и у експлоатацији [4]. Из тог разлога општи циљ обухвата: економски, техничко-технолошки, саобраћајно-експлоатациони и просторно-еколошки аспект изградње и коришћења железничке пруге. Предложена листа критеријума за вредновање  $K_j$  ( $j=1, \dots, 7$ ), са одговарајућим карактеристикама (min или max) и димензијама је приказана у табели 1. Она чини скуп од: квантитативно-економских, квантитативно-техничких и квалитативних критеријума.

Табела 1. Листа критеријума за вредновање

Критеријуми	Карактеристике	Димензије
$K_1$ - Инвестициона улагања за реконструкцију трасе	min	монетаране јединице
$K_2$ - Трошкови управљања и одржавања трасе	min	монетарне јединице/година
$K_3$ - Капацитет-пропусна моћ трасе	max	број возова по смеру
$K_4$ - Економичан, поуздан и безбедан саобраћај	max	лингвистичка оцена
$K_5$ - Развој привреде и друштвених односа	max	лингвистичка оцена
$K_6$ - Последице трасе на просторни развој	мин	бодови
$K_7$ - Утицај трасе на животну средину	мин	бодови

## 2.2. Избор методе за вредновање варијаната трасе за реконструкцију

С обзиром на различиту природу критеријума, који су међусобно конфликтни, због несагласности њихових мерних јединица и неизвесности окружења, варијанте се не могу тако једноставно поредити. Због тога се рангирање варијанти трасе за реконструкцију може реализовати само применом неке од метода вишекритеријумског одлучивања. Из ове групе метода, у овом раду, за потребе избора трасе за реконструкцију железничке пруге, изабрана је Fuzzy VIKOR метода .

Наиме, при процесу доношења одлука, доносилац одлуке је често суочен са сумњама, проблемима и неизвесностима. Да би решили све субјективности мишљења људи користе се теорије fuzzy скупова [8].

На основу концепта теорије fuzzy скупова и VIKOR методе, формирана је Fuzzy VIKOR метода која се примењује у вишекритеријумском одлучивању у циљу проналажења компромисног решења у fuzzy окружењу. Fuzzy бројеви у овој методи се користе за изражавање непрецизних нумеричких величина. Метода се заснива на агрегирајућој fuzzy величини која представља растојање варијанти од идеалног решења [6, 7] Истовремено, са једне стране, ова метода је веома једноставна за практичну примену, а са друге стране аутори су у позицији да доносиоцу одлуке, након спроведеног вредновања, презентују колико је коначна одлука осетљива на вредности релативних тежина критеријума.

У литератури се појављују два приступа решавања проблема Fuzzy VIKOR методом. Код првог приступа дефазификација се ради након формирања полазне матрице исказане fuzzy бројевима [9]. У другом приступу дефазификација се врши након добијања вредности  $Q$  [1].

Оцене (вредновање) варијантних решења и дефинисање тежине сваког критеријума су две најзначајније ствари које утичу на крајњи резултат одлучивања.

Зато методологија која ће овде бити примењена подразумева да експерти лингвистички оцењују свако варијантно решење и да одреде значај сваког критеријума. Лингвистичке оцене се касније изражавају fuzzy бројевима, чиме се смањује њихова субјективна непрецизност. Тако се добија основа за даљу примену VIKOR методе.

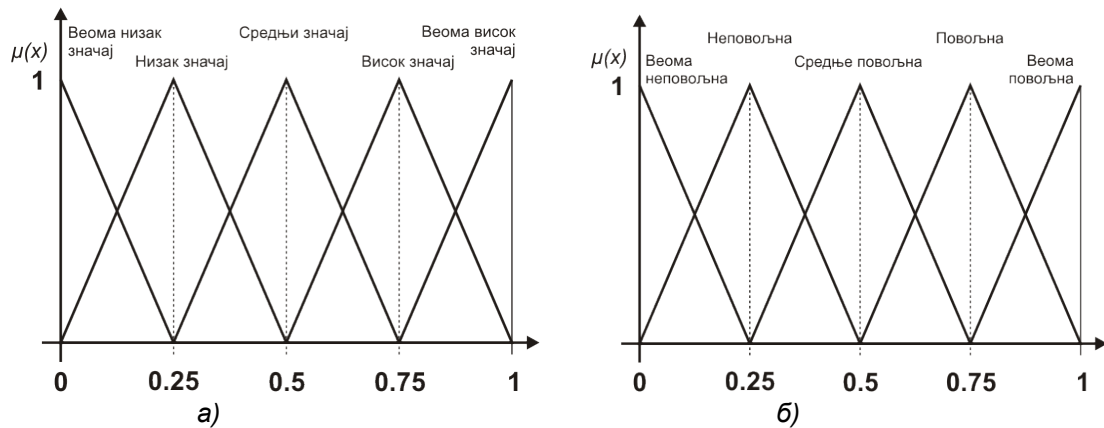
Алгоритам методе Fuzzy VIKOR састоји се из следећих корака:

**Корак 1:** Генерисање и селекција варијанти трасе за реконструкцију  $V_i$  ( $V_1, V_2, \dots, V_m$ ).

**Корак 2:** Избор експертског тима и усвајање критеријума за вредновање  $K_j$  ( $K_1, K_2, \dots, K_n$ ).



**Корак 3:** Експертско оцењивање критеријума за вредновање и варијанти трасе за реконструкцију по важности и значају користећи лингвистичке пондере који су унапред дефинисани и изражени у fuzzy бројевима (слика 2). Тако се формира **полазна fuzzy матрица за одлучивање**.



Слика 2. а) Лингвистички пондери за вредновање значаја критеријума  
 б) Лингвистички пондери за вредновање варијанти

**Корак 4:** Нормализација и дефазификација вредности полазне fuzzy матрице за одлучивање.

**Корак 5:** Селекција најбољих и најлошијих вредности критеријумских оцена ( $f_j^*$  и  $f_j^-$ ) и утврђивање мере растојања  $S_j$  и  $R_j$  варијанти од идеалних решења (1).

$$S_j = \frac{\sum w_i (f_i^* - f_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)} \quad R_j = \max \frac{w_i (f_i^* - f_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)} \quad (1)$$

**Корак 6:** Утврђивање мере растојања  $Q_j$  варијанти од идеалних решења (2).

$$Q_j = vQS_j + (1-v)QR_j, \quad j = 1, \dots, m \quad QS_j = \frac{S_j - S^*}{S^- - S^*} \quad \text{и} \quad QR_j = \frac{R_j - R^*}{R^- - R^*} \quad (2)$$

**Корак 7:** Формирање ранг листе за сваку од вредности по  $S_j$ ,  $R_j$  и  $Q_j$ . Рангирање варијанти се врши по опадајућим вредностима мере растојања на ранг листи  $S$ ,  $R$  и  $Q$ .

**Корак 8:** Предлог компромисног решења и доношење коначне одлуке о најповољнијој варијанти за реконструкцију.

Да би нека варијанта била најповољнија и као таква предложена за реконструкцију неопходно је да поред прве позиције на ранг листи задовољи и услове „довољне предности“ и „довољне стабилности“, односно услов  $U_1$  и услов  $U_2$  [5].

Услов „довољне предности“ омогућава да се доносиоцу одлуке прикажу све варијанте које су „блиске“ у вишекритеријумском смислу. Не би било оправдано да се доносиоцу одлуке прикаже само варијанта са прве позиције на ранг листи према мери  $Q$  и да се занемаре варијанте које имају њој „блиске“ вредности мере  $Q$ .

Варијанта  $V_1$  имаће довољну предност над следећом  $V_2$  са ранг листе ако је задовољена неједнакост (3):

$$Q(V_1) - Q(V_2) \geq DQ = \min 0,25 \quad (3)$$

Прва варијанта на ранг листи имаће „довољно стабилну“ позицију ако испуњава бар један од следећих услова:

- има прву позицију на ранг листи према  $Q$  за  $v = 0,25$  и  $v = 0,75$ ,
- има прву позицију на ранг листи према  $QS$ ,
- има прву позицију на ранг листи према  $QR$ .

### 3. ПРИМЕНА FUZZY VIKOR METODE НА ПРИМЕРУ ВРЕДНОВАЊА ВАРИЈАНТИ ТРАСЕ ЗА РЕКОНСТРУКЦИЈУ ПРУГЕ

Пруга Панчево Главна – Вршац – државна граница (Стамора Моравита), је главни железнички правац Јужнобанатског округа, али и део коридора XI (Бари - Бар - Београд - Темишвар- Букурешт). То је магистрална, једноколосечна, неелектрифицирана пруга дужине 81,119 km. Постојеће стање инфраструктуре на овој прузи је такво да може да задовољи само тренутне потребе одвијања железничког саобраћаја. С обзиром да се појављују захтеви за повећањем пропусне моћи пруге и за увођењем већих брзина намеће се потреба за њеном реконструкцијом. За потребе ове реконструкције дефинисане су три варијантне са различитим пројектованим брзинама [2]. За оцену и вредновање ових варијанти као и избор најповољније варијанте за реконструкцију, усвојена је Fuzzy VIKOR метода – први приступ. Њена примена подразумева поштовање претходно наведених правила и спровођење одговарајућих активности у сваком кораку, а то су:

У првом кораку, дефинисане су три варијанте  $V_i$  ( $i = 1,2,3$ ) које ће бити вредноване од стране експертског тима, а које су претходно наведене:

- $V_1$  – варијанта реконструкције пруге на пројектовану брзину, дужине 81,119 km.
- $V_2$  – варијанта реконструкције за брзину до 120 km/h, дужине 85,248 km.
- $V_3$  – варијанта реконструкције за брзину до 160 km/h, дужине 80,650 km.

У другом кораку, формиран је експертски тим од три експерта ( $DO_1$ ,  $DO_2$  и  $DO_3$ ) из области економије, грађевинарства и саобраћаја. У овом кораку, такође, је усвојена предложена листа од седам критеријума  $K_j$  ( $j=1, \dots, 7$ ) из табеле 1., за вредновање дефинисаних варијанти:

У трећем кораку експертски тим је прво извршио вредновање значаја усвојених критеријума користећи лингвистичке пондере у облику троугластих fuzzy бројева који су унапред дефинисани (слика 2а). Вредности тих пондера су приказане у табели 2а, а лингвистичке оцене значаја сваког критеријума у табели 2б.

Табела 2. а) Лингвистички пондери за вредновање значаја критеријума  
б) Лингвистичке оцене значаја сваког критеријума

а)

Лингвистичке вредности	Fuzzy еквиваленти	
Веома низак значај	ВНЗ	(0,0,0.25)
Низак значај	НЗ	(0,0.25,0.5)
Средњи значај	СЗ	(0.25,0.5,0.75)
Висок значај	ВЗ	(0.5,0.75,1)
Веома висок значај	ВВЗ	(0.75,1,1)

б)

Критеријуми	ДО <sub>1</sub>	ДО <sub>2</sub>	ДО <sub>3</sub>
K <sub>1</sub>	ВЗ	ВВЗ	ВВЗ
K <sub>2</sub>	ВЗ	ВЗ	ВЗ
K <sub>3</sub>	ВВЗ	ВВЗ	ВВЗ
K <sub>4</sub>	НЗ	ВЗ	ВЗ
K <sub>5</sub>	НЗ	НЗ	СЗ
K <sub>6</sub>	ВЗ	СЗ	НЗ
K <sub>7</sub>	СЗ	СЗ	СЗ

У оквиру овог корака, експертски тим је извршио оцењивање дефинисаних варијантних решења трасе  $V_i$  ( $i = 1,2,3$ ) за сваки критеријум посебно. Оцењивање је остварено преко лингвистичких пондера у облику троугластих fuzzy бројева који су унапред дефинисани (слика 2б). Вредности тих пондера су приказане у табели 3а, а лингвистичке оцене за сваку варијанту и сваки критеријум, у табели 3б. Када се лингвистичке вредности претворе у fuzzy троугласте бројеве и обједине подаци из табеле 2б и табеле 3б, добија се **полазна fuzzy матрица за одлучивање** (табела 4).

Табела 3. а) Лингвистички пондери за вредновање варијанти  
б) Лингвистичке оцене варијанти по критеријумима

а)

Лингвистичке вредности	Fuzzy еквиваленти	
Веома неповољно	ВН	(0,0,0.25)
Неповољно	Н	(0,0.25,0.5)
Средње повољно	СП	(0.25,0.5,0.75)
Повољно	П	(0.5,0.75,1)
Веома повољно	ВП	(0.75,1,1)

б)

	Варијанте	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>
ДО <sub>1</sub>	V <sub>1</sub>	ВП	ВП	Н	П	СП	ВП	ВП
	V <sub>2</sub>	ВП	ВП	П	П	СП	СП	СП
	V <sub>3</sub>	СП	СП	ВП	П	СП	ВН	Н
ДО <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	ВП	ВП	П	СП	П	ВП	П
	V <sub>2</sub>	СП	ВП	СП	СП	П	П	П
	V <sub>3</sub>	СП	V <sub>3</sub>	ВП	СП	П	СП	Н
ДО <sub>3</sub>	V <sub>1</sub>	ВП	ВП	П	СП	СП	ВП	СП
	V <sub>2</sub>	ВП	П	П	П	П	П	СП
	V <sub>3</sub>	СП	СП	ВП	П	ВП	СП	Н

**Табела 4. Полазна fuzzy матрица за одлучивање**

		K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>
Тежине	ДО <sub>1</sub>	(0.5,0.75,1)	(0.5,0.75,1)	(0.75,1,1)	(0,0.25,0.5)	(0,0.25,0.5)	(0.5,0.75,1)	(0.25,0.5,0.75)
	ДО <sub>2</sub>	(0.75,1,1)	(0.5,0.75,1)	(0.75,1,1)	(0.5,0.75,1)	(0,0.25,0.5)	(0.25,0.5,0.75)	(0.25,0.5,0.75)
	ДО <sub>3</sub>	(0.75,1,1)	(0.5,0.75,1)	(0.75,1,1)	(0.5,0.75,1)	(0.25,0.5,0.75)	(0,0.25,0.5)	(0.25,0.5,0.75)
ДО <sub>1</sub>	V <sub>1</sub>	(0.75,1,1)	(0.75,1,1)	(0,0.25,0.5)	(0.5,0.75,1)	(0.25,0.5,0.75)	(0.75,1,1)	(0.75,1,1)
	V <sub>2</sub>	(0.75,1,1)	(0.75,1,1)	(0.5,0.75,1)	(0.5,0.75,1)	(0.25,0.5,0.75)	(0.25,0.5,0.75)	(0.25,0.5,0.75)
	V <sub>3</sub>	(0.25,0.5,0.75)	(0.25,0.5,0.75)	(0.75,1,1)	(0.5,0.75,1)	(0.25,0.5,0.75)	(0,0,0.25)	(0,0.25,0.5)
ДО <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	(0.75,1,1)	(0.75,1,1)	(0.5,0.75,1)	(0.25,0.5,0.75)	(0.5,0.75,1)	(0.75,1,1)	(0.5,0.75,1)
	V <sub>2</sub>	(0.25,0.5,0.75)	(0.75,1,1)	(0.25,0.5,0.75)	(0.25,0.5,0.75)	(0.5,0.75,1)	(0.5,0.75,1)	(0.5,0.75,1)
	V <sub>3</sub>	(0.25,0.5,0.75)	(0.25,0.5,0.75)	(0.75,1,1)	(0.25,0.5,0.75)	(0.5,0.75,1)	(0.25,0.5,0.75)	(0,0.25,0.5)
ДО <sub>3</sub>	V <sub>1</sub>	(0.75,1,1)	(0.75,1,1)	(0.5,0.75,1)	(0.25,0.5,0.75)	(0.25,0.5,0.75)	(0.75,1,1)	(0.25,0.5,0.75)
	V <sub>2</sub>	(0.75,1,1)	(0.5,0.75,1)	(0.5,0.75,1)	(0.5,0.75,1)	(0.5,0.75,1)	(0.5,0.75,1)	(0.25,0.5,0.75)
	V <sub>3</sub>	(0.25,0.5,0.75)	(0.25,0.5,0.75)	(0.75,1,1)	(0.5,0.75,1)	(0.75,1,1)	(0.25,0.5,0.75)	(0,0.25,0.5)

У четвртом кораку је извршена нормализација и дефазификација вредности из полазне fuzzy матрице за одлучивање и добијене вредности приказане су у табелама 5 и 6.

**Табела 5. Нормализована матрица тежина критеријума и оцена варијанти по критеријумима**

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>
Тежине	(0.5,0.92,1)	(0.5,0.75,1)	(0.75,1,1)	(0,0.58,1)	(0,0.33,0.75)	(0,0.5,1)	(0.25,0.5,0.75)
V <sub>1</sub>	(0.75,1,1)	(0.75,1,1)	(0,0.58,1)	(0.25,0.58,1)	(0.25,0.58,1)	(0.75,1,1)	(0.25,0.75,1)
V <sub>2</sub>	(0.25,0.83,1)	(0.5,0.92,1)	(0.25,0.67,1)	(0.25,0.67,1)	(0.25,0.67,1)	(0.25,0.67,1)	(0.25,0.58,1)
V <sub>3</sub>	(0.25,0.5,1)	(0.25,0.5,0.75)	(0.75,1,1)	(0.25,0.67,1)	(0.25,0.75,1)	(0,0.33,0.75)	(0,0.25,0.5)

**Табела 6. Матрица са вредностима добијеним након извршене дефазификације**

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>
Тежине	0.81	0.75	0.92	0.53	0.36	0.5	0.5
V <sub>1</sub>	0.92	0.92	0.53	0.61	0.61	0.92	0.67
V <sub>2</sub>	0.69	0.81	0.64	0.64	0.64	0.64	0.61
V <sub>3</sub>	0.5	0.5	0.92	0.64	0.67	0.36	0.25

У оквиру петог и шестог корака извршена је селекција најбољих и најлошијих вредности свих критеријумских оцена ( $f_j^*$  и  $f_j$ ), табела 7. Затим су утврђене мере растојања  $S_j$ ,  $R_j$  и  $Q_j$  варијанти од идеалних решења према релацијама (1) и (2). Вредности  $S_j$ ,  $R_j$  и  $Q_j$  за сваку варијанту су приказане у табели 8.

**Табела 7. Максималне и минималне вредности критеријумских оцена**

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>
$f_j^*$	0.92	0.92	0.92	0.64	0.67	0.92	0.67
$f_j$	0.5	0.5	0.53	0.61	0.61	0.36	0.25

**Табела 8. Вредности  $S_j$ ,  $R_j$  и  $Q_j$  за сваку варијанту**

Мере растојања	Варијанте		
	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>
S	1.81	1.78	2.56
R	0.92	0.65	0.81
Q	0.52	0	0.79

Након што се добију вредности за S, R и Q, у оквиру **седмог и осмог** корака формира се ранг листа за сваку од тих вредности. На основу те ранг листе одређује се компромисно решење. Ранг листа вредности у растућем редоследу приказана је у табели 9.

**Табела 9.** Ранг листа варијанти по S, R и Q

Мере растојања	Ранг варијанти		
	1	2	3
S	V <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>3</sub>
R	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>1</sub>
Q	V <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>3</sub>

Резултати спроведеног вишекритеријумског рангирања Fuzzy VIKOR методом, на основу вредности S, R и Q показују да је варијанта V<sub>2</sub> најповољније компромисно решење јер задовољава услове:

- **Услов 1** – Услов „довољне предности“:

$$Q(V_2) - Q(V_1) = 0,52 \geq DQ = \min 0,25$$

- **Услов 2** – Услов „довољне стабилности“ јер је прворангирана по S и по R.

Ова варијанта подразумева реконструкцију трасе пруге Панчево Главна – Вршац – државна граница у смислу промене елемената трасе у ситуационом плану постојећег стања, са циљем остварења брзине од 120 km/h на дужини читаве трасе.

#### 4. ЗАКЉУЧАК

Предложена методологија омогућава целовито и системско решавање проблема избора најповољније трасе у процесу планирања реконструкције железничке пруге. Овом методологијом варијанте реконструкције трасе железничке пруге се вреднују преко више критеријума (инвестиције, трошкови, квалитет услуге, подстицај развоја привреде и друштвених односа, последице на просторни развој и утицај на животну средину). За рангирање варијанти је примењена метода *Fuzzy VIKOR*. Оцена критеријума и варијанти за реконструкцију извршена је коришћењем лингвистичких пондера, који су унапред дефинисани и изражени у fuzzy бројевима. Крајњи резултат вишекритеријумског одлучивања је предлог најповољније трасе реконструкције. Најповољнија траса реконструкције представља најбољу варијанту реконструкције у складу са усвојеним посебним циљевима, критеријумима и реалним ограничењима. Добијени резултати у приказаном примеру су показали да ова методологија има практичну употребљивост и да представља подршку у одлучивању у процесу планирања реконструкције железничке пруге.

#### Захвале

Овај рад је реализован уз подршку Министарства просвете и науке Републике Србије у оквиру технолошког пројекта, евиденциони број 36012: „Истраживање техничко-технолошке, кадровске и организационе оспособљености Железница Србије са аспекта садашњих и будућих захтева Европске уније“.

#### Литература

- [1] Chen, L.Y.; Wang, T.C. 2009. *Optimizing partners' choice in IS/IT outsourcing projects: The strategic decision of fuzzy VIKOR*, International Journal of Production Economics 120(1): 233-242.
- [2] Група аутора. 2009. *Генерални пројекат и претходна студија оправданости реконструкције и модернизације пруге Панчево Главна – Вршац – граница Румуније – Књига 3*, Саобраћајни институт ЦИП, Београд.
- [3] Kosijer, M.; Ivić, M.; Marković, M.; Belošević, I. 2012. *Multicriteria decision-making in railway route planning and design*, Građevinar, 3(64): 195-205.
- [4] Косијер, М. 2013. *Оптимизација трасе железничке пруге (докторска дисертација)*, Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, Београд.

- [5] Оприцовић, С. 1998. *Висекритеријумска оптимизација система у грађевинарству*, Универзитет у Београду Грађевински факултет, Београд.
- [6] Opricović, S.; Tzeng, G.H. 2007. *Extended VIKOR Method in Comparison with Outranking Methods*, European Journal of Operational Research, 2(178): 514–529.
- [7] Opricović, S. 2011. *Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning*, Expert Systems with Applications, 10(38): 12983-12990.
- [8] Sanayei, A.; Mousavi, S.F.; Yazdankhah, A. 2010. *Group decision making process for supplier selection with VIKOR under fuzzy environment*, Expert Systems with Applications, 37(1): 24-30.
- [9] Yücenur, G.N.; Demirel, N.Ç. 2012. *Group decision making process for insurance company selection problem with extended VIKOR method under fuzzy environment*, Expert Systems with Applications, 39 (3): 3702-3707.

# KAPACITET NESTANDARDNIH NESIGNALISANIH RASKRSNICA

Vuk Bogdanović<sup>1</sup>  
Nenad Ruškić<sup>1</sup>  
Darko Dragić<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

<sup>2</sup> Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Saobraćajni fakultet Doboj

## Rezime:

Nesignalisane raskrsnice sa kontrolom pristupa na sporednim prilazima uz pomoć saobraćajnih znakova II-1 „ustupanje prvenstva prolaza“ ili II-2 – „obavezno zaustavljanje - STOP“, u mnogim zemljama predstavljaju najčešći tip ukrštanja na putnoj i uličnoj mreži. Zbog načina regulisanja saobraćaja, ove raskrsnice nazivaju se „Two Way Stop Controlled“ intersection. Postupci za proračun kapaciteta TWSC raskrsnica zasnovani na modelima prihvatljivih intervala sleđenja pojavili su se u naučnoj i stručnoj literaturi 70-tih godina prošlog veka. Ovi postupci definisani su za standardan raspored glavnih i sporednih prilaza, prema kome su uvek dva naspramna prilaza na TWSC raskrsnicama prioriteta. Pored standardnih TWSC raskrsnica na putnoj i uličnoj mreži postoje i nestandardne TWSC raskrsnice kod kojih su za razliku od standardnih, dva susedna prilaza prioriteta. Ove raskrsnice su relativno česte u mnogim zemljama Evrope, kao i u drugim delovima sveta. Nestandardne TWSC raskrsnice najčešće se javljaju u gradovima sa nasleđenom uličnom mrežom kada na raskrsnici putni pravac višeg ranga, iz nekog razloga menja pravac pružanja i skreće ka susednom prilazu. Zbog nestandardnog prostornog rasporeda prioriteta i sporednih prilaza na nestandardnim TWSC raskrsnicama u odnosu na standardne TWSC raskrsnice, na ovim raskrsnicama nije moguće primeniti standardan postupak za proračun kapaciteta. U odnosu na standardne, na nestandardnim TWSC raskrsnicama različit je raspored konfliktnih tokova, kao i vrednosti parametara saobraćajnog toka koji se koriste u postupku proračuna. U ovom radu analizirane su razlike nestandardnih TWSC raskrsnica u odnosu na standardne i definisan je postupak proračuna kapaciteta zasnovan na modelu prihvatljivih intervala sleđenja.

**Ključne reči:** Kapacitet, nestandardna nesignalisana raskrsnica, nivo usluge.

## 1. UVOD

Standardne TWSC raskrsnice veoma su rasprostranjene u čitavom svetu. Ove raskrsnice imaju tri ili četiri prilaza, pri čemu su dva naspramna prilaza prioriteta, a ostali prilazi su sporedni. Broj prilaza definiše broj mogućih manevara, odnosno kretanja kroz središte raskrsnice, mada se njihov broj saobraćajnim znacima može ograničiti, tako što se određena kretanja kroz raskrsnicu zabrane.

U mnogim gradovima sa nasleđenom uličnom mrežom, glavni putni pravac, iz nekog razloga, na raskrsnici menja pravac pružanja, tako što se do raskrsnice put pruža u jednom, a od raskrsnice u drugom smeru. Ove raskrsnice predstavljaju nestandardne TWSC raskrsnice, na kojim se za označavanje prilaza koristi posebna saobraćajna signalizacija [1]. Nestandardne TWSC raskrsnice javljaju se i na vangradskim deonicama puteva, priključivanjem sporednih puteva na mestu gde se put visokog državnog prioriteta pruža u krivini. Osim u većini evropskih zemalja, ovaj tip raskrsnica kao specifičan prepoznat je i u USA [2] kao i u Australiji [3].

Postupci za proračun kapaciteta na svim nesignalisanih raskrsnicama zasnovani su na modelu prihvatljivih intervala sleđenja uz uvažavanje prioriteta prolaska kroz središte raskrsnice koje je definisan sa četiri ranga. Svako kretanje, odnosno manevar koji je moguće izvršiti na raskrsnici pripada odgovarajućem rangu. U postupku HCM 2010 [4], [5], kapacitet TWSC raskrsnica sa četiri, odnosno tri prilaza računa se prema Harders modelu [6]. Svi manevri su označeni rednim brojevima po principu da dva naspramna prilaza, istočni i zapadni, predstavljaju glavni putni pravac, dok su severni i južni prilaz sporedni.

Nestandardne TWSC raskrsnice su samo poseban tip TWSC raskrsnica, tako da postupak proračuna kapaciteta mora biti zasnovan na modelu prihvatljivih intervala sleđenja. Međutim, ove raskrsnice imaju specifičnosti vezane za definisanje prioriteta i karakteristika parametara saobraćajnog toka, što mora biti uvaženo prilikom definisanje procedure vezane za proračun kapaciteta i nivoa usluge. Na nestandardnim TWSC raskrsnicama raspored sporednih i glavnih prilaza je različit u odnosu na standardne, zbog toga što se bar jedan sporedni prilaz nalazi naspram glavnog. Iz tog razloga, na ovim raskrsnicama nije moguće primeniti standardni postupak proračuna kapaciteta, jer je u odnosu na standardnu TWSC raskrsnicu različit raspored sporednih manevara i konfliktnih tokova. Pored toga, treba naglasiti da su zbog izmenjenih uslova

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: vuk@uns.ac.rs

odvijanja saobraćaja veličine intervala sleđenja sporednih manevara različite u odnosu na one koje se javljaju na standardnoj TWSC raskrsnici.

Nestandardne TWSC raskrsnice se u nekim zemljama relativno često javljaju na putnoj i uličnoj mreži što nameće potrebu za analizom kapaciteta i nivoa usluge, kako bi se proverila funkcionalnost i efikasnost ovakvih raskrsnica. Iskustva iz prakse pokazuju da u situaciji kada se na sporednim prilazima javljaju značajno manja opterećenja u odnosu na glavne prilaze, izmene pozicije glavnih i sporednih prilaza uspostavljanja prioriteta i uspostavljanje prioriteta kao na standardnoj TWSC raskrsnici može dovesti do značajnog pada nivoa usluge. Iz tih razloga nestandardne TWSC raskrsnice zaslužuju ravnopravan tretman kao i standardne. Do sada nije definisan postupak za proračun kapaciteta nestandardnih TWSC raskrsnica koji bi uvažio specifičnosti vezane za raspored prilaza i karakteristike parametara saobraćajnog toka, kao što su kritični interval sleđenja i interval sleđenja za vozila u sporednom toku.

## **2. PRETHODNA ISTRAŽIVANJA**

Nesignalisane TWSC raskrsnice i karakteristike saobraćajnog toka na njima, do sada su često bile predmet istraživanja. Ona su uglavnom bila usmerena na istraživanje modela za proračun kapaciteta i karakteristike saobraćajnog toka na standardnim TWSC raskrsnicama, odnosno intervala sleđenja [7], [8], [9]. Rezultat ovih istraživanja je bio definisanje postupaka proračuna kapaciteta i nivoa usluge zasnovanog na modelu prihvatljivih intervala sleđenja.

Međutim, istraživanja karakteristika saobraćajnog toka na nestandardnim TWSC raskrsnicama do sada su bila retka. Razloge za to treba tražiti u manjoj zastupljenosti ovih raskrsnica na putnoj i uličnoj mreži u vanevropskim državama.

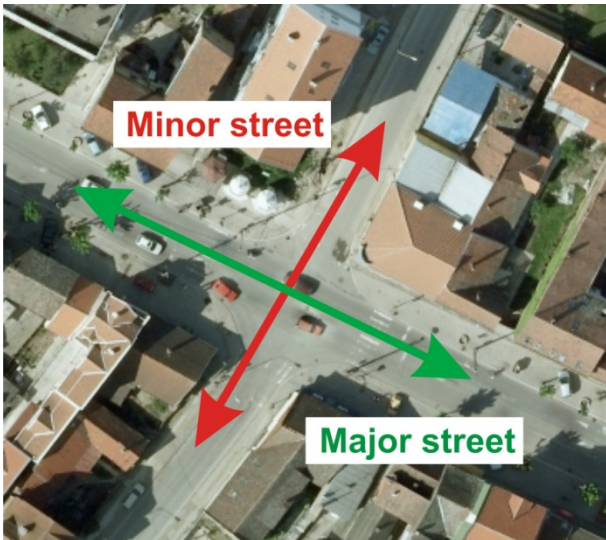
Jedno od retkih istraživanja koje se bavi isključivo nestandardnim nesignalisanim raskrsnicama vršili su Gattis i Low [10]. U okviru ovog istraživanja merene su vrednosti prihvatljivih intervala sleđenja na nestandardnoj trokrakoj raskrsnici. Raskrsnica je definisana tako da na zapadnom prilazu ima znak „STOP“, a na južnom „YIELD“, dok na istočnom prilazu nema saobraćajnih znakova. Ovakav način regulisanja saobraćaja na nesignalisanim raskrsnicama nije uobičajen u praksi evropskih zemalja.

Treba napomenuti da u pomenutom istraživanju vrednosti intervala sleđenja nisu merene u skladu sa postupkom HCM-a, jer su mereni su za svaki tok na glavnom pravcu pojedinačno i kombinovano. Iz tog razloga dobijene vrednosti se ne mogu iskoristiti za proračun kapaciteta na nestandardnim TWSC raskrsnicama prema postupku HCM. Ipak, i na osnovu ovog istraživanja, može se videti da se vrednosti parametara saobraćajnog toka na nestandardnoj raskrsnici bitno razlikuju od vrednosti istih parametara na standardnoj nesignalisanoj raskrsnici, što ukazuje na potrebe značajnijih istraživanja osnovnih parametara na ovom tipu ukrštanja.

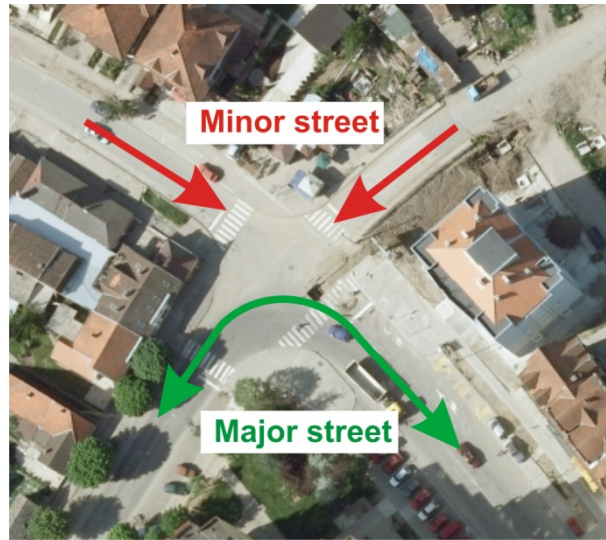
## **3. DEFINISANJE NESTANDARDNE NESIGNALISANE RASKRSNICE**

Kao nestandardna TWSC raskrsnica može se definisati nesignalisana raskrsnica kod koga se glavni put ne pruža u pravcu. Nestandardne TWSC raskrsnice, slično kao i standardne, mogu biti simetrične ili nesimetrične, trokrake ili četvorokrake, mada se u praksi pojavljuju i nestandardne nesignalisane raskrsnice sa više od četiri prilaza, ali one neće biti predmet analiza ovog rada.

Na slici 1 prikazana je četvorokraka simetrična TWSC raskrsnica. Za razliku od standardne, kod nestandardne TWSC raskrsnice, glavni i sporedni prilazi se nalaze jedan naspram drugog. Glavni prilazi su uzastopni, odnosno nalaze se jedan pored drugog, što je prikazano na slici 2.

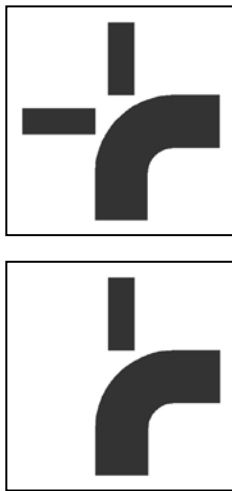


Slika 1. Standardna TWSC raskrsnica



Slika 2. Nestandardna TWSC raskrsnica

S obzirom na raspored prilaza, regulisanje saobraćaja na nestandardnim TWSC raskrsnicama, odstupa od klasičnog načina koji se primenjuje na standardnim. Osim potrebe da se na sporednim prilazima postave saobraćajni znaci II-1 „ustupanje prvenstva prolaza“ ili II-2 – „obavezno zaustavljanje - STOP“, na ovim raskrsnicama je za razliku od standardnih potrebno označiti i pravac pružanja glavnog putnog pravca. Zbog potrebe da se na nestandardnim TWSC raskrsnicama saobraćaj reguliše na nedvosmislen način, u mnogih zemalja u upotrebi su posebni saobraćajni znaci koji ukazuju na pravac pružanja glavnog pravca. Neki od znakova koji se u Evropskim zemljama često koriste za označavanje pružanja glavnog – prioritarnog puta, prikazani su na slici 4 [1]. Izgled ovakvih znakova nije potpuno standardizovan, jer zavisi od geometrijskog izgleda raskrsnice i rasporeda prilaza. Primer postavljanja znaka na nestandardnoj trokrakoj TWSC raskrsnici dat je na slici 4.



Slika 3. Saobraćajni znaci koji prikazuju pravac pružanja prioritarnog pravca.



Slika 4. Nestandardna TWSC raskrsnica

U praksi se često javljaju i nestandardne TWSC raskrsnice koje su nesimetrične i koje zahtevaju znake sa posebnim dizajnom simbola.

#### 4. MODEL ZA PRORAČUN KAPACITETA NESTANDARDNIH NESIGNALISANIH RASKRSNICA

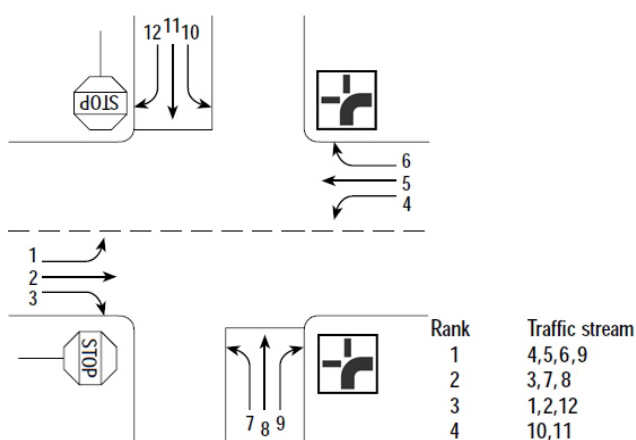
Odstupanja od raspodele rangova kretanja koja je u postupku proračuna kapaciteta data za standardnu TWSC raskrsnicu, uslovljava drugačiji raspored konfliktnih tokova, karakter i način vršenja sporednih



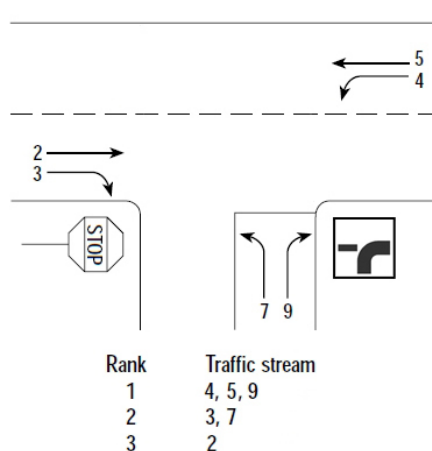
manevara kao i drugačije intervale sleđenja. Iz tog razloga preporuke date u HCM2000 za standardnu TWSC raskrsnicu ne mogu se koristiti u postupku proračuna kapaciteta na nestandardnoj TWSC raskrsnici.

Osnovni razlog zbog koga je potrebno definisati izmenjen postupak za proračun kapaciteta nestandardnih TWSC raskrsnica je prostorni raspored glavnih prilaza, obzirom da su na ovim raskrsnicama glavni prilazi susedni. Kao što se vidi na slikama 5 i 6, numeracija manevara na nestandardnoj TWSC usklađena je sa numeracijom koja se koristi kod standardnih TWSC raskrsnica, prema HCM2010. Manevri na zapadnom i istočnim prilazima označeni su brojevima 1,2,3, odnosno 4,5,6, a na severnom i južnom prilazu brojevima 7,8,9, odnosno 10,11,12. Sve nestandardne TWSC raskrsnice imaju dva susedna glavna prilaza, kao što je prikazano na slikama 5 i 6. Glavni i sporedni manevri na svim tipovima nestandardnih TWSC raskrsnica sa četiri prilaza mogu se označiti na način koji je prikazan na slici 5, a sa tri prilaza kao na slici 6.

Na slici 5, prikazana je nestandardna TWSC raskrsnica sa četiri prilaza na kojoj se glavni pravac pruža pravcem od 4-5-6 ka 7-8-9 i obrnuto, za razliku od standardne TWSC raskrsnice kod koje se glavni pravac pruža pravcem od 1-2-3 ka 4-5-6 i obrnuto. Zbog drugačijeg rasporeda položaja glavnih i sporednih prilaza, raspored manevara na rangove kretanja na nestandardnoj bitno je drugačiji u odnosu na standardnu TWSC raskrsnicu.



Slika 5. Tokovi i rangovi kretanja na nestandardnoj četvorokrakoj TWSC raskrsnici



Slika 6. Tokovi i rangovi kretanja na nestandardnoj trokrakoj TWSC raskrsnici

Prilikom definisanja rangova kretanja na nestandardnoj TWSC raskrsnici uvažena su opšta pravila saobraćaja, odnosno pravilo desne strane. U skladu sa prethodno definisanim principima, za ove raskrsnice rangovi se definišu na sledeći način:

**Rang I** –kretanja pravo, levo i desno sa istočnog prilaza i desno skretanje sa južnog prilaza glavne ulice (tokovi 4,5,6,9). Napomena: Kretanja 4 i 9 imaju apsolutni prioritet, jer su to tokovi koji se kreću prioriternim pravcem, dok su kretanja 5 i 6 prioriterna u odnosu na tokove 7 i 8 u skladu sa pravilom desne strane.

**Rang II** – kretanja nižeg prioriteta su kretanja pravo i levo sa južnog prilaza glavne ulice i skretanje desno sa zapadnog prilaza sporedne ulice (tokovi 3,7,8).

**Rang III** –kretanja pravo i levo sa zapadnog prilaza sporedne ulice i desno skretanje sa severnog prilaza sporedne ulice (tokovi 1,2,12).. Ovakva raspodela uslovljena je pravilom desne strane, pa iz tog razloga kretanja sa zapadnog prilaza imaju prioritet u odnosu na ona sa severnog prilaza.

**Rang IV** –kretanje pravo i skretanje levo sa severnog prilaza sporedne ulice (tokovi 10,11). Ova kretanja su ujedno i najkompleksnija, jer da bi se ona izvršila, moraju propustiti sva kretanja viših rangova.

Osim razlike u rangovima, postoji razlika i u broju tipova sporednih manevara. Standardne TWSC raskrsnice imaju četiri tipa sporednih manevara (dva leva sa glavnog prilaza (1 i 4) ranga 2, dva skretanja desno sa sporednog prilaza (9 i 12) rang 2, dva kretanja pravo sa sporednog prilaza (8 i 11) rang 3 i dva skretanja levo sa sporednog prilaza (7 i 10) rang 4). Nestandardne TWSC raskrsnice imaju čak 8 različitih sporednih manevara i to:

1. Kretanje pravo sa južnog prilaza – glavna ulica (rang 2)
2. Levo skretanje sa južnog prilaza - glavna ulica (rang 2)
3. Desno skretanje sa zapadnog prilaza - sporedna ulica (rang 2)

4. Kretanje pravo sa zapadnog prilaza - sporedna ulica (rang 3)
5. Levo skretanje sa zapadnog prilaza - sporedna ulica (rang 3)
6. Desno skretanje sa severnog prilaza sporedna ulica (rang 3)
7. Kretanje pravo sa severnog prilaza sporedna ulica (rang 4)
8. Levo skretanje sa severnog prilaza sporedna ulica (rang 4)

Prema tome, uslovi odvijanja saobraćaja na nestandardnoj TWSC raskrsnici su komplikovaniji nego na standardnoj, jer na nestandardnoj postoje 3 manevara ranga 3 i 2 manevara ranga 4, za razliku od standardne gde postoje 2 manevara ranga 3 i 2 manevara ranga 2.

Uzimajući u obzir raspored manevara kretanja u okviru četiri standardna ranga kretanja kako je to prikazano na slici 5, proračun konfliktnih tokova potrebno je izvršiti prema sledećim formulama:

#### Kretanja ranga 2:

$$V_{c,3} = V_4 \quad (4)$$

$$V_{c,7} = V_4 + V_5 \quad (5)$$

$$V_{c,8} = V_4 + V_5 + V_6 \quad (6)$$

#### Kretanja ranga 3:

$$V_{c,1} = V_4 + V_5 + V_6 + 2 \cdot V_7 + V_8 + \frac{1}{2} \cdot V_9^{(a)} \quad (7)$$

$$V_{c,2} = V_4 + 2 \cdot V_7 + V_8 + \frac{1}{2} \cdot V_9^{(a)} \quad (8)$$

$$V_{c,12} = V_5 + \frac{1}{2} \cdot V_6^{(a)} + 2 \cdot V_7 \quad (9)$$

#### Kretanja ranga 4:

$$V_{c,10} = 2 \cdot V_1 + V_2 + \frac{1}{2} V_3^{(a)} + V_4 + V_5 + \frac{1}{2} V_6^{(a)} + 2 \cdot V_7 + V_8 + \frac{1}{2} \cdot V_9^{(a)} \quad (10)$$

$$V_{c,11} = 2 \cdot V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + \frac{1}{2} V_6^{(a)} + 2 \cdot V_7 \quad (11)$$

<sup>(a)</sup> Ukoliko postoji izdvojena traka za desna skretanja, kretanja  $V_6$  i  $V_9$  se mogu eliminisati iz proračuna konfliktnog toka

Za proračun kapacitet nestandardne TWSC potrebno je koristiti standardan postupak prema modelu prihvatljivih intervala sleđenja koji se koristi i prilikom proračuna kapaciteta standardnih TWSC raskrsnica u postupku (4). Prilikom proračuna potrebno je uvažiti prethodno navedene specifičnosti koje se odnose na proračun konfliktnih tokova i intervala sleđenja, koje je potrebno odrediti lokalnim merenjem.

## 5. ZAKLJUČCI I PREPORUKE

Nestandardne TWSC raskrsnice postoje u velikom broju zemljama, zbog čega su definisani posebni saobraćajni znaci koji služe da označe pravac pružanja glavnog, odnosno prioritarnog putnog pravca. U dosadašnjim istraživanjima ovom tipu raskrsnica nije posvećeno dovoljno pažnje, tako da ne postoje preporuke o načinu proračuna kapaciteta niti o vrednostima ulaznih parametara koji se koriste u postupku proračuna. Uzimajući u obzir karakter manevara koji se vrše na nestandardnim TWSC raskrsnicama zaključeno je da se prilikom proračuna kapaciteta može primeniti modelu prihvatljivih intervala sleđenja na kome je zasnovan i postupak HCM. Međutim, nestandardne TWSC raskrsnice zbog posebnog načina rasporeda glavnih i sporednih prilaza, imaju specifičnosti koje se prilikom proračuna moraju uzeti u obzir. Kod svih nestandardnih TWSC raskrsnica dva glavna prilaza su susedna, pa je prilikom definisanja rangova kretanja na bilo kojoj trokrakoj i četvorokrakoj nestandardnoj raskrsnici moguće koristiti standardnu numeraciju manevara. Zbog posebnog rasporeda glavnih i sporednih prilaza, nestandardne TWSC raskrsnice imaju dvostruko veći broj tipova sporednih manevara (8) od standardnih (4). Iz tog razloga, postupak proračuna konfliktnih tokova na ovim raskrsnicama ima drugačiju strukturu u odnosu na standardne TWSC raskrsnice. Prethodna istraživanja, kao i istraživanja sprovedena u ovom radu pokazala su da postoji značajna razlika u vrednostima intervala sleđenja na nestandardnim u odnosu na standardne TWSC raskrsnice. Ovakvi rezultati su očekivani, obzirom da se karakter sporednih manevara na nestandardnim bitno razlikuje od standardnih TWSC raskrsnica. Pravac daljih istraživanja bi trebalo usmeriti ka utvrđivanju karakterističnih vrednosti intervala sleđenja za sve sporedne maneuvre koji se mogu javiti na različitim tipovima nestandardnih TWSC raskrsnica.

## Literatura

- [1] Pravilnik o saobraćajnoj signalizaciji, Službeni glasnik Republike Srbije, br 134/2014, Beograd Republika Srbija.
- [2] **MUTCD** - Manual On Uniform Traffic Control Devices For Streets And Highways. Washington D.C: U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 1988.
- [3] Guide to Modified Intersection Signs. Queensland: Department of Transport and Main Roads, 2009.
- [4] Highway Capacity Manual - Chapter 19 - Two-Way Stop-Controlled Intersections. Washington D.C: Transportation Research Board of The National Research Council, December 2010.
- [5] Highway Capacity Manual - Chapter 17 - Unsignalized Intersections. Washington D.C: Transportation Research Board of The National Research Council, 2000.
- [6] **Harders, J.**, Die Leistungsfähigkeit nicht signalregelter städtischer Verkehrsknoten [Capacity of unsignalized urban intersections]. Bonn: Bundesminister für Verkehr, 1968.
- [7] **Hagring, O.**, Estimation of critical gaps in two major streams. 2000, Transportation Research, Part B, Vol. 34, pp. 293-313.
- [8] **Harwood D. W., John M. M., Brydia, R. E.**, Design policies for sight distance at stop-controlled intersections based on gap acceptance. 1999, Transportation Research Part A, T. 33, pp. 199-216.
- [9] **Kittelson W. K., Vandehey, M. A.**, Delay effects on driver gap acceptance characteristics at two-way stop-controlled intersections, 1991, Transportation Research Record, T. 1320, pp. 154-159.
- [10] **Gattis J. L., Low S. T.**, Gap Acceptance at Nonstandard Stop-controlled Intersections. Springfield, VA: National Technical Information Service, 1998.

## PRIMJENA DODATNOG TRAKA NA DVOTRAČNIM DVOSMJERNIM CESTAMA - NEDOREČENOST POSTOJEĆIH STANDARDARDA

### ADDITIONAL LANE ON TWO-LANE TWO-WAY HIGHWAYS - PROBLEM OF EXISTING GUIDELINES

**Boris Čutura, dipl.ing.građ.**  
Građevinski fakultet  
Sveučilišta u Mostaru  
boriscutura@gmail.com

**prof.dr.sc. Ivan Lovrić**  
Građevinski fakultet  
Sveučilišta u Mostaru  
ivan.lovric40@gmail.com

**Danijela Maslač, dipl.ing.građ.**  
Građevinski fakultet  
Sveučilišta u Mostaru  
danijela.maslac@gfmo.ba

**Rezime:** *Izvangradske dvotračne dvosmjerne ceste čine veliki postotak cestovne mreže. S obzirom na nerazvijenost cesta višeg ranga, ove ceste imaju veliki značaj u našim područjima. Pošto se i teški promet odvija na ovim cestama, često su operativne brzine vrlo male zbog loše geometrije, što uzrokuje duga vremena putovanja i ugrožavaju sigurnost. Značajan broj prometnih nesreća se događa zbog nepostojanja mogućnosti pretjecanja. Kako su ekonomske (često i prostorne) mogućnosti dosta ograničene, kao optimalno rješenje se nameće dodatni trak za spora vozila. Postojeći pravilnici daju dva kriterija za izgradnju dodatnog traka, prometno-tehnički i vozno-dinamički. Prvi podrazumijeva provjeru propusne moći (najčešće prema HCM-u), dok se drugi kriterij određuje preko brzine sporog vozila na nagibu. U praksi se dodatni trak najčešće projektira na usponu, dok su pad i prometno-tehnički kriterij često zanemareni. Kako dodatni trak ima utjecaj na dosta većoj duljini od svoje izgrađene duljine (prema HCM-u do 20 km), od izrazitog je značaja definirati njegovu potrebu, duljinu i položaj. Na ovaj način može se optimalno poboljšati mreža dvotračnih dvosmjernih cesta.*

**Ključne reči:** *dvotračne dvosmjerne ceste, dodatni trak, spora vozila, prometno-tehnički, vozno-dinamički kriterij.*

**Abstract:** *Rural two-lane two-way highways are a large percentage of the road network. Due to the underdevelopment of highways of higher rank, these highways have great significance for our areas. Since the heavy traffic takes place on these highways, operating speeds are very small due to poor geometry and resulting in long travel times and safety problems. A significant number of accidents are happening in the absence of overtaking opportunities. Available resources are (and often spatial) limited and optimal solution to improve network is to build additional lane for slow vehicles. Existing regulations give two criteria for the design of additional lanes, traffic and speed criteria. The first includes checking the capacity (usually using HCM), while the second criterion includes checking the speed of slow vehicle on grades. In practice, the additional lane is usually built on the upgrade, while the downgrade and traffic criterion are often ignored. As an additional lane has greater impact than its built length (according to HCM up to 20 km), it is very important to define the need, length and position of additional lane. This way is optimal to improve the network of two-lane two-way highways.*

**Key words:** *two-lane two-way highways, additional lane, slow vehicles, traffic criterion, speed criterion.*

## 1. UVOD

Dvotračne izvangradske prometnice čine veliki postotak cestovne mreže. U razvijenim europskim zemljama njihov postotak u ukupnoj mreži je cca 90 %, a važnost im je još veća u slabije razvijenim državama gdje ne postoji razvijena prometna infrastruktura (autoceste, brze ceste, željeznica). U lokalnim uvjetima (u BiH, kao i u bližem okruženju) karakteristike pojedinih dionica značajno se razlikuju. Dnevno prometno opterećenje je širokog raspona, od slabo opterećenih cesta s PGDP-om nekoliko stotina voz/dan, pa do preko 10 000 voz/dan. Isto se odnosi i na geometriju i stanje pojedinih cesta. Kompletan teretni promet se odvija ovom mrežom, što uz veliki broj priključaka i izgrađenost duž cesta dodatno usložnjava situaciju na mreži.

Zbog svega navedenog brzine vozila su dosta male u odnosu s obzirom na preporučene za pojedine rangove cesta. Postotak zona sa zabranom pretjecanja je velik, čime su mogućnosti za pretjecanje dosta ograničene. U takvim uvjetima, i osobito pri većem prometnom opterećenju, stvaraju se kolone vozila. Brzine vozila se smanjuju i gustoća prometa raste, što uzrokuje i nedopuštene prometne radnje kao što su pretjecanje i obilaženje vozila na nedopuštenim mjestima (slika 1). To nerijetko dovodi do prometnih nesreća. Takve prometne radnje, koje podrazumijevaju prelazak u suprotni trak prometnice, često su uzrok prometnih nesreća s težim posljedicama.

Izgradnja novih dionica bi zahtijevala značajne materijalne troškove (ogroman broj dionica) pa je poboljšanje postojećih praktično jedini realan scenarij. Korekcija geometrije koja bi osigurala dovoljan broj mjesta za pretjecanje je u većini slučajeva nemoguća (težak teren i izgrađenost), a na najopterećenijim dionicama ne bi dala željeni učinak zbog nepostojanja dovoljnog broja vremenskih praznina za pretjecanje (gust promet iz suprotnog smjera). Najbolja ilustracija je opis razine usluge "C" u HCM-u: "...RU C opisuje daljnje povećanje toka koji karakterizira značajnije povećanje stvaranja kolona, duljine kolona i nemogućnosti pretjecanja. Prosječna brzina putovanja još ubijek prelazi 70 km/h za ceste klase I u ravničarskom terenu iako potražnja za pretjecanjem prelazi pretjecajni kapacitet. Kod daljnjih povećanja stvaraju se nizovi kolona i značajno se smanjuje kapacitet za pretjecanje. Tok je još uvijek stabilan ...". Interpretacija ove definicije je da s aspekta propusne moći imamo sasvim zadovoljavajuću razinu usluge C, a s aspekta mogućnosti pretjecanja u smislu raspoloživih vremenskih praznina stanje je nezadovoljavajuće, bez obzira na postotak zona sa zabranom pretjecanja.



**Slika 1.** *Primjeri nedopuštenih pretjecanja*

Stoga, kao jedino rješenje se nameće izgradnja dodatnog traka za spora vozila. Dodatnim trakom se smanjuju kolone vozila, povećava brzina, propusnost i uslužnost samih prometnica, a time i sama sigurnost prometa.

## 2. POZITIVNI UTJECAJ DODATNOG TRAKA

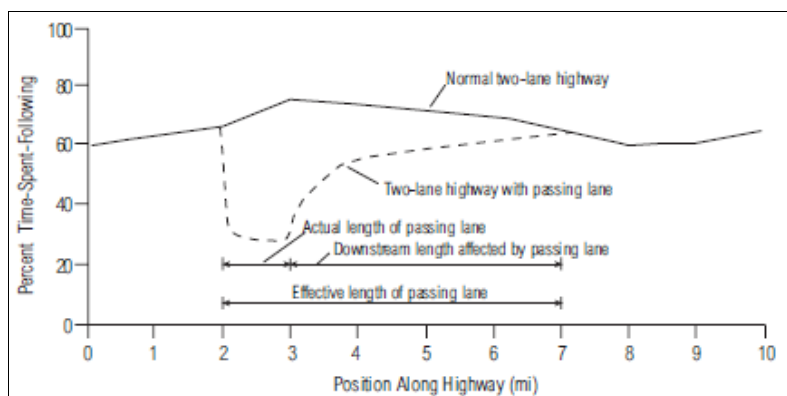
Dodatni trak ima pozitivan utjecaj iz više razloga, a najvažniji su:

- efektivna duljina je puno veća od stvarne,
- osigurava veću propusnost i sigurnost,
- smanjuje kolone, odnosno povećava razinu usluge ceste,
- pravilnik upotrebom dodatnog traka omogućuje povećanje maksimalnog uzdužnog nagiba 1 %,
- fizibilnost znatno veća nego kod novih dionica.

Prethodno su navedeni pozitivni utjecaji dodatnog traka, a kao najvažniji se može navesti njegova efektivna duljina. Istraživanja dodatnog traka u HCM metodologiji su pokazala da dodatni trak omogućuje dodatni pozitivan utjecaj na određenoj udaljenosti nakon njegovog završetka. Efektivna duljina dodatnog traka je puno veća od fizičke duljine i ovisi o veličini toka u analiziranom smjeru.

Segment koji se analizira dijeli se na četiri područja (slika 2 i slika 3):

1. područje prije dodatnog traka ( $L_u$ ),
2. duljina dodatnog traka ( $L_{pl}$ ),
3. nakon dodatnog traka na kojem još postoji njegov utjecaj ( $L_{de}$ ),
4. područje nakon dodatnog traka na kojem više ne postoji njegov utjecaj ( $L_d$ ).



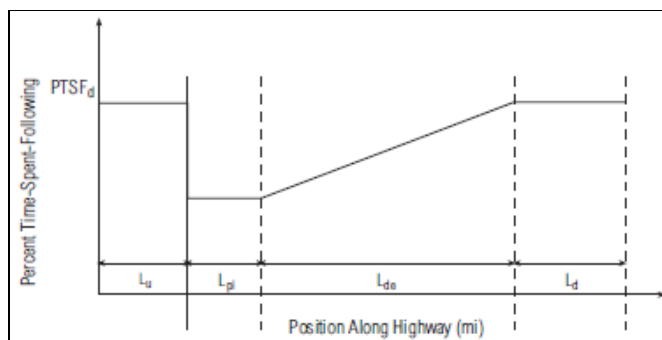
Slika 2. Utjecaj dodatnog traka prema HCM 2000 [2]

Osnovne mjere efikasnosti su prosječna brzina putovanja ATS i postotak izgubljenog vremena u koloni PTSF. U tablici 1 i na slici 3 se može vidjeti koliki je utjecaj dodatnog traka na ove parametre. Važno je istaknuti da je kriterij ATS neprimjenjiv na naše uvjete, odnosno, ako se želi odrediti razinu usluge po metodologiji HCM-a ceste se moraju svrstati u klasu II.

**Tablica 1.** Duljina pozitivnog utjecaja dodatnog traka za jednosmjerne segmente u ravničarskom ili brdovitom terenu [2]

Veličina toka u analiziranom smjeru (OV/h)	Duljina utjecaja dodatnog traka $L_{de}$ (km)	
	PTSF	ATS
$\leq 200$	20.9	2.8
400	13.0	2.8
700	9.1	2.8
$\geq 1000$	5.8	2.8

Izvor: HCM 2000 [2]



Slika 3. Utjecaj dodatnog traka na PTSF duž analiziranog segmenta [2]

### 3. DODATNI TRAK PREMA NAŠIM STANDARDIMA I PRAKSA KORIŠTENJA

#### 3.1. Dodatni trak prema našim standardima

Prema važećim propisima u BiH i okruženju postoje dva uvjeta koja je potrebno provjeriti i od kojih je potrebno da barem jedan ne zadovoljava kako bi se pristupilo obveznoj izgradnji dodatnog traka na dionici koja se razmatra, a to su:

1. Prometno tehnički kriterij – provjera propusne moći
2. Vozno-dinamički kriterij – provjera brzine

**Prometno tehnički kriterij** provjerava propusna moć prometnice pri traženoj razini usluge. Ako je propusna moć manja od prometnog opterećenja u mjerodavnom vršnom satu na kraju projektnog perioda (obično 100-ti sat ili 10-12% PGDP-a), potreban je dodatni trak za spora vozila. Provjera propusne moći računa se prema HCM-u.

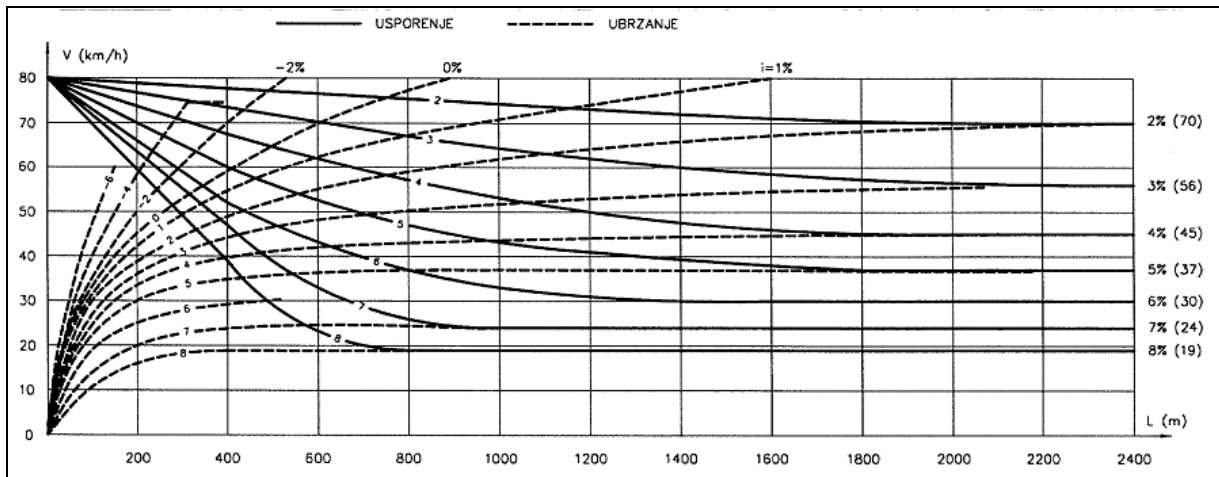
**Vozno-dinamički kriterij podrazumijeva** provjeru brzine mjerodavnog vozila na usponu. Dodatni trak se izvodi ako brzina mjerodavnog teretnog vozila padne ispod najmanje brzine (tablica 2).

Tablica 2. Određivanje kritične i najmanje brzine vozila [1]

Računska brzina $V_r$ (km/h)	Najmanja brzina vozila u prometnom traku $V_n$ (km/h)	Kritična brzina $V_{kr}$ (km/h)
$\geq 120$	45	55
100	40	50
80	35	45
60	30	40

Izvor: BiH pravilnik i smjernice [1]

Prema grafikonu na slici 4 određuje se brzina sporog vozila na uzdužnim nagibima. Početak dodatnog traka je na mjestu gdje brzina vozila pada ispod kritične brzine vozila  $V_{kr}$ , a završetak gdje ponovno dosegne kritičnu brzinu.

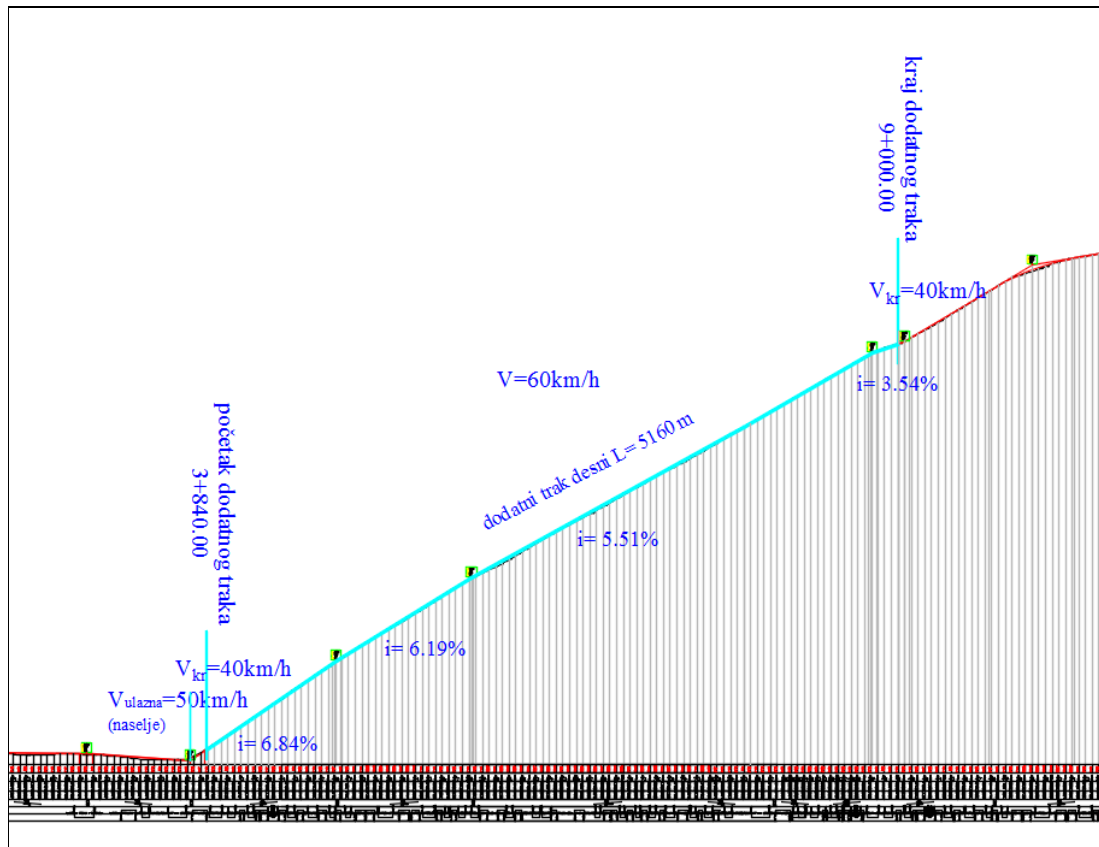


Slika 4. Dijagram brzina sporog vozila na uzdužnim nagibima [1]

### 3.2. Primjena uvođenja dodatnog traka u praksi

Praktična primjena dodatnog traka je uglavnom na dionicama koje su u usponu, međutim, dodatni trak treba primjenjivati i u drugim situacijama. Na padu je zbog istih razloga kao i kod uspona njegova izgradnja opravdana (teška teretna vozila također voze manjom brzinom zbog kočenja). Isto tako, dodatni trak treba primijeniti i na ravnim dijelovima gdje nema mogućnosti pretjecanja.

Postojeća regulativa je nedorečena i neprilagođena realnim uvjetima. Držeći se strogo odredbi pravilnika imamo primjere upotrebe velike duljine dodatnog traka na dionicama s vrlo malim PGDP-om, što nije optimalno (slika 5).



Slika 5. Primjer dodatnog traka na dionici s malim PGDP-om



Na slici je prikazan samo jedan primjer od mnogih koji sukladno doslovnoj primjeni Pravilnika zahtijeva dodatni trak dulji od 5 km, a prometno opterećenje je malo. Pravilnik ne ostavlja mogućnost ekonomskog vrednovanja ponuđenih rješenja.

#### 4. MOGUĆNOSTI POBOLJŠANJA PRISTUPA

Nedostatak naših propisa je nepostojanje sigurnosnog i ekonomskog kriterija kojim bi se također mogla regulirati opravdanost izgradnje dodatnog traka. U biti, ekonomski kriterij bi mogao pokrivati i ovaj sigurnosni, uzimajući u fizibilnost i prometne nesreće. Ovi kriteriji su ostavljeni na izbor Investitoru.

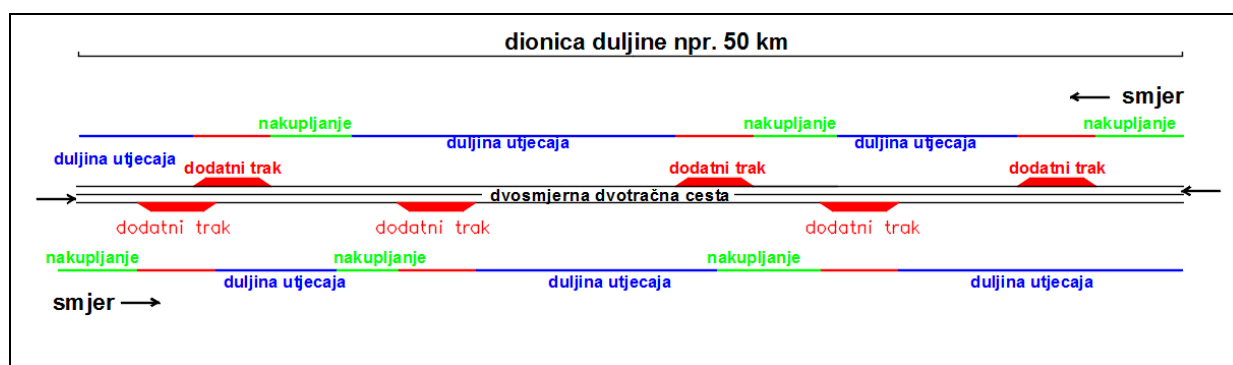
Kao što je prethodno spominjano, dodatni trak ima pozitivan utjecaj na određenoj udaljenosti i nakon fizičkog završetka, što pravilnikom nije obuhvaćeno. Efektivna duljina dodatnog traka je puno veća od fizičke duljine i ovisi o veličini toka u analiziranom smjeru. Nedostatak i pravilnika, a dijelom i HCM-a je to što jasno ne definira duljinu nakupljanja, što direktno određuje položaj i duljinu dodatnog traka na predmetnoj dionici.

Ovi problemi se danas mogu "relativno lako" riješiti primjenom simulacija prometa i na taj način bi se mogli optimalno "rasporediti" dodatni trakovi na mreži i iskoristiti taj pozitivan utjecaj.

Mogućnosti simulacijskih software-a, kako mikrosimalcijskih (npr. Vissim i Corsim), tako i makrosimalcijskih (npr. Visum) omogućuju i uključivanje velikog broja različitih parametara geometrije ceste, prometa, karakteristike vozača i voznog parka, koji posljedično definiraju brzinu i potrebe pretjecanja, a direktno utječu na duljinu nakupljanja, duljinu samog dodatnog traka i duljinu njegovog pozitivnog utjecaja.

Simulacijski programi omogućavaju i vizuelno praćenje svih radnji (animacije) koje se odvijaju u prometnom toku na analiziranom segmentu tijekom simulacije, a nakon simulacije daju rezultate za unaprijed zadane procjene koje se želi analizirati. Značaj računalnih simulacija je u tome što koriste znatno kompleksniji način proračuna i procjene prometnog toka od HCM metodologije, uzima u obzir više raznih parametara i daje nam vizuelni prikaz cijelog stanja tijekom simulacije.

Na slici 6 je shematski prikazano na koji način bi se mogao riješiti problem jedne dulje dionice ceste.



Slika 6. Shematski primjer rješenja primjenom dodatnog traka

Da bi se na ovakav način dobila najbolja rješenja, potrebno je definirati optimalne duljine i položaje dodatnih trakova na mreži, čime bi se omogućile "normalne" brzine za različite slučajeve nagiba, PGDP-a i udjela teških vozila, brzine slobodnog toka, itd. Nužno je odrediti i utjecaj dodatnih trakova na duljoj dionici ceste na sigurnost i kapacitet dionice. Time bi se dao značajan doprinos u prometnom, sigurnosnom, pa i ekonomskom smislu. Naravno, prije svega je potrebno analizirati uvjete odvijanja prometnog toka u našim uvjetima.

Ova rješenja se odnose na postojeću mrežu cesta koja je već izgrađena. Također, u svijetu je sve više prisutna izgradnja trotračnih cesta gdje bi se srednji trak koristio naizmjenično kao dodatni za pojedini smjer. Ovakva rješenja su također zanimljiva za razmatranje s obzirom na prometne potrebe i fizibilnost.

## 6. ZAKLJUČAK

Povećanjem prometa na cestama i sve većom brigom za postizanjem veće sigurnosti u prometu povećava se potreba za pronalaženjem jednostavnih, funkcionalnih i ekonomski prihvatljivih prometnih rješenja. S obzirom na ekonomska ograničenja, pa i realne potrebe kao optimalno rješenje se nameće dodatni trak.

Dodatni trak je prije svega jednostavno, funkcionalno i ekonomski prihvatljivo rješenje, uz sve prethodno spomenute njegove prednosti.

Ono što je nužno je prije svega unaprijediti principe planiranja i projektiranja dodatnog traka, prije svega uz pomoć softverskih alata koji omogućuju najbolju analizu, a kao rezultat bi se mogle dobiti i bolje smjernice za projektiranje dodatnog traka.

Također je potrebno, kao dio državne strategije, razmotriti i prethodno spomenute trotračne ceste koje bi u većini slučajeva mogle zadovoljiti prometne i druge potrebe.

## LITERATURA

[1] *Pravilnik o osnovnim uvjetima koje javne ceste, njihovi elementi i objekti na njima moraju ispunjavati s aspekta sigurnosti*, "Službeni glasnik BiH", broj 6/06, sarajevo 2007.

[2] *Transportation Research Board: Highway Capacity Manual. National Research Council, Washington, D.C. 2000*

# VREDNOVANJE KORISTI BICIKLISTIČKIH OBJEKATA, NA PRIMERU POSTOJEĆIH PUTEVA

Miloš Pavlović, mast.inž.saobr.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut za puteve, Beograd, milosapavlovic@gmail.com

**Rezime:** Rad će predstaviti, komentarisati i procenjivati povećanu upotrebu biciklizma koja bi trebalo da bude realizovana uz pomoć politike saobraćajnog planiranja.

Začetak same ideje ogleda se u obezbeđivanju biciklističke infrastrukture u vidu širokih ivičnih traka i biciklističkih staza na ulicama i izvan njih. Uprkos velikim troškovima, projektanti i eminentni stručnjaci iz domena saobraćaja opravdavaju potrebu za ovom vrstom infrastrukture. Međutim, u današnja ekonomski teška vremena imperativ je „štednja“ na svim dodatnim objektima. Ipak, u mnogim slučajevima ideju razvoja biciklizma kao vida transporta pospešuje tendencija za smanjenjem upotrebe automobila i njihovog pogubnog uticaja na životnu sredinu (zagađenost, potrošnja prirodnih resursa) i briga o zdravlju ljudi usled fizičke neaktivnosti.

Biciklizam kao način transporta ima mnoge prednosti po društvo: smanjuje troškove, smanjuje zagađenost i poboljšava zdravlje. Zbog upravo navedenih benefita, svakog dana raste broj gradova u svetu koji se trude da uvedu i promovišu biciklizam i koji pokušavaju da efektivno i pametno iskoriste svoje limitirane resurse.

Inovativna biciklistička infrastruktura sprovedena je na dve lokacije u Požarevcu sa ciljem da pruži bolju bezbednost i udobnost biciklistima. Slučaj grada Požarevca predstavljen je u ovom radu sa ciljem da pokaže kako predloženi pristupi mogu da predstavljaju značajan uticaj u okviru projekata putnog investiranja.

**Ključne reči:** biciklisti, biciklistička staza, nivo usluge, način transporta, infrastruktura, koristi.

## 1. UVOD

Biciklizam i vožnja bicikla kao načina transporta u svetu uzima sve veće učešće u vidovnoj raspodeli putovanja svakodnevice čoveka. Razvoj koncepta održivosti, kao i nagla populizacija promene načina života, okruženja i ponašanja čoveka kao jedinke, svakako utiče i na saobraćaj, odnosno transport – prevoz korisnika na postojećoj mreži puteva.

## 2. TREND I LOKACIJA ISTRAŽIVANJA

Naša država svakako kasni za evropskim standardima i razvojem pojedinih vidova transporta, pre svega zbog ekonomskih, finansijskih socijalnih uslova okruženja. Postoje naznake i neznatna pomeranja u razvoju i planiranju današnje mreže saobraćajnica, kako gradske tako i vangradske. Za razliku od sve većeg broja evropskih i američkih gradova u kojima postojanje biciklističkih staza postaje standard, a broj kilometara biciklističkih staza je u konstantnom porastu, u našoj državi to nije slučaj. Ipak, postoje mali pomaci u pojedinim slučajevima, koji u ovom trenutku ne pokazuju očekivane efekte, ali su svakako primetne promene koje će u budućnosti dati prave rezultate.

U prilog ovakvim tvrdnjama ide i „pilot“ istraživanje malog obima koje je sprovedeno u gradu Požarevcu. Grad Požarevac, kao i većina gradova u državi ne poseduje značajan broj biciklističkih staza, iako ima odličan „kapacitet“ i predispozicije za izgradnju istih i razvoj biciklističkog i pešačkog saobraćaja. Utemeljenje ovakvim tvrdnjama bazira se na činjenici da se nalazi u ravničarskom kraju sa prosečnim uzdužnim nagibima od 0,5-2%. Ipak, od 2012. godine načinjeni su prvi koraci u razvoju istih, te je do današnjih dana izgrađeno oko 14km biciklističkih staza.

## 3. METODOLOGIJA I REZULTATI ISTRAŽIVANJA

### 3.1. Vangradska saobraćajnica

Kao primer za predmetno istraživanje uzete su dve biciklističke staze (vangradska i gradska), kao reprezentni tipskih rešenja koja su uspešno realizovana i uključena u postojeću mrežu saobraćajnica. Vangradska biciklistička staza u dužini od 2,6 km proteže se na putu državnom IIA-160, deonica: Požarevac – Aleksandrovac, odnosno od izlaza iz grada do ulaza u naselje Lučica, u smeru ka Svilajncu. Biciklistička staza se nalazi van vangradske puta, fizički izdvojena od motorizovanih saobraćajnih tokova, razdelnim pojasom promenljive širine (2,2m - 3,5m). Na pojedinim odsecima deonice, biciklistička staza je i u službi

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: email

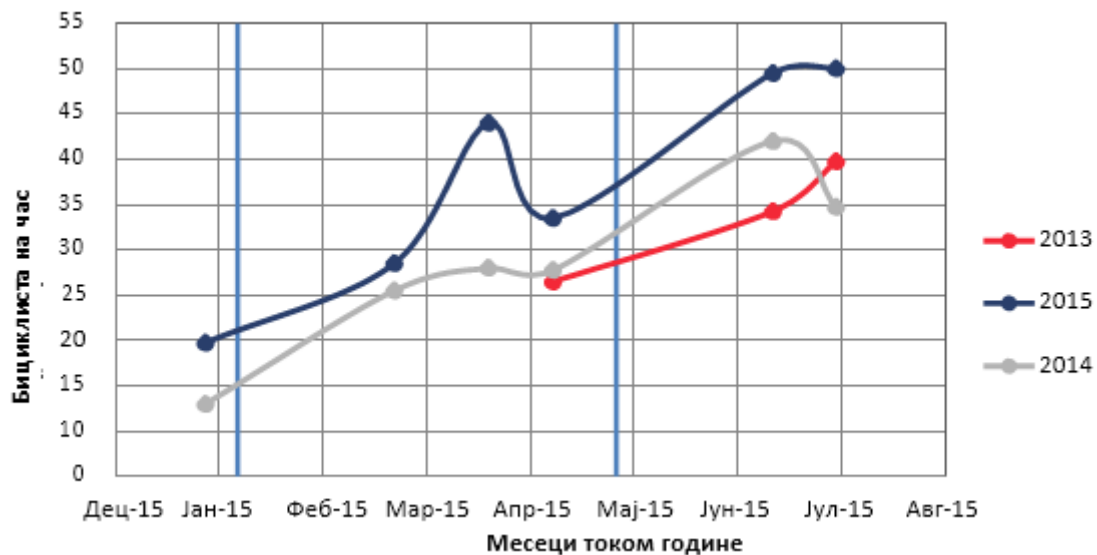
pešaka, obzirom da se trasa prolazi kroz naseljena mesta, te dolazi do povremenog mešanja sa pešačkim tokovima. Biciklistička staza je dvosmerna, širine 2,5m.



**Slika 1.** Vangradska biciklističaka staza

Tokom 2015. godine izvršeno je jednodnevno brojanje saobraćaja tokom meseci: maja, juna, jula, avgusta i septembra meseca, nakon čega je ustanovljeno opterećenje na stazi, odnosno broj biciklista tokom dana i broj biciklista tokom časa. Poređenjem raspoloživih podataka iz 2014. i 2013. godine, uočen je porast biciklista u odnosu na prethodne dve godine, što se može uočiti u narednoj tabeli i grafiku.

Primenom metodologije HCM-a i relevantnih pokazatelja utvrđen je kapacitet biciklističke staze, kao i nivo usluge. Dakle, dostignuti biciklistički tok od 26 biciklista/čas, odnosno 63 biciklista/dan, obezbeđuje najviši nivo usluge A, što ukazuje da postoji još prostora, odnosno kapaciteta za korišćenje biciklističke staze.



**Slika 2.** Protok na vangradskoj biciklističkoj stazi tokom meseci

### 3.2. Gradska saobraćajnica

Druga postojeća saobraćajnica je gradskog tipa, u dužini od približno 524m. Biciklistička staza je mešovitog karaktera, odnosno dozvoljeno je kretanje biciklističkih i pešačkih tokova. Širina biciklističke staze iznosi 2,5m. Staza je trasirana duž Partizanske ulice, između saobraćajnih čvorova - raskrsnica Partizanske i Nemanjine sa jedne strane i Partizanske i ul. Veljka Vlahovića sa druge strane. Trasa pružanja staze je uz ivicu saobraćajne trake, izdvojena od motornog saobraćaja ivičnjacima. Brojanje biciklista, koje je takođe izvršeno u istom periodu kao i u slučaju vangradske biciklističke staze, pokazuje značajne razlike. Mešovita biciklistička staza izgrađena je tokom 2014. i 2015. godine. Vrednost opterećenja biciklističkog toka koji se pojavljuje na stazi iznosi u proseku 12 biciklista/čas. Iako postoje pešački tokovi, njihov uticaj je neznatan na bicikliste koje se kreću stazom. Kao i u prethodnom slučaju funkcionalno vrednovanje saobraćajnice ukazuje da odnos protoka i kapaciteta uzima male vrednosti (0,1), što će reći da je kapacitet staze neiskorišćen, odnosno da je nivo usluge „A“ dostignutih tokova. Istraživanja i podaci o protoku na ovoj deonici za prethodnu godinu ne postoje uzimajući u obzir godinu izgradnje.



Slika 3. Biciklistička staza u gradskom okruženju

### 3.3. Rezultati ankete

Poređenjem i analizom rezultata vrednovanja biciklističkih tokova vangradske i gradske biciklističke staze, primetna je razlika u opterećenju, odnosno veličini biciklističkih tokova. Na vangradskoj biciklističkoj stazi broj korisnika je za 46% veći u odnosu na gradsku. Odgovor za vrednosti ovakvih pokazatelja može se pronaći u anketi korisnika koja je sprovedena u mesecu junu 2015. godine u kojoj je anketirano po 30 osoba (biciklista) na obe saobraćajnice. Anketa je sadržala pitanja koja ističu i ukazuju na važnost faktora koji utiču na spremnost korišćenja biciklističke infrastrukture. Kada je reč o vangradskoj stazi, 71% ispitanika je kao osnovni razlog korišćenja staze navelo osećaj bezbednosti i odvajanja od motorizovanog saobraćaja, 22% je navelo dobro okruženje, (ambijent, priroda...), dok 4% navelo cenu prevoza (tj. nepostojanje troškova). Ostali razlozi nisu bili od značajnijeg uticaja.

Gradska saobraćajnica je pokazala nešto drugačije rezultate, odnosno, drugim rečima (41%) ispitanika je navelo kao razlog bezbednost, zatim (38%) dužinu putovanja (relacije), (7%) okruženje, (3%) kao razlog cenu – troškove putovanja...

Kao osnovne nedostatke, odnosno činjenice zbog kojih bi ispitanici prešli na drugi način transporta, odnosno ne bi koristili postojeću infrastrukturu, u slučaju vangradske objekta, kao osnovni razlog korisnici su naveli loše stanje, tj. neodržavanje staze (93%), zatim povremeno mešanje sa pešačkim tokovima (4%), vremenski uslovi (2%)... Analizom ankete uslovima gradske sredine, kao osnovni nedostatak (68%) navodi se parkiranje, odnosno parkirana vozila na pešačko-biciklističkoj stazi, okruženje-neatraktivnost (28%), mešanje sa pešačkim tokovima (7%), neadekvatno održavanje (3%), itd...

Kuriozitet predstavlja činjenica da je 90%, odnosno 9 od 10 ispitanika, navelo da nema saznanje o postojanju biciklističke staze, kada je reč o gradskoj deonici. Naime, tokom vršenja istraživanja, brojanja saobraćaja i anketiranja učesnika, primećen je broj biciklista koji ne koriste biciklističku stazu, već se kreću ulicom, saobraćajnicom koja je namenjena prvenstveno kretanju motorizovanih saobraćajnih tokova, iako je biciklistička staza obeležena adekvatnim saobraćajnim znacima i oznakama na kolovozu. Otežane okolnosti, pre svega nesaradnja potencijalnih ispitanika, odnosno nemogućnost anketiranja ovakvih korisnika mreže, dovela je do malog uzorka od svega 10 ispitanika. Iako je mala vrednost uzorka, rezultati nedvosmisleno pokazuju na još uvek nizak nivo društvene svesti, odnosno visok stepen neznanja i neinformisanosti. Većina ispitanika (76%) ne poznaje značenje saobraćajnih znakova koji označavaju biciklističku stazu.



**Slika 4.** *Kretanje biciklista van staze*

Poražavajuća činjenica jeste podatak da je kao svrhu putovanja u oba slučaja, 93% procenata ispitanika navelo rekreaciju, dok je svega 2% navelo odlazak na posao...Ovakvi rezultati ukazuju na društvenu svest koja nije doživela svoju neophodnu promenu i da je neophodna primena strategijskog pristupa i zaokreta uz adaptaciju lokalnim uslovima sredine.

Nije teško zaključiti da je konstantna edukacija i obrazovanje potreban preduslov u pokretanju osnovnog zamajca za razvoj društva lokalne zajednice, ujedno i saobraćaja, stvarajući pri tome kvalitetnije uslove života.

## 4. KORISTI I MOGUĆNOSTI RAZVOJA

### 4.1. Ekonomske koristi

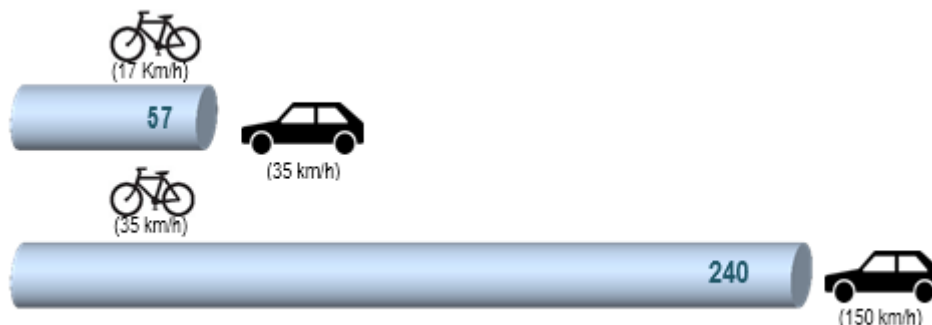
Ekonomske koristi pešačenja i korišćenja bicikla, analiziraju se i ogledaju pre svega kroz vrednovanje sledećeg: saobraćajnih nezgoda, transportnih uticaja, vrednosti vlasništva, poslove i industriju i turizam... Neke od važnijih ekonomskih koristi korišćenja bicikla uključuju:

- Troškove uštede saobraćajnih nezgoda;
- Izbegavanje vlasništva automobila, uticaj na okruženje, zavisnost od goriva;
- Pomoć u definisanje socijalnih troškova neaktivnosti, prekomerne težine, ljenjosti;
- Koristi lokalnoj ekonomiji kroz industriju, službe, zdravstvenu negu;
- Omogućava pristup poslovima i tranzitnim servisima za kategorije nevozača.
- Biciklizam povećava vrednost vlasničke imovine, zemljišta.
- Privlači strane investicije i podiže turizam...

#### 4.1.1 Saobraćajne nezgode

Prema raspoloživim podacima Policijske uprave u Požarevcu, u periodu od 2009 – 2012. godine zabeleženo je 22 saobraćajne nezgode u kojoj su učestvovali biciklisti na deonici državnog puta (IIA-160) na kojoj se sada nalazi biciklistička staza. Dakle, u proseku 7.33 nezgode/godini. Tokom 2013, 2014. i 2015. godine zabeležena su 2 saobraćajne nezgode sa biciklistima i to prilikom prelaska državnog puta, što u proseku predstavlja 0.6 nezgode / godini. Kada je reč o gradskoj biciklističkoj stazi, ne postoje dostupni podaci o saobraćajnim nezgodama. Izgradnja biciklističke staze nesumnjivo je donela koristi u povećanju bezbednosti i uštedama troškova nezgoda.

Važno je istaći da potencijalna opasnost koju automobil donosi sa sobom je značajno veća u odnosu na bicikl. Kinetička energija automobila tokom sudara (pri prosečnoj brzini od 35 km/h) je 57 puta veća u odnosu na bicikl (pri prosečnoj brzini od 17km/h). Pod pretpostavkom maksimalne brzine vozila od 150km/h (za bicikl 35km/h), kinetička energija je oko 240 puta veća.



Slika 5. Odnos razlike u kinetičke energije prilikom udara

#### 4.1.2 Zauzeće prostora - parking

U poređenju sa automobilima, biciklistima je potrebno malo prostora za kretanje, manevrisanje i parkiranje. Zauzeće prostora posmatrano kroz stacionarni saobraćaj dovodi do trajnog zauzeća i uzurpacije raspoloživog prostora, koje može biti izmereno i upoređeno. Prosečno parking mesto za automobile, može se zameniti sa 7-9 biciklističkih mesta. Izgradnja standardnog parking mesta za automobile košta između 4.000 – 8.000 €, a izgradnja natkrivenog mesta, ili u podzemnim garažama košta oko 16.000 €. U poređenju sa ovim činjenicama, izgradnja standardne parking površine na koju može da se smesti 8-10 bicikala košta oko 1.000 €. Natkrivena mesta, stvorila bi troškove od 1.100 – 1.300€. U prilog biciklističkim parking mestima ide i činjenica da ona mogu biti smeštena i u običnim parking garažama bez dodatnih troškova.



**Slika 6.** Parking – zauzeće prostora

Dakle, parking mesta namenjena automobilima ne samo da trajno zauzimaju zemljište i iziskuju troškove izgradnje, asfaltiranja, održavanja, već koštaju višestruko više. Isti prostor može biti iskorišćen na mnogo atraktivniji način, nego za parkiranje. Značajne uštede u prostoru i finansijskim ulaganjima mogu se načiniti u investiranjem u biciklistički saobraćaj.

Motorizovan saobraćajni tok, posmatran kroz propusnu moć, kapacitet biciklističkih staza je veći nego kapacitet standardne saobraćajnice. Umesto 2.000 voz/h na saobraćajnici širine 3.5m, može proći 14.000 biciklista/h. Na isti račun mogu se dodati i koristi korisnika koji koriste bicikl umesto automobila, jer to dovodi do užih ulica i manjeg zauzeća zemljišta. To je ujedno i efektivna mera u borbi sa saobraćajnim zagušenjima.

#### **4.1.3 Transportni uticaj - vlasništvo**

Svako putovanje načinjeno biciklom kao prevoznim sredstvom koje zamenjuje putovanje vozilom, smanjuje potrošnju fosilnih goriva, koja je povezana sa zagađenjem i gasovima koji utiču na efekat zelene bašte proizvedenih kao rezultat emisije gasova, kao i ostale štete koje narušavaju životnu sredinu a povezani su sa auto-transportom. Korišćenje bicikla štedi novac biciklistima i ujedno stvara ekonomske koristi sredini u kojoj žive. Vlasništvo bicikla kao prevoznog sredstva je ekonomično, za razliku od posedovanja automobila koje je skupo i uzima značajno učešće u troškovima stanovnika, odnosno vlasnika automobila. Gorivo, održavanje, osiguranje, parkiranje i drugi troškovi često čine 15 i više procenata prosečnih prihoda na nivou domaćinstva. Kada su obezbeđeni prateći objekti namenjeni upotrebi bicikla, ljudi više voze bicikl i troše manje sredstava na transport.

Vožnja bicikla od 10km svakog dana tokom odlaska na posao štedi približno 1.500€ na godišnjem nivou, posmatrajući transportne troškove. Takođe, parking za bicikle je besplatan, pristupačan i znatno zgodniji u odnosu na parking za automobile.

#### **4.1.4 Zaposlenje i industrija**

U razvijenim zemljama u proseku postoji preko 50 poslova koji su povezani sa biciklizmom, ili u njegovoj službi. To uključuje proizvodnju i iznajmljivanje bicikala, delova kao i prateće opreme, popravku i odražavanje bicikala, industriju hrane, odnosno nutritivne suplemente, itd... Lepeza povezanih poslova obuhvata kako najmanje radnje, tako i velike centre, odnosno predstavništva i robno-trgovinske centre. Dakle, direktne ekonomske koristi ogledaju se između ostalog i kroz prilike za zaposlenje, koja su rezultirala poslovima povezanim sa upotrebom bicikla; proizvodnjom, zatim iznajmljivanjem i održavanjem, planiranjem, projektovanjem i izgradnjom infrastrukture namenjene nemotorizovanom saobraćaju, zatim bezbedonosne rute i programi, biciklističke ture... Kako je već pomenuto, poslovi mogu biti direktno, ili indirektno povezani sa turizmom. Za sada u gradu ne postoje ovakve koristi, ali svakako se treba bazirati na ovakvom pristupu.



#### 4.1.5 Turizam

Biciklistički turizam može postati značajna komponenta ekonomskog profila jednog grada. Turisti učestvuju na lokalnim trkama, klubskim događajima i proslavama, turama, kao i u individualnim vožnjama i istraživanjima. Nezavistan turizam, kao i godišnji biciklistički događaji stvaraju koristi lokalnoj ekonomiji kroz novac koju su biciklisti spremni da potroše kako za troškove vezane za samu vožnju, tako i na hranu, piće, kupovinu, rekreaciju, obilazak znamenitosti... Organizovane biciklističke manifestacije takođe generišu povoljne poslovne uslove i atraktivno okruženje za lokalne medije i reklamne agencije, osoblje, obezbeđenje i ostale službe. Prepoznavanje pozitivnog ekonomskog uticaja specijalnih događaja i godišnje upotrebe bicikla značajno je povećano, ali u ovom trenutku zbog nedostataka adekvatnih podataka nije izmerljivo.

#### 4.1.6 Zdravstvene koristi

Koristi se mogu kvantifikovati i u pogledu zdravlja ljudi. Redovna fizička aktivnost doprinosi poboljšanju zdravlja i kvaliteta života svih ljudi. Svetska zdravstvena organizacija preporučuje najmanje 150 minuta kardiovaskularnih vežbi tokom dana, kao što su npr. pešačenje ili vožnja bicikla, kao dodatak treningu snage. Prema istim navodima korišćenje bicikla kao načina transporta, može se porediti sa svakodnevnim intenzivnim treningom od 150 minuta tokom cele sedmice. Benefiti u kardiovaskularnom sistemu se postižu i sa 10-minutnim vožnjama. Koristi koje se povezuju sa korišćenjem bicikla uključuju personalne(lične) koristi, zatim koristi zajednice, kao i društvene koristi. Poslediice fizička aktivnosti se manifestuju kroz:

- Smanjenje rizika od kardiovaskularnih bolesti i dijabetisa;
- Smanjuje rizik od pojave više vrsta kancera
- Smanjuje broj ugroženih astmom;
- Kontrolu i smanjenje telesne težine;
- Poboljšava raspoloženje i mentalno zdravlje;
- Smanjuje troškove zdravstvene nege;
- Smanjuje rizik od moždanog udara i prevremene smrti.

Tokom prošle dekade, pojavilo se veće prepoznavanje uticaja izbora načina transporta na zdravlje. Mnogi od ovih uticaja su direktno povezani sa javnim troškovima zdravstvene nege; kao i gubitkom produktivnosti tokom bolesti i nemogućnosti za rad. Ako se zdravlje populacije može poboljšati kroz povećanje nemotorizovanih vidova transporta, lični, privatni i javni – državni troškovi se mogu smanjiti. Studija koja je istraživala oko 2400 odraslih osoba je pokazala da su one osobe koje su koristile bicikl kao prevozno sredstvo do posla bile mršavije, boljeg raspoloženja, imali su bolji nivo triglicerida, krvnog pritiska i nivoa insulina, za razliku od onih koji su koristili „pasivan“ prevoz, odnosno prevoz automobilom.

Takođe, još jedna zanimljiv benefit korišćenja bicikla koji se pojavio poslednjih godina jeste da se sa porastom popularnosti povećava i bezbednost. Studija saobraćajnih nezgoda na raskrsnici, odnosno sudara iz 2004. godine, razmatrajući u obzir saobraćajne nezgode u kojima su učestvovali biciklisti, pokazuje da što je veći broj biciklista koji se pojavljuje na individualnoj raskrsnici, rizik od nastanka nezgode, odnosno udarca od strane motornog vozila, je često niži na raskrsnicama na kojima je broj biciklista veći, čak iako takve raskrsnice beleže veći broj nezgoda, odnosno sudara.

#### 4.1.7 Koristi životne sredine

Vožnje bicikla koristi minimum fosilnih goriva i predstavlja način transporta koji apsolutno ne zagađuje životnu sredinu. Bicikli smnjaju potrebu za proizvodnjom, servisom, održavanjem i na kraju uklanjanjem automobila.

Svakodnevna vožnja do posla od 10 km štedi oko 1500 kg emisije zagađivača koji stvaraju efekat staklene bašte na godišnjem nivou. Ovo se posebno odnosi na vremenske gubitke i zastoje u saobraćajnim tokovima, gde se tokom stajanja vozila u većim evropskim gradovima emituje od 10-13 miliona tona štetnih gasova svake godine. Povećana upotreba bicikla, posebno tokom vršnih časova, doprineće smanjenju dalje emisije štetnih gasova i zagađivača, kao i poboljšanju saobraćajnog toka.

#### 4.1.8 Socijalne koristi

Bicikli su mnogo pristupačniji za korišćenje od ostalih prevoznih sredstava u smislu kupovne moći i vlasništva. Dok svega 10% svetske populacije može sebi da priušti automobil, 80% populacije može da priušti bicikl.

Korišćenje bicikla omogućava ekonomsku i nezavisno putovanje za one kojima je u ostalim slučajevima putovanje onemogućeno. Vožnja bicikla omogućava povećanu mobilnost značajnom broju grupa populacije sa niskim procentom vlasništva automobila, odnosno grupama sa malim primanjima, nezaposlenim osobama, osobama preko 60 godina starosne dobi, osobama mlađim od 18 godina... Mešovita biciklističko-pešačka infrastruktura, staze, itd... generiše koristi za osobe sa invaliditetom, obezbeđujući im pri tome povećanu mrežu staza i putanja, kao i poboljšane prelaze, omogućavajući na taj način bolje uslove za kretanje.

Takođe, biciklizam omogućava ljudima bolju socijalnu interakciju, druženje i čine život prijatnijim u lokalnoj sredini. Sa porastom broja ljudi koji voze bicikl i pešače raste i dodatna mogućnost za druženjem na ulici i pojačava se osećaj zajedništva. Veći broj biciklista u okruženju pruža bezbednije saobraćajno okruženje, koje prvenstveno odgovara deci i mlađim uzrastima, stvarajući prednost za postepeni ulazak ovih ranjivih kategorija u saobraćaj.

#### 4.1.8 Transportne koristi

Bicikl kao prevozno sredstvo značajno manje oštećuje površinu površinu kolovoza za razliku od automobila. Biciklističke staze u stvari daju ljudima „autoputeve“ po ceni pešačenja. Iako ne postoje procenjeni troškovi nastali svakodnevnim zagušenjima, razumljivo je da smanjenje broja vozila smanjuje zagušenja, ujedno i prateće troškove.

Bicikli i biciklistička infrastruktura može se nadovezati na službe javnog transporta. U proseku 10 puta su domovi i domaćinstva u zoni prihvatljive distance koja se može preći biciklom, nego unutar pešačke zone – prihvatljivog rastojanja. Veliki broj putovanja koja za svrhu imaju odlazak u školu, su unutar biciklističke i pešačke zone. Zamena transportnog putovanja prilikom odlaska u školu, značajno bi smanjila zagušenja u oko zona škola i poboljšala bezbednost dece. Prevoz biciklom pruža uslugu „od vrata do vrata“, jer mogu biti parkirana znatno bliže ciljnoj destinaciji za razliku od automobila. Sve češći slučaj je da pružaju brže vreme putovanja i skraćuju dužine putovanja i do 5km, posebno u gradskoj sredini. Biciklističke staze i popločani trotoari, stvaraju određen broj beneficija za motocikliste, bicikliste i pešake. Ovo uključuje:

- Poboljšana bezbednost za bicikliste i motocikliste – tokom smanjene potrebe za preticanjem biciklista.
- Dodatan prostor za motocikliste u slučaju kvarova, incidentnih situacija, ili u slučaju izbegavanja potencijalnih nezgoda.
- Interventna vozila imaju više prostora za kretanje van svojih putanja,
- Dodatna preglednost na raskrsnicama i prilikom skretanja.

### 5. ZAKLJUČAK

Skorašnji socio-ekonomski i kulturološki trendovi pokazuju na visok nivo zahteva za zajednice prilagođene pešacima i biciklistima. Ipak, veliki broj gradova je u nedostatku sa adekvatnom infrastrukturom za bezbedno pešačenje i vožnju bicikla. Stvaranje prijateljski nastrojene zajednice ka nemotorizovanom saobraćaju počinje izgradnjom okruženja: povezivanjem destinacija bliskih jedna drugoj kao što su škole, parkovi, odgovarajući javni prostori, itd.. pri čemu se dozvoljava mogućnost zajedničkog korišćenja prostora i namene površina, zatim izgradnja objekata namenjenih tranzitu, implementiranje komercijalnih okruga u kojima je pristup omogućen i prilagođen biciklistima, pešacima kao i osobama sa invaliditetom.

Spoj planirane namene površina i transportno – saobraćajnog planiranja je od ključne važnosti za bezbedno i efektivno prilagođavanje putovanja drugačijim vidovima transporta, kao što su biciklizam i pešačenje. Istraživanja su pokazala da su infrastruktura i objekti kao što su izdvojene biciklističke staze, prioriteti na raskrsnicama, trotoari i klupe u bliskoj vezi sa bezbednošću i aktivnijem putovanjem. Kroz dizajn i redizajn, odnosno rekonstrukciju okoline i okruženja, kako bi učinili pešačenje i vožnju bicikla prijatnijim,

planeri i inženjeri mogu pomoći pomoći ljudima svih starosnih doba da dobiju vežbe koje su im neophodne kako bi živeli duže i zdravije živote. Izgradnja novog puta može koštati više desetina miliona evra, za razliku od mnogobrojnih pešačkih i biciklističkih infrastrukturnih projekata koji su izuzetno niske investicione vrednosti. Iako je na primeru grada pokazano da većina indirektnih koristi nije izmerljiva pre svega zbog nedostataka odgovarajućih baza podataka, ipak su primetne naznake i prvi pomaci ka promenama i boljitku za biciklističke tokove. Infrastrukturne smernice objedinjene u ovom dokumentu su usmerene ka ohrabivanju i poboljšanju izgradnje okruženja prilagođenog pre svega nemotorizovanim saobraćajnim tokovima - biciklistima i pešacima.

#### Literatura :

- [1] Bushell, Max; Poole, Bryan; Rodriguez, Daniel; Zegeer, Charles. (July, 2013). Costs for Pedestrian and Bicyclist Infrastructure Improvements: A Resource for Researchers, Engineers, Planners and the General Public, University of North Carolina at Chapel Hill's Highway Safety Research Center (HSRC).
- [2] Darren Flusche, June 2009, *Bicycling Means Business: The Economic Benefits of Bicycle Infrastructure*, Advocacy Advance — a partnership of the League of American Bicyclists and the Alliance for Biking & Walking
- [3] Hanson, R., Young, G., 2006, Active living and biking: Tracing the evolution of a biking system in Arlington, Virginia. *Journal of Health Politics, Policy & Law* 33(3), 387-406.
- [4] Heidi Garrett-Peltier, June 2011, *Pedestrian and Bicycle Infrastructure: A National Study of Employment Impacts*, Political Economy Research Institute, University of Massachusetts, Amherst
- [5] Johnson, Emily S., Ragland, David R, Cooper, Jill F, O'Connor, Terri,. 2005. *Pedestrian and Bicycle Safety Evaluation for the City of Emeryville at Four Intersections*. U.C. Berkeley
- [6] Kevin Krizek, (2005). Two Approaches to Valuing Some of Bicycles Facilities, *Journal of The American Planning Association*, Vol.72, No.3, 2006.
- [7] Kevin Krizek, Gavin Poindexter, Gary Barnes & Paul Mogush, May 2007, *Analysing the Benefits and Costs of Bicycle Facilities via Online Guidelines*, *Planning, Practice & Research*, Vol. 22, No. 2, pp. 197 – 213,
- [8] Lynn Weigand, June 2008, *The Economic Benefits of Bicycling*, Portland State University
- [9] Minnesota Department of Transportation, June 2013, *Quantifying the Economic Impact of Bicycling: A Literature Review with Implications for Minnesota*, TRS 1309
- [10] Research and Development Turner-Fairbank Highway Research Center, 1998, *FHWA Course on Bicycle and Pedestrian Transportation Instructor's Guide*, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Publication No. FHWA-RD-99-198
- [11] Transport Research Board,. 2012. *TR NEWS – Active Transportation, Implementing The Benefits*, *Journal of Science, Engineering*, Number 280: Jun–2012.
- [12] Wayne Pein, August 2008, *Evaluation of On-Street Bicycle Facilities Added to Existing Roadways*, Center for Transportation Research at The University of Texas at Austin

# SAVREMENI POSTUPCI ZA ANALIZU KAPACITETA I NIVOVA USLUGE ULIVNO-IZLIVNIH RAMPI NA AUTOPUTU

## CURRENT PROCEDURES FOR THE ANALYSIS OF CAPACITY AND LEVEL OF SERVICE MERGE AND DIVERGE SEGMENTS ON FREEWAY

Stanka Babić, dipl. inž. saobr.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, Beograd, [stankababic02@gmail.com](mailto:stankababic02@gmail.com)

**Rezime:** *Ulivne i izlivne rampe su spojni putevi koji omogućavaju prelaz saobraćajnih tokova sa jedne saobraćajnice na drugu. Da bi se utvrdilo da li se dostignuti i prognozirani protoci na ulivno-izlivnim rampama realizuju na zahtevanom Nivou Usluge neophodno je koristiti validne postupke i metode proračuna kapaciteta i Nivoa Usluge. Analize kapaciteta i Nivoa Usluge predstavljaju osnovu za kreiranje, projektovanje i optimizaciju ulivno-izlivnih rampi po meri saobraćajnih zahteva. Cilj ovog rada je analiza savremenih metodologija za utvrđivanje kapaciteta i Nivoa Usluge na ulivno-izlivnim rampama. U fokusu rada su promene i inovacije u američkom priručniku za kapacitet puteva (HCM) u periodu od 2000. do 2010. godine, kao i razlike u odnosu na metodologiju datu u nemačkom priručniku za kapacitet puteva (HBS). Testiranje navedenih postupaka i kalibrisanje za primenu na lokalne uslove je permanentan zadatak istraživača.*

**Ključne reči:** *kapacitet, ulivno-izlivne rampe, Nivo Usluge, HCM.*

**Abstract:** *On-ramps and off-ramps are connecting pathways that allow crossing traffic flows from one road to another. In order to determine whether the achieved and forecasted flows to the filler spout ramps implemented at the required level of service it is necessary to use the valid procedures and methods of calculation capacity and level of service. Analysis capacity and level of service are the basis for the creation, design and optimization of on-ramps and off-ramps custom traffic demands. The aim of this paper is to analyze contemporary methodology for determining the capacity and level of service to the filler spout ramps. The focus of the changes and innovations in the American manual for the capacity routes (HCM) in the period from 2000 to 2010, as well as differences in relation to the methodology given in the German manual for capacity roads (HBS). Testing and calibration procedures specified for use on local conditions is a permanent task for researchers.*

**Keywords:** *capacity, on-ramps and off-ramps, Level of Service, HCM.*

### 1. UVOD

Analize kapaciteta i Nivoa Usluge su analitičke procedure za argumentovano donošenje odluka, Tubić, 2006 [10]. Takve analize moguće je sprovesti pomoću savremenih priručnika koje se koriste u svetu, kao što su američki priručnik HCM (Highway Capacity Manual) i nemački HBS (Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen). Pored toga što sadrži koncepte, smernice i računске korake za analizu kapaciteta, kvaliteta i Nivoa Usluge različitih tipova puteva, najnovije izdanje HCM-a 2010 pruža inženjerima i planerima mogućnost da ga koriste i za procenu efekata projekata autoputa na zaštitu životne sredine [9]. Do sada je objavljeno pet izdanja sa unapređenim i ažuriranim procedurama u periodu 1950-2010. godine, a Transportni Istraživački Odbor (Transportation Research Board-TRB) trenutno radi na stvaranju HCM 2016, koji će se zvati 6. izdanje HCM-a [9]. Ovaj priručnik je bazni za sve priručnike čija je svrha proračun kapaciteta puteva i ulica i u njemu su jasno definisane praktične metode za procenu kapaciteta autoputeva, dvotračnih i višetračnih puteva, gradskih arterija, kružnih signalisanih i nesignalisanih raskrsnica, zona ukrštanja i preplitanja, ulivno-izlivnih rampi itd. On ujedno predstavlja i najčešće referisan i najprodavaniji dokument TRB-a. S druge strane, nemački priručnik HBS, takođe opisuje standardizovane metode za određivanje kapaciteta i procenu kvaliteta saobraćajnog toka za različite saobraćajne sisteme, a prvi put je objavljen u januaru 2002. godine pod nazivom HCS 2001. U radu će biti prikazana unapređenja HCM-a 2010 u odnosu na prethodno izdanje i razlike u odnosu na HCS 2001, s ciljem identifikacije inovacija metodologije koja bi olakšala primenu u lokalnim uslovima.

### 2. SPECIFIČNOST ANALIZA NIVOVA USLUGA U ZONAMA ULIVNO-IZLIVNIH RAMPI NA AUTOPUTU

U najvećem broju slučajeva, uslovi ulivanja i izlivanja na spojevima rampe su ti koji limitiraju veličinu saobraćajnih tokova koju ona prima Tubić, 2006 [10]. Na „brzim putevima“, vozila koja se uključuju sa ulivnih rampi i isključuju na izlivne rampe su glavni faktori koji dovode do pogoršanja uslova u saobraćajnom toku i pada Nivoa Usluge, ali igraju i važnu ulogu u saobraćajnim nezgodama [7]. Zbog svega navedenog, uloga postupaka analize Nivoa usluga i kapaciteta je od izuzetne važnosti. Prema (AASHTO, 2001) uređenje

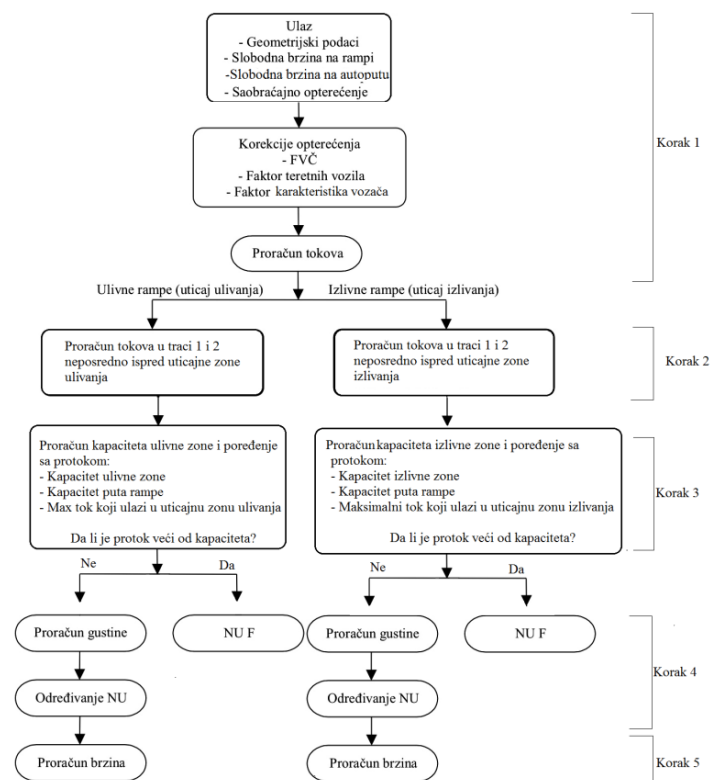
---

<sup>1</sup> Stanka Babić, student Master akademskih studija: [stankababic02@gmail.com](mailto:stankababic02@gmail.com)

ulivnih i izlivnih rampi ima značajan uticaj na protočnost i bezbednost saobraćaja [1]. S druge strane, nekoliko istraživanja je sprovedeno na izlivnim rampama autoputa sa fokusom utvrđivanja uticaja izlivnih rampi na efikasnost i bezbednost saobraćaja (Lu et al., 2010; Romero i Garsija, 2010; Anderson i Pedersen, 2010) [7]. Zaključeno je da samo brzina slobodnog toka na izlivnoj rampi ima značajan uticaj na kapacitet autoputa neposredno ispred ili iza uticajne zone izlivanja Al-Kaisi et al., 1999 [2]. Hunter et al., (2000) smatraju da sve rampe treba da budu projektovane tako da vozila mogu da pristupe ili napuste rampu brzinom koja nije manja od 50% brzine predviđene za autoput (70% je uobičajeno, a 85% od brzine na autoputu je poželjno da bude omogućeno na ulivno-izlivnim rampama) [4].

### 3. PRIMER POSTUPKA ZA ANALIZU KAPACITETA I NIVOA USLUGE PO HCM-U 2010 I UNAPREĐENJA U ODNOSU NA HCM 2000 I RAZLIKE U ODNOSU NA HBS 2001

Metodologija za analizu kapaciteta i Nivoa Usluge po HCM-u 2010 služi za analizu uslova saobraćaja i funkcionisanje autoputnih čvorova rampi. Na Slici 1. prikazan je algoritam za proračun kapaciteta i Nivoa Usluge autoputnog čvora rampe po HCM-u 2010.



**Slika 1.** Algoritam za analizu Nivoa Usluge odseka autoputa u zoni uticaja ulivno-izlivnih rampi, HCM 2010  
 Izvor: ("Highway Capacity Manual" HCM 2010, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2010, [6].)

Metodologija proračuna NU po HCM-u 2010 predviđa analizu NU u pet koraka: definisanje ulaznih veličina i pretvaranje tokova u PA/h, određivanje protoka u trakama 1 i 2 neposredno ispred uticajne zone ulivanja ili uticajne zone izlivanja, određivanje kapaciteta za zone uticaja ulivnih i izlivnih rampi, utvrđivanje gustine unutar ulivnih i izlivnih zona i Nivoa Usluge, kao i prosečne brzine kretanja vozila u zonama rampi. Ova metodologija se aproksimativno može koristiti i za analizu rampnih terminala i primeniti na drugim vrstama saobraćajnica, kao što su višetrakni i sabirno distributivni putevi, a koraci u metodologiji su isti kao i kod HCM-a 2000.

#### 3.1 Unapređenja u metodologiji HCM 2010 u odnosu na HCM 2000

Osnovni pokazatelj za određivanje Nivoa Usluge za odseke autoputeva pod uticajem ulivanja i izlivanja je gustina vozila u saobraćajnom toku i po HCM-u 2010 i HCM-u 2000, što je i prikazano u Tabeli 1. U suštini, nema značajnih razlika u koracima metodologije između ova dva izdanja, s tim da u HCM-u 2010 postoje određena unapređenja i osavremenjivanja u pojedinim koracima metodologije.

**Tabela 1. Kriterijumi Nivoa Usluge za zone uticaja ulivnih i izlivnih rampi na autoputu po HCM-u 2010 i HCM-u 2000**

Nivo Usluge	Gustina
	g (PA/km/traci)
	Zone ulivnih i izlivnih rampi na autoputu
A	$\leq 6$
B	$> 6 - 12$
C	$> 12 - 17$
D	$> 17 - 22$
E	$> 22$
F	$q/C > 1$

Izvor: ("Highway Capacity Manual" HCM 2010, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2010 [6]. "Highway Capacity Manual" HCM 2000, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2000 [5].)

Drugi korak metodologije analize kapaciteta i Nivoa Usluge jeste proračun tokova u traci 1 i 2 neposredno ispred uticajne zone ulivanja ili uticajne zone izlivanja. Proračun tokova u traci 1 i 2 neposredno ispred uticajne zone ulivanja se računa na sledeći način:  $q_{12} = q_A \cdot P_A$ , dok se kod uticajne zone izlivanja određuje

po sledećem obrascu:  $q_{12} = q_R + (q_A - q_R) \cdot P_{AU}$

gde je:

$P_A$  - deo nadolazećeg protoka koji ostaje u trakama 1 i 2;

$q_{12}$  - protok u trakama 1 i 2 neposredno ispred ulivanja, odnosno izlivanja (PA/h);

$q_R$  - protok na izlivnoj rampi (PA/h);

$q_A$  - protok na autoputu neposredno ispred ulivanja (PA/h);

$P_{AU}$  - deo prolaznog protoka u trakama 1 i 2 neposredno ispred izlivanja.

U ovom delu metodologije postoje razlike između HCM-a 2010 i HCM-a 2000. Za određivanje dela nadolazećeg protoka koji ostaje u trakama 1 i 2 ( $P_A$ ) kod uticajnih zona ulivanja definisane su jednačine za određivanje  $P_A$  za četvorotračni (2 trake po smeru), šestotračni (3 trake po smeru) i osmotračni autoput (4 trake po smeru). Razlike između HCM-a 2010 i HCM-a 2000 postoje upravo kod definisanja tih jednačina. U HCM-u 2000 postoji jedna jednačina za određivanje  $P_A$  kod osmotračnih autoputeva, dok je u HCM-u 2010 dodata još jedna jednačina za određivanje dela nadolazećeg toka koji ostaje u trakama 1 i 2 kod osmotračnih autoputeva. U HCM-u 2010 izbor korišćenja jednačina za određivanje  $P_A$  na osmotračnim autoputevima zavisi od veličine  $q_A/V_{sIR}$  (PA/km/h),  $V_{sIR}$  – brzina slobodnog toka na putu rampe. U HCM-u 2000 ne postoji ta mogućnost, već se koristi jedna jednačina. U Tabeli 2. su prikazne jednačine za određivanje  $P_A$  kod zona uticaja ulivnih rampi po HCM-u 2010 i HCM-u 2000.

Međutim, definisanje jednačina za određivanje dela prolaznog protoka u trakama 1 i 2 neposredno ispred izlivanja ( $P_{AU}$ ) je isto kod HCM-a 2010 i HCM-a 2000.

**Tabela 2. Jednačine za određivanje  $P_A$  kod zona uticaja ulivnih rampi, HCM 2010 i HCM 2000**

$q_{12} = q_A \cdot P_A$ (PA/h)		
	HCM 2010	HCM 2000
4-tračni autoput	$P_A = 1,000$	$P_A = 1,000$
6-tračni autoput	$P_A = 0,5775 + 0,000028 L_A$ (Jednačina 1) $P_A = 0,7289 - 0,0000135 (q_A + q_R) - 0,002048V_{sIR} + 0,0002L_P$ (Jednačina 2) $P_A = 0,5487 + 0,0801 q_N/L_N$ (Jednačina 3)	$P_A = 0,5775 + 0,000028 L_A$ (Jednačina 1) $P_A = 0,7289 - 0,0000135 (q_A + q_R) - 0,002048V_{sIR} + 0,0002L_P$ (Jednačina 2) $P_A = 0,5487 + 0,0801 q_N/L_N$ (Jednačina 3)
8-tračni autoput	$q_A/V_{sIR} \leq 44,71$ $P_A = 0,2178 - 0,000125 q_R + (q_A/V_{sIR})$ $q_A/V_{sIR} > 44,71$ $P_A = 0,2178 - 0,000125 q_R$	$P_A = 0,2178 - 0,000125q_R + (q_A/V_{sIR})$ (Jednačina 4)

Izvor: ("Highway Capacity Manual" HCM 2010, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2010 [6]. "Highway Capacity Manual" HCM 2000, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2000 [5].)

U ovom koraku je definisano i ravnotežno rastojanje ( $L_{RAV}$ ) koje se koristi u slučaju kada jednačina 1 daje istu vrednost za  $P_A$ , kao i jednačine 2 i 3 i postupak određivanja ravnotežnog stanja isti je i po HCM-u 2010 i po HCM-u 2000.

Ukoliko su rezultati jednačina 1 i 2 identični, proračun ravnotežnog rastojanja ( $L_{RAV}$ ) se obavlja po sledećoj jednačini:

$$L_{RAV} = 0,0675 \cdot (q_A + q_R) + 0,46 \cdot L_A + 10,24 \cdot V_{sIR} - 757$$

$L_A$  - Dužina trake za ubrzavanje (m).

Ukoliko je rastojanje do prethodne izlivne rampe veće ili jednako od  $L_{RAV}$  ( $L_P \geq L_{RAV}$ ), koristi se jednačina 1, a ako je  $L_P < L_{RAV}$  koristi se jednačina 2.

Slično kao u prethodnom slučaju, kada je potrebno izabrati jednačinu 1 ili jednačinu 3, proračun ravnotežnog stanja ( $L_{RAV}$ ) se obavlja po sledećoj jednačini:

$$L_{RAV} = \frac{q_N}{0,3596 + 0,001149 \cdot L_A}$$

$q_N$  – protok na narednoj rampi (PA/h).

U ovom slučaju ako je rastojanje do naredne izlivne rampe veće ili jednako od  $L_{RAV}$  ( $L_N \geq L_{RAV}$ ), koristi se jednačina 1, a ako je  $L_N < L_{RAV}$  koristi se jednačina 3.

Dalje razlike između ova dva izdanja, vezana su za ograničenja primene prethodnih obrazaca za ravnotežno rastojanje ( $L_{RAV}$ ), koja u HCM-u 2000 ne postoje.

Ograničenja se odnose na proračun protoka u trakama 1 i 2 ( $q_{12}$ ) i definisana su u HCM-u 2010:

- Prosečan protok po traci i to u spoljnim trakama autoputa (osim traka 1 i 2) ne bi trebalo da bude veći od 2700 PA/h/traci;
- Prosečan protok u spoljnim trakama ne bi trebalo da bude veći od prosečnog protoka u trakama 1 i 2 pomnožen sa 1,5.

Kada je bilo koje ograničenje prekoračeno, važi korigovana vrednost  $q_{12a}$  koja se mora proračunati i koristiti do kraja metodologije.

Na šestotračnim autoputevima (tri trake po smeru) uzima se u obzir samo jedna spoljna traka (traka 3). Obrazac po kom se računa protok u traci 3 je sledeći:

$$q_3 = q_A - q_{12}$$

gde je:

$q_3$  - protok na autoputu u traci 3 (PA/h);

$q_A$  - protok na autoputu neposredno ispred uticajne zone rampe (PA/h);

$q_{12}$  - protok u trakama 1 i 2 neposredno ispred uticajne zone rampe (PA/h).

Ako je  $q_3 > 2700$  (PA/h), onda se koristi sledeći obrazac:

$$q_{12a} = q_A - 2700$$

Ako je  $q_3 > 1,5 \cdot (q_{12}/2)$ , onda se koristi sledeći obrazac:

$$q_{12a} = q_A / 1,75$$

Na osmotračnim autoputevima (četiri trake po smeru) uzimaju se u obzir dve spoljne trake (traka 3 i 4). Obrazac po kom se računa protok u trakama 3 i 4 je sledeći:

$$q_{34} = \frac{q_A - q_{12}}{2}$$

gde je:

$q_{34}$  - protok u spoljašnjim trakama, traci 3 i 4 (PA/h/traci), a ostale veličine su prethodno definisane.

Ako je  $q_{34} > 2700$  (PA/h), onda se koristi sledeći obrazac:

$$q_{12a} = q_A - 5400$$

Ako je  $q_{34} > 1,5 \cdot (q_{12}/2)$ , onda se koristi sledeći obrazac:

$$q_{12a} = q_A / 2,5$$

U slučaju kada dođe do kršenja oba ograničenja u spoljnoj traci (traka 3 za šestotračni autoput) i spoljnim trakama (trake 3 i 4 za osmotračni autoput), obrazac koji daje veću vrednost za  $q_{12a}$  se koristi. Korigovana vrednost zamenjuje originalnu vrednost  $q_{12}$  i analiza se nastavlja.

Treći korak metodologije je proračun kapaciteta za autoputni čvor rampe i tri glavne tačke za njegov proračun su:

1. Kapacitet autoputa neposredno iza ulivne rampe ili neposredno ispred izlivne rampe;
2. Kapacitet puta rampe;
3. Maksimalni protok koji može da pristupi uticajnoj zoni rampe.

Vrednosti protoka koje treba sa kapacitivnog aspekta proveriti u zoni uticaja ulivne rampe su: maksimalan protok na delu autoputa iza zone ulivanja ( $q$ ) i maksimalan poželjan tok koji pristupa uticajnoj zoni ( $q_{R12}$ ), a u zoni uticaja izlivne rampe su: maksimalan protok na delu autoputa ispred zone izlivanja ( $q_{A1}$ ) ili posle zone izlivanja ( $q_A$ ), kao i maksimalan poželjan tok koji pristupa uticajnoj zoni ( $q_{12}$ ). U Tabeli 3. su date ove veličine maksimalnih protoka koje su u funkciji slobodnih brzina i broja traka na autoputu i nema promena u vrednostima u HCM-u 2010 u odnosu na HCM 2000.

**Tabela 3.** Max.vrednosti protoka, odnosno kapaciteta za uticajne zone ulivanja ili izlivanja, HCM 2010 i HCM 2000

Slobodna brzina na autoputu (km/h)	Max protok na delu autoputa iza zone ulivanja ( $q$ ), max protok na delu autoputa ispred zone izlivanja ( $q_{A1}$ ) ili posle zone izlivanja ( $q_A$ ), (PA/h)				Max poželjni tok koji pristupa uticajnoj zoni ulivanja, $q_{R12}$ (PA/h)	Max poželjni tok koji pristupa uticajnoj zoni izlivanja, $q_{12}$ (PA/h)
	Broj traka po smeru					
	2	3	4	> 4		
120	4 800	7 200	9 600	2 400/traci	4600	4 400
110	4 700	7 050	9 400	2 350/traci	4600	4 400
100	4 600	6 900	9 200	2 300/traci	4600	4 400
90	4 500	6 750	9 000	2 250/traci	4600	4 400

Izvor: ("Highway Capacity Manual" HCM 2010, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2010 [6]. "Highway Capacity Manual" HCM 2000, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2000 [5].)

Kapacitet puta rampe je u funkciji broja traka na rampi i slobodne brzine i njegove vrednosti u HCM-u 2010 nisu promenjene u odnosu na prethodno izdanje što je i priloženo u Tabeli 11. Ovaj korak je u HCM-u 2010 proširen sa prikazom kapaciteta višetračnog puta u uticajnoj zoni ulivnih ili izlivnih rampi, kao i kapaciteta sabirno distributivnih puteva na kojima postoje rampe prikazano u narednoj tabeli.

**Tabela 4.** Kapacitet višetračnog puta iza ulivne zone ili ispred izlivne zone rampe ili kapacitet sabirno distributivnih puteva na kojima postoje rampe po HCM-u 2010

Slobodna brzina višetračnog puta ili sabirno distributivnog puta (km/h)	Kapacitet višetračnog puta u uticajnoj zoni ulivnih ili izlivnih rampi ili kapacitet sabirno distributivnih puteva na kojima postoje rampe			Max poželjni tok koji pristupa uticajnoj zoni ulivanja, $q_{R12}$ (PA/h)	Max poželjni tok koji pristupa uticajnoj zoni izlivanja, $q_{12}$ (PA/h)
	Broj traka po smeru				
	2	3	>3		
$\geq 100$	4400	6600	2200/traci	4600	4400
90	4200	6300	2100/traci	4600	4400
80	4000	6000	2000/traci	4600	4400
70	3800	5700	1900/traci	4600	4400

Izvor: ("Highway Capacity Manual" HCM 2010, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2010 [6].)

Kriterijum za utvrđivanje Nivoa Usluge za zone ulivnih i izlivnih rampi je gustina unutar uticajne zone ulivanja, odnosno uticajne zone izlivanja, a u Tabeli 1. su reperne vrednosti ovog kriterijuma. Određivanje i detekcija Nivoa Usluge "F" zasniva se jedino na poređenju veličine merodavnog protoka i kapaciteta, a za procenu gustine u uticajnoj zoni ulivanja koristi se sledeća jednačina i ona se koristi samo za stanja nezasićenog toka:

$$G_R = 3,402 + 0,00456 \cdot q_R + 0,0048 \cdot q_{12} - 0,01278 \cdot L_A$$

Za procenu gustine u uticajnoj zoni izlivanja koristi se sledeća jednačina:

$$G_R = 2,642 + 0,0053 \cdot q_{12} - 0,0183 \cdot L_D$$

gde je:



$G_R$  - gustina uticajne zone ulivanja, odnosno izlivanja (PA/h/traci);  
 $q_R$  - vršni 15-min merodavni protok na ulivnoj rampi (PA/h);  
 $q_{12}$  - protok koji pristupa zoni ulivanja, odnosno izlivanja (PA/h);  
 $L_D$  - dužina trake za usporavanje (m).

Postupak procene gustine u uticajnoj zoni ulivanja ili izlivanja je isti kod HCM-a 2010 i HCM-a 2000, kao i postupak utvrđivanja prosečnih brzina vozila u uticajnoj zoni rampe i prosečnih brzina vozila u svim trakama (uključujući i spoljne trake) u dužini uticajne zone rampe, odnosno 450m. U Tabeli 5. su prikazani obrasci za utvrđivanje prosečnih brzina na autoputu u zoni uticaja ulivno-izlivnih rampi. U ovom koraku metodologije su prikazani i obrasci za proračun prosečnih brzina svih vozila na autoputnom čvoru rampe dati u Tabeli 6. koji se ne razlikuju u HCM-u 2010 u odnosu na HCM 2000. Obrasci u Tabeli 5. i Tabeli 6. su primenjivi samo za uslove stabilnog saobraćajnog toka (tj. za Nivo Usluge "A"- "E").

**Tabela 5. Prosečne brzine na autoputu u zoni uticaja ulivno-izlivnih rampi, HCM 2010 i HCM 2000**

	Prosečna brzina u trakama 1 i 2	Prosečna brzina u spoljnim trakama
Ulivne zone	$V_R = V_{slA} - (V_{slA} - 67) \cdot U_V$ $V_V = 0,321 + 0,0039e^{(q_{R12}/1000)} - 0,004 \cdot (L_A \cdot V_{slR}/1000)$	$V_S = V_{slA}$ ako je $q_{SP} < 500$ PA/h $V_S = V_{slA} - 0,0058 \cdot (q_{SP} - 500)$ ako je $q_{SP} = 500$ do 2 300 PA/h $V_S = V_{slA} - 10,52 - 0,01 \cdot (q_{SP} - 2300)$ ako je $q_{SP} > 2 300$
Izlivne zone	$V_R = V_{slA} - (V_{slA} - 67) \cdot I_V$ $I_V = 0,883 + 0,00009 \cdot q_R - 0,008 \cdot V_{slR}$	$V_S = 1,06 \cdot V_{slA}$ ako je $q_{SP} < 1 000$ PA/h $V_S = 1,06 \cdot V_{slA} - 0,0062 \cdot (q_{SP} - 1000)$ ako je $q_{SP} \geq 1 000$

Izvor: ("Highway Capacity Manual" HCM 2010, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2010 [6]. "Highway Capacity Manual" HCM 2000, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2000 [5].)

**Tabela 6. Prosečne brzine za sva vozila na autoputnom čvoru rampe, HCM 2010 i HCM 2000**

Prosečan protok u spoljnim trakama $q_{SP}$ (PA/h/traci)	$q_{SP} = \frac{q_A - q_{12}}{N_S}$
Prosečna brzina za ulivne rampe	$V = \frac{q_{R12} + q_{SP} \cdot N_S}{\left(\frac{q_{R12}}{V_R}\right) + \left(\frac{q_{SP} \cdot N_S}{V_S}\right)}$
Prosečna brzina za izlivne rampe	$V = \frac{q_{12} + q_{SP} \cdot N_S}{\left(\frac{q_{12}}{V_R}\right) + \left(\frac{q_{SP} \cdot N_S}{V_S}\right)}$

Izvor: ("Highway Capacity Manual" HCM 2010, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2010 [6]. "Highway Capacity Manual" HCM 2000, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2000 [5].)

$V_R$  - srednja prostorna brzina vozila unutar uticajne zone rampe (km/h); kod zona ulivanja i izlivanja ovo obuhvata protoke  $q_{12}$ ;  
 $V_S$  - srednja prostorna brzina vozila u spoljnim trakama (trake 3 i 4, gde postoje) unutar 450 m duge uticajne zone rampe (km/h);  
 $V$  - prosečna brzina vozila u svim trakama unutar 450 m duge uticajne zone rampe (km/h);  
 $V_{slA}$  - brzina slobodnog toka na autoputu koji pristupa zoni ulivanja ili izlivanja (km/h);  
 $q_{SP}$  - prosečan protok po traci u spoljnim trakama (trake 3 i 4, tamo gde postoje), na početku uticajne zone rampe (PA/h/traci);  
 $N_S$  - broj spoljnih traka na autoputu u jednom smeru (1 traka za šetotračni, 2 trake za osmotračni autoput);  
 $U_V$  - parametar za proračun brzine u zoni ulivanja;  
 $I_V$  - parametar za proračun brzine u zoni izlivanja.

### 3.2 Razlike u metodologiji HCM 2010 u odnosu na HBS 2001

Kriterijum za definisanje Nivoa Usluge kod HCM-a 2010 je gustina. Vrednosti gustine za Nivo Usluge od „A” do „E” podrazumevaju stabilne uslove u saobraćajnom toku unutar uticajne zone ulivno-izlivnih rampi. Za razliku od HCM-a 2010, u HBS-u 2001 je za analizu Nivoa Usluge u zonama uticaja ulivno-izlivnih rampi definisan jedinstveni kriterijum stepen popunjenosti  $a(q_m/C)$ , odnosno relacija merodavni tok/kapacitet. Za različite veličine ovog koeficijenta, tabelarno su definisani odgovarajući Nivoi Usluge za zone uticaja ulivno-izlivnih rampi. U HCM-u to nije slučaj, jer se na osnovu odnosa  $q/C$  ukoliko je veći od 1 automatski dodeljuje Nivo Usluge „F”, a ukoliko to nije slučaj, postupak se nastavlja po sledećim koracima metodologije. U Tabeli 7. su prikazani kriterijumi Nivoa Usluge po HCM-u 2010 i HBS-u 2001.

**Tabela 7. Kriterijumi Nivoa Usluge po HCM-u 2010 i HBS-u 2001**

Nivo Usluge	HCM 2010	HBS 2001
	Gustina $g$ (PA/km/traci)	Stepen popunjenosti $a$ ( $q_m/C$ )
A	$\leq 6$	$\leq 0,30$
B	$> 6 - 12$	$\leq 0,55$
C	$> 12 - 17$	$\leq 0,75$
D	$> 17 - 22$	$\leq 0,90$
E	$> 22$	$\leq 1,00$
F	$q/C > 1$	-

Izvor: ("Highway Capacity Manual" HCM 2010, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2010 [6]. FGSV "Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen-HBS 2001", Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen, Köln, 2001 [3].)

Analiza kapaciteta za zone ulivanja u HCM-u 2010 prikazana je na odsecima autoputeva, kao i na odsecima višetraknih i sabirno distributivnih puteva, a preporučene vrednosti kapaciteta glavnog pravca iza ulivne zone date su u Tabeli 8. i u funkciji su broja traka po smeru i slobodne brzine na autoputu. U HBS-u 2001 se ne uzima u obzir slobodna brzina na odsecima autoputeva ili višetraknih puteva za analizu kapaciteta, već su preporučene vrednosti kapaciteta odseka autoputa ili višetraknog puta iza ulivne zone u funkciji broja traka, položaja u odnosu na naseljeno područje i učešća teretnih vozila što je prikazano u Tabeli 9.

**Tabela 8. Vrednosti kapaciteta za zone ulivanja, HCM 2010**

Slobodna brzina na autoputu (km/h)	Max protok na delu autoputa iza zone ulivanja, $q$ (PA/h)				Max poželjni tok koji pristupa uticajnoj zoni, $q_{R12}$ (PA/h)
	Broj traka po smeru				
	2	3	4	>4	
120	4 800	7 200	9 600	2 400/traci	4 600
110	4 700	7 050	9 400	2 350/traci	4 600
100	4 600	6 900	9 200	2 300/traci	4 600
90	4 500	6 750	9 000	2 250/traci	4 600

Izvor: ("Highway Capacity Manual" HCM 2010, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2010 [6].)

**Tabela 9. Kapaciteti glavnog kolovoza iza zone uticaja ulivne rampe (bez ograničenja brzine za ravničarski teren, padove i uspone do 2%), HBS 2001**

Broj traka	Položaj u odnosu na naseljeno područje	Kapacitet $C$ (voz/h/smeru)		
		Učešće teških vozila u toku		
		0%	10%	20%
3	izvan	5400	5100	4800
	unutar	5700	5400	5100
2	izvan	3600	3500	3400
	unutar	4000	3800	3600

Izvor: (FGSV "Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen-HBS 2001", Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen, Köln, 2001 [3].)

Pored toga HCS 2001 prikazuje i vrednosti kapaciteta glavnog pravca iza ulivne zone u funkciji ograničene brzine, broja traka i učešća teretnih vozila dato u Tabeli 10, što kod HCM-a 2010 to nije slučaj.

**Tabela 10. Kapaciteti glavnog kolovoza iza zone uticaja ulivne rampe sa ograničenjem brzine (za ravničarski teren, padove i uspone do 2%), HBS 2001**

Broj traka	Ograničenje brzine (km/h)	Kapacitet C (voz/h/smeru)		
		Učešće teških vozila u toku		
		0%	10%	20%
3	120	5700	5400	5100
	100 / 80	5800	5500	5200
2	120	4000	3800	3600
	100/80	4100	3900	3700

Izvor: (FGSV "Handbuch fur die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen-HBS 2001", Forschungsgesellschaft fur Straßen und Verkehrswesen, Koln, 2001 [3].)

Pored razlika u kapacitetu na osnovnim odsecima autoputeva ili višetračnih puteva, razlike između ova dva priručnika postoje i pri proračunu kapaciteta puta rampe. Kod HCM-a 2010 kapacitet puta rampe je u funkciji slobodne brzine na rampi, kao i broja traka na rampi (jednotračne ili dvotračne) i isti je i za ulivne i za izlivne rampe, a prikazan je u Tabeli 11.

Kod HBS 2001 kapacitet puta rampe je dat samo za izlivne rampe, jer je u ovom priručniku analiza uslova saobraćaja i kapaciteta zone ulivne rampe kao funkcionalne komponente priključka fokusirana na dva kritična područja i to: područje spajanja i utvrđivanje maksimalnih protoka u zoni ulivanja i područje glavnog pravca iza zone ulivanja i kapacitivna provera mogućnosti prihvatanja maksimalnih merodavnih tokova na glavnom kolovozu iza zone ulivanja. Kapacitet puteva rampi zavisi od tipa izlivne rampe, a prema važećem nemačkom pravilniku za projektovanje denivelisanih raskrsnica predviđena su 4 standardna tipa izlivnih zona od A1 do A4 koja su data Slikom 2. Kod puteva izlivnih rampi sa dve saobraćajne trake (tipovi izlivnih zona od A2 do A4) kapacitet je u znatnoj meri određen zauzetošću trake u okviru izlaza. Kod tipa A2 izlivne zone može se pravilnim konceptom upravljanja saobraćaja i savremenom signalizacijom dostignuti kapacitet od 2550 voz/h. Kod tipova izlivnih zona A3 i A4 se zbog boljeg iskorišćenja obeju traka na izlazu preporučuje kapacitet od 3000 voz/h. Kapacitet puta izlivne rampe po HBS-u 2001 za navedene tipove izlivnih rampi prikazan je u Tabeli 12.

**Tabela 11. Kapacitet puta rampe, HCM 2010**

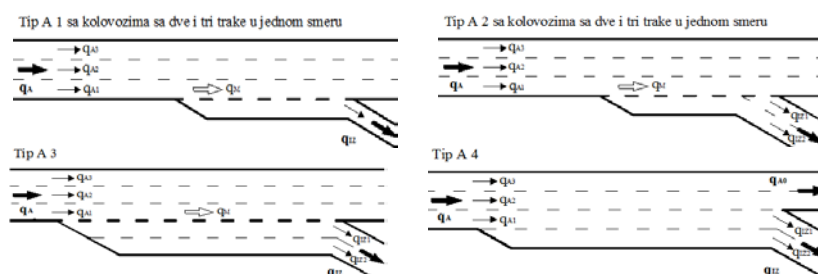
Slobodna brzina na rampi (km/h)	Kapacitet puta rampe (PA/h)	
	Jednotračna rampa	Dvotračna rampa
>80	2200	4400
65 - 80	2100	4200
50 - 65	2000	4000
≥ 30 - 50	1900	3800
< 30	1800	3600

**Tabela 12. Kapacitet puta izlivne rampe, HBS 2001**

Tip izlivne rampe	Kapacitet puta rampe (voz/h)
Tip A1	1500
Tip A2	2550
Tip A3	3000
Tip A4	3000

Izvor: (FGSV "Handbuch fur die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen-HBS 2001", Forschungsgesellschaft fur Straßen und Verkehrswesen, Koln, 2001 [3].)

Izvor: ("Highway Capacity Manual" HCM 2010, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2010 [6].)



**Slika 2. Standardni tipovi izlivnih zona, HBS 2001**

Izvor: (FGSV "Handbuch fur die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen-HBS 2001", Forschungsgesellschaft fur Straßen und Verkehrswesen, Koln, 2001 [3].)

Razlika u odnosu na američki priručnik za kapacitet puteva, predstavlja i to što su u HBS-u definisane maksimalne vrednosti protoka, koje merodavni protok ne sme da prekorači da bi se zadržao odgovarajući, željeni Nivo Usluge. Ove maksimalne vrednosti određene su u skladu sa definisanim stepenom popunjenosti za svaki definisani Nivo Usluge i prikazani su tabelarno. Takođe za praktičnu primenu i analizu Nivoa Usluge razvijeni su i dijagrami sa kojih se očitava Nivo Usluge, za unetu vrednost merodavnog protoka sa puta ulivne rampe ( $q_{UL}$ ) i vrednost saobraćajnog toka na prolaznom glavnom kolovozu pre ulivne zone rampe ( $q_A$ ). Ova mogućnost postoji samo za ulivne rampe i dijagrami se razlikuju u zavisnosti od standardnih tipova ulivnih zona kojih ima pet (E1 do E5), a ovakav postupak u HCM-u nije moguć.

#### 4. ZAKLJUČCI I PREPORUKE

U radu su prikazana unapređenja HCM-a 2010 u odnosu na prethodno izdanje i razlike u odnosu na HCS 2001, s ciljem identifikacije inovacija metodologije koja bi olakšala primenu u lokalnim uslovima. U suštini, nema značajnih razlika u koracima metodologije između HCM-a 2010 i HCM-a 2000, s tim da u HCM-u 2010 postoje određena unapređenja i osavremenjivanja u pojedinim koracima metodologije. HCM metodologija je fleksibilnija, omogućava projektantima varijacije projektnih elemenata i uključuje veliki broj različitih slučajeva. Nemački priručnik HBS 2001 je dosta determinisan, a metodologija je definisana za određene tipove ulivno-izlivnih rampi koje su definisane u nemačkim pravilnicima za projektovanje puteva, što ujedno predstavlja i najveći nedostatak ove metodologije i onemogućavaju se univerzalnije primene van Nemačke. Za potencijalnu primenu analiziranih postupaka, neophodno je nastaviti sa testiranjem navedenih metodologija istraživanjem specifičnosti uslova u toku, projektnih rešenja definisanih u pravilniku o projektovanju i na kraju kalibrisati model na lokalne uslove.

#### Literatura

- [1] AASHTO, 2001. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.
- [2] Al-Kaisy, A., Stewart, A., Van Aerde M. (1999). A simulation approach for examining capacity and operational performance at freeway diverge areas, Canadian Journal of Civil Engineering.
- [3] FGSV "Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen - HBS 2001", Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen, Köln, 2001.
- [4] Hunter, M., Machemehl R., Tsyganov, A. 2000. Reevaluation of ramp design speed criteria: summary report. Center for Transportation Research, The University of Austin, Texas.
- [5] "Highway Capacity Manual" HCM 2000, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2000.
- [6] "Highway Capacity Manual" HCM 2010, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2010.
- [7] Martinez, P., Garcia, A., Moreno, A. 2011. Traffic Microsimulation Study to Evaluate Freeway Exit Ramps. Universidad Politécnica de Valencia, Spain.
- [8] RAL-K-2. Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL), Teil: Knotenpunkte (RAL-K), Abschnitt 2: Planfreie Knotenpunkte, Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (Hrsg.), FGSV 290/5. Köln: FGSV Verlag, 1976. Berichtiger Nachdruck 1991.
- [9] Ryus, P., Vandehey M., Elefteriadou, L., Dowling, R., Ostrom, B. Highway capacity manual 2010. TR News March-April 2011.
- [10] Tubić, V. (2006). Kapacitet i Nivo Usluge denivelisanih raskrsnica. Saobraćajni fakultet. Univerzitet u Beogradu.

# FAZI FLOYD-OV ALGORITAM ZA ODREĐIVANJE OPTIMALNIH PUTEVA SAOBRAĆAJNIH SREDSTAVA SA STANOVIŠTA ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE

Milica Šelmić<sup>1</sup>, Branka Dimitrijević, Miloš Nikolić, Katarina Vukadinović

Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet

**Rezime:** Tradicionalne procedure za određivanje optimalnih puteva na transportnim mrežama obično uzimaju u obzir vreme putovanja i/ili rastojanja između čvorova. Moderni navigacioni sistemi ne vode računa o aspektu zagađenja okoline i, samim tim, o izboru puta koji ima najmanji negativan uticaj na okruženje. Ovo je posebno značajno kod rutiranja teretnog saobraćaja gde se teži njegovom izmeštanju iz gradskih i naseljenih zona. Optimalan put u ovom slučaju podrazumeva minimizaciju kretanja kroz navedene zone. Uobičajeno se za izbor optimalnog puta (najkraćeg, najjeftinijeg, itd.) koristi Floyd-Warshall-ov algoritam. U ovom radu je kao parametar (težina grane) za pronalaženje najpodesnijeg puta korišćena gustina naseljenosti duž grana, a kako ova veličina nije potpuno precizno definisana korišćen je fazi Floyd-ov algoritam. Dva su ključna pitanja na koja bi trebalo naći odgovor kod primene Floyd-ovog algoritma u fazi okruženju: sabiranje težina dve grane i poređenje težina koje su predstavljene fazi brojevima. Model je testiran na fiktivnoj mreži.

**Ključne reči:** Floyd-ov algoritam, Fazi brojevi, Smanjivanje zagađenja

## 1. UVOD

Saobraćajne gužve u urbanim i naseljenim oblastima su se značajno povećale u protekle dve decenije. Negativne posledice saobraćajnih gužvi se ogledaju kroz povećanje vremena putovanja i broja zaustavljanja, neočekivana kašnjenja, veće transportne troškove, pojavu neprijatnosti kako za vozača tako i za putnike. Sa stanovišta zaštite životne sredine, saobraćajne gužve predstavljaju vodeći problem i utiču na zagađenje vazduha i vode, pojačavanje buke, ali i nastanak saobraćajnih nezgoda. Između ostalog, veliki problem predstavlja teretni saobraćaj koji prolazi kroz gradska jezgra i samim tim multiplicira negativne uticaje saobraćaja na životnu sredinu.

Ublažavanje zagušenja izgradnjom novih ili proširenjem postojećih saobraćajnica je u mnogim slučajevima nepraktično ili nemoguće usled geografskih i urbanističkih ograničenja. Saobraćajni planeri i inženjeri su uveli različite strategije upravljanja saobraćajnom tražnjom u pokušaju smanjenja trenda rasta gužvi. Jedan od mogućih načina da se upravljačkim akcijama smanje negativni uticaji saobraćaja na životnu sredinu jeste izmeštanje teretnog saobraćaja van naseljenih zona. Ovo se postiže određivanjem puteva teretnih vozila na način da akcenat bude na saobraćajnicama manjeg obima saobraćaja i obilaznicama oko gradskog jezgra.

Svi modeli za izbor optimalnog puta mogu biti sistematizovani u četiri grupe (Teodorović, 2007):

- Izbor optimalnog puta između dva specifična čvora,
- Izbor optimalnog puta ili  $k$  puteva između jednog i svih ostalih čvorova na mreži,
- Izbor optimalnog puta ili  $k$  puteva između svih parova čvorova na mreži,
- Izbor optimalnog puta između dva čvora na mreži uzimajući u obzir unapred definisane čvorove koji bi morali da budu posećeni duž puta.

Jedan od najpoznatijih i najefikasnijih algoritama za određivanje optimalnih puteva između svih parova čvorova na mreži je Floyd-ov algoritam. Floyd-ov algoritam može biti uspešno primenjen u slučaju kada je mreža simetrična (rastojanje od čvora A do čvora B je jednako rastojanju od B do A), kao i u slučaju nesimetrične mreže. Ova tradicionalna procedura za određivanje optimalnih puteva na transportnim mrežama obično uzima u obzir vreme putovanja i/ili rastojanje između čvorova. U cilju određivanja najboljeg puta sa stanovišta zaštite životne sredine, u ovom radu je analizirana gustina naseljenosti duž pojedinih grana. Gustina stanovništva ili gustina naseljenosti je srednji broj stanovnika na površini određenog područja (država, regija ili slično), i po pravilu se izražava u "broj stanovnika na  $\text{km}^2$ ". Izračunava se tako što se broj stanovnika područja podeli sa površinom istog područja.

Veoma često ovaj parametar nije moguće precizno odrediti. Drugim rečima, postoji neizvesnost kada se definiše gustina naseljenosti (vreme merenja, da li je popis bio relevantan, da li je precizno određena površina područja, itd). U ovom radu je gustina naseljenosti posmatrana kao fazi broj. Korišćenjem fazi

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: m.selmic@sf.bg.ac.rs

aritmetike za određivanje najboljih puteva moguće je smanjiti nepreciznost i dvosmislenost koje su sadržane u ovoj vrsti problema. Postoje brojne prednosti prilikom korišćenja fazi aritmetike:

- sposobnost da se anticipiraju neizvesne okolnosti posebno one koje uključuju subjektivnost i neodređenost,
- bolje objašnjenje problema,
- korisno i praktično sredstvo za izbor zadovoljavajućeg rešenja.

U ovom radu je predstavljen Floyd-ov algoritam adaptiran za rad u fazi okruženju. Dva su ključna pitanja na koja bi trebalo naći odgovor kod primene Floyd-ovog algoritma u fazi okruženju: sabiranje težina dve grane i poređenje težina koje su predstavljene fazi brojevima. U tom smislu iskorišćen je metod baziran na integrisanim ocenjenim srednjim vrednostima fazi brojeva, koji u operacijama množenja i sabiranja dva fazi broja kao rezultat daje determinističku realnu vrednost, a ne fazi broj. Ovaj metod je našao široku upotrebu u višekriterijumskom odlučivanju (Chou and Chang, 2009), evaluaciji rizika (Pan et al. 2010), evaluaciji kvaliteta servisa avio kompanija (Chou et al. 2011). U ovom radu pomenuti metod je iskorišćen za potrebe prilagođavanja Floyd-ovog algoritma fazi okruženju i određivanju „ekološki orijentisanih“ ruta.

Glavni doprinos ovog rada je proširenje Floyd-ovog algoritma na fazi okruženje i predstavljanje jednostavnog i upotrebljivog algoritma za uspešno određivanje puteva teretnih vozila, tako da se izbegnu gusto naseljena mesta, a da se pri tome uzima u obzir neizvesnost i nepreciznost postojećih podataka. Predloženi algoritam je testiran na maloj, ilustrativnoj, mreži.

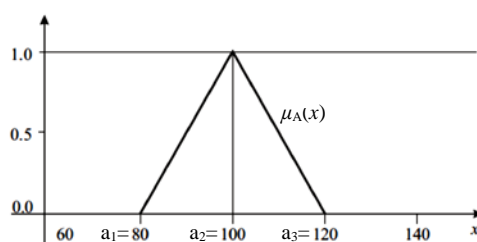
Rad je organizovan na sledeći način. Poglavlje 2 predstavlja kratak uvod u teoriju koja je korišćena u radu, uključujući fazi skupove i klasičan Floyd-ov algoritam. Predloženo poboljšanje klasičnog algoritma je dato u poglavlju 3. Ilustrativna transportna mreža i numerički primer su prikazani u poglavlju 4. Zaključna razmatranja sa pravcima budućeg rada su data u poslednjem, petom, poglavlju.

## 2. TEORIJSKE POSTAVKE

### 2.1. Fazi brojevi

Subjektivne procene koje se, na primer, odnose na gustinu naseljenosti duž neke grane moguće je izraziti odgovarajućim fazi skupovima. Funkcija pripadnosti fazi skupa može da uzme bilo koju vrednost iz zatvorenog intervala  $[0,1]$ . Fazi skup **A** (označava se podebljanim, bold, fontom) definiše se kao skup uređenih parova  $\mathbf{A}=\{x, \mu_{\mathbf{A}}(x)\}$ , gde je  $\mu_{\mathbf{A}}(x)$  stepen pripadnosti elementa  $x$  fazi skupu **A**. Što je veća vrednost stepena pripadnosti  $\mu_{\mathbf{A}}(x)$ , veća je i istinitost tvrdnje da element  $x$  pripada skupu **A** (Teodorović i Šelmić, 2012).

Dalje, navedene subjektivne procene okarakterisane su određenom brojnom vrednošću, npr. “oko 100 stanovnika po  $\text{km}^2$ ”. Brojevi izraženi na ovakav način nazivaju se fazi brojevima. Na Slici 1 prikazana je funkcija pripadnosti fazi broja “oko 100”.



Slika 1. Funkcija pripadnosti fazi broja “oko 100”

Neka je dat fazi broj **A** (Slika 1). Ovaj fazi broj je trouglasti i definisan je kao  $(a_1, a_2, a_3)$ , gde su  $a_1$ ,  $a_2$  i  $a_3$  leva, srednja i desna granica trouglastog broja, respektivno. Funkcija pripadnosti trouglastog fazi broja **A** se računa na sledeći način:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (1)$$

## 2.2. Operacije sa trouglastim fazi brojevima – metod integrisanih ocenjenih srednjih vrednosti

U ovom radu je primenjena metoda integrisanih ocenjenih srednjih vrednosti za operacije sa trouglastim fazi brojevima (Chou, 2003) čiji je kanonički prikaz dat u nastavku.

Za dati truglasti fazi broj  $\mathbf{A}=(a_1, a_2, a_3)$ , integrisana ocenjena srednja vrednost računa se kao:

$$V(\mathbf{A}) = \frac{1}{6}(a_1 + 4 \cdot a_2 + a_3) \quad (2)$$

Integrisana ocenjena srednja vrednost bi se na isti način izračunala i za fazi broj  $\mathbf{B}=(b_1, b_2, b_3)$ :

$$V(\mathbf{B}) = \frac{1}{6}(b_1 + 4 \cdot b_2 + b_3)$$

U skladu sa prethodnim, operacija sabiranja fazi broja  $\mathbf{A}$  i  $\mathbf{B}$  se kanonički predstavlja na sledeći način:

$$V(\mathbf{A} \oplus \mathbf{B}) = V(\mathbf{A}) \oplus V(\mathbf{B}) = \frac{1}{6}(a_1 + 4 \cdot a_2 + a_3) + \frac{1}{6}(b_1 + 4 \cdot b_2 + b_3) \quad (3)$$

Primena navedenih relacija može biti prikazana u pronalaženju najkraćeg puta između dva čvora. Na primer, sa Slike 2 se vidi da od čvora 1 do čvora 4 postoje tri moguća puta:  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4$ ,  $1 \rightarrow 3 \rightarrow 4$ ,  $1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5$ . Tabela 1 sadrži vrednosti trouglastih fazi brojeva koji odgovaraju težinama (gustinama naseljenosti) pojedinih grana. Koristeći metodu integrisanih ocenjenih srednjih vrednosti pri kanoničkom prikazu sabiranja fazi brojeva, prilikom pronalaženja najkraćeg puta, dobijaju se sledeće vrednosti:

$$\text{težina}(1,4) = \text{težina}(1,2) \oplus \text{težina}(2,4) = (1,2,4) \oplus (2,3,5) = \frac{1}{6}(1 + 4 \cdot 2 + 4) + \frac{1}{6}(2 + 4 \cdot 3 + 5) = 5,334$$

$$\text{težina}(1,4) = \text{težina}(1,3) \oplus \text{težina}(3,4) = (2,4,7) \oplus (7,8,9) = \frac{1}{6}(2 + 4 \cdot 4 + 7) + \frac{1}{6}(7 + 4 \cdot 8 + 9) = 12,167$$

$$\text{težina}(1,4) = \text{težina}(1,3) \oplus \text{težina}(3,5) \oplus \text{težina}(5,4) = (2,4,7) \oplus (5,8,9) \oplus (1,3,4) = 14,664$$

Na osnovu dobijenih rezultata, očigledno je da je prvi put najkraći. Iz prethodnog primera jasno je da korist korišćenja metode integrisanih ocenjenih srednjih vrednosti prilikom sabiranja fazi brojeva leži u činjenici da se kao rezultat dobija konkretan (realan broj) broj, a ne fazi vrednost. Stoga, konačna odluka može biti jednostavno donešena bez primene algoritma za poređenje fazi brojeva i njihovo rangiranje, što je najčešći slučaj kod drugih algoritama za pronalaženje najkraćeg puta u fazi okruženju.

## 2.3. Floyd-ov algoritam

Floyd-ovim algoritmom se određuju optimalni putevi između svih parova čvorova transportne mreže. Posmatrajmo transportnu mrežu  $G=(N,A)$ , gde je  $N$  skup čvorova, a  $A$  skup grana date mreže. Svi čvorovi mreže se označavaju pozitivnim celim brojevima  $1, 2, \dots, n$ . Uvodi se u razmatranje tzv. početna matrica težina (gustina naseljenosti)  $W_0$  i početna matrica čvorova-prethodnika  $Q_0$ . Sa  $w_{ij}^k$  se označava težina grane od čvora  $i$  do čvora  $j$  koja je otkrivena u  $k$ -tom prolazu kroz algoritam, a sa  $q_{ij}^k$  čvor-prethodnik čvoru  $j$  na

najkraćem putu od čvora  $i$  koji je otkriven u  $k$ -tom prolazu. Elementi  $w_{ij}^k$  matrice  $W_0$  mogu da budu konačne vrednosti ukoliko grana  $(i,j)$  postoji, odnosno beskonačne ukoliko grana ne postoji. Elementi  $q_{ij}^0$  početne matrice čvorova-prethodnika  $Q_0$  definišu se na sledeći način. Na početku je  $q_{ij}^0 = i$  za  $\forall i \neq j$ , tj. čvor-prethodnik čvoru  $j$  na najkraćem putu koji vodi od čvora  $i$  do čvora  $j$ , upravo je čvor  $i$ .

Algoritam Floyd-a se sastoji od sledećih koraka (Teodorović, 2007):

KORAK 1: Neka je  $k = 1$

KORAK 2: Elemente  $w_{ij}^k$  matrice težina  $W_k$  otkrivenih završno sa  $k$ -tim prolazom kroz algoritam, izračunavamo pomoću relacije:

$$w_{ij}^k = \min \{ w_{ij}^{k-1}, w_{ik}^{k-1} + w_{kj}^{k-1} \}$$

KORAK 3: Elementi  $q_{ij}^k$  matrice  $Q_k$  čvorova-prethodnika otkrivenih završno sa  $k$ -tim prolazom kroz algoritam izračunavaju se kao:

$$q_{ij}^k = \begin{cases} q_{kj}^{k-1}, & \text{za } w_{ij}^k \neq w_{ij}^{k-1} \\ q_{ij}^{k-1}, & \text{u ostalim slučajevima} \end{cases}$$

KORAK 4: Ako je  $k=n$  završiti sa algoritmom. Ako je  $k < n$ , povećati  $k$  za 1 i vratiti se na korak 2.

### 3. PREDLOŽENI METOD

U ovom poglavlju je prikazan metod kojim se određuju najbolji putevi između bilo koja dva čvora na transportnoj mreži sa stanovišta zaštite životne sredine, a u fazi okruženju.

U predloženom modelu klasičan Floyd-ov algoritam je jednostavno modifikovan u fazi Floyd-ov algoritam. Ukoliko je  $w_{ij}$  fazi broj, tada je  $w_{ij}$  realan broj određen kao integrisana ocenjena srednja vrednost fazi broja. U algoritmu je mreža sa  $n$  čvorova prikazana kao kvadratna matrica sa  $n$  kolona i  $n$  vrsta. Elementi matrice  $(i,j)$  predstavljaju težine grana (gustine naseljenosti na granama)  $w_{ij}$ , koje su dobijene od fazi težina  $w_{ij}$  primenom metode integrisanih ocena srednjih vrednosti. Ove vrednosti su konačne ukoliko je čvor  $i$  direktno povezan sa čvorom  $j$ , odnosno beskonačne u suprotnom. Ideja na kojoj se bazira fazi Floyd-ov algoritam potiče iz klasičnog Floyd-ovog algoritma. Data su tri čvora  $i, j$  i  $k$  koja povezuju grane sa fazi, nepreciznim, težinama (vrednostima gustina naseljenosti). Ukoliko važi da je  $V(w_{ik} \oplus w_{kj}) < w_{ij}$ , tada je kraće da se u čvor  $j$  iz čvora  $i$  ide preko čvora  $k$ , gde je  $V(w_{ik} \oplus w_{kj}) = V(w_{ik}) \oplus V(w_{kj})$  realan broj dobijen primenom metode integrisanih ocena srednjih vrednosti. U ovom slučaju je optimalno da se direktna grana  $i \rightarrow j$  zameni putem  $i \rightarrow k \rightarrow j$ .

Ova operacija zamena se obavlja iterativno kroz sledeće algoritamske korake (Shukla, 2013):

KORAK 1: Definisati matrice  $W_0$  i  $Q_0$ . Neka je  $k=1$ . Elementi  $w_{ij}$  matrice  $W_0$ , su realne vrednosti dobijene na osnovu fazi težina  $w_{ij}$ , odnosno na osnovu (2),  $w_{ij} = V(w_{ij})$ . Elementi  $q_{ij}^0$  matrice  $Q_0$  su  $q_{ij}^0 = i$  za  $\forall i \neq j$ .

KORAK 2: Izračunati elemente  $w_{ij}^k$  matrice težina  $W_k$  otkrivenih završno sa  $k$ -tim prolazom kroz algoritam, na sledeći način:

$$w_{ij}^k = \min \{ V(w_{ij}^{k-1}), V(w_{ik}^{k-1}) \oplus V(w_{kj}^{k-1}) \}$$

KORAK 3: Elementi  $q_{ij}^k$  matrice  $Q_k$  čvorova-prethodnika otkrivenih završno sa  $k$ -tim prolazom kroz algoritam izračunavaju se kao:

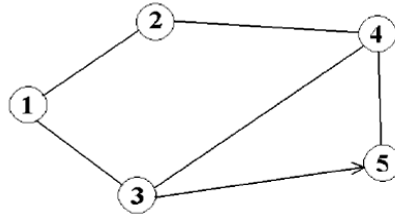
$$q_{ij}^k = \begin{cases} q_{kj}^{k-1}, & \text{za } w_{ij}^k \neq w_{ij}^{k-1} \\ q_{ij}^{k-1}, & \text{u ostalim slučajevima} \end{cases}$$

KORAK 4: Ako je  $k=n$  završiti sa algoritmom. Ako je  $k < n$ , povećati  $k$  za 1 i vratiti se na korak 2.



#### 4. NUMERIČKI PRIMER

Predloženi model je testiran na fiktivnoj mreži koja ima pet čvorova (Slika 2). Kao što se može videti sa slike mreža je mešovitog tipa, što znači da ima orijentisanih i neorijentisanih grana. Jasno je da je grana (3,5) orijentisana, pa je samim tim kretanje moguće samo od čvora 3 ka čvoru 5, ne i obrnuto.



Slika 2. Transportna mreža

Težine grana predstavljaju gustine naseljenosti u stotinama izražene fazi brojevima (Tabela 1). Na primer ukoliko je gustina naseljenosti na grani (1,2) "oko 200 stanovnika/m<sup>2</sup>" odgovarajući fazi broj je (1,2,4); na grani (1,3) gustina naseljenosti "oko 400 stanovnika/m<sup>2</sup>" predstavljena je trouglastim fazi brojem (2,4,7); itd. Treću kolonu Tabele 1 čine realne vrednosti dobijene primenom jednačine (2), npr.

$$V(w_{12}) = \frac{1}{6}(1 + 4 \cdot 2 + 4) = 2,167$$

Tabela 1. Težine grana transportne mreže sa Slike 2

Grana (i, j)	Fazi broj (w <sub>ij</sub> )	V(w <sub>ij</sub> )
(1,2)	(1,2,4)	2,167
(1,3)	(2,4,7)	4,167
(2,1)	(5,7,9)	7
(2,4)	(2,3,5)	3,167
(3,1)	(3,5,6)	4,833
(3,4)	(7,8,9)	8
(3,5)	(5,8,9)	7,667
(4,2)	(3,6,7)	5,667
(4,3)	(5,7,8)	6,833
(4,5)	(8,9,10)	8
(5,4)	(1,3,4)	2,833

#### 4.1. Rešenje problema

**Korak 0:** Formiraju se matrice  $W_0$  i  $Q_0$  na osnovu mreže date na Slici 2 i podataka iz Tabele 1. Svi elementi  $w_{ij}$  matrice  $W_0$  predstavljaju integrisane ocene srednjih vrednosti fazi brojeva koji odgovaraju gustinama naseljenosti (težinama) na granama (i, j),  $i, j = 1, \dots, n$ . Elementi  $q_{ij}^0$  u matrici  $Q_0$  su početni čvorovi-prethodnici.

$W_0$

	1	2	3	4	5
1	-	2,167	4,167	∞	∞
2	2,667	-	∞	3,167	∞
3	4,833	∞	-	8	7,667
4	∞	5,667	6,833	-	8
5	∞	∞	∞	2,833	-

$Q_0$

	1	2	3	4	5
1	-	1	1	1	1
2	2	-	2	2	2
3	3	3	-	3	3
4	4	4	4	-	4
5	5	5	5	5	-

**Korak 1:** Postaviti brojač  $k=1$ . Promene se dešavaju na pozicijama (2,3) i (3,2), za koje su vrednosti u matrici  $W_1$  označene bold. Na ovim pozicijama se dešavaju sledeće promene: težina  $w_{23}$  se zamenjuje sa

$V(\mathbf{w}_{21} \oplus \mathbf{w}_{13}) = V(\mathbf{w}_{21}) \oplus V(\mathbf{w}_{13}) = 2,667 + 4,167 = 6,834$ , a  $w_{32}$  sa  $V(\mathbf{w}_{31} \oplus \mathbf{w}_{12}) = 7$ . Čvorovi-prethodnici na ovim pozicijama su  $q_{23}=1$  i  $q_{32}=1$ , koji su takođe označeni bold u matrici  $Q_1$ .

	1	2	3	4	5
1	-	2,167	4,167	$\infty$	$\infty$
2	2,667	-	<b>6,834</b>	3,167	$\infty$
3	4,833	<b>7</b>	-	8	7,667
4	$\infty$	5,667	6,833	-	8
5	$\infty$	$\infty$	$\infty$	2,833	-

	1	2	3	4	5
1	-	1	1	1	1
2	2	-	<b>1</b>	2	2
3	3	<b>1</b>	-	3	3
4	4	4	4	-	4
5	5	5	5	5	-

**Korak 2:** Postaviti brojač  $k=2$ . Promene se dešavaju na (1,4) i (4,1). Na ovim pozicijama se zamenjuju težine  $w_{14}$  i  $w_{41}$  sa  $V(\mathbf{w}_{12} \oplus \mathbf{w}_{24}) = 5,334$  i  $V(\mathbf{w}_{42} \oplus \mathbf{w}_{21}) = 8,334$ , respektivno. Čvorovi-prethodnici na ovim pozicijama su  $q_{14}=2$  i  $q_{41}=2$ .

	1	2	3	4	5
1	-	2,167	4,167	<b>5,334</b>	$\infty$
2	2,667	-	6,834	3,167	$\infty$
3	4,833	7	-	8	7,667
4	<b>8,334</b>	5,667	6,833	-	8
5	$\infty$	$\infty$	$\infty$	2,833	-

	1	2	3	4	5
1	-	1	1	<b>2</b>	1
2	2	-	1	2	2
3	3	1	-	3	3
4	<b>2</b>	4	4	-	4
5	5	5	5	5	-

**Korak 3:** Postaviti brojač  $k=3$ . Promene se dešavaju na (1,5) i (2,5). Na ovim pozicijama se zamenjuju težine  $w_{15}$  sa  $V(\mathbf{w}_{13} \oplus \mathbf{w}_{35}) = 11,834$ , kao i  $w_{25}$  sa  $V(\mathbf{w}_{23} \oplus \mathbf{w}_{35}) = 14,501$ . Čvorovi-prethodnici na ovim pozicijama su  $q_{15}=3$  i  $q_{25}=3$ .

	1	2	3	4	5
1	-	2,167	4,167	5,334	<b>11,834</b>
2	2,667	-	6,834	3,167	<b>14,501</b>
3	4,833	7	-	8	7,667
4	8,334	5,667	6,833	-	8
5	$\infty$	$\infty$	$\infty$	2,833	-

	1	2	3	4	5
1	-	1	1	2	<b>3</b>
2	2	-	1	2	<b>3</b>
3	3	1	-	3	3
4	2	4	4	-	4
5	5	5	5	5	-

**Korak 4:** Postaviti brojač  $k=4$ . Promene se dešavaju na (2,5), (5,1), (5,2) i (5,3). Na ovim pozicijama se zamenjuju težine  $w_{25}$  sa  $V(\mathbf{w}_{24} \oplus \mathbf{w}_{45}) = 11,167$ ,  $w_{51}$  sa  $V(\mathbf{w}_{54} \oplus \mathbf{w}_{41}) = 11,167$ ,  $w_{52}$  sa  $V(\mathbf{w}_{54} \oplus \mathbf{w}_{42}) = 8,5$ , kao i  $w_{53}$  sa  $V(\mathbf{w}_{54} \oplus \mathbf{w}_{43}) = 9,666$ . Čvorovi-prethodnici na ovim pozicijama su  $q_{25}=4$ ,  $q_{51}=2$ ,  $q_{52}=4$  i  $q_{53}=4$ .

	1	2	3	4	5
1	-	2,167	4,167	5,334	11,834
2	2,667	-	6,834	3,167	<b>11,167</b>
3	4,833	7	-	8	7,667
4	8,334	5,667	6,833	-	8
5	<b>11,167</b>	<b>8,5</b>	<b>9,666</b>	2,833	-

	1	2	3	4	5
1	-	1	1	2	3
2	2	-	1	2	<b>4</b>
3	3	1	-	3	3
4	2	4	4	-	4
5	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	5	-

**Korak 5:** Postaviti brojač  $k=4$ . U navedenom koraku ne dolazi do promena. Konačne matrice  $W_5$  i  $Q_5$  su:

	1	2	3	4	5
1	-	2,167	4,167	5,334	11,834
2	2,667	-	6,834	3,167	<b>11,167</b>
3	4,833	7	-	8	7,667
4	8,334	5,667	6,833	-	8
5	<b>11,167</b>	<b>8,5</b>	<b>9,666</b>	2,833	-

	1	2	3	4	5
1	-	1	1	2	3
2	2	-	1	2	<b>4</b>
3	3	1	-	3	3
4	2	4	4	-	4
5	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	5	-

Nakon izvršenog algoritma, jednostavno je da se odrede najpodesniji putevi sa stanovišta zaštite životne sredine. Tako na primer, ako se teretno vozilo kreće od čvora 3 do čvora 2, najmanje zagađenje će biti ako se kreće preko čvora 1:  $3 \rightarrow 1 \rightarrow 2$ ,  $w_{32} = V(w_{31}) \oplus V(w_{12}) = 7$ , ili ako se kreće od čvora 5 do 1, putanja bi bila  $5 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ , a  $w_{51} = V(w_{54}) \oplus V(w_{42}) \oplus V(w_{21}) = 11,167$ .

## 5. ZAKLJUČAK

Teretna vozila predstavljaju jedan od najvećih zagađivača okoline. Njihovo izmeštanje iz gradskih zona bi dovelo do aktiviranja manje opterećenih saobraćajnica i obilaznica, samim tim do manjeg broja zaustavljanja, manjih saobraćajnih gužvi i konačno smanjenja zagađenja naseljenih mesta koja su već po prirodi stvari izložena velikim zagađenjima. Jedan od načina da se postigne navedeno je da se pronađu putevi između svih čvorova na mreži tako da se minimizira prolazak kroz gusto naseljene zone. U ovom radu je primenjen modifikovan Floyd-ov algoritam sa ciljem da se pronađu optimalni putevi u fazi okruženju, gde su težine pridružene granama mreže zapravo gustine naseljenosti koje je nemoguće precizno odrediti, te se u tu svrhu koristila fazi aritmetika. Predloženi metod se oslanja na integrisane ocene srednjih vrednosti fazi brojeva i testiran je na malo ilustrativnoj mreži.

Buduća istraživanja bi trebalo da uključe, pored gustine naseljenosti, ostale relevantne faktore sa stanovišta zaštite životne sredine. Takođe, višekriterijumsko odlučivanje može biti jedan od aspekta koji će se razmatrati, takođe u fazi okruženju.

## Zahvale

Ovaj rad je deo istraživanja u okviru projekata finansiranih od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, TR36002 i TR36006.

## Literatura

- [1] Chou, C.C. 2003. The canonical representation of multiplication operation on triangular fuzzy numbers, *Computers and Mathematics with Applications* 45: 1601–1610
- [2] Chou, C.C.; Chang, P.C. 2009. A fuzzy multiple criteria decision making model for selecting the distribution center location in china: a Taiwanese manufacturer's perspective, *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* 5618: 140–148
- [3] Chou, C.C.; Liu, L.J.; Huang, S.F.; Yih, J.M.; Han, T.C. 2011, An evaluation of airline service quality using the fuzzy weighted SERVQUAL method, *Applied Soft Computing Journal* 11: 2117–2128
- [4] Pan, X.; Wang, H.; Chang, W. 2010 A fuzzy synthetic evaluation method for failure risk of aviation product R&D project, 5th IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology, ICMIT, 1106–1111.
- [5] Shukla, K.T. 2013. Fuzzy Floyd's algorithm to find shortest route between nodes under uncertain environment, *International Journal of Mathematics and Computer Applications Research* 3(5):43-54.
- [6] Teodorović, D. 2007. Transportne mreže, Saobraćajni fakultet, Beograd.
- [7] Teodorović, D.; Šelmić, M. 2012. Računarska inteligencija u saobraćaju, Saobraćajni fakultet, Beograd.

**Abstract:** *Traditional procedures for obtaining optimal paths usually take into account time or distance between nodes in network. Modern navigational systems do not pay attention to environmental protection and do not provide paths which have the smallest negative impact on environment. This is very important issue for cargo tracks routing, since there is trend to relocate this freight traffic out of urban zones. Optimal path, in this case, considers minimization of movement through populated zones. Usually Floyd-Warshall's algorithm is used to find optimal (the shortest, cheapest) path. In this paper we use population density as parameter (weights of links). Since it is not precise defined value we used fuzzy Floyd's algorithm. There are two important questions that should be answered: addition of weights and comparison of weights that are represented by fuzzy numbers. Model is tested on hypothetical network.*

# UTICAJ UZDUŽNOG NAGIBA NA USLOVE U SAOBRAĆAJNOM TOKU NA RIZIČNIM DEONICAMA - STUDIJA SLUČAJA REPUBLIKE SRPSKE

## IMPACT OF LONGITUDINAL GRADIENT ON TRAFFIC FLOW CONDITIONS AT RISK SECTIONS – CASE STUDY OF THE REPUBLIC OF SRPSKA

Marko SUBOTIĆ<sup>1</sup>  
Bojan MARIĆ<sup>2</sup>  
Tihomir ĐURIĆ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Saobraćajni fakultet Univerziteta u Istočnom Sarajevu, [msubota@gmail.com](mailto:msubota@gmail.com)

<sup>2</sup> Saobraćajni fakultet Univerziteta u Istočnom Sarajevu, [bojomaric@yahoo.com](mailto:bojomaric@yahoo.com)

<sup>3</sup> Saobraćajni fakultet Univerziteta u Istočnom Sarajevu, [mrdjtiho@teol.net](mailto:mrdjtiho@teol.net)

**Rezime:** U radu je analizirana efikasnost saobraćaja i bezbednost na putu, odnosno na deonicama sa specifičnim uzdužnim nagibom. Analizom postojećih modela rizika u saobraćaju, ističe se posebna osetljivost na uzdužni nagib i veličinu merodavnih protoka. U skladu sa tim, u radu je predstavljena prostorna distribucija saobraćajnih nezgoda na odabranim deonicama dvotračnih puteva Republike Srpske u funkciji veličine i dužine uzdužnog nagiba i saobraćajnog opterećenja. Na osnovu realnih podataka sa putne mreže u radu je ispitana podobnost determinističkog modela funkcionalna zavisnost od veličine protoka i uzdužnog nagiba, kao uticajnih faktora elemenata puta. Cilj rada je identifikacija rizičnih deonica puta radi utvrđivanja funkcionalne zavisnosti broja i težine saobraćajnih nezgoda od uspona/pada.

**Ključne reči:** uzdužan nagib, saobraćajni tok, rizične deonice, dvotračni put.

**Abstract:** This paper analyzed the efficiency of traffic and road safety on sections with specific longitudinal gradient. By analyzing the existing traffic risk models, the particular vulnerability to the longitudinal gradient and size of the respective flow is being emphasized. Accordingly, this paper presents spatial distribution of traffic accidents at selected sections of two-lane roads in the Republic of Srpska in the function of size and length of the longitudinal gradient and traffic flow. Based on the real road network data, this paper will examine suitability of the determinist model of the functional dependence on the flow size and longitudinal gradient as one of the influential road element factors. The goal of the paper is to identify road risk sections for the purpose of determining the dependence of the number and severity of accidents in the functional dependence of the upgrade / downgrade.

**Keywords:** longitudinal gradient, traffic flow, risk sections, two-lane road

### 1. UVOD

Posledice incidentnih situacija u saobraćaju se često manifestuju pojavom saobraćajne nezgode. Prilikom kretanja u realnom saobraćajnom toku, vozač opaža i osmatra put, čime prati saobraćajnu situaciju. Svaka promena okolnosti na putu može dovesti do opasne situacije. Ako se analizira procena opasnosti, sigurno da nisu sve procene iste po stepenu opasnosti, jer se neke mogu otkloniti blagim manevrom, a druge zahtevaju brzo i intenzivno reagovanje vozača. Sagledavanje opasne situacije najbolje je definisati prema stepenu opasnosti (rizične, opasne, vrlo opasne, kritične („gotovo nezgoda“)).<sup>[1]</sup>

U analizi opasne situacije, postoji veliki broj indikatora koji mogu izazvati akcidentni događaj u vidu saobraćajne nezgode. Oni se uglavnom oslanjaju na strukturu i sastav saobraćajnog toka, kvalitet putne mreže, ponašanje korisnika putne mreže i sl. Modeli predviđanja se razvijaju sa ciljem ispitivanja uticaja nezavisnih promenljivih veličina na odabrane indikatore bezbednosti saobraćaja. Posebno je potrebno istaći osetljivost pojave saobraćajnih nezgoda u odnosu na karakteristike puta, a pre svega na *uzdužni nagib*, kao i na stanje kolovoza i minimalni radijus horizontalne krivine. Prilikom posmatranja saobraćajnih uslova, neizostavno je napomenuti funkcionalnu zavisnost pojave saobraćajnih nezgoda u odnosu na PGDS<sup>1</sup>. Generalno, protok saobraćaja i geometrija puta se godinama svrstavaju u glavne okolnosti saobraćajnih nezgoda.

<sup>1</sup> Prosečan godišnji dnevni saobraćaj (eng. AADT)

U svetu su tokom prethodnih trideset godina razvijeni brojni modeli za predviđanje saobraćajnih nezgoda. Na osnovu načela ekonomskog vrednovanja deonica puteva, veoma je bitno utvrditi relativnu razliku između broja saobraćajnih nezgoda na postojećoj i poboljšanoj putnoj mreži. Savremenim razvojem trendova u putnom inženjerstvu, posebne tendencije se razvijaju u cilju sprovođenja brojnih empirijskih istraživanja radi pronalaženja funkcionalne zavisnosti uticajnih faktora putnih karakteristika na stopu saobraćajnih nezgoda. Jedan od poznatih modela razvijen je na osnovu rezultata istraživanja u SAD, koji je upotrebnu vrednost pronašao i kod stručnjaka iz ove oblasti u Srbiji [2]. Ovaj model bi mogao biti primenljiv i u zemljama u regionu, pa samim tim i u BiH. Ipak, radi prilagodljivosti putnim i ambijentalnim uslovima, a na osnovu sistematičnog praćenja podataka o saobraćajnim nezgodama za lokalne uslove, potrebno je raditi na razvoju modela za prognozu broja saobraćajnih nezgoda u Republici Srpskoj (BiH). Prema svetskim iskustvima, ovaj model posebno je neophodno razviti za gradsku, a posebno za vangradsku putnu mrežu, kao i za svaki drugi tip puta. Razvoj modela predviđanja nezgoda prema težini posledica se može dati prema povređenim, poginulim i nastradalim licima.

## 2. ANALIZA MODELA ZA PREDVIĐANJE RIZIKA U SAOBRAĆAJU

U svetskim istraživanjima veliki broj istraživača analizirao je predviđanje rizika (usled čega može doći do pojave saobraćajne nezgode). Pojedini modeli su razvijani za određene vrste saobraćajnih nezgoda, dok su pojedini razvijani odvojeno za puteve u pravcu i puteve u krivini.

Na području bivše Jugoslavije, u prvim jugoslovenskim uputstvima za izradu studija izvodljivosti puteva iz 1974. godine, preporučena su odgovarajuća uopštavanja o zavisnosti broja saobraćajnih nezgoda od putnih i saobraćajnih uslova, preuzeta iz inostranih izvora. [3] Postojeći model uspostavlja relaciju između broja saobraćajnih nezgoda po kilometru puta godišnje i putno-saobraćajnih uslova.

$$N = F (\text{putni uslovi, saobraćajni uslovi}), \text{ tj.}$$

$$N = F (\text{tip puta, PGDS})$$

gde je:

N - prosečan broj nezgoda određene težine po 1 km godišnje.

Isti postupak zadržan je u uputstvima iz 1991.godine. [3] U navedenim uputstvima se dobija višestruko veći broj nezgoda u odnosu na stvarno registrovani broj nezgoda iz raspoložive statistike, što je dovelo do poboljšanja modela iz citiranih uputstava. Prema Kuzoviću [9] najbolji pristup bi bio kada bi se poboljšani model zasnovao na uopštavanju podataka o promenama stvarnog broja nezgoda na konkretno posmatranoj deonici puta u funkciji veličine saobraćajnog toka u dužem nizu godina, čime se direktno stavlja u zavisnost broj nezgoda u f-ji PGDS-a. Pošto nisu postojali raspoloživi podaci o broju saobraćajnih nezgoda po 1 km na konkretnim deonicama, na duži vremenski period, podrška je tražena u istraživanjima sprovedenim u SAD. Ova istraživanja odnose se na dvotračne puteve u državi Illinois (SAD). Istraživanja su sprovedena su u sedmogodišnjem periodu (1981.-1987.godine). Pored toga, preuzeta su istraživanja o promeni broja saobraćajnih nezgoda pre i posle poboljšanja putne mreže utvrđenih u okviru 51 izvedenog projekta. [2] Na bazi ovih istraživanja definisani su odgovarajući empirijski modeli o funkcionalnoj zavisnosti broja nezgoda od karakteristika puta i veličine saobraćajnog toka, pri čemu su definisana dva empirijska modela, *linearni i multiplikativni*.

U svetskim istraživanjima veliki broj autora analizirao je predviđanje rizika (usled čega može doći do pojave saobraćajne nezgode). Pojedini modeli su razvijani za određene vrste saobraćajnih nezgoda, dok su pojedini razvijani odvojeno za puteve u pravcu i puteve u krivini.

U istraživanju [5] sprovedenom u Finskoj 1988. godine autori su pomoću linearne regresije dali model zavisnosti frekvencije saobraćajnih nezgoda od karakteristika puta na dvotračnim dvosmernim vangradskim putevima. U modelu su kao nezavisne varijable usvojene sledeće karakteristike: asfaltirana širina (saobraćajne trake i bankine), opšte ograničenje brzine, krivinska karakteristika, prosečan nagib, gustina manjih priključaka, dužina odseka i protok saobraćaja. Saobraćajne nezgode su posmatrane u vremenskom periodu od sedam godina. Za oba analizirana modela (ukupan broj saobraćajnih nezgoda i saobraćajne nezgode kada se izuzmu nezgode sa pešacima, biciklistima i životinjama) dobijeni su eksponencijalni modeli sa zadovoljavajućim umerenim stepenom korelacije (preko 0,5).

Sledeće značajno istraživanje o povezanosti saobraćajnih nezgoda i karakteristika puta sprovedli su Hadi i ostali [6]. Oni su u svom istraživanju analizirali uticaj poprečnog profila puta na rizik nastanka saobraćajnih nezgoda. Metod koji su upotreбили je negativna binomna regresija. Pritom su posmatrani vangradski i gradski putevi sa različitim obimima saobraćaja. Nezavisno promenljive koje su uzete u obzir za analizu u studiji su sledeće: dužina deonice, PGDS, širina saobraćajne trake, širina spoljašnje asfaltirane i neasfaltirane bankine, širina unutrašnje asfaltirane i neasfaltirane bankine, širina i vrsta razdelnog pojasa, prisustvo ivičnjaka, ograničenje brzine i broj raskrsnica (petlji u slučaju autoputa). Za analizu su korišćeni podaci o saobraćajnim nezgodama za period od četiri godine, jer je to dovoljno dug period da bi se ostvarila stabilna stopa saobraćajnih nezgoda. Sprovedene analize pokazale su da je najbolji model za procenu saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima, onaj u kome figurišu dužina odseka i PGDS kao eksplanatorne promenljive. Razlog ovome je možda i činjenica da je broj saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima previše mali da bi omogućio tačnu procenu uticaja drugih nezavisno promenljivih veličina. Kada je u pitanju uticaj PGDS, dobijeni modeli pokazali su da frekvencija saobraćajnih nezgoda raste sa većim vrednostima PGDS-a, za sve istraživane vrste puteva. Poređenjem različitih vangradskih puteva sa približno istim PGDS-om, utvrđeno je da dvosmerni dvotračni putevi imaju najveće stope saobraćajnih nezgoda, zatim slede autoputevi, a potom četvorotračni putevi sa fizički razdvojenim kolovozima. Za sva tri tipa vangradskih puteva, povećanje PGDS-a smanjuje stope saobraćajnih nezgoda. Pritom treba naglasiti da je stopa smanjenja broja saobraćajnih nezgoda manja za vangradске puteve, nego za druga dva tipa puta. Ovo može biti posledica većeg obima saobraćaja na autoputevima.

U istraživanju Harwood-a i ostalih [7], autori su prikazali algoritam za predviđanje bezbednosti vangradskih dvotračnih puteva. Prikazani algoritam sastoji se od baznih modela i korekcionih faktora, za deonice i raskrsnice u nivou. Bazni modeli omogućavaju procenu bezbednosti na deonici ili raskrsnici za skup pretpostavljenih nominalnih ili baznih uslova. Korekциони faktori prilagođavaju predviđanja baznog modela uzimajući u obzir uticaje širine saobraćajne trake, širine bankine, tipa bankine, horizontalnih krivina, nagiba, gustine prilaznih puteva, dvosmernih traka za leva skretanja, traka za preticanje, za deonice i uticaje ugla ukrštanja, načina upravljanja saobraćajem, dodatne trake za leva i desna skretanja, preglednosti i prilaznih puteva za raskrsnice u nivou. Algoritam predviđanja saobraćajnih nezgoda se koristi za procenu bezbednosti na postojećem ili novoprojektovanom putu. Ovaj algoritam se može koristiti za poređenje očekivane bezbednosti dve ili više geometrijskih alternativa, za predloženo poboljšanje puta. Autori [7] daju novi pristup za predviđanje saobraćajnih nezgoda, koji kombinuje korišćenje podataka o saobraćajnim nezgodama, regresionu analizu pre i posle studije i sud eksperata kako bi se dobile prognoze bezbednosti koje su bolje od dobijenih od sva tri pristupa pojedinačno. Algoritmi predviđanja saobraćajnih nezgoda su razvijeni za deonice, kao i za tri tipa raskrsnica u nivou. Kada je u pitanju bazni model predviđanja za deonice, model predviđa vrednost zavisne promenljive u funkciji skupa nezavisnih promenljivih. Za zavisnu promenljivu je izabrana ukupna očekivana frekvencija saobraćajnih nezgoda na deonici puta tokom određenog vremenskog perioda, dok su za nezavisne promenljive uzeti pokazatelji obima saobraćaja, karakteristike projekta puta i karakteristike upravljanja saobraćajem na deonici puta. Bazni model u ovom slučaju se koristi samo za procenu očekivane frekvencije saobraćajnih nezgoda, za određeni skup nominalnih baznih uslova, kao što su 3,6 m širina trake i 1,8 m širina bankine. Ova bazna procena frekvencije saobraćajnih nezgoda se za druge slučajeve prilagođava pomoću korekcionih faktora koji predstavljaju uticaje pojedinačnih elemenata geometrije projekta i saobraćaja na bezbednost. Korekциони faktori se koriste da prilagode baznu frekvenciju saobraćajnih nezgoda, uticaju pojedinačnih karakteristika geometrije projekta i upravljanja saobraćajem.

Autori rada Mayora i ostali, [8] istraživali su model predviđanja stope saobraćajnih nezgoda na dvotračnim putevima u Španiji. U ovom slučaju su za nezavisno promenljive uzete sledeće veličine: gustina pristupnih tačaka, prosečna širina kolovoza, minimalna dužina preglednosti, minimalna zakrivljenost, minimalno ograničenje brzine, maksimalni nagib u apsolutnoj vrednosti, minimalna računска projektna brzina i smanjenje projektne brzine sa susednih deonica dužine 1km. Negativni binomni multivarijantni model predviđanja saobraćajnih nezgoda je razvijen i kalibrisan za putne segmente na vangradskim dvotračnim putevima. Na osnovu dobijenih rezultata autori daju sledeće zaključke:

- Ključni korak pri razvijanju modela je izbor skupa nezavisnih promenljivih, koje beleže što je moguće više međusobne interakcije između karakteristika puta i performansi bezbednosti vozača.
- Promenljive puta koje imaju najveću korelaciju sa stopama saobraćajnih nezgoda na španskim dvotračnim vangradskim putevima su: gustina pristupnih tačaka, prosečna dužina preglednosti, prosečno ograničenje brzine i udeo zona sa zabranjenim preticanjem.

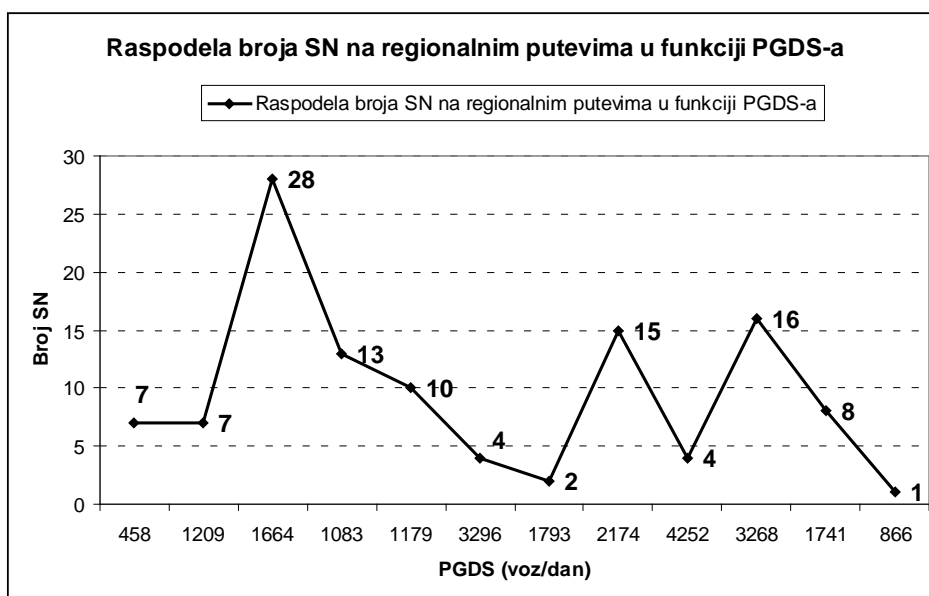
- Velika gustina pristupa ima negativan uticaj na bezbednost. Preventivne mere bi trebalo da uključe mere upravljanja i kontrole pristupa.
- Preglednost bi trebalo poboljšati na onim segmentima na kojima je preglednost manja od 100 m. Nasuprot tome, rezultati su pokazali da preglednost veća od 200 m ne utiče na bezbednost na dvotračnim vangradskim putevima.
- Za merenje uticaja geometrije projekta na stopu saobraćajnih nezgoda neophodno je koristiti promenljive koje mere varijacije karakteristika između susednih elemenata pružanja trase ili duž deonice puta.

### 3. ANALIZA BROJA NEZGODA U FUNKCIJI PGDS-A NA RIZIČNIM DEONICAMA REPUBLIKE SRPSKE

U okviru razmatranog broja saobraćajnih nezgoda analizirane su deonice magistralnih i regionalnih puteva u Republici Srpskoj (BiH). Sprovedena analiza obuhvatila je 29 deonica dvotračnih puteva, koji se svrstavaju u vangradsku putnu mrežu. Sintezom podataka, dobijene su vrednosti PGDS-a i broja saobraćajnih nezgoda po deonicama. U okviru ovog rada, broj saobraćajnih nezgoda je uzet za 2014. godinu. Pri tom, prikazani su podaci za 12 deonica regionalnih puteva u Republici Srpskoj.

**Tabela 1. PGDS i broj SN po odabranim rizičnim regionalnim deonicama RS**

Broj deonice	Broj puta	Deonica puta	Broj SN	PGDS (voz/dan)
494	R405a	Stari Majdan 2-Lamovita	7	458
495	R406	Tukovi-granica RS/FBH	7	1209
689	R454	Konjević Polje-Bratunac 1	28	1664
690	R454	Bratunac 2-Skelani	13	1083
691	R454a	Bratunac 3-Drinjača	10	1179
745	R464	Šamac 1-Grebnice	4	3296
746	R464	Grebnice-granica RS/FBH	2	1793
788	R474	Srbac-Prnjavor	15	2174
789	R474	Gornja Vijaka 1-Gornja	4	4252
790	R474	Gornja Vijaka 2-Razboj	16	3268
791	R474	Razboj-Tedin Han	8	1741
792	R474	Tedin Han-granica RS/FBH	1	866



**Slika 1. Raspodela broja saobraćajnih nezgoda u f-ji PGDS-a na odabranim rizičnim regionalnim deonicama RS**

Na osnovu prethodnog dijagrama na rizičnim regionalnim putevima se ne može uočiti veća funkcionalna zavisnost između broja SN i PGDS-a, s obzirom da je za najveću vrednost PGDS=4252 (voz/dan) broj

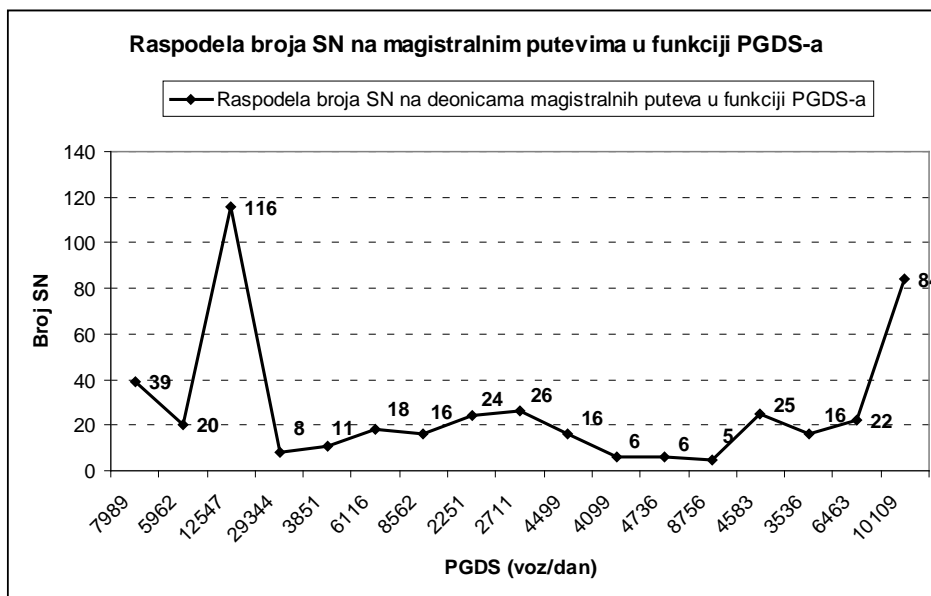


SN=4. Ujedno, najniža vrednost PGDS=458 (voz/dan), daje SN=7, što je veći broj nezgoda nego na deonici Gornja Vijaka 1-Gornja Vijaka 2 gde je najveći PGDS. Shodno tome, analizom 12 posmatranih deonica regionalnih puteva u Republici Srpskoj, ne može se dobiti realna međuzavisnost broja saobraćajnih nezgoda i PGDS, koja bi bila reprezentativna za sve deonice. Na osnovu prethodnog, na regionalnim putevima se ne može govoriti o funkcionalnoj zavisnosti ove dve varijable.

Ako se posmatraju magistralni putevi u Republici Srpskoj, u razmatranju je uzeto 17 deonica sa ciljem da se uspostavi funkcionalna veza između PGDS-a i broja SN.

**Tabela 2. PGDS i broj SN po odabranim rizičnim magistralnim deonicama RS**

Broj deonice	Broj puta	Deonica puta	Broj SN	PGDS (voz/dan)
10	M4	Kozarac-Lamovita	39	7989
18	M4	Kotor Varoš-Obodnik	20	5962
181	M16	Nova Topola-Klašnice 1	116	12547
182	M16	Klašnice 1-Klašnice 2	8	29344
19	M4	Obodnik-Klupe	11	3851
20	M4	Klupe-Teslić (Barići)	18	6116
21	M4	Teslić (Barići)-granica	16	8562
302	M20	Trebinje 2-Bileća	24	2251
386	M14.1	Nova Topola-Srbac	26	2711
387	M14.1	Srbac-Kobaš 1	16	4499
388	M14.1	Kobaš 1-Derventa	6	4099
389	M14.1	Derventa-Derventa	6	4736
390	M14.1	Derventa (Žirovina)-Polje	5	8756
391	M14.1	Polje-Brod	25	4583
7	M4	Blagaj 1-Dragotinja	16	3536
8	M4	Dragotinja-Prijedor	22	6463
9	M4	Prijedor-Kozarac	84	10109



**Slika 2. Raspodela broja SN u f-ji PGDS-a na odabranim rizičnim magistralnim deonicama RS**

Na osnovu prethodnog dijagrama najveći PGDS ima deonica puta Klašnice 1-Klašnice 2 sa izuzetno niskim brojem nezgoda (SN=8), za razliku od ostalih deonica koje imaju relativno niži PGDS, a opet veći broj saobraćajnih nezgoda od prethodno navedene deonice. Ne računajući ovu deonicu, broj saobraćajnih nezgoda ipak raste sa povećanjem PGDS-a. Međutim, na osnovu ograničenog broja deonica, ne može se izvesti značajnija povezanost između PGDS-a i broja saobraćajnih nezgoda, čime se ne može ni funkcionalno definisati njihova međuzavisnost.

#### 4. PREDLOG MODELA ZA PROGNOZU BROJA NEZGODA U FUNKCIJI UZDUŽNOG NAGIBA NA DVOTRAČNIM PUTEVIMA RS

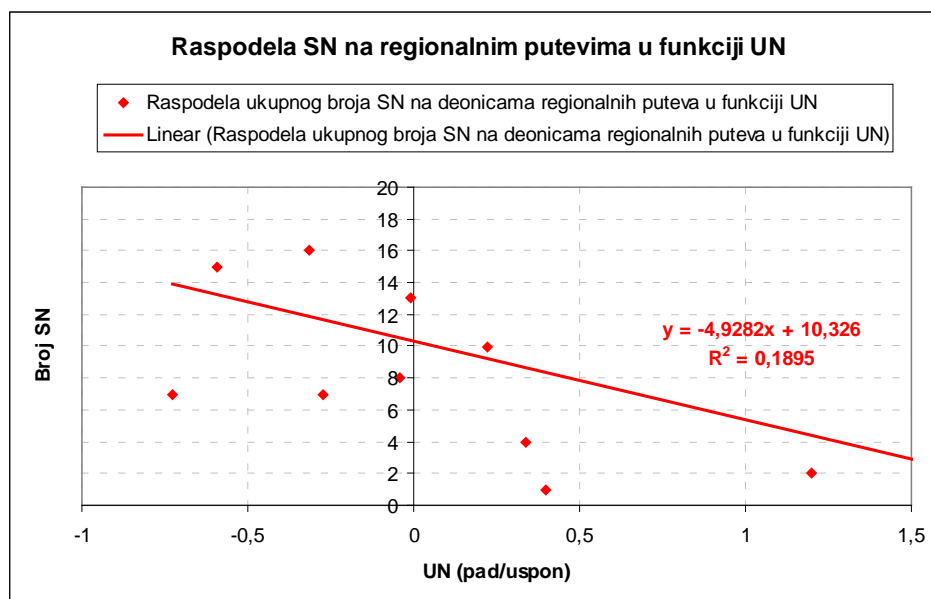
Uzdužni nagib (uspon/pad) je jedan od osetljivih faktora koji može uticati na slučajan događaj koji se manifestuje u vidu saobraćajne nezgode. Osnovni uslovi za analizu saobraćajnih nezgoda u funkciji putnih uslova odnose se pre svega na ravan put (UN= 0%). Na osnovu istraživanja Miaou-a [4] utvrđeno je da sa povećanjem uzdužnog nagiba, dolazi do povećanja broja saobraćajnih nezgoda. Njegovom analizom jednog od korekcionih faktora na broj nezgoda utvrđeno je da povećanje uzdužnog nagiba za jednu jedinicu (za jedan procenat - 1%) dovodi do povećanja broja saobraćajnih nezgoda za 1,6 %. U ovim istraživanjima se navodi i korekcionni faktor za nagib deonice i uvek se uzima apsolutna vrednost nagiba.

**Tabela 3. Korekcionni faktor za nagib deonice**

Uzdužni nagib (%)				
0	2	4	6	8
1,00	1,03	1,07	1,10	1,14

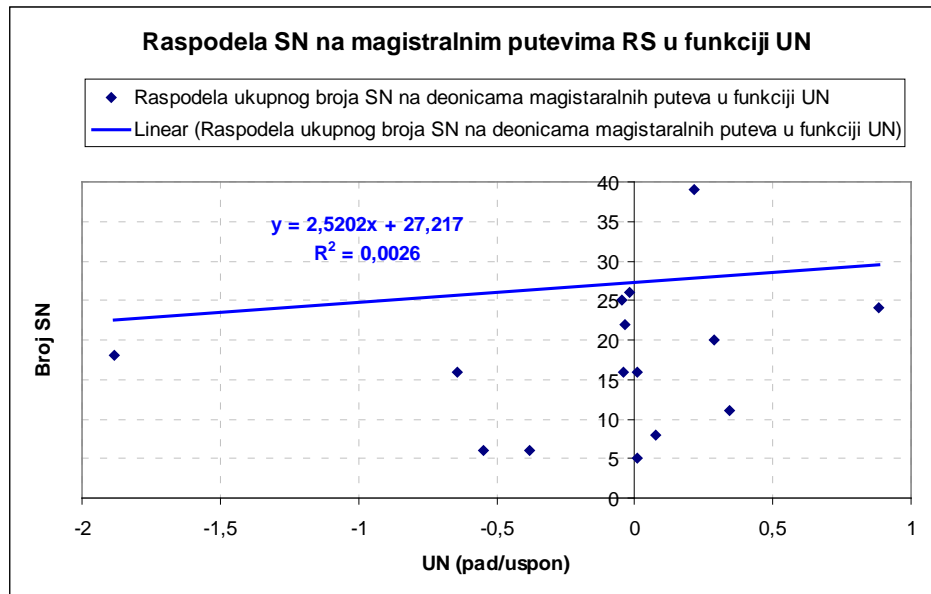
Na osnovu istraživanja prethodno navedenih 29 deonica, od kojih su 17 magistralni putevi (I i II reda), a 12 regionalni putevi, sprovedena je analiza uticaja uzdužnog nagiba na broj nezgoda. Kompletna analiza sprovedena je posebno za regionalne, a posebno za magistralne puteve.

Na 12 deonica regionalnih puteva, napravljena je funkcionalna veza između broja nezgoda i uzdužnog nagiba, na osnovu čega je definisana deterministička zavisnost ove dve varijable, polinomom drugog stepena.



**Slika 3.** Funkcionalna zavisnost UN od broja saobraćajnih nezgoda - regionalni putevi

Sprovedenim istraživanjem na 12 deonica regionalnih puteva, pronađene su srednje vrednosti uzdužnog nagiba (uspona i pada). Definisanjem modela na slici 3. evidentno je da na regionalnim putevima opada broj nezgoda sa povećanjem uzdužnog nagiba. Ovakav zaključak se ne može u potpunosti prihvatiti, jer je samo 12 deonica puta analizirano. Ujedno, posebno su raščlanjeni uspon i pad posmatrane deonice. U modelu je dobijen jako nizak koeficijent korelacije  $R^2=0,1895$ , što govori o velikom rasipanju vrednosti. Time se može potvrditi da je broj saobraćajnih nezgoda na deonicama regionalnih puteva slučajna pojava, bez obzira na UN.

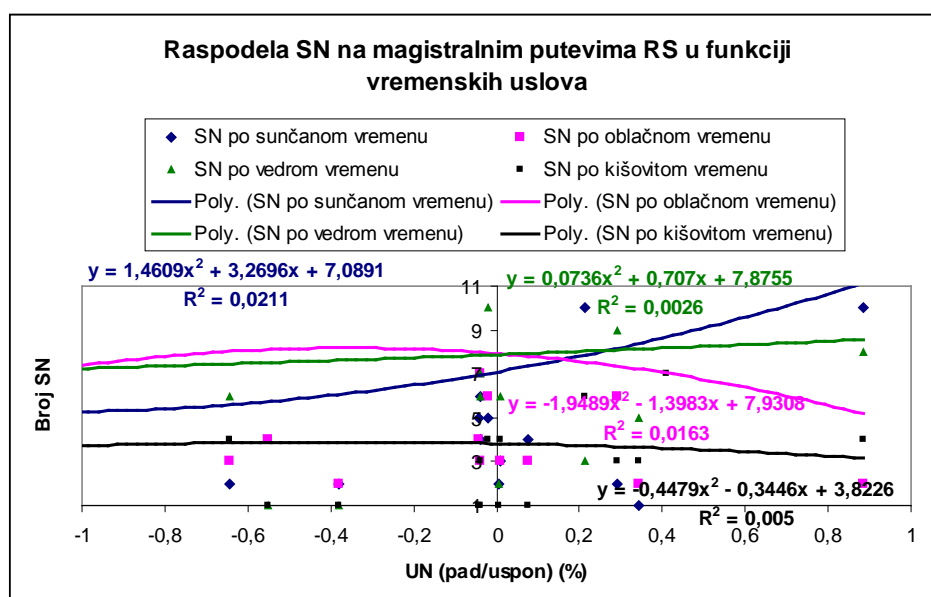


**Slika 4.** Funkcionalna zavisnost UN od broja saobraćajnih nezgoda - magistralni putevi

Sprovedenim istraživanjem na 17 deonica magistralnih putnih pravaca, na osnovu aritmetičke sredine izračunate su srednje vrednosti uzdužnog nagiba (uspona i pada). Pokazatelji date sinteze podataka pokazali su da na magistralnim putevima raste broj saobraćajnih nezgoda sa povećanjem uzdužnog nagiba. Ovakav zaključak se ipak mora posmatrati sa rezervom, obzirom da je istraživanje sprovedeno na 17 deonica magistralnih puteva, a da koeficijent korelacije  $R^2=0,0026$  posebno ističe rasipanje vrednosti broja nezgoda, u odnosu na UN.

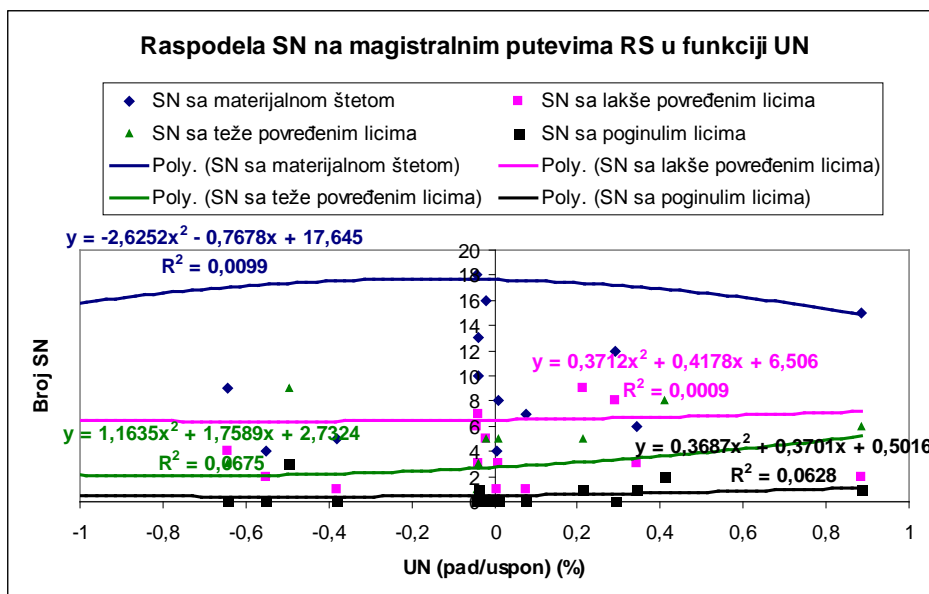
Prema datim kalibrisanim vrednostima na dijagramima, na ravnom putu (UN= 0 %), na magistralnim putevima je veći broj saobraćajnih nezgoda nego na regionalnim putevima. Ovakav stav se može predvideti i time što je na regionalnim putevima znatno manja vrednost PGDS-a u odnosu na magistralne putne deonice.

Savremeni pravci empirijskih istraživanja, posebnu pažnju posvećuju vremenskim (ne)prilikama, pa se na narednoj slici posebno izdvajaju magistralni putevi gde je prikazana detaljna analiza vezana za broj nezgoda u zavisnosti od vremenskih uslova. Ovde se na osnovu datog uzorka može izvesti zaključak da broj nezgoda po sunčanom vremenu sa povećanjem uzdužnog nagiba raste na magistralnim putevima. Isto tako, najmanji broj saobraćajnih nezgoda se događa po kišovitom vremenu.



**Slika 5.** Funkcionalna zavisnost UN od broja saobraćajnih nezgoda na magistralnim putevima pri različitim vremenskim uslovima

Na slici 6. data je raspodela broja saobraćajnih nezgoda na magistralnim putevima u funkciji uzdužnog nagiba prema težini nezgode. Na ovoj slici se vidi da je najmanji broj nezgoda sa poginulim licima na magistralnim putevima, a najveći broj sa materijalnom štetom u funkciji, tj. zavisi od uzdužnog nagiba. Detaljnija prognoza saobraćajnih nezgoda u odnosu na nagib ne može se dati ovim grafičkim prikazom, zbog rasipanja vrednosti i niskih intervalnih vrednosti raspona za UN (od -1 % do +1 %). Kada u prosečnoj vrednosti uzdužnog nagiba posmatramo ravan teren sa UN= 0 %, prema modelu sa naredne slike, može se predvideti 19 nezgoda sa materijalnom štetom, 7 nezgoda sa lakše povređenim licima, 3 nezgode sa teže povređenim licima i jedna ili nijedna sa smrtno stradalim osobama.



**Slika 6.** Funkcionalna zavisnost UN od broja saobraćajnih nezgoda na magistralnim putevima prema težini posledice

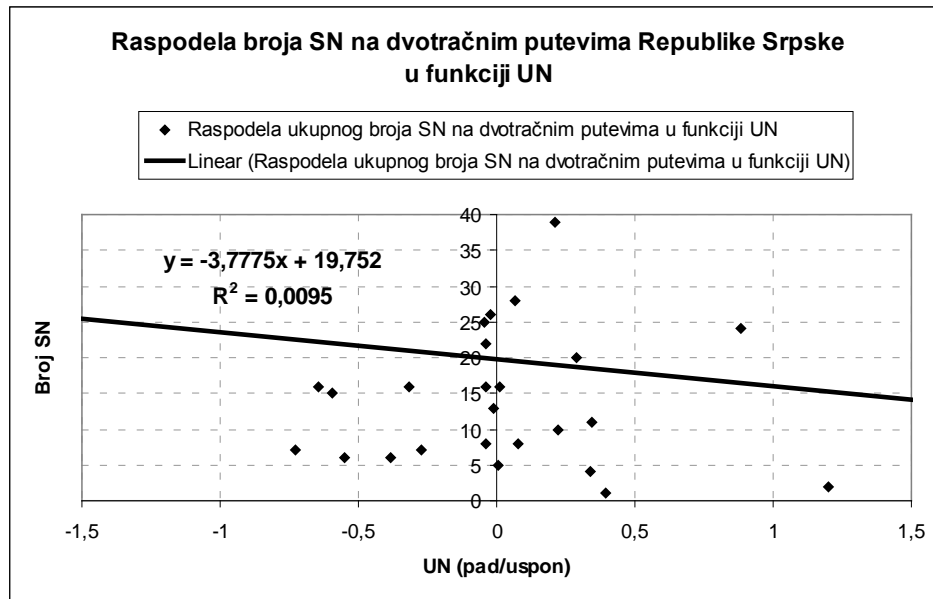
## 5. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedenog istraživanja i predloga modela za prognozu broja saobraćajnih nezgoda, koga su mnogi svetski istraživači analizirali, može se zaključiti da je broj saobraćajnih nezgoda na putevima, kako u zemlji, tako i u inostranstvu osetljiv na putne i ambijentalne uslove. Posebno se ističe osetljivost povećanja/smanjenja broja nezgoda u zavisnosti od uspona/pada. Dobijeni modeli u Republici Srpskoj, koji se predlažu u linearnom obliku, na relativno malom uzorku, prikazuju izuzetno nizak koeficijent korelacije  $R^2$ . Ovako nizak koeficijent govori o velikom rasipanju vrednosti nezgoda u funkciji uzdužnog nagiba. Na osnovu sprovedenog istraživanja, pokazano je da se pojava saobraćajne nezgode od deonice do deonice puta ne može predvideti i ne može planirati, pa se i prognoza broja saobraćajnih nezgoda može prividno prikazati datim modelima.

Na deonici magistralnog puta izdvaja se deonica Nova Topola-Klašnice 1, na kojoj je PGDS=12547 voz/dan, gde je uočena crna tačka sa ukupnim brojem nezgoda SN=116. Za razliku od ove deonice puta, deonica Klašnice 1-Klašnice 2 ostvaruje PGDS= 29344 voz/dan, a sa jako niskim brojem nezgoda SN=8. Posebno se ističe deonica regionalnog puta Konjević Polje-Bratunac 1 sa prosečnom vrednosti PGDS-a, a opet izuzetno visokim brojem saobraćajnih nezgoda na datoj deonici u 2014.godini. Na osnovu prethodne analize evidentno je da se ne može zaključiti da na razmatranim deonicama postoji funkcionalna zavisnost broja nezgoda i PGDS-a.

Na osnovu modela na narednoj slici, koji se formira kao jedinstvena funkcionalna veza između broja nezgoda i uzdužnog nagiba dvotračnih puteva u Republici Srpskoj, može se zaključiti da sa prelaskom uzdužnog nagiba iz pada prema usponu generalno dolazi do opadanja broja saobraćajnih nezgoda. U ovom slučaju se za ravan teren (UN = 0 %), može predložiti prognozirani broj nezgoda SN=20 nezgoda. Kao nedostatak ovog modela potrebno je napomenuti da je neophodno klasirati dati broj nezgoda prema vremenskim uslovima, vrsti nezgode, učesnicima i sl. Osim toga, generalno se dobija izuzetno nizak koeficijent  $R^2 = 0,0095$ , što opet govori o izuzetno niskoj korelativnoj vezi, čime se dati model ipak prihvata

samo kao pretpostavka. Generalno na svim deonicama se ne može govoriti o prognozi vrednosti za različite uzdužne nagibe, obzirom da je jako nizak  $R^2$



**Slika 7.** Ukupna raspodela broja saobraćajnih nezgoda prema UN na dvotračnim putevima Republike Srpske

Kao nedostatak kompletnog istraživanja, posebno se navodi mali broj deonica puteva na kojima je sprovedeno istraživanje, a samim tim i analiza podataka koja se odnosi i na prostornu, ali i na vremensku distribuciju saobraćajnih nezgoda (posmatrani su podaci o saobraćajnim nezgodama tokom jedne godine). U skladu sa tim, analizu je potrebno sprovesti na većem obimu deonica i u saglasnosti sa svetskim istraživanjima sprovesti istraživanje u prethodnom periodu od najmanje 5 godina.

## LITERATURA

- [1] Kostić, S., Papić, Z., Gladović, P., Saulić, N. (2014) Percepcija rizika i reagovanje vozača u opasnim situacijama na putevima. XII International Symposium "ROAD ACCIDENTS PREVENTION 2014".
- [2] Benekohal, R.F., Hashmi, A.M., (1992) Procedures for Estimating Accident Reductions on Two - Lane Highways. Journal of Transportation Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol. 118, No. 1.
- [3] Dorsch, C., Berger, L., SAD (1974) Uputstva za izradu studija o izvodljivosti puteva. Beograd: Savez organizacija za puteve.
- [4] Miaou, S.-P. (1997) Estimating vehicle roadside encroachment frequencies by using accident prediction models, Transportation Research Record 1599, 64-71.
- [5] Kulmala, R., Roine, M. (1988) Accident Prediction Models for Two-Lane Roads in Finland, Technical Research Centre of Finland, Traffic Safety Theory and Research Methods, Session 4, Statistical Analysis and Models, Amsterdam.
- [6] Hadi, M.A., Aruldas, J., Chow, L.F., Wattleworth, J.A., 1995. Estimating safety effects of cross-section design for various highway types using negative binomial regression. Transportation Research Record 1500, 169–177.
- [7] Harwood, D. W., Council F.M., Hauer E., Hughes, W.E. and Voigt, A. (2000). Prediction of the Expected Safety Performance of Rural Two-Lane Highways. FHWA-RD-99-207.
- [8] Mayora, J. M. P., Rubio, R.L. (2003) Relevant Variables for Crash Rate Prediction in Spain's Two Lane Rural Roads. In Proceedings of the 82nd Transportation Research Board Annual Meeting. Washington DC, USA.
- [9] Kuzović, LJ. (1991) Postupak proračuna pokazatelja na kojima se zasniva primarna uloga funkcionalnog vrednovanja deonica puteva, Tehnika, 46, 3-4, str. 241-248.

# UNAPREĐENJE AKTUELNIH ANTIKORUPCIJSKIH MERA RADI POBOLJŠANJA BEZBEDNOSTI U SAOBRAĆAJU

Jelena Karapetrović<sup>1</sup>

Dušan Jolović<sup>2</sup>

<sup>1</sup> New Mexico State University, Las Cruces, NM, U.S.A., [iskra@nmsu.edu](mailto:iskra@nmsu.edu)

<sup>2</sup> New Mexico State University, Las Cruces, NM, U.S.A., [djolovic@nmsu.edu](mailto:djolovic@nmsu.edu)

**Rezime:** Klasifikacija glavnih uzroka smrtnosti stavlja saobraćaj na osmo mesto, a predviđa se pomak ka petom do 2030. godine. Svake godine na globalnom nivou pogine 1.24 miliona ljudi, a 20 do 50 miliona biva povređeno kao posledica saobraćajnih nezgoda. Ljudski faktor, neispravnost vozila i uslovi na putevima su primarni razlozi. Sprečavanje negativnih posledica ljudskog faktora se postiže edukacijom, putnim dizajnom i zakonodavstvom. Efikasno sprovođenje saobraćajnih zakona doprinosi smanjenju saobraćajnih nezgoda, ali je često onemogućeno korupcijom. Korupcija je zloupotreba službenog položaja radi ostvarivanja lične dobiti. Prema istraživanjima javnog mnjenja o policiji, Srbija je na prvom mestu u regionu po davanju/uzimanju mita. Vodeće mesto na listi najkorumpiranijeg sektora policije zauzima saobraćajna policija. Cilj ovog rada je sumiranje pozitivnih i negativnih iskustava u borbi protiv korupcije razvijenih, kao i zemalja u razvoju, sa posebnim osvrtom na Srbiju i region. Na osnovu analiziranih studija i zaključaka autora, biće predloženi detaljni koraci za unapređenje trenutne strategije za borbu protiv korupcije.

**Ključne reči:** korupcija, bezbednost, saobraćajna policija, Srbija, Jugoistočna Evropa

## 1. UVOD

Svetska zdravstvena organizacija je ustanovila da oko 1.24 miliona ljudi umre, i dodatnih 20 do 50 miliona biva povređeno u saobraćajnim nezgodama godišnje. Saobraćaj je na osmom mestu glavnih uzroka smrti na globalnom nivou, i očekuje se da dostigne petu poziciju do 2030. godine. Osim toga, saobraćaj predstavlja vodeći uzrok smrti mladih ljudi (starosti 15 do 29 godina) [1].

Detektovanje uzročnih faktora smanjene bezbednosti je ključalno za njihovo odstranjivanje, s ciljem smanjenja broja saobraćajnih nezgoda [2]. Neispravnost vozila, stanje puta i ljudski faktor predstavljaju najčešće uzroke saobraćajnih nezgoda [3]. Svetska zdravstvena organizacija definiše ključne ljudske faktore: vožnja pod dejstvom alkohola i/ili nedostatka sna, neprilagođena brzina, i odsustvo zaštitne opreme (sigurnosni pojas, kaciga, dečije auto-sedište) [1].

Edukacija, inženjering i zakonodavstvo pomažu u prevazilaženju bezbednosnih prepreka u saobraćaju. Edukacija javnosti u vezi prava i obaveza, kao i projektovanje oprastajuće putne infrastrukture i vozila, zahtevaju zakonodavstvo koje bi maksimiziralo učinkovitost.

Efikasno sprovođenje bezbednosnih mera u saobraćaju je značajan činilac smanjenja broja saobraćajnih nezgoda, ali je često ometeno pojavom korupcije. Korupcija je definisana kao zloupotreba službenog položaja zarad lične koristi [4]. Primanje mita u zamenu za zanemarivanje prekršaja predstavlja najčešći oblik korupcije među saobraćajnom policijom.

---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: [iskra@nmsu.edu](mailto:iskra@nmsu.edu)

Tipičan slučaj može podrazumevati saobraćajnog policajca koji zaustavlja vozilo bez valjanog razloga, i iznuđuje mito pre nego što vozaču dozvoli da nastavi vožnju. Izdavanje vozačkih dozvola i potvrda o registraciji vozila bez ispunjenih preduslova je takođe učestali slučaj. Na primer, u zamenu za ubrzanje procedure ili zanemarivanje tehničke neispravnosti vozila pri registraciji, ili olakšanog polaganja vozačkog ispita, policijski službenici mogu tražiti mito. Korumpirana policija uzrok je smanjenja efikasnosti i pada poverenja javnosti u njihov kredibilitet. Takođe, vreme koje korumpirani policajac utroši na iznudu i zaustavljanje vozila bi moglo biti iskorišćeno za unapređenje bezbednosti. Pojava nebezbednih vozila na ulicama kojima upravljaju nekompetentni vozači povećava verovatnoću saobraćajne nezgode.

## 2. KORUPCIJA NA GLOBALNOM NIVOU

Iako je prisustvo korupcije evidentno i u razvijenim zemljama, ona je naročito rasprostranjena u zemljama u razvoju. Hors (2000) je proširio ovu svoju tvrdnju definisanjem osnovnih prepreka u borbi protiv korupcije: ekonomija i politika. Zemlje u razvoju nemaju pristup istim finansijskim sredstvima koja bi bila preusmerena na odstranjivanje korupcije kao razvijene zemlje. Takođe, političari generalno nisu voljni da se založe protiv korupcije, iz razloga što bi se vremenom doveo u pitanje i njihov integritet. [5].

Ivkovic (2003) kvantifikuje korupciju u zemljama u razvoju. Stanovnici Republike Letonije smatraju saobraćajnu policiju najkorumpiranijom agencijom u državi, pri čemu je mito tražen u svakom trećem susretu sa saobraćajnim policajcem. Takođe, kambodžanska saobraćajna policija očekuje mito u 80% slučajeva [6].

Nield (2007) je izneo da stanovnici Nigerije i Meksika u gotovo svakom susretu sa saobraćajnom policijom očekuju da će morati da podmire policajca. Nadalje, Ganjani i Ugandani priznaju da podmićuju u 92% i 63% slučajeva svoje saobraćajce, tim redosledom. Zaustavljanje vozila od strane policajaca je u Rusiji i ostatku Istočne Evrope redovno povezano sa nezakonitom iznudom [7].

Antikorupcijske mere mogu unaprediti saobraćajnu bezbednost. Strategije u Vijetnamu su smanjile broj nezgoda u glavnom gradu za 10% [8].

Države najčešće koriste kombinaciju mera u borbi sa korupcijom. Ove mere uključuju: povećanje beneficija saobraćajnim policajcima, nadgledanje i kontrolu njihovog kvaliteta rada, kao i uvođenje strožeg kažnjavanja u slučaju prestupa. Takođe, edukacija policije, ali i građana preko medija je čest pristup. Primena tehnologije je rasprostranjen metoda, jer se tako smanjuje kontakt policije sa građanstvom, ali i povećava verovatnoća detekcije korupcije.

### 2.1. Države u razvoju

Meksiko, Gruzija, Hong Kong i Singapur su prema klasifikaciji Ujedinjenih Nacija (UN) označene kao države u razvoju [9].

Među ove četiri države, jedino je Meksiko neuspešan u borbi protiv korupcije u saobraćajnoj policiji - preko 70% građana ima veoma malo ili nimalo poverenja u saobraćajce. Poređenje iskustva Meksika sa iskustvima ostale tri države, se može upotrebiti kao model kako unaprediti antikoruptivne mere. Uprkos generalnom neuspehu, u Meksiku je identifikovana jedna uspešna metoda: Meksiko Siti je oformio jedinicu saobraćajne policije i zaposlio isključivo žene. Obrazloženje je bilo zasnovano na pretpostavci da su žene prirodno manje sklone korupciji od muškaraca. Saobraćajne patrole sastavljene isključivo od policajki izdale su trostruko više prijava nego njihove muške kolege. Ovaj eksperiment govori u prilog angažovanju više žena u saobraćajnim jedinicama, iz razloga što bi ovaj princip mogao dati pozitivne rezultate. Međutim, meksička antikoruptivna borba pokazuje i niz nedostataka [10], [11].

Prvo, uključivanje medija i izlaganje počinitelaca javnosti je primenjeno u svim navedenim državama u razvoju, ali je uticaj javnog sramoćenja u različitim kulturama evidentan. Na primer, istraživanje sprovedeno od tima naučnika na čelu sa Sznycer-om (2012) je potvrdilo ovaj kulturalni uticaj. Rezultati su pokazali da su ispitanici iz Japana skloniji osećaju postidećenosti nego britanski i američki ispitanici. Stanje u Meksiku bi se moglo objasniti ovim fenomenom, ukoliko su i Meksikanci manje osetljivi na osudu javnosti.

Zatim, Meksiko nije ponudio konkretnu edukaciju u vezi korupcije svojim saobraćajnim policajcima. Singapur i Hong Kong jesu. Gruzija je oformila telefonsku liniju za žalbe, i spremnost građana da prijave korupciju je porasla. Broj prijava koje nisu bile anonimne je takođe drastično porastao, jer je javnost bila zaštićenija, ali i bila uverena da može da promeni stanje u policiji. Nasuprot ovome, Meksiko nije angažovao javnost. Agencija za borbu protiv korupcije je postavila druge policajce samo kao posmatrače umesto kao aktivne učesnike u otklanjanju korupcije. Meksička antikoruptivna angažovanost se sastoji pretežno od odeljenja za unutrašnju kontrolu i nadzornih kamera, pri čemu je zanemaren odličan izvor informacija od policije i javnosti.

Uvođenje zatvorske kazne u Meksiku je rezultiralo negativnom motivacijom stanovništva za dalje prijave korupcije. Singapur je, naprotiv, pozitivno motivisao svoje policajce povećanjem plate i uvođenjem beneficija za odgovorno vršenje dužnosti.

Gruzija je početkom 21. veka bila toliko korumpirana da su drakonske mere bile neophodne. Vozačke dozvole su se poklanjale kao rođendanski pokloni, a kupovale su se za oko \$100. Popust na cenu je bio moguć ukoliko osoba kojoj se kupuje dozvola ima elementarno poznavanje upravljanja vozilom. Preko noći je otpušteno 16000 saobraćajaca i zaposlene su kompletno nove jedinice. Policija u civilu je angažovana da kontroliše saobraćajne patrole. Dodatne uspešne mere sprovedene u Gruziji uključuju primenu tehnologije: kamere, plaćanje kazni isključivo preko bankovnog računa, kao i automatizacija procesa izdavanja vozačke i saobraćajne dozvole. Kao rezultat, Gruzija je proglašena za vodeću državu u kategoriji relativnog smanjenja nivoa korupcije u 2010. godini [12].

Hong Kong je stavio akcenat na edukaciju, nudeći seminare i veb-sajt posvećene korupciji. Kao posledica ovih mera, spremnost građana da prijave korupciju je porastao, a čak 75% prijava je bilo javno, što ukazuje na svest građana da poseduju moć da promene stanje [13].

Singapur je posebnu pažnju posvetio procesu zapošljavanja saobraćajaca, kao i njihovom antikoruptivnom treningu. Rezultat svega ovoga je veoma nizak nivo korupcije u njihovoj saobraćajnoj policiji [14].

## 2.2. Razvijene države

Mađarska, Ujedinjeno Kraljevstvo, Australija i Češka Republika su razvijene zemlje prema kategorizaciji UN [9].

Konkretno, dve mere su u prošlosti bile bezuspešne u Mađarskoj. Prvo, saobraćajcima je bilo dozvoljeno da odrede visinu novčane kazne na osnovu statusa i prihoda vozača, što je ostavljalo prostora za pojavu korupcije [15]. Drugo, zakon iz 1999. godine je povećao visinu kazni za 500%. Ovaj potez je imao negativne posledice. Broj napisanih kazni od strane saobraćajne policije se smanjio za 20% [16]. Visoke kazne su povećale korupciju. Danas je saobraćajnim policajcima u Mađarskoj zabranjeno da uzimaju bilo kakav novac za kazne na licu mesta i obezbeđeni su seminari za policajce na temu korupcije. Takođe, Mađarska nudi imunitet jednom od učesnika podmićivanja, ukoliko se korupcija prijavi u određenom vremenskom periodu. Ovakvo obezbeđenje imuniteta povećava rizik uzimanja/davanja mita, ali i smanjuje rizik od deljenja informacija o postojanju korupcije. Nivo korupcije u saobraćajnoj policiji je smanjen zahvaljujući ovim merama [17].

Ujedinjeno Kraljevstvo je zauzelo sličan stav i jedan od učesnika davanja/primanja mita može biti zaštićen. Primer Ujedinjenog Kraljevstva svedoči da čak i zemlje sa niskom stopom korupcije moraju biti istrajne u



borbi tako što će nalaziti nove načine za jačanje policijskog integriteta. Jedna od misija Ujedinjenog Kraljevstva je umanjene mogućnosti za manipulaciju pravilima tako što će zakone što jasnije definisati [18].

Australija upotrebljava video kamere, GPS tehnologiju, kao i temeljnu proveru policajaca pri zapošljavanju, tako da je pojava korupcije veoma retka [19].

Češka Republika ulaže napore da minimizira kontakt između policije i građana korišćenjem kamera na raskrsnicama i naplatom kazni isključivo preko bankovnog računa. Ove mere su dale pozitivne rezultate i korupcija je u stalnom opadanju [20].

### 2.3. Jugoistočna Evropa

Prema istraživanjima iz Bosne i Hercegovine, 55% građana smatra da je većina policijskih zvaničnika na svim nivoima korumpirana. Policiji se posebno zamera manjak komunikacije sa građanima [21]. Imidž saobraćajnih policajaca je veoma nizak, jer je taj odsek policije po mišljenju građana najviše korumpiran [22, 23, 24, 25].

Republika Srbija je donela strategiju razvoja saobraćajne policije za period 2012-2017, u cilju smanjenja saobraćajnih nezgoda, povećanja transparentnosti i smanjenju korupcije. Adekvatna primena strategije može povratiti poverenje građana u saobraćajnu policiju [26]. Veliki deo planova za suzbijanje korupcije je ipak ostao neispunjen [27]. Poslednji podaci iz 2016-te, pokazuju da je samo 10% aktivnosti realizovano iz akcionog plana za sprovođenje antikorupcijske strategije u policiji [28].

Distanciranost policajaca u komunikaciji sa građanima, eventualni sukobi i napetost između građana i policije, i nedovoljna materijalna nagrada za policijski posao, može doprineti porastu korupcije, jer na taj način policija daje do znanja ko je vlast i pokušala da stekne ugled u društvu [23].

Jedan od problema sa kojima se susreće policija u Republici Srbiji je veliki uticaj političkih stranaka na rad policije, što u znatnoj meri doprinosi porastu korupcije [25, 29]. Čak je i borba protiv korupcije zloupotrebljavana zbog ostvarivanja političkih ciljeva [28]. Policijski rukovodioci su označeni kao najkorumpiraniji i protiv njih je podneta svaka deveta krivična prijava [24]. U svom radu, Đorđević (2013) iznosi podatke da 69% građana Srbije smatra da je policija korumpirana, što je iznad svetskog proseka [30]. Drugi izvori navode da samo 4% građana Srbije smatra da policijske službe nisu korumpirane [31].

Prema mišljenju građana, motivi korumpiranih policajaca u Srbiji se mogu podeliti u tri grupe: drugi policajci takođe primaju mito (31%), rizik da budu uhvaćeni i osuđeni je nizak (26%), i da policija ima niska primanja (24%). Služba unutrašnje kontrole napominje da 75% policajaca ne želi da prijavi korumpiranog kolegu, a čiji nalazi su potvrđeni studijom Beogradskog Centra za Bezbednosnu Politiku [24, 32].

Da bi se postigli zadovoljavajući rezultati u borbi protiv korupcije, neophodna je mnogo bolja unutrašnja kontrola sa većim ovlašćenjima, strogo kažnjavanje počinitelaca i rukovodilaca umešanih u korupciju, podsticanje građana da prijavljuju nelegalne radnje, povećanje plata policijskom sektoru, postojanje političke volje za rešavanje problema, i podsticanje policajaca da prijave korumpirane kolege [24, 33, 34].

Jedan od problema u Srbiji je što se Zakon o Agenciji za Borbu Protiv Korupcije nije poboljšao kako je bilo planirano. Prema poslednjim podacima, samo delimično je uspešno sprovedena integracija civilnog društva u antikorupcijsku borbu. Izrada novog Zakona o Policiji je u toku, mada prve revizije pokazuju da u nekim delovima Zakon nije dovoljno jasan. Takođe, procedura koja omogućava unapređenu saradnju i koordinaciju policije i tužilaštva nije usvojena, a na rešavanju sličnog problema se radi i u BiH i Crnoj Gori [27,35,36].

U Bosni i Hercegovini ne postoje vaninstitucionalni oblici kontrole policije, a institucionalni reaguju samo na prekoračenje ovlašćenja. Veliki problem predstavlja manjak funkcionalnosti osnovanih nezavisnih institucija koje bi se obračunavale sa korupcijom [35,36]. Akcioni plan za borbu protiv korupcije u BiH kasni sa implementacijom, što se odrazilo na uvođenje propisanih mera [36]. Sprovođenje plana pokazuje povećan broj prijava za slučajeve korupcije za 48% u 2013-oj godini. Jedan od problema sa kojima se susreću i ostale države u regionu su relativno male zarade policijskih službenika, što otvara put ka koruptivnim aktivnostima.

Crna Gora je takođe usvojila akcioni plan za borbu protiv korupcije. Jedna od uspešno uvedenih mera je takozvani nemački model, gde su uz saradnju sa OEBS-om, uvedeni takozvani kontakt policajci (policijski službenici) u raznim geografskim oblastima. Oni su zaduženi za izgradnju partnerstva, edukaciju đaka i rešavanje redovnih problema u lokalnoj zajednici [37]. Jedno od nerešenih pitanja je političko i porodično ("burazersko") zapošljavanje u policiji [38]. Neke od preporuka za unapređenje antikorupcijske strategije u Crnoj Gori su: prijavljivanje imovine policijskih službenika, implementacija plana integriteta policijskih službenika tj. odupiranje težnji da se zloupotrebljavaju prava i privilegije profesije, veća zaštita lica koja prijavljuju koruptivne aktivnosti i povećana transparentnost [36].

Republika Hrvatska je donela strategiju suzbijanja korupcije 2008. godine [39]. Prema zvaničnim podacima, posle donošenja strategije, korupcija se smanjila za oko 15%. Međutim, javnost smatra da je korupcija u porastu poslednjih godina. Jedan od problema sa kojima se susreće Hrvatska policija je „kodeks ćutanja“ gde saobraćajni policajac neće prijaviti svog kolegu zbog nesavesnih radnji [40].

### 3. PREDLOG MERA ZA SMANJENJE KORUPCIJE

Detaljan pregled trenutno aktuelnih antikorupcijskih mera zastupljenih širom sveta pokazuje da postoji način za unapređenje. U nastavku su prikazani koraci koje autori predlažu kako bi doprineli smanjenju korupcije i unapređenju bezbednosti u saobraćaju.

Neophodno je u početku ustanoviti u kojoj meri je korupcija zastupljena. Ovo se može ostvariti anonimnim on-lajn anketama. Ivkovic (2003) u svom istraživanju o korupciji primećuje otpor pri ispitivanju policije, ali i građana. Kao razloge navodi tzv. "kodeks ćutanja" koji sprečava policajce da govore o korupciji, ali i nedostatak motivacije među građanima koji strahuju da će samo imati negativne posledice ukoliko progovore [6]. Zbog ovoga, smatramo da bi anonimno istraživanje imalo više efekta. Takođe, on-lajn format bi značajno umanjio troškove prikupljanja podataka i bio bi ekološki prihvatljiviji. Uvodna (bazna) anketa bi mogla biti ustanovljena kao prilog računa za struju, a ispitanici bi bili stimulisani da u njoj učestvuju. Kasnije, jednogodišnje ankete bi mogle biti zahtevane uz svaku registraciju vozila. Ovo istraživanje bi dalo uvid u to da li je neko od anketiranih svedočio o neregularnosti ili nepoštenom obavljanju dužnosti saobraćajne policije. Na ovaj način bi se prikupio dovoljan broj podataka svake godine, koji bi mogao da se poredi sa rezultatima bazne ankete i omogućio praćenje trenda kojim se korupcija iskorenjuje. Učesnici u anketi bi trebalo da iznesu svoje mišljenje o vodećim razlozima saobraćajne korupcije. Ovi odgovori bi pomogli u početnom definisanju nedostataka u okviru saobraćajne policije, ali i dali sveže ideje o budućoj borbi protiv korupcije. Postojanje anketa i insistiranje na njihovom sprovođenju bi pokazalo građanima da država zaista ima želju da utiče na negativne aspekte u policiji.

Mnoge od država prethodno navedenih u radu su pokušale da edukuju učesnike u saobraćaju, ali i policiju. Ovaj model se pokazao kao efikasan. Stoga, autori insistiraju na organizaciji seminara za saobraćajne policajce na temu saobraćajne bezbednosti i etike dva puta godišnje. Fatalne posledice uzimanja mita moraju biti naglašene, kako bi se ohrabrila policija u unapređenju sopstvenog integriteta. S druge strane, javnost mora biti informisana o svojim pravima i obavezama ne samo kroz medije (televizijski, radio program, internet), već i kroz formalno obrazovanje. Osnovne i srednje škole bi trebalo da organizuju radionice svake školske godine na temu važnosti mera bezbednosti u saobraćaju, kao i neophodnost njihove primene za sve učesnike u saobraćaju. Na ovaj način bi građani od malih nogu mogli uticali na smanjenje korupcije u državi.

Nadalje, ukoliko dođe do prvog prekršaja, odgovornog policajca bi trebalo kazniti oduzimanjem dotadašnjeg beneficiranog radnog staža, kao i prava na bonuse. Prekid radnog odnosa bi trebalo da usledi nakon drugog dokazanog prestupa. Učesnik u saobraćaju koji je ponudio mito bi imao pravo na imunitet ukoliko slučaj prijavi u roku od 24 sata. Ukoliko to ne učini, kazna bi bila zatvorska i dodati kazneni poeni na vozačku dozvolu. Ukoliko saobraćajac odbije mito, osoba koja je ponudila mito bi ipak bila krivično gonjena. Kako bi se umanjio učinak "kodeksa ćutanja", nasumično određenom saobraćajnom policajcu bi bili dodeljeni svi audio i video zapisi jednog od kolega koje je ovaj prethodno zabeležio na terenu. Od njega bi se tražio objektivan izveštaj o materijalu dva puta godišnje. Na ovaj način bi svaki saobraćajac bio proveren, ali istovremeno i prinuđen da pomaže u detektovanju korupcije. Unutrašnja kontrola, kao posebna jedinica, bi imala pristup zapisima svih policajaca, ali i izveštajima napisanih od strane njihovih kolega. Ukoliko unutrašnja kontrola otkrije neprijavljeno delo korupcije, oba policajca (počinilac i policajac koji je podneo izveštaj) bi bili podjednako kažnjeni. Održanje integriteta i etike bi postalo zajednički cilj čitave policijske jedinice.

Napredak tehnologije bi trebalo maksimalno iskoristiti kako bi se smanjio kontakt između policije i javnosti, a njihovu komunikaciju držati pod nadzorom. Lokacije za polaganje pismenog dela vozačkog ispita, kao i vozila na kojima se vrši praktično polaganje bi trebalo opremiti video kamerama. Tehnički pregled vozila bi takođe trebalo da podrazumeva i video zapis od strane ovlašćenog lica koje bi ovaj snimak predale uz ostalu dokumentaciju za registraciju. Kompletan proces izdavanja vozačke i saobraćajne dozvole bi trebalo pojednostaviti i omogućiti prilaganje potrebne dokumentacije on-lajn. Svaka saobraćajna patrola bi trebalo da ima audio/video kamere koje bi bile uključene pri svakom kontaktu sa javnošću. Kamere veoma malih dimenzija su dostupne u prodaji, tako da bi saobraćajci s lakoćom mogli da ih nose sa sobom. S druge strane, učesnicima u saobraćaju bi trebalo dozvoliti da snimaju razgovor sa saobraćajnom policijom bez prethodne najave. Sve ove mere bi dovele do povećanja rizika umešanosti u korupciju. Naplata kazni bi bila moguća isključivo preko veb-sajta saobraćajne policije.

#### 4. ZAKLJUČAK

Praksa u svetu svedoči o tome da i najmanji previd u organizaciji antikoruptivne borbe za posledicu ima korumpirano ponašanje. Upotreba edukacije, upotreba tehnologije i jasno definisan sistem nagrađivanja bi mogli odstraniti ove nedostatke. Uvođenje predloženih mera ne bi ostavilo prostora za manipulaciju. Osnovna prednost uvođenja ovakve procedure je u višestrukoj mogućnosti detekcije korupcije, pri čemu je svaki od učesnika ili posmatrača stimulisan da je prijavi.

Smanjenje kontakta između policije i javnosti uz pomoć on-lajn plaćanja i predaje dokumenata bi smanjilo verovatnoću pojave mita. Svest o značaju etike i spremnost da se prijavi delo korupcije bi za posledicu imalo pružanje boljeg uvida u nivo korupcije koji je trenutno visok. Takođe, bio bi obeshrabren nastavak takvog ponašanja. Ukoliko do korupcije dođe uprkos svemu ovome, postoje četiri nivoa njene potencijalne detekcije:

- Audio/video kamere su obavezne pri svakom susretu saobraćajca sa javnošću
- Učesnicima u saobraćaju je dozvoljeno da snimaju policajce bez najave, tako da je verovatnoća detekcije povećana
- Prijava korupcije je od strane javnosti, ali i kolega korumpiranog policajca ohrabrena
- Unutrašnja kontrola, kao nezavisna jedinica, bi imala pravo da kazni bilo kog od učesnika u korupciji: policajca, njegovog kolegu koji je podneo lažni izveštaj, ali i učesnika u saobraćaju koji je ponudio mito.

Kazna za primanje i davanje mita bi trebalo da bude radikalna. Na ovaj način, umešanost u korupciju postaje veoma rizična.

Svi predloženi koraci moraju biti sistematično uvedeni uz redovno vrednovanje rezultata. Odlučna podrška vlade u svakoj fazi je od izuzetnog značaja. Borba protiv korupcije zahteva značajne resurse, međutim, dugoročno je isplativa. Rezultat bi bio manji broj povređenih i poginulih, ali i povećan prihod od naplaćenih

kazni za saobraćajne prekršaje. Na kraju, bezbednost saobraćaja će biti vidno unapređena smanjenjem korupcije.

## Literatura

- [1] WHO (2015). "Road Traffic Injuries," World Health Organization, Geneva
- [2] U.S. Department of Transportation (2008), "National Motor Vehicle Crash Causation Survey," National Highway Traffic Safety Administration, Springfield
- [3] U.S. General Accounting Office (2003), "Factors contributing to Traffic Crashes and NHTSA's Efforts to Address them," U.S. General Accounting Office, Washington, D.C.
- [4] The World Bank Group (1997), "Helping Countries Combat Corruption: The Role of the World Bank," The World Bank Group, Washington, D.C.
- [5] I. Hors (2000), "Fighting corruption in the developing countries," OECD Observer, vol. 220
- [6] S. K. Ivković (2003), "To Serve and Collect: Measuring Police Corruption," Journal of Criminal Law and Criminology, p. 59
- [7] R. Neild (2007), "USAID Program Brief: Anticorruption and Police Integrity," United States Agency for International Development, Arlington
- [8] N. Anbarci, M. Escaleras and C. Register (2006), "Traffic Fatalities and Public Sector Corruption," KYKLOS, vol. 59, no. 3, pp. 327-344
- [9] Development Policy and Analysis Division (2014), "Country Classification," Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, New York
- [10] V. Anozie, J. Shinn, K. Skarlatos and J. Urzua (2004), "Reducing Incentives for Corruption in the Mexico City Police Force," La Follette School of Public Affairs, Madison
- [11] D. Sabet (2014), "Co-Production and Oversight: Citizens and Their Police," Woodrow Wilson Center for International Scholars, Mexico Institute, Washington, D.C.
- [12] The World Bank (2012), "Fighting Corruption in Public Services: Chronicling Georgia's Reforms," The World Bank, Washington, D.C.
- [13] K. Man-Wai (2006), "Comprehensive & Effective Approach to Anti-Corruption. The Hong Kong ICAC Experience, with a View on New Approaches in the Fight Against Corruption," The United Nations Asia and Far East Institute

- [14] J. Quah (2006), "Preventing Police Corruption in Singapore: The Role of Recruitment, Training and Socialisation," *The Asia Pacific Journal of Public Administration*, vol. 28, pp. 59-75
- [15] G. Kosztolanyi (1999), "Blind Justice: Crime and police corruption in Hungary," *Central Europe Review*, vol. 1, no. 5
- [16] A. L. Pap (1999), "Street Police Corruption: A post-Communist State of the Art," Cambridge, MA: Harvard University, pp. 1-19
- [17] Open Society Institute (2002), "Corruption and Anti-corruption Policy in Hungary," *Monitoring the EU Accession Process*
- [18] Department for Business, Inovations & Skills (2014), "UK Anti-Corruption Plan," UK Government, London
- [19] L. Porter and T. Prenzler (2012), *Police Integrity Management in Australia: Global Lessons for Combating Police Misconduct*, Boca Raton: CRC Press: Taylor & Francis Group
- [20] "Czech Republic Corruption," 2013. [Online]. Available: <http://www.globalsecurity.org/military/world/europe/cz-corruption.htm>. [Accessed 18 October 2015].
- [21] K. Zijad , M. Golub, M. Opačak, R. Cvrtak, D. Maričić, N. Salatović, D. Subotić, S. Ibrulj and H. Emkić (2007), "Strategija za rad policije u zajednici u Bosni I Hercegovini," *Ministarstvo Sigurnosti BiH*
- [22] A. Maljević, D. Datzer, E. Muratbegović and M. Budimilić (2006), "Otvoreno o policiji,"
- [23] A. Miladinović, "Korupcija u policiji". [Online]. Available: [https://www.academia.edu/9952767/Korupcija\\_u\\_policiji](https://www.academia.edu/9952767/Korupcija_u_policiji). [Accessed 1 March 2016].
- [24] S. Đorđević, "Procena korupcije u policiji u Srbiji (2014)," *Beogradski centar za bezbednosnu politiku, Beograd*
- [25] S. Đorđević (2015), "Riba se čisti of glave," [Online]. Available: <http://www.vreme.com/cms/view.php?id=1314669>. [Accessed 27 January 2016].
- [26] Uprava saobraćajne policije (2011), "Strategija razvoja saobraćajne policije 2012-2017," *Ministarstvo Unutrašnjih Poslova, Beograd*
- [27] M. Aleksić, M. Anđelković, A. Đan, K. Đokić , S. Đorđević, B. Elek , V. Erceg, G. Grujičić, T. Ignjatović, K. Ivanović, V. Macanović, M. Milošević, N. Nenadić, P. Petrović, V. Petronijević and D. Tasić (2015), "Predugovor - Izveštaj o napretku Srbije u poglavljima 23 i 24," *Beogradski centar za bezbenosnu politiku, Beograd*

- [28] M. Matic, S. Đorđević, D. Tasić and T. Maksić (2016), "Alternativni izveštaj o sprovođenju nacionalne strategije za borbu protiv korupcije," Beogradski centar za bezbednosnu politiku, Beograd
- [29] Beogradski centar za bezbednosnu politiku, "MUP da izvrši depolitizaciju policije," [Online]. Available: [http://www.bezbednost.org/upload/document/mup\\_da\\_izvrsi\\_depolitizaciju\\_policije.pdf](http://www.bezbednost.org/upload/document/mup_da_izvrsi_depolitizaciju_policije.pdf) [Accessed 15 January 2016].
- [30] S. Đorđević (2013), "Policija I ministarstvo unutrašnjih poslova. U: Korupcija u sektoru bezbednosti," Beogradski centar za bezbednosnu politiku, Beograd
- [31] B. Elek, D. Tasić and S. Đorđević (2015), "Procena Integriteta Policije u Srbiji," Beogradski Centar za Bezbednosnu Politiku, Beograd
- [32] Ministarstvo Unutrašnjih Poslova (2012), "Strateška obaveštajna procena korupcije," MUP Republike Srbije, Beograd
- [33] Ministarstvo unutrašnjih poslova i javne uprave (2010), "Strategija za Borbu Protiv Korupcije i organizaovanog kriminala za period 2010-2014 godine," Beograd
- [34] Savet Evrope (2015), "Analiza rizika o mogućnostima i stvarnim razmerama korupcije u Srbiji," Savet Evrope, Beograd
- [35] Agencija za prevenciju korupcije i koordinaciju borbe protiv korupcije (2014), "Strategija za borbu protiv korupcije 2015-2019. i akcioni plan za provodjenje strategije za borbu protiv korupcije 2015-2019,"
- [36] Centar za sigurnosne studije (2015), "Procjena rizika korupcije u sigurnosnom sektoru Bosne i Hercegovine,"
- [37] S. Stojanović and N. Gajić (2012), "Reforma policije u Crnog Gori 2006-2011: Procjena i preporuke," Misija OEBS-a u Crnoj Gori, Podgorica
- [38] E. Kalač (2014), "Domet unutrašnjih mehanizama u borbi protiv korupcije u policiji u Crnog Gori," Podgorica
- [39] Ž. Kralj (2014), "Korupcija u policiji," Journal of Police and Security, vol. 22, no. 3, pp. 363-372
- [40] S. Ivković Kutnjak (2015), "Police integrity in Croatia," in Measuring Police Integrity Accross the World, Springer

# HUMAN FACTORS IN ROAD DESIGN

## Hans-Joachim Vollpracht<sup>1</sup>

*Honorary member of the World Road Association, Retired Chair of PIARC TC 3.2*

[h\\_vollpracht@hotmail.com](mailto:h_vollpracht@hotmail.com)

## Attila Borsos

*Associate Professor, Department of Transport Infrastructure, Szechenyi Istvan University, Egyetem ter 1, 9026 Gyor, Hungary, [borsosa@sze.hu](mailto:borsosa@sze.hu)*

## Sibylle Birth

*Leader of Workgroup Human Factors / Speed Management of PIARC, TC2; Owner and Director of Intelligenz System Transfer GmbH, Potsdam, Germany, [intelligenz@ist-potsdam.de](mailto:intelligenz@ist-potsdam.de)*

**Abstract:** This paper investigates the role of Human Factors in road design with a focus on road safety. In the first part of the paper an introduction is given on the concept of Human Factors in general. Then some basic principles related to traffic safety are tackled.

**Keywords:** Human Factors; road design; road safety; road user capabilities and limitations; subconscious driving mistakes

## 1. INTRODUCTION

Road safety is gaining more and more attention worldwide - it is put at the top of the agenda not only in developed but also in developing countries. In 2001 the European Union set its ambitious road safety objective of halving the number of road fatalities in the EU Member States in 10 years [1]. This objective has been renewed for another 10 years in 2011 [2] and by the UN Global Plan for the Decade of Action for Road Safety. It sets out a mix of initiatives at the European and national level, focusing on improving vehicle safety, the safety of infrastructure and road users' behavior.

Road networks are integrated in the transport system with three main interfaces between the road users and road on one hand and road and the vehicles on the other (Figure 1). While the physical factors are very well known by road and vehicle engineering since decades, the driving behavior was thought to be an issue of road user training and enforcement only. However, it is gradually becoming clear that Human Factors that rule the driver-road-interface have to be taken into account to ensure a sustainable road safety approach with a proper user-friendly and self explaining road design.

From an engineering as well as road accident administration point of view it is generally accepted that in the interaction of the vehicle, infrastructure and driver, the driver related factors were solely to blame for around 50% of accidents and the Human Factors are somehow involved in the occurrence of accidents in over 90% of the cases [3]. From a psychological point of view this approach, however, does not differentiate between the subconscious driving mistakes caused by the system (e.g. run-off-road accidents because of optical illusions or missing reference points in the field of view) and conscious driving actions (e.g. drinking and driving or a risky overtaking maneuver). The focus of the paper is on the first aspect.

---

<sup>1</sup> Corresponding author: [h\\_vollpracht@hotmail.com](mailto:h_vollpracht@hotmail.com)

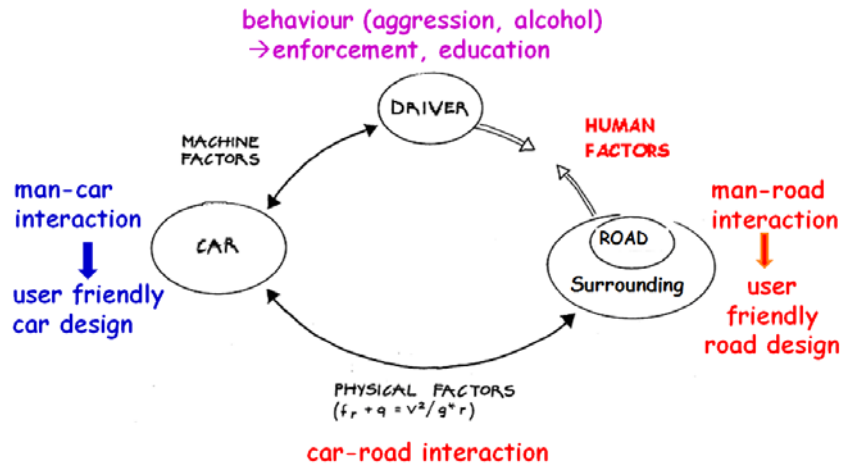


Figure 1. The main interfaces of the road transport system and possibilities to improve road safety

## 2. BACKGROUND

The term Human Factors is a terminus technicus originating from industrial safety engineering in the 1930's. It is defined as the contribution of stable psychological and physiological threshold limit values and activity patterns of the human nature to the development of accidents in operating machines, cars and other technical facilities [4]. Typical Human Factors are limitations of the perception system, information processing, learning or decision making of all human beings.

Human Factors are general human abilities and limitations that are valid for all users regardless of age, culture or race. Temporary circumstances like illness, alcohol, fear, aggression or conscious traffic violation are not considered as Human Factors. They are considered as conscious behavioural factors and should be treated by enforcement, education or public awareness campaigns.

Accidents are the result of a long chain of events (Figure 2) starting with an **operational mistake** and – if not corrected – leading to a **driving mistake** and – under bad circumstances – to an accident.

An **operational mistake** is the first unintended action within a chain of actions, which may result in a driving mistake. It is **caused by a lack of information** or a **misinterpretation of information** in the interaction between driver and road. In most cases it can be corrected spontaneously.

An **operational mistake** left uncorrected could develop to a **driving mistake**. Often the driver is able to correct the driving mistake. If not, it could develop to an accident. Generally, the **driving mistake** is the possible result of an operational mistake.

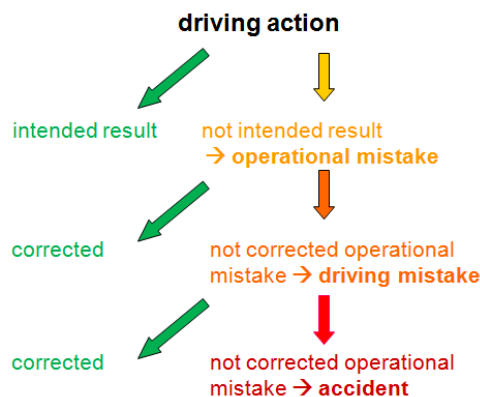


Figure 2. The context of operational mistake – driving mistake – accident [5]

One cannot hope to fight human mistakes effectively without an understanding of the processes and conditions that invite such operational mistakes [6]. The inappropriate design of the road infrastructure neglecting the road user limitations will result in latent risks that trigger operational mistakes and accidents. The Human Factors concept aims at reducing the probability of such operational mistakes.



A user-friendly, self-explaining road design and an integrated road traffic system taking the human capabilities and limitations into account can minimize both the occurrence and consequences of the human mistakes [7]. Dealing with Human Factors, however, is a very complex issue that cannot be tackled only by traffic engineers without the help of engineering psychologists.

In the recent years the Human Factors approach gained more and more emphasis in road design. The Dutch Ministry of Transport for instance came up with the so-called ten golden rules of Human Factors to take the road user into account to help road designers and traffic engineers to reduce the probability of human error in road traffic [8]. These rules are narrowed down into five domains according to [9][10]. These are:

- *characteristics of a specific information element* (e.g. messages on road signs should follow the ergonomic principles);
- *interaction between different information elements* (e.g. there should be no conflicting messages between traffic signs and road markings);
- *situational context* (the road should be self-explaining and do not contain elements that a road user would not expect);
- *traffic and the driving task* (attention is given to the Human Factors in traffic in general);
- *characteristics of the road user* (the rules refer to aging, justification of and support for traffic measures and the limits of communication).

The World Road Association published a report [11] in which the Technical Committee C.1 “Safer Road Infrastructure” investigated whether Human Factors are incorporated in the national design standards. In this document also three basic safety rules are laid down, these are:

- give road users enough anticipation, decision and stopping time to adapt to new situations and to react in time;
- design a reliable field of view to ensure appropriate speed and lane keeping;
- manage drivers’ expectations and pre-program driving actions correctly.

In the next chapter a few of these principles, especially the ones related to safe road design (in other words the interaction between the user and the road) are tackled.

### 3. SAFETY PRINCIPLES

#### 3.1 Workload management

This principle is based on the Yerkes-Dodson law, an empirical relationship between workload and performance (Figure 3). From a road safety point of view the horizontal axis can be interpreted as the difficulty of the driving task and performance on the vertical axis as the quality of driving. This law suggests that a normal workload (driving tasks) leads to safe driving. If the difficulty of the driving task is either too low or too high, there will be underload or overload, respectively.

If the workload is too low, e.g. in case of a long monotonous road section with no visual stimuli, then due to the low driving task demand the driver’s attention will drop and as a subconscious compensation the driver will increase the speed.

A high workload means having a demanding driving task such as processing a great amount of information coming from the roadside (e.g. excessive amount of traffic signs or sudden increase of decision needs by multiple critical locations in short distance). The driver workload depends on conditions defined by

- the road environment: the design of the road; in order to reduce workload the predictability of the road environment is important (self-explaining roads e.g. without sudden changes of road characteristics that are contrary to normal driving habits/expectations);
- the car environment: mobile phone use, handling radio, children etc.;
- the driver: e.g. driving experience - for a novice driver all aspects of the driving task may be demanding [10].

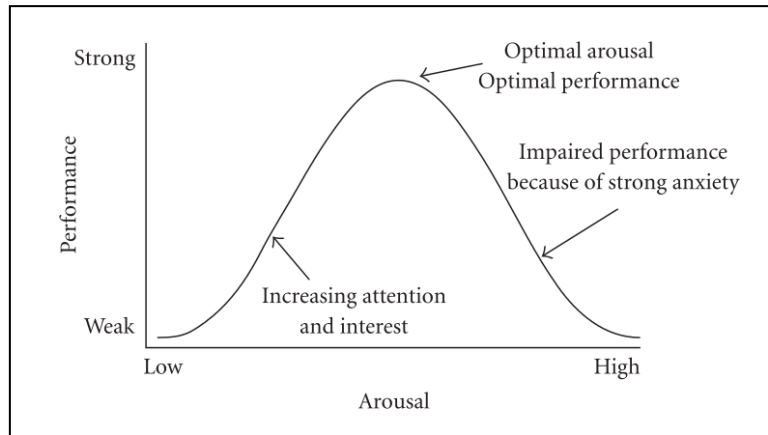


Figure 3. Relation of performance and arousal based on Yerkes-Dodson law [12]

### 3.2 Balance and perception

The road with its environment gives a complex view to the driver. A road user friendly design has to be perceptible and avoid irritating the driver by optical illusions, eye-catching objects, deceptive and distracting impressions or misleading reference points. It also ensures reliable lane tracking and appropriate choice of speed. A few examples are given below.

#### 3.2.1 Critical locations

A critical location in the road infrastructure is any location that requires the road user to adapt to a new situation (e.g. junctions, crossings, village entrances, motorway ramps etc.). These locations should be perceptible by the road users, one bad example is given in Figure 4.

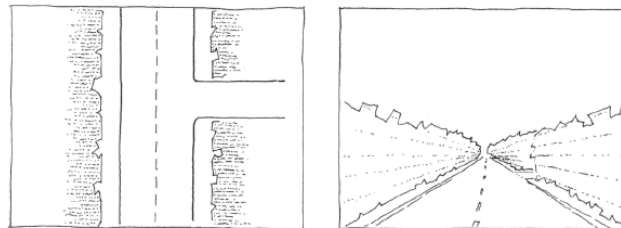


Figure 4. Invisible junction [5]

#### 3.2.2 Curves

The road user should have a clear view of the curve ahead as well as an unambiguous optical framing in the outer curve (Figure 5). This optical framing should be parallel to the edge of the road as well as continuous (e.g. no missing delineator in a curve) otherwise it will cause an optical illusion (see next point) and give false information to the driver about the shape of the curve leading to run-off the road accidents.

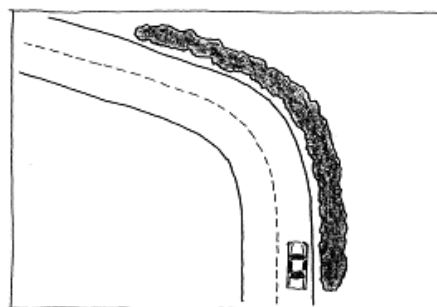
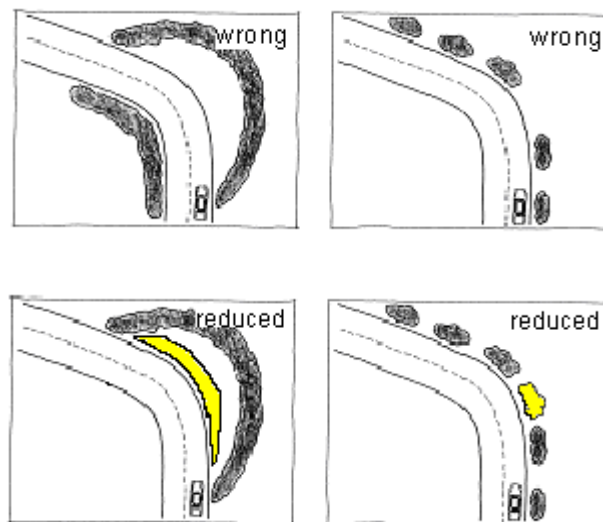


Figure 5. Complete setting of the outer curve and unobstructed view of the inner curve stabilise the driver [5]

Therefore, designers will not only try to design a curve with a constant radius according to the guidelines, they will also try to design the field of view safely. Even a curve which has been correctly designed from a technical perspective can become hazardous as a result of the following two optical characteristics [13][14][15]:

- when the sight distance on the inside of curve is obstructed (e.g. by buildings, vegetation or geological formations).
- when the lateral optical guidance of the outer curve is partially or completely missed (without setting) or non-parallel

Many accidents happen when one or both of these optical characteristics are present. They trigger spontaneous changes of direction and speed. No matter how much drivers try to correct their reactions, vehicle will lose stability in function of the intensity of the correction. This can range from an unintended change of lanes, to swerving, driving on the shoulder, skidding into safety barriers or run-off-road accidents.



**Figure 6.** Driver's destabilisation in a curve [5]

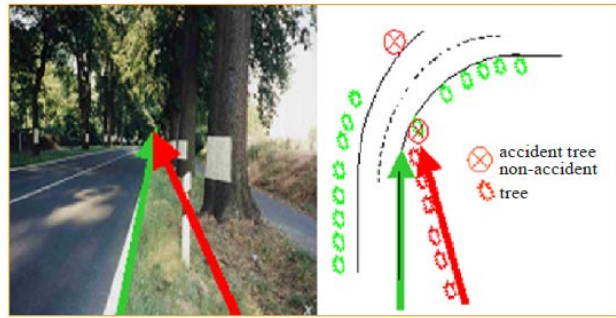
Two examples are given in Figure 6:

- left: by misleading lateral optical guidance in the outer curve and obstructed inner curve; corrected by a parallel setting to road's edge
- right: by gaps in the lateral optical guidance on the outer curve; corrected by covering the optical misguidance with a dominant optical guidance parallel to road's edge

The combination of horizontal and vertical curves also influences the road user behavior; a horizontal curve combined with a crest curve would make the driver lower their speed as they judge the curve radius to be smaller, whereas with sag curve it works the opposite way.

### 3.2.3 Optical illusions

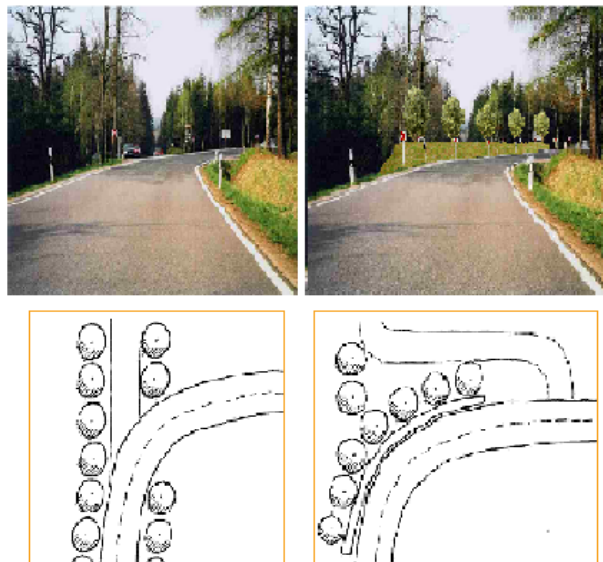
Roadside objects and facilities such as safety barriers, rows of trees, buildings etc. serve as lateral orientation cues for the driver. If any of these for instance are not parallel to the road edge, an optical illusion is present. In Figure 7 the row of trees converging to the edge of the road before a horizontal curve gives the road user the illusion that the curve is further away than it really is. As a result he arrives at the curve with a high speed being unable to navigate it.



**Figure 7.** Optical illusion caused by a non-parallel row of trees [11]

### 3.2.4 Eye catching objects

Eye catching objects can disorientate road users and disturb them in keeping the lane. A typical example is when a newly built road deviates from the original alignment having already existing roadside elements (e.g. rows of trees on both side) (Figure 8). In such cases new objects have to be added in order to overrule these effects, in the particular case an embankment and another row of trees in the outer side of the curve parallel to the newly built road.



**Figure 8.** Rows of trees as eye-catching object in a curve (left – before, right – after) [11]

### 3.2.5 Balance and lane keeping

The non-orthogonality of the surrounding environment affects the balance and thereby lane-keeping. Trees, posts or buildings can create a non-orthogonal impression that especially affects field-dependent drivers who tend to swerve and make spontaneous steering maneuvers to compensate the optical misperception.

Field-dependency: Degree to which human perception depends on the holistic perceptual field so that perceptual performance cannot be separated from the overall impression of the environment.

This Human Factor follows the Gauss-Distribution. Field-dependent drivers are more dependent on a reliable designed field of view. They need more time for orientation and their rate of failures, slips and lapses is higher than that of field-independent drivers. They cannot define their own position in the space of the road independently from the structure of the field of view.

Psychological tests concerning field-dependency are used to select pilots that are able to separate the perception of their own position independently from the visual information they get from the field of view.

Because it is not possible to exclude field-dependent drivers from the participation on motorized traffic it is mandatory to offer a reliable, stabilizing field of view to all drivers.

That's why roadside objects like trees and delineators as well as architectural constructions like posts of bridges or traffic control devices should provide an orthogonal appearance to stabilize lane-tracking (Figure 9, Figure 10).



**Figure 9.** Destabilisation by non-orthogonal impression in an accident spot field-dependent drivers spontaneously swerve and cause accidents [16]



**Figure 10.** Destabilisation by a non-orthogonal and unsymmetrical suspension: balance is disturbed and field-depended users tend to swerve to the right [17]

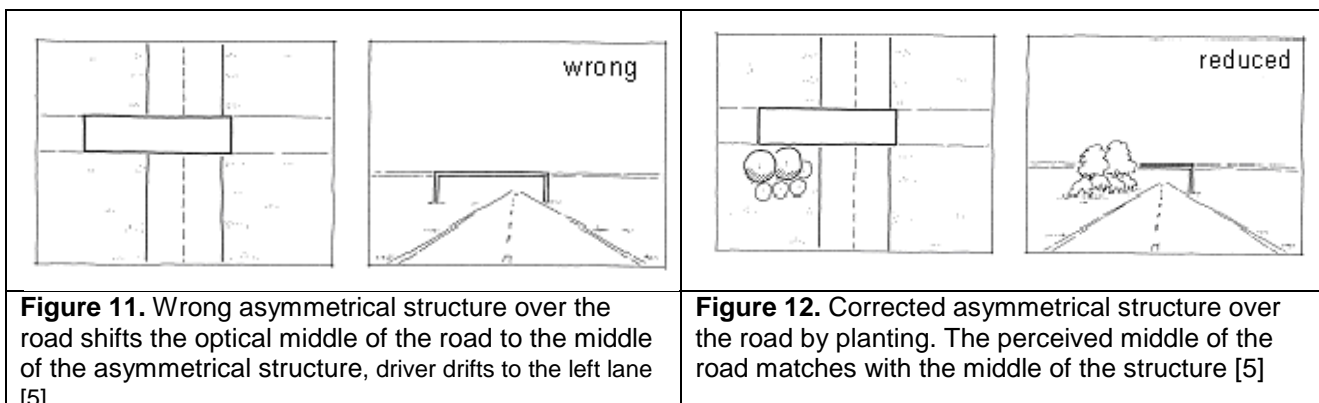
The following road characteristics should be avoided:

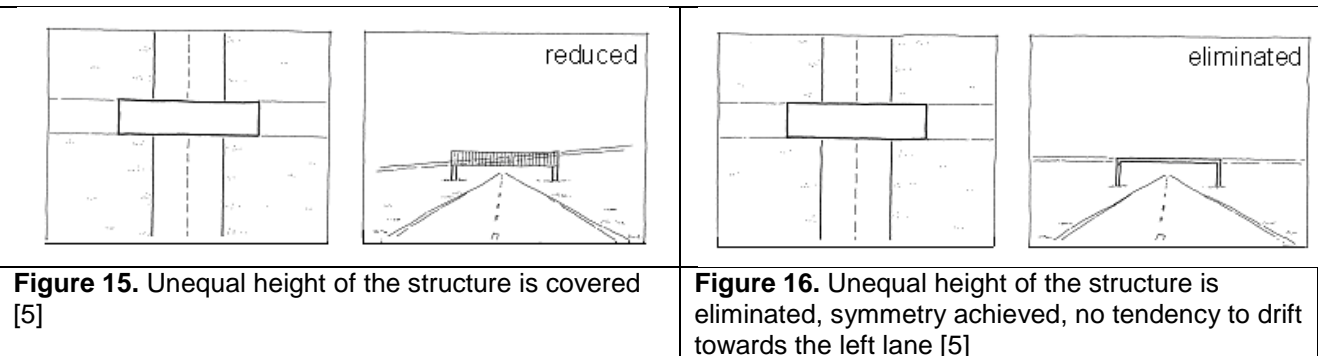
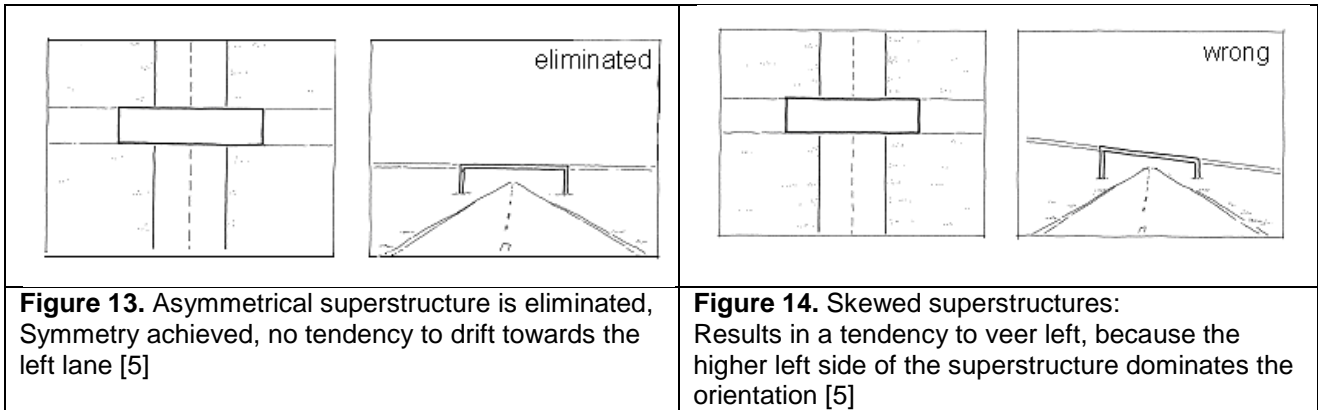
Non-vertical appearance of roadside objects, such as

- Trees, delineators or
- Single objects, e.g., buildings, trees, traffic control devices

### 3.2.6 Lane keeping

The orderliness of objects in the roadside determines the symmetry and rhythm of the lateral road space, the **lateral space structure** (Figures 11-16.). It supports or consequently disturbs optimal lane-tracking [14].





The following road characteristics should be avoided:  
 Structures over the road that are asymmetrical and/or of different height and those with an angle of skew more than 15° from perpendicular, e.g.

- Bridges, advertising, signaling and toll facilities
- Groups of plants

**3.2.5. Detection of signs and markings**

Reference [18] aimed at investigating the percentage of road signs perceived by passengers (not drivers!). The share of signs perceived was 91% on average, however, it has to be mentioned that the only task of the passengers was to spot the traffic signs. An eye camera study [19] carried out on the M1 motorway in Hungary revealed which type of signs drivers pay more attention to and which they tend to ignore (Table 1). These results suggest that overhead signs are more likely to be perceived than vertical ones and also the perception of variable message signs (VMT) proved to have a high share.

**Table 1.** Eye camera studies on motorway M1 in Hungary [19]

Objects	Rate of perception (in %)
Variable message signs	91
Overhead signs	58
Vertical signs (on the right side)	16
Vertical signs (on the left side)	4
Vertical signs in yellow background	80
Pavement markings	35

Along with rules, traffic control devices organise the driving reactions of road users. Traffic signs should be visible, legible and detectable under all light conditions and within all optical backgrounds. They should never be covered by plantings or other structures. That is because the effect of mimesis may make even bright, oversized signs invisible to the driver.

Signs should be in accordance with driver's expectations, and the road alignment should be consistent and in accordance with the traffic control devices. Otherwise there will be a risk of misleading and confusing drivers, leading to accidents.



**Figure 17.** Three oversized chevron signs are not visible against the background in an accident curve [5]



**Figure 18.** Improved visibility of signs by use of yellow background instead of red (source: photo from Austria, Hans-Joachim Vollpracht, 2008)

The figure shows clearly that the detection of the left sign (red arrow on yellow) is much easier than the sign with the white arrow on red background. This example shows clearly that our human eyes have a special sensibility to colours: Yellow-green and yellow-orange can be more easily detected than other colours – especially in all conditions (day, twilight and night). That's why signs should have a yellow frame or background to make them easily visible.

The following road characteristics should be avoided:

#### Deficiencies in traffic control devices

- Traffic control devices not visible against background (size, contrast, brightness not sufficient)
- Traffic control devices not appropriate and consistent with road characteristics
- Traffic control devices not in accordance with drivers' expectation and perception
- Road alignment not consistent with the traffic control devices

### 3.3. Anticipation and orientation

#### 3.3.1. Schemata

Perception can be based on two types of processes; top-down, or bottom-up. It is a well-established cognitive psychology model that was applied for instance by [20] to a driving task. The former one plays a key role in terms of anticipation. The top down process means that the driver's expectations depend on their past experiences. In other words, if the driver encounters a new situation, the more similar it is to a past situation, the stronger these expectations will be. These expectations are higher order representations of reality or schemata stored in memory. What representation is activated depends on the perceived similarity of the actual situation with the characteristics of the situation stored in memory [21]. Schemata help to increase efficiency in driving actions, as giving clear indications or stimuli to activate a particular scheme will result in the desired behavior. In road design this concept is called self-explaining roads.

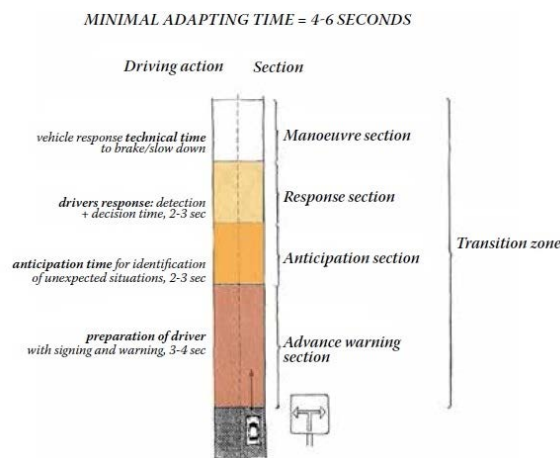
A self-explaining road is a traffic environment which elicits safe and consistent behavior among road users simply by its design [10]. As a result, the road user is able to categorize a road and immediately know what sort of behavior is expected. It is also important, that the number of road categories should be limited; in the Netherlands for instance they defined three road types: through (such as motorways, express and by-pass roads), distributor and access roads. Three simple and basic principles of their design [10] are: easily recognizable, distinguishable and interpreted.

#### 3.3.2. 6-second rule

Approaching to a critical location (e.g. a junction) or adjusting to a new environment (e.g. changing between road categories) the driver goes through the following process:

- anticipation: identification of unexpected critical locations;
- response: detection of the required behavior and adapt to the new situation;
- maneuver: braking, slowing, accelerating etc. the vehicle.

The time it takes an average driver to adapt from one traffic situation to the next or to adjust to new requirements takes 4-6 seconds (anticipation-response time) (Figure 19) [4].



**Figure 19.** The 6-second rule [4]

Therefore it is not enough to provide the driver with a section that allows sufficient reaction time of 2-3 seconds. The design should also provide an anticipation section with a minimum of 2-3 seconds to identify an unexpected or unusual situation with more complex decision demands. In situations that are more complex or involve higher speeds, it is recommended that there should also be an advance warning section with proper signing and instructions.

### 3.4. Choice and perception of speed

The main cue for speed perception is information derived from the optic flow field, which is rather perceived with peripheral than foveal vision [21]. In other words the driver perceives speed based on the information (stimuli) present at the roadside. By giving the road user the impression of a higher speed in order to make them slow down, the environment should be enriched with objects / contrasts. For instance within built up areas short urban spaces with roundabouts will decrease the speed by influencing the drivers' choice and widen their angle of view for detecting the behavior of other road users especially the vulnerable. Reference

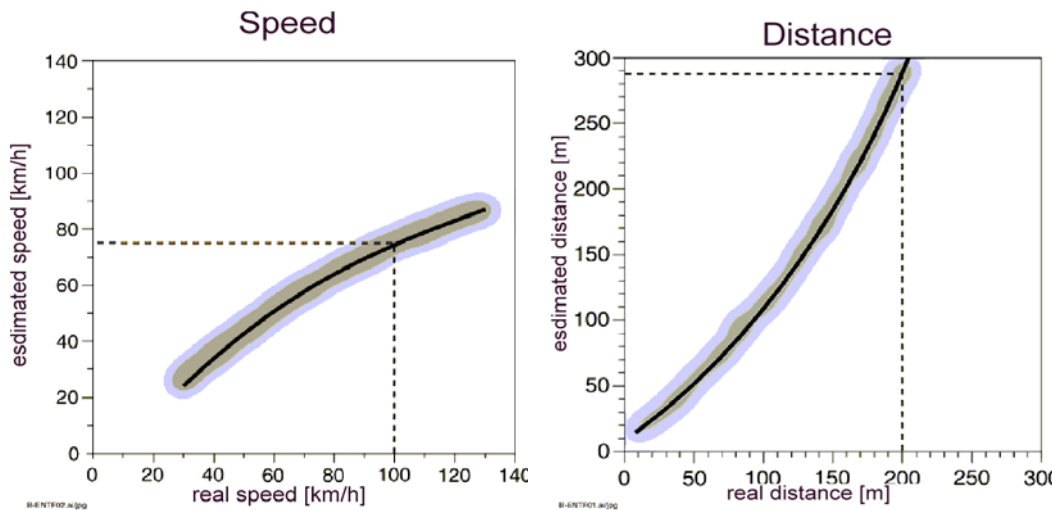


[22] pointed out that the size of visual field is a factor, which significantly affects speed perception and correct speed estimation is significantly reduced when the size of the visual field and thus peripheral vision is diminished.

Speed choice of the driver also depends on the field of view as well as the fixation point. The further away the fixation point is, the narrower the lateral field and the higher the driving speed will be. It is also proven that the amount of the visible road surface influences speed [22]. It should be also noted that drivers tend to underestimate the speed of other vehicles and overestimate the distance of oncoming cars. This limitation affects maneuvers such as overtaking or crossing [22].

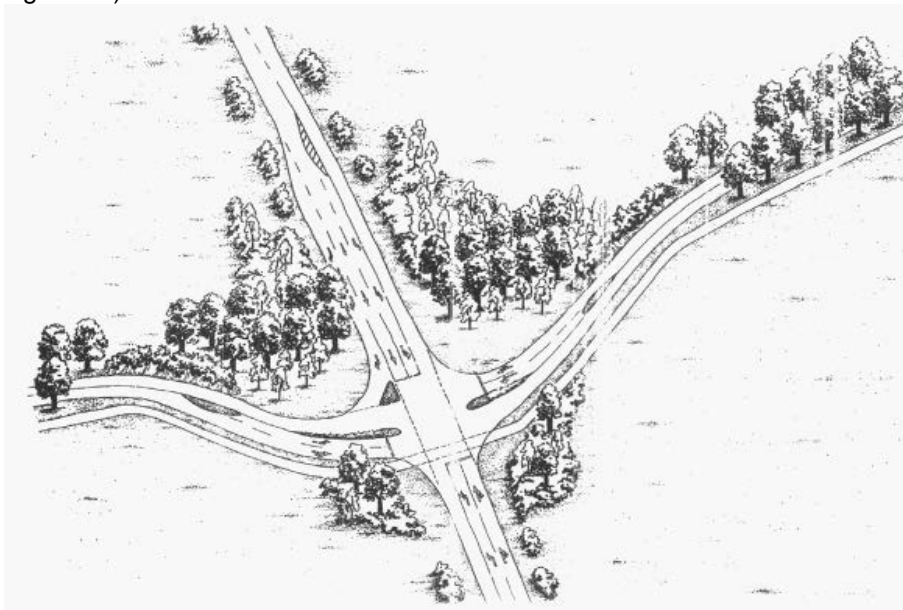
### 3.5 Drivers estimation of speed and distance of crossing vehicles

It should be also noted that drivers tend to underestimate the speed of other vehicles and overestimate the distance of oncoming cars (Figure 20). This limitation affects maneuvers such as overtaking or crossing [17].



**Figure 20.** Drivers' estimation of speed and distance of crossing cars

So especially at intersections or railway crossings regulated by traffic signs only we should not give too long sight distances. Roundabouts or a staggered narrowing of the lower class road to the intersection are recommended (Figure 21).



**Figure 21.** Staggered narrowing of lower class roads

#### 4. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

This paper investigated the role of Human Factors in road safety with a special focus on the driver-road interface. It is clear from the above detailed principles and examples that changing the road environment taking into account the human capabilities and limitations can contribute to the reduction of driving mistakes. However, completely excluding them is a utopian imagination.

It is now up to the responsible governmental parties, road safety experts and road engineers itself to use the Human Factors approach to avoid preventable accidents, save human lives and ensure that state-of-the-art science and technology will be used in the field of road design and accident prevention.

#### References

- [1] European Commission White Paper, European transport policy for 2010: Time to decide, Brussels, 2001, p. 124
- [2] European Commission White Paper, Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system, Brussels, 2011, p. 30
- [3] J. R. Treat, N. S. Tumbas, S.T. McDonald, D. Shinar, R. D. Humme, R. E. Mayer, Tri-level study of the causes of traffic accidents, Volume I: Casual factor tabulations and assessment. Final report (No. DOT-HS-034-3-534), Washington: National Highway Traffic Safety Administration, 1977
- [4] S. Birth, Human factors for safer road infrastructure, *Routes-Roads*, pp. 30-39, 2013
- [5] S. Birth, G. Sieber, H. Stadt, Straßenplanung und Straßenbau mit Human Factors. Ein Leitfaden. Ministerium für Infrastruktur und Raumordnung, Potsdam, 2004
- [6] W.A. Wagenaar, P.T.W. Hudson, J.T. Reason, Cognitive Failures and Accidents. *Applied Cognitive Psychology*, 4 pp. 273-294, 1990.
- [7] G. Schermers, F. Wegman, P. van Vliet, R. van der Horst, J. Boender, Country Report – The Netherlands, 4<sup>th</sup> International Symposium on Highway Geometric Design, June 2-5, 2010, Valencia, Spain
- [8] C. Wildervanck, 10 Gouden regels om rekening te houden met de weggebruiker. Rijkswaterstaat, Dienst Verkeer en Scheepvaart, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2008, Delft, the Netherlands
- [9] M. Lambers, Human factors and human error as part of the system: A psychological approach, Transport Research Arena Europe 2008, Ljubljana
- [10] J. Theeuwes, R. van der Horst, M. Kuiken, *Designing Safe Road Systems. A human factors perspective*, Ashgate Publishing Limited, 2012 ISBN: 978-1-4094-4388-9
- [11] PIARC, Human Factors in Road Design. Review of Design Standards in Nine Countries, 2012R36EN, PIARC Technical Committee C1 Safer road Infrastructure, ISBN 2-84060-306-1
- [12] D.M. Diamond, A.M. Campbell, C.R. Park, J. Halonen, P.R. Zoladz, The temporal dynamics model of emotional memory processing: a synthesis on the neurobiological basis of stress-induced amnesia, flashbulb and traumatic memories, and the Yerkes-Dodson law, *Neural Plasticity* 2007:60803, 2007
- [13] Burkhardt, C. (1965). *Fahrbahn, Fahrzeug und Fahrerverhalten*. In: Hoyos, C. G. (1965). *Psychologie des Straßenverkehrs*. Bern: Hans Huber Verlag
- [14] Cohen, A.S. (1987). *Blickverhalten und Informationsaufnahme von Kraftfahrern*. In: Bericht zum Forschungsprojekt 8306/3 der BaSt, Bergisch Gladbach, Nr. 168
- [15] Zwieli, F., Reker, K.; Flach, J. (2001). *Fahrerverhaltensbeobachtungen auf Landstraßen am Beispiel von Baumalleen. Eine Untersuchung mit dem Fahrzeug zur Interaktionsforschung Straßenverkehr*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Mensch und Sicherheit, Heft M 124
- [16] Birth, S. (2009). "Human Factors Design Features Supporting Space Perception", lecture for the training of accident commissions in Brandenburg, Germany. Potsdam.
- [17] Birth, S. and Sill, H. (2014). "Panic Prevention" – Risk for panic in spectator facilities. Presentation for International Standardisation Organisation NA 005-01-34 AA, 13.02.2014, Berlin.
- [18] G. Johansson, K. Rumar, Drivers and road signs: a preliminary investigation of the capacity of car drivers to get information from road signs, *Ergonomics*, 9., pp. 57–62. 1966
- [19] Z. Jákl, Perception of roadside equipment and analysis of driving habits using eye cameras (in Hungarian: Úttartozékok észlelése és a vezetési szokások vizsgálata autópályán szemkamerás módszerekkel), *Közúti és Mélyépítési szemle* 58/9, 2008
- [20] K. Rumar, The role of perceptual and cognitive filters in observed behaviour. In L. Evans, R. C. Sching, *Human Behaviour and Traffic Safety*, New York: Plenum Press, pp. 151-170
- [21] RIPCORD ISEREST Project, Human Factors in Road Design. State of the art and empirical evidence, Final report, 2006
- [22] V. Cavallo, A. S. Cohen, Perception, In P.-E. Barjonet, *Traffic psychology today*, Boston, Dordrecht, London: Kluwer Academic Publisher, pp. 63-89, 2001

# THE SAFETY BENEFITS OF THE 2+1 CROSS SECTION FOR INTERURBAN MAIN ROADS AND THE DECENTRALIZED COUNTRY DEVELOPMENT

**Hans-Joachim Vollpracht<sup>1</sup>**

*Honorary member of the World Road Association, Retired Chair of PIARC TC 3.2*

*Florazeile 28, D-14532 Stahnsdorf, Germany*

[h\\_vollpracht@hotmail.com](mailto:h_vollpracht@hotmail.com)

**Torsten Bergh**

Former Head of Investment and Design Policies

Swedish Road Administration

Torsten.Bergh@movea.se

**Abstract:** Efficient and safe road networks are the basic of our live. They should be organized like our blood system in a hierarchy of Main Arteries, Distributors and Capillaries to access the single cells in the muscles and organs. For our economies the traffic volume and the travel time on our main arteries along far distances has to be higher than in our towns and cities. Our main blood vessels never provide their surrounding tissue and the organs directly. Like them our interurban main roads are separated into Motorways and Express roads, which are normally National roads of a country with different design specifications. Those may be safe and unsafe.

The article will be about the different cross sections in use and an Express Road System of the 2+1 cross-section, bypassing villages and towns for less than half the price for Motorways but sufficient for traffic volumes up to over 20,000 vehicles/day as it has been implemented in different ways in Sweden and Germany with excellent results on road safety and the decentralized country development..

**Keywords:** Efficient road networks; Motorways and Express roads; road safety; 2+1 cross sections; Sweden; Germany

## 1. INTRODUCTION

The reduction of travel times for people and goods on roads is one of the most crucial objectives for enhancing and stabilising economies. In emerging countries this is regularly done first just by resurfacing the old roads, which had been designed for low speeds, and by the removal of all road elements, which could reduce the speed of motor vehicles.

Unsafe rehabilitations of historical roads just by new asphalt layers like in many Balkan Countries where the reason for similar hazardous roads in Eastern Germany after the reunification with an extremely high fatality rate of 36 per 100.000 inhabitants in 1991. This article will show how actions of short and long term measures for a safer road network have reduced the number of traffic victims remarkably down to the European average of 2010 and in addition have improved the connections of cities and villages to the Trans European Road Network (TERN) by the hierarchy of motorways, 2+1 express roads, the rural distributor roads and traffic calming in built up areas, a condition for their economic development. The stepwise development of such a system has been recommended for the Republic of SRPSKA in a World Bank Project in 2012.

## 2. The development of an efficient and safe Road Network

**2.1 The principle ideas** An efficient and safe road network is organized like our blood system: It is a hierarchy of

- Main arteries
- Distributors
- and capillaries to access the single cells in the muscles and organs.

The blood moves much faster in the Main Arteries than in the organs

- to legs and arms with a speed of 5.8 cm/sec,
- but in the distributors only with 0.28 cm/sec and in
- capillaries just with 0.05 cm/sec

The Main arteries do nowhere provide the organs and muscles directly. So it should be with the road network: For our economies the traffic volume and the speed on our main arteries along far distances has to be higher than in our towns and cities. The main blood vessels never provide their surrounding tissue and the organs directly! Linear settlements along highways are like heart attacks for human health and the traffic economy as we have found in Vietnam, Togo, Egypt, Belgium, Romania and Bosnia Herzegovina.

## **2.2 The types of roads and their modern design and layout**

### **Motorways**

The highest class is the Motorway comparable with the Aorta in our blood system. There is a special Design Guideline for Motorways in Germany, the "Richtlinie für die Anlage von Autobahnen" RAA (1). It is dealing with all other Design features such as Alignment, Intersections, Signing and Marking, Passive safety installations, Service and Rest Areas and of course the regular cross sections (see Figure 1 below). The Swedish motorway cross-sections (11) are slightly more compact.

Following a publication of the German Bundesanstalt für Straßenwesen, BAST, October 2014, (2) in Germany

- there are 230.517 km of roads (out of cities) 12.879 of them are Motorways (MW) 5.6%
- They are carrying 224,2 billion vehicle km/year, 31% of the whole traffic volume in Germany with a total of 291.105 injury accidents
- But only 18.452 of those are occurring on motorways 6.3 %
- The fatality rate on MWs is 1.9 but in total
- 4,6 per1 Billion km

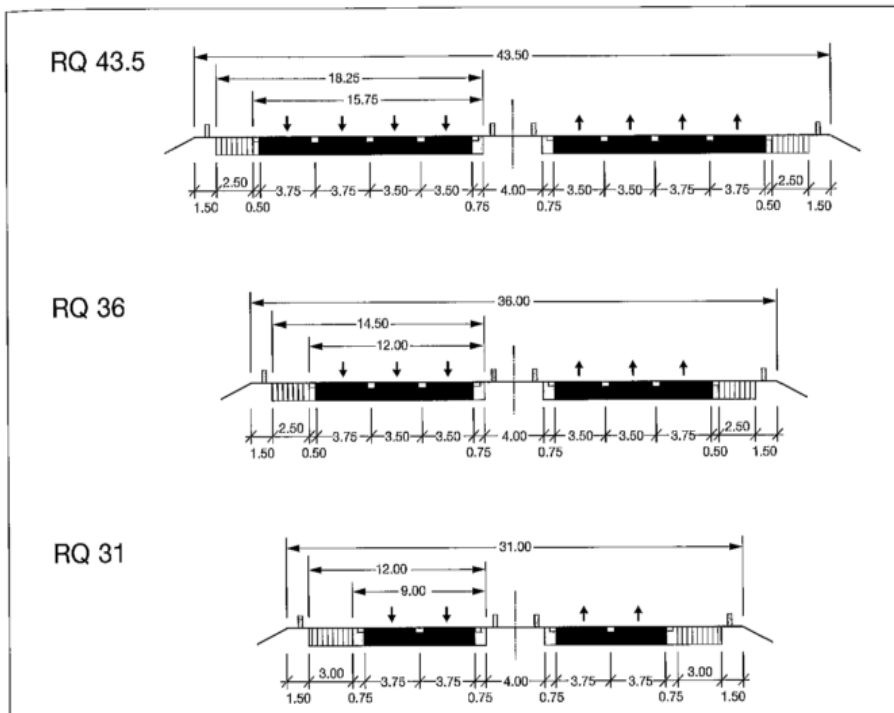


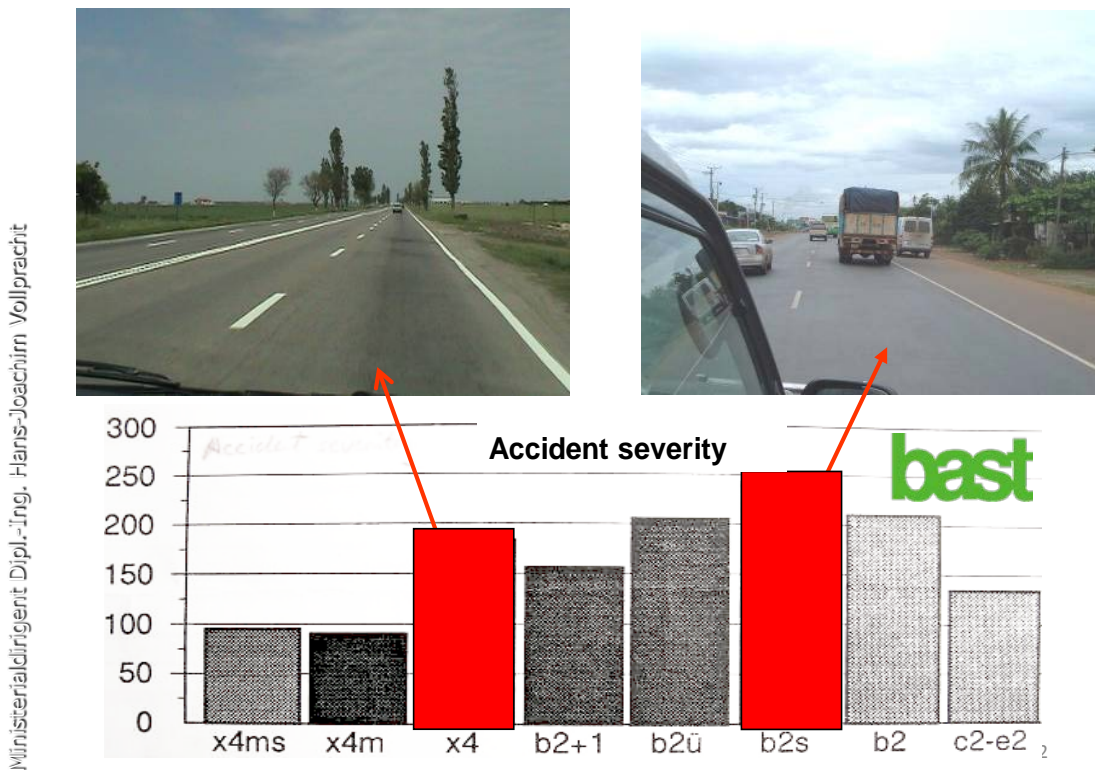
Figure 1. The different cross sections of Motorways in Germany □ 1 □

But how to design the second level of express roads, normally called the National roads?

### Rural Roads

There had been two models, the 4 lane cross section without separation of directions and especially for roads with vulnerable road users and slow agriculture traffic the two lane cross section with 2,5m wide hard shoulders. Both had been built in Germany and resulted in the highest accident cost rates as it was showed in a research study of the German Highway Research Institute BASt. The Catalogue of Road Design Deficiencies and Countermeasures of the World Road Association (PIARC) (3) is showing this in Figure 2.

## Unsafe cross sections



(Scala of accident costs related to 1 million vehicle km per year)

- X4ms = 4x ( 3,00 to 3,75) meter wide lanes + medium + 1,5 emergency lane
- X4m = 4x ( 3,00 to 3,75) meter wide lanes + medium
- X4 = 4x ( 3,00 to 3,75) meter wide lanes No medium!
- b2 = 2 x 3,50 meter wide lanes
- C2 = 2x 3,25 meter wide lanes + speed limit
- b2s = 2x 3,50 meter wide lanes + 2,5m emergency lane: used as four lane roads
- b2+1 = 2x 3,50 meter wide lanes + an overtaking lane alternatively used (regulated by markings, plastic poles or barriers).

**Figure 2: Safety of different cross sections from the PIARC Catalogue of design deficiencies and counter measures (related to the BASt publication)**

Swedish experience is the 2+1 with median barrier at posted speed limit 100 kph to be 10 % better in accident costs than the motorway cross-section with 110 kph and 50 % better than the 2+1 with road marking median at 100 kph (12).

**General Problems are:**

1. Heavy accidents on roads without separation of vulnerable road users
2. On four (and more) lane roads without a medium (X4) the number of head on accidents and side accidents from left turning is extremely high.

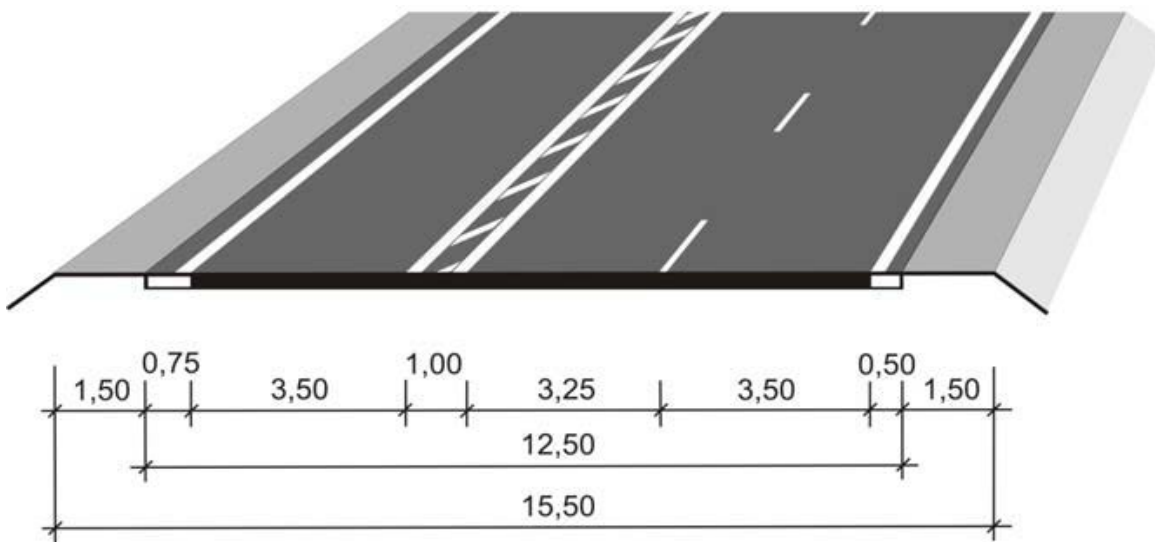
3. 2-lane roads with wide lanes (b2ü) or wide hard shoulders (b2s) are regularly used as very narrow four lane roads and the number of heavy accidents is even higher. These two cross sections are the most dangerous at all. They have been built and operated for some decades in western European Countries.

**The German Design standards for Interurban (Rural) Roads**

Since 2013 Germany has a new Design Guideline for Rural Roads (Richtlinie für die Anlage von Landstraßen – RAL) (4). They contain the basics, the design principles and the equipment for all new and upgraded interurban roads in relation to Road Safety, Quality of Traffic and Environmental issues in the most cost effective way.

Design class	Design speed	Form of traffic	Cross section	Horizontal Radius	Vertical Radius	
					on tops	In dips
<b>EKL 1</b>	<b>110</b>	Motor vehicles only	<b>15,5</b>	<b>&gt; 500 m</b>	<b>&gt; 8.000 m</b>	<b>&gt; 4.000 m</b>
EKL 2	100	Mixed Traffic	11,5	400-900	> 6.000 m	3.500 m
EKL 3	90	Mixed Traffic	11,0	300-600	> 5.000 m	3.000 m
EKL 4	70	Mixed Traffic	9,0	200-400	>3.000 m	2.000 m

EKL 1 and EKL 2 belong to the arteries and should bypass villages and towns whilst EKL 3 and EKL4 are the distributors crossing build up areas. The EKL 1 is the topic of this article. Those are 3 lane roads with separated directions by traffic regulations (see figures 3, 4 and 5). By regular changes of the middle lane there are safe overtaking sections along 40% of the length for each direction and Intersections are on different levels. Slow traffic like agriculture vehicles is separated. The alignment should be not very curvy.



**Figure 3: the 2 + 1 cross section in Germany (4)**

The traffic volume may be up to 20.000 vehicles per day. If it is higher a cross section with 2 carriageways will be necessary and with more than 30.000 vehicles per day the construction of a motorway cross section.



**Figure 4: An example of a 2+1 express road in Brandenburg**



**Figure 5: The change of overtaking lanes**

The sections for overtaking should have a length of 1.000 m minimum and 2.000 m maximum depending on the traffic situation and the topography. They may be longer hill up on roads with many trucks. The normal length should be 1.200 m.

All intersections have to be on two levels and there the overtaking section can be developed from the weaving in lane.

On bridges the cross section should be wider, see Figure 6 below:



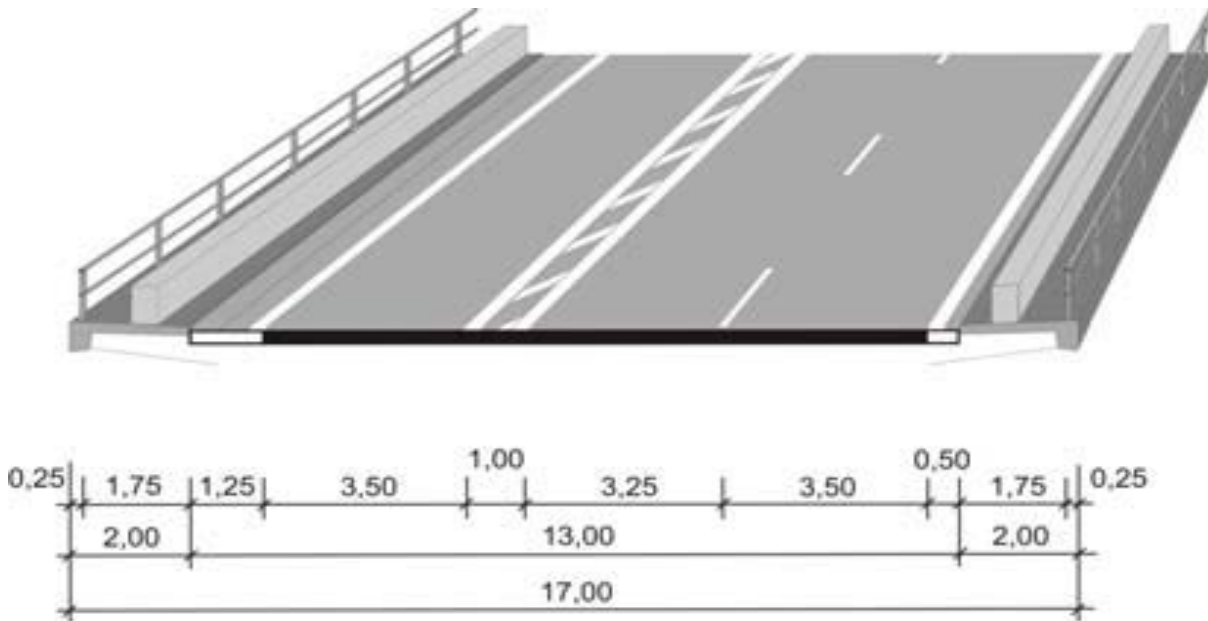


Figure 6: The cross section of 2+1 roads on bridges (4)

Following the RAL in tunnels there will be no overtaking but emergency bays in regular distances and 1m sidewalks on both sides..

The Alignment should be harmonized and straight section should be limited to 1.500 m for avoiding monotony and drivers' sleepiness. The harmonization of the Alignment is no problem if the minimum horizontal Radius is 500 m as it should be for the EKL 1. The minimum vertical radius for EKL1 should be 8.000 m on hill tops and 4.000 m in dips.

The RAL contains a lot of other regulations regarding the alignment in respect of transition curves, sight distances, the field vision, dewatering etc, much more than it can presented here in this article. As a general rule the designer should place the turning points of the horizontal and vertical alignment at the same spot.

As told above the intersections have to be on different levels. Depending on the crossing road there may be totally "planfree" intersections like the global leave or partly plan free solutions such as in Figure 7 below:



Figure 7: Partly "plan free" intersections of EKL 1 Roads with lower classes [(4)]

The distances of intersections should be more than 3 km.

Also on this issue of intersections the RAL contains much more details than to be shown here..

### **3. An efficient strategy for economical development and road safety, the example of the State of Brandenburg (Germany)**

#### **3.1. The reactive and proactive road safety measures**

Motivated by the steep increase of memorials along the newly by asphalt layers rehabilitated roads, the government of Brandenburg developed very soon a road safety concept - the first of Eastern Germany. The main pillars of that were similar to those of the UN Global Plan of Action for Road Safety (5) 2011

- The Government established six regional authorities and two central ones, one for the motorway management and one for cross cutting issues to build up an efficient Road Safety Management, similar to a road Safety Agency as asked for by the UN Global Plan (Pillar 1).
- Road Accident Commissions are implemented for the removal of black spots (pillar 2)
- The fleet of cars was brought up to European standards in a short time (pillar 3)
- A main pillar improving road safety was the implementation of road user campaigns with the focus on speed reduction, avoiding alcohol drinking and show more consideration for other roads user especially vulnerable ones. In Brandenburg we started the campaign "Brandenburg should better drive" with large posters along the motorways and rural roads (pillar 4).
- The steeper decrease of accidents with fatalities of 26.6 % among the decrease of severe accidents by 22% is the proof of the growing capacity and competence of the emergency services in the early 5 years (Pillar 5).

The first network safety management system (NSM), called BASTA, has been implemented in 2002 for the detection the most dangerous road sections with the highest avoidable accident cost density (Pillar 2) (6)

Those measures did decrease the numbers of accidents remarkably but the accident rates of fatalities related to the number of inhabitants remained high above the German average and the problems of accessibility of the cities in the shadow rooms of the country far away from the Trans European Road Network (TERN) of motorways had not been solved.

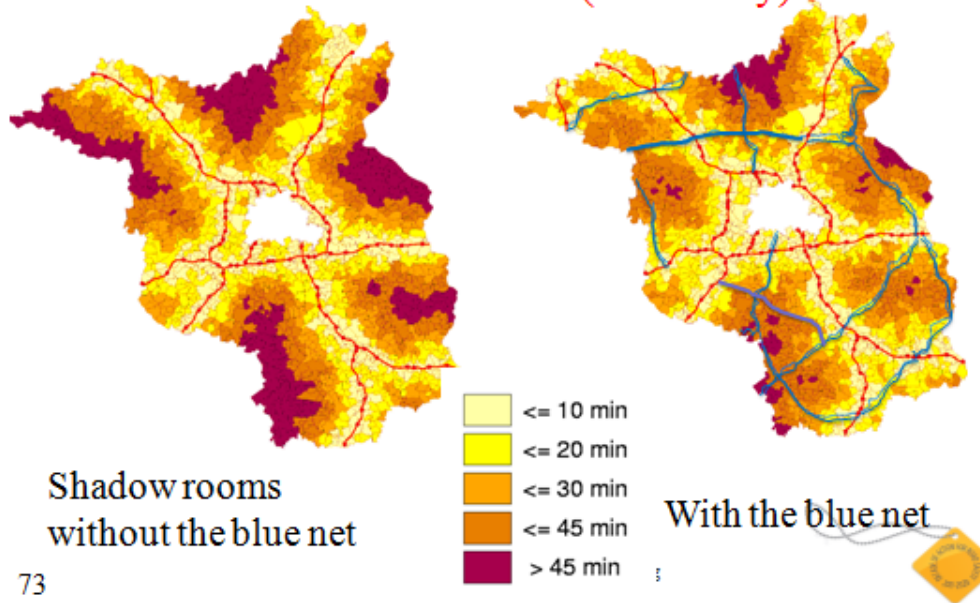
#### **3.2. The development of the "Blue Network" of 2+1 roads in Brandenburg**

Following these findings the German Federal Country of Brandenburg developed as the most pre-active measure an Express Road System of the 2+1 cross-section, the so called "Blue Net", bypassing villages and towns for halve the price for Motorways but sufficient for traffic volumes up to 20,000 vehicles/day. It was implemented by the Ministry Order "Grünes Licht für Blaues Netz" (Green Light for the Blue Net) (7) in 2001. Of course all road projects have been audited in all planning phases according to the German Road Safety Audit Guideline ESAS(8)]. This so called "Blue Network" of 800 km express roads between the red net of motorways and the green net of normal rural distributor roads has stabilized the economic situation of many small towns and villages by faster and safer connections to the Trans European Road Network (TERN) of motorways with an increase of investments in their industry and places of labour (see Figure 8)

It opened the way for more traffic calming measures following the Guidelines for "The Design of Urban Road Sections of Rural Roads" (9) in the cities and villages with the remarkable reduction of serious accidents and higher quality of life of their citizens

Today 800 km of the red Motorway network plus 800 km of the Blue Net of express roads, together 12% of the whole road net in Brandenburg carry 57% of the whole road traffic. It opened the possibility of traffic calming along the green network of distributor roads and urban roads by roundabouts, traffic island at the entrances of all villages and towns, safe pedestrian crossings and speed limits to 30 km/h in front of schools and children gardens.

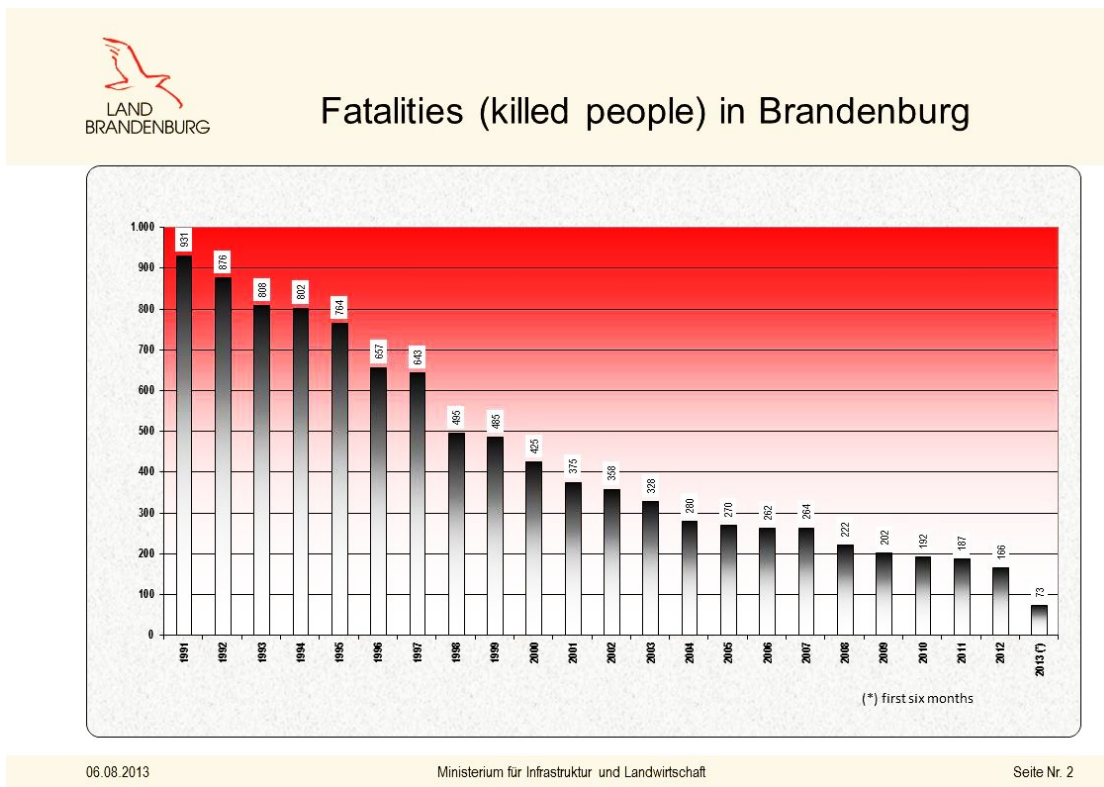
The safe road transport approach reduces driving time of cars to the next **TERN (motorway) access**



73

**Figure 8: The remarkable reduction of travel time by the blue network of 2+1 express roads**

Both measures lead to a remarkable decrease of traffic victims related to the progress of construction. But it took some time because of the long time for getting the permits for the construction, especially those for the environmental issues.



06.08.2013

Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft

Seite Nr. 2

**Figure 9: The reduction of fatalities by road accidents in Brandenburg ( 10 )**

#### 4. The experience of '2+1 roads' in Sweden

A major part of the Swedish rural trunk road system used to be 12-13 m wide paved two lane roads with mostly wide hard shoulders, AADT's between 3,000 and 12,000 with some extremes over 20,000 with speed limits 90 kph and in northern Sweden 110 kph. These roads turned out, as in Germany, to be unsafe with head on and single run off accidents to be the main safety problems. Both types are in Sweden starting with the driver losing control of his vehicle without any interference or disturbance from any other vehicle.

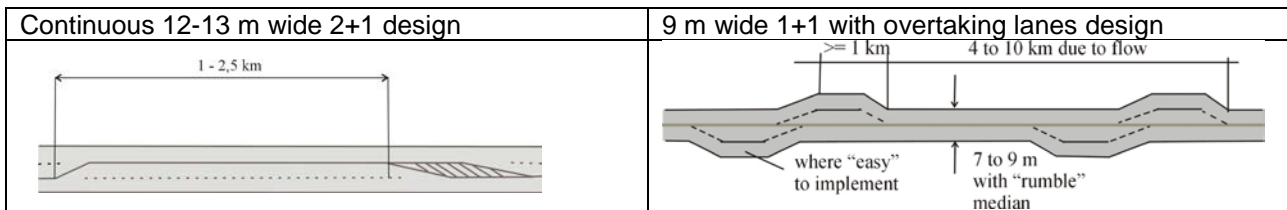
The first 2+1 test with a road marking median was opened in the 1980:ies and the first with a median barrier in 1998, both with the aim to solve the safety problem. The Swedish experience is the median barrier concept to be utterly superior from a safety viewpoint, especially for fatalities with a 90 % reduction compared with 30 % with road marking median (12, 13) at speed limit 100 kph related to a 90 kph normal two lane road. With Swedish traffic behaviour, road system and accident experience it is obvious the barrier to be the key for safety. In Germany unsafe overtaking, not a severe problem in swden, is judged to be the main problem.

The VTI study (13) also estimates traffic safety for motor cyclists to benefit substantially.

The Swedish policy inspired by the Zero Vision is only to accept speed limits over 80 kph with median barrier separation. The former over 25,000 km two lane 90 and 100 kph roads are to be decreased to 80 kph or retrofitted with median barriers before 2025. So far over 10,000 km have been decreased to 80 kph and over 2,800 km retrofitted to 2+1 with median barriers, almost 15 % each of the total state annual traffic load in Sweden.

The 2+1 median barrier concept has so far mainly been done by retrofitting wide two lane roads to continuous 2+1 roads. Lately a number of exiting 9 m paved two lane roads have been retrofitted by introducing a continuous median barrier an overtaking lanes with an interval up to 6 to 8 km. There are only minor differences from a driver perspective with a protecting barrier to his left, a continuous driving lane and overtaking opportunities at a reasonable frequency. The continuous lane is slightly more narrow and the overtaking frequency slightly less in the new concept. Safety effects for the new concept seem as expected to be at the same magnitude as for the continuous alternative.

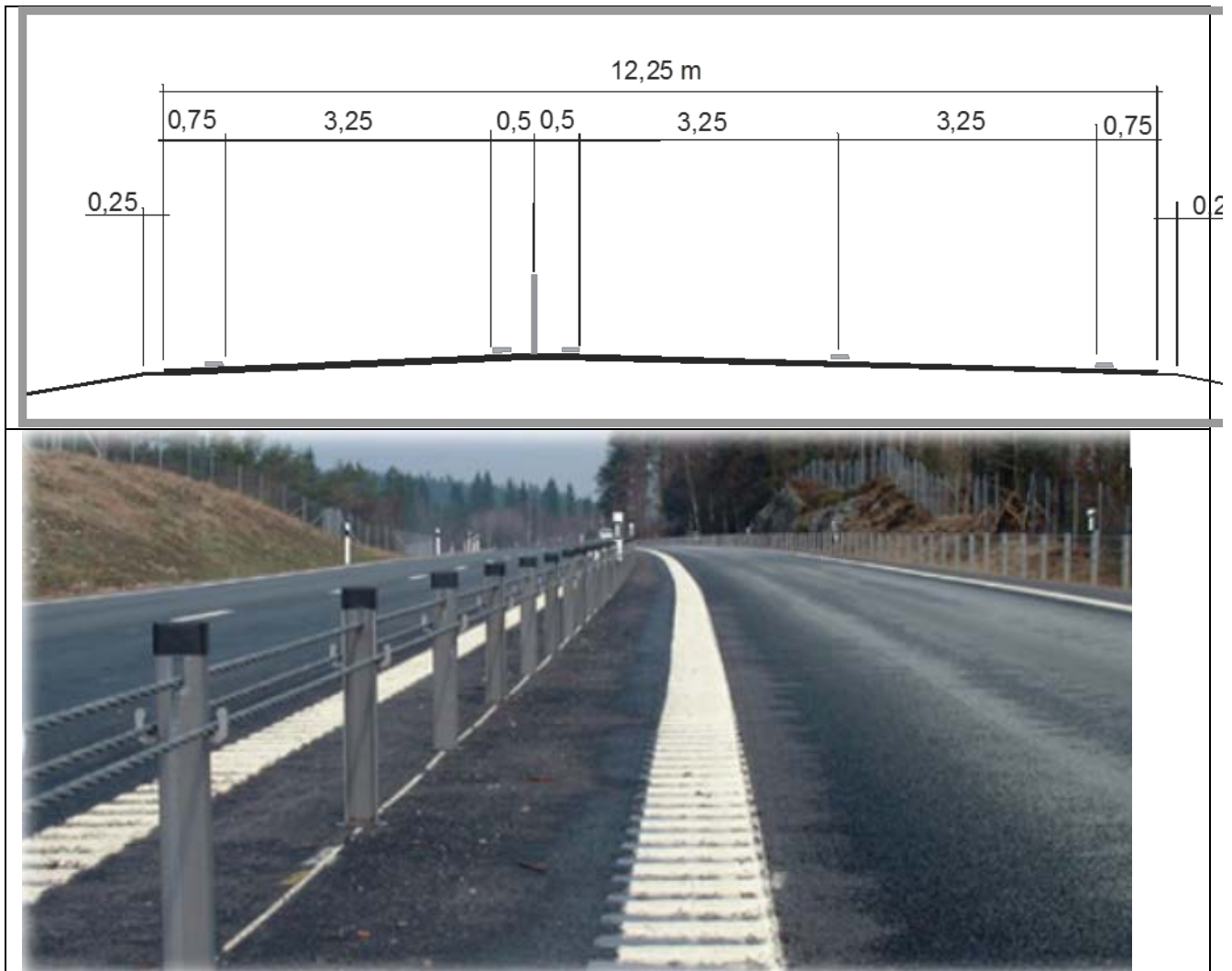
The challenge is maintenance operation with 1+1-sections, also generally barrier repairs and rutting in both alternatives and dealing with access roads, slow moving traffic and vulnerable road users.



**Figure 10: Swedish 2+1 contiuous and overtaking lane designs**

Traffic performance is enhanced in low and medium volume, up to over 1000 vehicles per hour in one direction with safe and regular overtaking possibilities appreciated today by a vast majority of Swedish drivers. Capacity is reduced by some 20 %.

The cross-section on a 9 m median barrier road at an overtaking section is shown below. The barrier design requirement is N2. The project in the photo has a wire rope barrier. Barrier crashes and rutting are major maintenance costs in Sweden. The barrier crash frequency in Sweden using wire ropes is around 0.4 crashes per Million vehiclekm. The barrier crash frequency is much lower using box beam designs but the investment cost is much higher.



**Figure 11: the 2+1 cross “9 m” section at an overtaking lane in Sweden with a wire middle barrier**

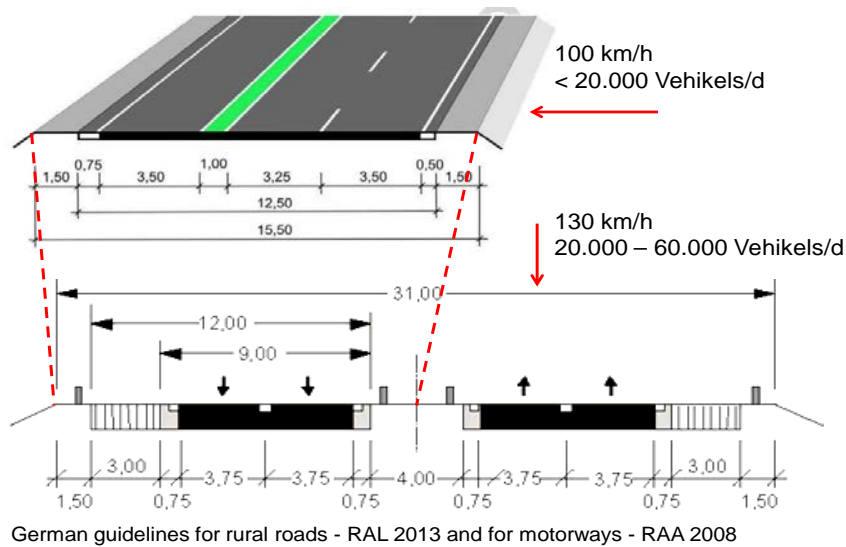
**More information on Swedish policies, practice and experiences are given in (15)**

### **5. The 2+1 cross section as a step to the development of a motorway**

As shown above, the 2+1 is the most suitable cross section for express roads, the second level of our main arteries in our road networks. In addition we may use them as a first step of a motorway as long as the expected traffic volume is less than 20.000 vehicles a day □ see Figure 11□. This has been recommended by the author to the National Road Administration of Romania in the case of the Bacau Bypass and to the Company of Motorways of the Republic of SRPSKA, Bosnia Herzegovina □ 12□.

This strategy will need the preliminary design for the Motorway cross section for getting land and permits, but for the first 10 to 20 year the 2+1 cross section will be sufficient and cheaper to construct and maintain. It means that a larger part of the road network will be efficient and safe.

## Develop the motorways stepwise from the 2+1



**Figure 12: The stepwise development of the motorway system by the 2+1 cross section**

## 6. Conclusions

The important decrease in road traffic fatalities and severe injuries achieved over the past ten years in several countries which have adopted a holistic approach to road safety more or less in line with the safe system concept, demonstrates that we currently have proven methodological tools to improve significantly road safety

In the area of road design and operations, a number of guidelines which integrate the experience of advanced countries have been produced by the World Road Association (PIARC) and have been applied successfully in various countries. They are made available free of charge to the road community from the Association's web-site.

In countries of emerging economy which experience a fast increase in the rate of motorization and have to up-grade their road network the risk of a large degradation of road safety is high if no national road safety plan is developed and implemented.

The example of the state of Brandenburg shows however that there is no inevitability in this area if correct action is taken. It has been possible to reduce the number of severe accidents with fatalities and injuries remarkably by improvements in all of the 5 pillars of the UN Plan of action. By the modernization of the ambulance system, the fleet of vehicles and the improvement of traffic education in schools and driving schools and by public awareness campaigns good results could be achieved. But above all it was the improvement of the road network with safer Motorways, the blue net of express roads and the traffic calming measures in villages and towns which finally lead to a reduction of 72% of severe accidents and of 81 % of fatalities within 20 years.

Nevertheless the achieved fatality rate of 6.6 is still 60 % higher than the German average of 4. This is on one hand related to longer daily drives of the inhabitants to work by car than in densely populated areas of Germany, on the other hand to the lack of forgiving road sides. The tree lined roads are a special road safety problem, unsolved until now because of environmental protections. And the critical question still remain for may countries to choose between barrier and road marking median separation.

## 7. References

- (1): Guidelines for the design of Motorways, RAA, published in English by FGSV in 2011
- (2) Traffic and Accident Data in Germany, Publication of BAST in October 2014
- (3) The PIARC Catalogue of Design Safety Deficiencies and Counter Measures
- (4) Richtlinie für die Anlage von Landstraßen – RAL)
- (5) UN Global Plan for the Decade of Action for Road Safety
- (6) Network Safety Management BASTA for Brandenburg, in 2002
- (7) Grünes Licht für Blaues Netz, Order of the Ministry of Urban Development, Housing and Traffic of the German Federal Country of Brandenburg 2001
- (8) German Recommendations for the performance of Road Safety Audits (ESAS)
- (9) Design Guideline for the Rural Roads crossing built up areas, Country of Brandenburg
- (10) Accident Data in Brandenburg 2013
- (11) Swedish Design Guidelines VGU (only in Swedish)
- (12) Swedish Effect Catalogue (only in Swedish)
- (13) Carlsson, A *Follow-up median barrier roads (in Swedish)* VTI report 636 2009
- (14) Vadeby, A. Björketun, U., Carlsson, A. Säker framkomlighet. Trafiksäkerhetseffekter 2012. VTI Memorandum.
- (15) Bergh et al Country report Sweden, International Symposium on Highway Design Vancouver 2015

## OCENE OPASNOSTI OKOLINE PUTA SA ASPEKTA PASIVNE BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA

**Aleksandar Trifunović<sup>1</sup>**

Asistent, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, [a.trifunovic@sf.bg.ac.rs](mailto:a.trifunovic@sf.bg.ac.rs)

**Svetlana Čičević**

Redovni profesor, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, [s.cicevic@sf.bg.ac.rs](mailto:s.cicevic@sf.bg.ac.rs)

**Stefan Trifunović**

Student, Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, [trifunovic94@outlook.com](mailto:trifunovic94@outlook.com)

**Rezime:** U strukturi faktora od kojih zavisi bezbednost drumskog saobraćaja, dominantan faktor je čovek, dok put, definitivno, zauzima značajno mesto. Konstatcija da put bitno utiče na bezbednost saobraćaja, potkrepljuje se činjenicom da postoji čitava lepeza uticajnih elemenata puta, kao i okoline puta koji značajno utiču na težinu posledica saobraćajnih nezgoda. Pored puta se često nalaze različite prepreke koje utiču na pasivnu bezbednost saobraćaja. Ako se radi o čvrstim preprekama (stabla drveta, stubovi, zidani objekti i sl.), pri izletanju vozila sa puta, vozila često udaraju u ove prepreke, čime se povećava težina posledica saobraćajnih nezgoda. Strana istraživanja pokazuju da je svaka četvrta nezgoda u Švedskoj udar vozila u prepreku pored puta, dok se u Nemačkoj oko 43% nezgoda sa smrtnim ishodom, u kojima je učestvovalo jedno vozilo (sletanje sa puta), događa pri udaru vozila u drvo pored puta. Iz navedenih razloga sprovedeno je anketno istraživanje u kojem su ispitanici imali zadatak da ocene, sa aspekta bezbednosti saobraćaja, fotografije na kojima su prikazani različiti izgledi okoline puta. Cilj rada je da se ispita kako i u kojoj meri vozači percipiraju i ocenjuju opasnost oko puta, da li ima razlike između ocena po različitim demografskim karakteristikama ispitanika i u kojoj se meri razlikuju ocene ispitanika od ocena stranih priznatih stručnjaka iz oblasti bezbednost saobraćaja.

**Ključne reči:** Bezbednost saobraćaja, put, okolina puta, pasivna bezbednost saobraćaja.

### 1. UVOD

Učestvovanje u saobraćaju zahteva od vozača sposobnosti, znanje, veštine i bezbedno ponašanje. Navedeni elementi zavise od saobraćajne kulture, motivisanosti za vožnju i drugih faktora. Nedostatak nekog od ovih elemenata može dovesti do nastanka greške, koja za posledicu može imati pojavu saobraćajne nezgode. Faktor put mora imati uticaj da se što je moguće više umanje posledice grešaka vozača. Kada se govori o dominantnim karakteristikama vozača, mnoga istraživanja su pokazala jaku povezanost između percepcije rizika i uključenosti u nezgode (Lipovac, 2008.). Istraživanje prikazano u ovom radu povezuje percepciju rizika vozača prema faktoru put i okoline puta.

Velika je zablude je da su samo greške ili loše ponašanje vozača uzrok saobraćajnih nezgoda, u skoro svim slučajevima. Rezultati istraživačkih projekata o uzrocima saobraćajnih nezgoda pokazuju da u svakoj trećoj saobraćajnoj nezgodi okruženje puta ima značajan uticaj. Put sa svojim okruženjem predstavlja jedan od značajnih faktora koji utiču na aktivnu i pasivnu bezbednost saobraćaja. Konstatcija da put sa svojim okruženjem značajno utiče na bezbednost saobraćaja, potkrepljuje se činjenicom da postoji čitav skup elemenata puta, kao i okoline puta koji predstavljaju uticajne faktore koji su doprineli nastanku saobraćajne nezgode i koji značajno utiču na težinu posledica saobraćajne nezgode. Pored puta se često nalaze različite prepreke koje utiču na pasivnu bezbednost saobraćaja. Vodeći se ovom konstatacijom, razvijene zemlje napravile su veliki iskorak u bezbednosti saobraćaja bazirajući se na unapređenju puta sa svojim okruženjem. Sve naučne analize ukazuju da putevi mnogo više doprinose nastanku saobraćajne nezgode nego što je prikazano u statistikama. Podaci o saobraćajnim nezgodama u nerazvijenim zemljama (Nigerija, Južnoafrička republika, Angola) ukazuju da se uticaj faktora puta zanemaruje i ne prikazuje realno, odnosno ne prepoznaje se put kao uzrok nezgode. Sa druge strane, u Srbiji je faktor puta uzrok u 3% nezgoda, a u razvijenim zemljama koje upravljaju bezbednošću saobraćaja, kao što je Švedska, put je uzrok u 36% nezgoda (Pešić, et al., 2012).

Takođe su se pojedini autori radova u okviru većeg broja svojih objavljenih radova (Vujanić, et al., 2010.) (Marković, et al., 2011.) bavili uticajem stanja puta i regulisanja saobraćaja na nastanak saobraćajnih nezgoda. Naime, navedeni autori su u okviru svojih radova dali primere saobraćajnih nezgoda čiji je uzrok bio put i okolina puta, a u kojima je bilo smrtno stradalih lica. Ovi radovi ukazuju da podatak iz statistike uzroka saobraćajnih nezgoda i posledica u Srbiji, nije validan u velikoj meri. Naime, u navedenim radovima dati su primeri iz sudske prakse gde je kao primarni uzrok nastanka saobraćajne nezgode, prepoznat od strane uviđajne ekipe saobraćajne policije, bio ponašanje vozača (faktor čovek), gde je naknadnim stručnim

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: [a.trifunovic@sf.bg.ac.rs](mailto:a.trifunovic@sf.bg.ac.rs)



analizama utvrđeno da je stvarni uzrok nastanka nezgode bilo stanje kolovoza, a ne ponašanje učesnika u saobraćaju, kako je to prevashodno bilo opredeljeno. (Vujanić, et al., 2014.)

U Srbiji, prema rezultatima istraživanja, poslednjih godina dolazi do blagog rasta broja saobraćajnih nezgoda u kojima dolazi do sletanja vozila sa kolovoza i udara u objekat pored puta. U 2013. godini broj takvih saobraćajnih nezgoda iznosi 2224 (Statistički izveštaj o stanju bezbednosti saobraćaja u Republici Srbiji u 2013), dok je u 2014. navedeni broj porastao na 2361. Još jedna činjenica koja jasno ukazuje na uticaj puta sa svojim okruženjem na težinu posledica saobraćajne nezgode, jeste broj poginulih lica u saobraćajnim nezgodama pri kojima dolazi do sletanja vozila sa kolovoza i udara u objekat pored puta. Broj poginulih lica u takvim okolnostima saobraćajne nezgode iznosi 89, dok broj lica sa teškim telesnim povredama iznosi 328 (Statistički izveštaj o stanju bezbednosti saobraćaja u Republici Srbiji u 2014).

Od najranijih istraživanja bezbednosti na putu, bio je prihvaćen stav da vozači modifikuju svoje ponašanje u skladu sa percipiranim stepenom rizika. Teorije ranijeg datuma sadržale su uverenje da vozači prilagođavaju svoju vožnju održavajući rizik na konstantnom nivou. Brojni eksperimentalni dokazi upućivali su na činjenicu da je veza između vožnje i rizika ipak dosta kompleksnija. Istraživači su se bavili pitanjima koliko dobro vozači uočavaju put i moguće rizike i opasnosti, koji faktori ih navode na to da ustanove da postoji rizik, i pitanjem o vezi između uočavanja mogućih rizika i vočevih osećaja za rizik. Istraživanja su pokazala da vozači najpre otkrivaju opasnosti koje se nalaze u njihovom centralnom vidnom polju i da vozači sa iskustvom imaju širi vidokrug od onih sa manje iskustva, u vezi sa njihovim različitim ponašanjem uočavanja. Od posebnog interesa, ipak, bilo je iznenadno otkriće da događaji i situacije koji se ocenjuju kao rizični i opasni variraju i različiti su od vozača do vozača, sa najvećom razlikom pronađenom sa vozačima koji imaju različit spektar iskustava. (Čubranić-Dobrodolac, et al., 2014.)

Navedene činjenice opravdavaju sprovođenje anketnog istraživanja u kojem su ispitanici imali zadatak da ocene, sa aspekta bezbednosti saobraćaja, fotografije na kojima su prikazani različiti izgledi okoline puta. Cilj rada je da se ispita kako i u kojoj meri vozači percipiraju i ocenjuju opasnost oko puta, da li ima razlike između ocena po različitim demografskim karakteristikama ispitanika, između različitih grupa ispitanika po ponašanju i učestvovanju u saobraćaju i u kojoj se meri razlikuju ocene ispitanika od ocena stranih priznatih stručnjaka iz oblasti bezbednost saobraćaja.






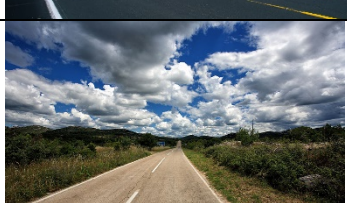








## 2. METODOLOGIJA RADA

Istraživanje je vršeno pomoću ankete koja je napravljena na „Google Drive“ platformi. Anketa je sadržala 28 pitanja, od kojih je prva grupa pitanja namenjena za ispitivanje demografskih karakteristika ispitanika (pol, godine starosti, mesto prebivališta, obrazovanje...). Naredni set pitanja se odnosio na ispitivanje karakteristika ispitanika vezanih za učestvovanje u saobraćaju (učestalost upravljanja motornim vozilom, kategorije vozačke dozvole...) i učestvovanje u saobraćajnim nezgodama (broj saobraćajnih nezgoda, kategorija vozila kojom je ispitanik upravljao kada je učestvovao u saobraćajnoj nezgodi...). Poslednju grupu čine pitanja namenjena ocenjivanju pasivne bezbednosti okoline puta od strane ispitanika. Ispitanici su ocenjivali izgled okoline puta, ocenama od 1 (nebezbedan put) do 7 (bezbedan put) na osnovu postavljenih fotografija u anketi. Prva grupa fotografija je preuzeta iz priručnika „Highway Safety Manual Knowledge Base“ grupe autora (Bahar, et al., 2009.), u kojoj su autori fotografijama predstavljali ilustrativne primere za određenu ocenu puta koju su odredili. Druga grupa fotografija je napravljena po nacrtu fotografija iz prve grupe, odnosno svakoj fotografiji ocene okoline puta prikazanoj u literaturi, odgovara ista fotografija okoline puta prikazana na različitoj lokaciji. Razlog za odabir dve fotografije za istu ocenu puta može se opravdati ispitivanjem potencijalnih razlika između okoline puta prikazane u literaturi i slike okoline puta na nekoj drugoj lokaciji. Ovakav nacrt je obezbedio i proveru validnosti rezultata, odnosno ispitanici koji su odgovarali suprotno u prvom i drugom setu fotografija (npr. za fotografiji iz literature koja nosi ocenu 1, ispitanik na prvom setu dodeljuje ocenu 7, a u drugom setu ocenu 1), odstranjeni su iz ankete, smatrajući da se nisu dovoljno posvetili popunjavanju ankete. Fotografije iz literature i fotografije namenjene za proveru rezultata su prikazane u Tabeli 1.

Prva tri meseca 2016. godine je period u kome je realizovano anketiranje putem on-line ankete. Podaci iz anketnih listova uneseni su u bazu podataka koja je urađena u programskom paketu MS Excel 2013. Statistička analiza podataka je sprovedena pomoću statističkog softverskog paketa IBM SPSS Statistics v.21, i pri tome su korišćene standardne metode deskriptivne i analitičke statistike. Svi testovi su rađeni na osnovu preporuke udžbenika „SPSS priručnik za preživljavanje“ (Julie Pallant, 2013). Na početku statističke obrade podataka određena je pouzdanost testa (Cronbach's Alpha). Na osnovu distribucije frekvencija i kros tabulacija dat je prikaz detaljne statističke analize koja obuhvata povezanost rezultata ankete sa demografskim karakteristikama ispitanika. Normalnost distribucije testirana je inspekcijom histograma i Kolmogorov-Smirnov testom. Budući da su raspodele svih intervalnih varijabli statistički značajno odstupale od normalne raspodele, korišćeni su neparametrijski metodi. Za procenu značajnosti razlike korišćeni su Kruskal-Wallis-ov i Mann-Whitney-jev test sume rangova U-test. Za ispitivanje jačine i smera linearne veze

između dve promenljive korišćena je Pirsonova korelacija ranga ( $\rho$ ). Postavljena je nulta hipoteza ( $H_0$ ) koja glasi: Ne postoji statistički značajna razlika između grupa i radna hipoteza ( $H_a$ ) koja glasi: postoji statistički značajna razlika između grupa. Prag statističke značajnosti ( $\alpha$ ) postavljen je na 5%. Stoga, ukoliko je  $p \leq 0,05$ , odbacuje se  $H_0$  i prihvata  $H_a$ , a ukoliko je  $p > 0,05$  prihvata se  $H_0$ .

Tabela 1. Prikaz fotografija iz literature i kontrolnih fotografija

<i>Ocena bezbednosti okoline puta u literaturi (od najmanje bezbednog do najviše bezbednog puta)</i>	<i>Fotografija iz literature (Bahar, et al., 2009.)</i>	<i>Kontrolne fotografije</i>
Ocena 1		
Ocena 2		
Ocena 3		
Ocena 4		
Ocena 5		
Ocena 6		
Ocena 7		

### 3. REZULTATI RADA

U anketi je učestvovalo 187 ispitanika, od toga 48,6% osoba ženskog, a 51,4% osoba muškog pola. Prosečna starost ispitanika koji su učestvovali u anketi je 23 godine. Najveći procenat ispitanika ima završenu srednju školu (55,6%), završen fakultet ima 29,9% ispitanika, dok 14,4% ispitanika ima završen fakultet. Ispitanici koji su se izjasnili da imaju mesto stanovanja Beograd, zauzimaju 51,9% ukupnog uzorka, stanovnici Zapadne Srbije čine 20,9% uzorka, Centralne Srbije 17,1%, Vojvodine 5,8%, dok najmanji procenat u uzorku čine ispitanici koji žive u Južnoj Srbiji (4,3%). Kada se analizira kategorija vozila za koju ispitanici imaju vozačku dozvolu, dobija se da najveći procenat ispitanika ima položen vozački ispit za putnički automobil (78,3%), zatim slede ispitanici sa vozačkom dozvolom za teška teretna vozila (9,2%), vozačku dozvolu za motocikl ima 7,9% ispitanika, dok je u procesu obuke 4,6% ispitanika. Shodno prosečnoj starosti ispitanika, najveći procenat ispitanika ima vozačku dozvolu između 3 i 5 godina (41,4%), između 5 i 10 godina 26,5% ispitanika, između 1 i 3 godine 17,2%, preko 10 godina 8,1%, a manje od godinu dana 2,2%. Kao aktivni vozači, izjašnjava se 90,1% ispitanika, a više od četvrtine ispitanika se izjasnilo da svakodnevno upravlja motornim vozilom u saobraćaju. Skoro četvrtina ispitanika se izjasnilo da su učestvovali u saobraćajnoj nezgodi (25,7%). Ispitanici koji su učestvovali u saobraćajnoj nezgodi, prosečno su doživeli skoro dve saobraćajne nezgode (1,86-prosečan broj saobraćajnih nezgoda). Procenom pouzdanosti instrumenta za merenje upitnika dobijen je alfa koeficijent vrednosti 0,782. Ovakva vrednost Kronbahove alfe smatra se poželjnom u istraživanjima (kreće se u opsegu od 0,75 do 0,92).

U Tabeli 2. su prikazane prosečne ocene bezbednosti okoline puta od strane ispitanika za okolinu puta prikazanu na fotografijama iz literature i sličnim fotografijama namenjenih za proveru ocena ispitanika. Može se zaključiti da su ispitanici ocenili okolinu puta, najpribližnije oceni iz literature u slučaju ocene 2 (2,33), a najviše su odstupili kod ocena 6 i 7 (3,6 i 4,64 respektivno). Nameće se zaključak da su za razliku od literature, ispitanici višim ocenama ocenjivali manje bezbedne okoline puteve (ocene od 1 do 3), dok su manjim ocenama od onih u literaturi, ocenjivali bezbedne puteve (ocene od 4 do 7). Sličan je odnos i kod ocena bezbednosti okoline puta kod kontrolnih slika.

**Tabela 2.** Prikaz ocena bezbednosti okoline puta od strane ispitanika za fotografije iz literature i kontrolnih fotografija

Literatura ocena 1		Literatura ocena 2		Literatura ocena 3		Literatura ocena 4		Literatura ocena 5		Literatura ocena 6		Literatura ocena 7	
$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
2,38	1,44	2,33	1,21	4,36	1,61	3,60	1,52	3,59	1,34	3,60	1,58	4,64	1,93
Provera ocena 1		Provera ocena 2		Provera ocena 3		Provera ocena 4		Provera ocena 5		Provera ocena 6		Provera ocena 7	
$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
2,85	1,69	4,73	1,61	4,65	1,62	5,11	1,69	4,36	1,51	5,66	1,44	5,99	1,36
$\mu$ - aritmetička sredina; $\sigma$ - standardna devijacija													

Statističkom analizom dobijena je korelacija između ocena bezbednosti okoline puta od strane ispitanika za fotografije iz literature i kontrolnih fotografija (Tabela 3.). Za svaku od ocena postoji jaka pozitivna korelacija između ocena ispitanika za fotografije iz literature i kontrolnih fotografija, što je još jedan od pokazatelja da su se ispitanici posvetili zadatku i imali ujednačen kriterijum za ocenjivanje.

**Tabela 3.** Rezultati Pirsonove korelacije za ocene bezbednosti okoline puta od strane ispitanika za fotografije iz literature i kontrolnih fotografija

	Literatura ocena 1	Literatura ocena 2	Literatura ocena 3	Literatura ocena 4	Literatura ocena 5	Literatura ocena 6	Literatura ocena 7
	Provera ocena 1	Provera ocena 2	Provera ocena 3	Provera ocena 4	Provera ocena 5	Provera ocena 6	Provera ocena 7
Pear.Corr.	0,315**	0,205**	0,445**	0,263**	0,399**	0,164*	0,345**
Sig.	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,026	0,000
N	187	187	187	187	187	187	187

Analizom srednjih vrednosti ocena bezbednosti okoline puta od strane ispitanika koji su učestvovali i koji nisu učestvovali u saobraćajnim nezgodama, može se zaključiti da ispitanici koji su učestvovali u saobraćajnim nezgodama ocenjuju okolinu puta kao manje bezbednu (ocenjuju nižim ocenama) za razliku od ispitanika koji nisu učestvovali u saobraćajnim nezgodama (ocenjuju višim ocenama). Izuzetak čini fotografija ocenjena u literaturi ocenom 4, koja je specifična po tome da je kolovoz od okoline puta odvojen zaštitnim ogradama, koju su ispitanici koji su učestvovali u saobraćajnoj nezgodi ocenili višom ocenom (3,75) od ispitanika koji nisu učestvovali u saobraćajnoj nezgodi (3,55) (Tabela 4.).

**Tabela 4.** Prikaz ocena bezbednosti okoline puta od strane ispitanika koji (ni)su učestvovali u saobraćajnim nezgodama

	Učestvovao u SN			
	Da		Ne	
	aritmetička sredina	standardna devijacija	aritmetička sredina	standardna devijacija
Literatura ocena 1	2,38	1,36	2,38	1,47
Literatura ocena 2	2,08	1,03	2,41	1,26
Literatura ocena 3	4,02	1,51	4,49	1,64
Literatura ocena 4	3,75	1,54	3,55	1,51
Literatura ocena 5	3,38	1,21	3,66	1,37
Literatura ocena 6	3,53	1,76	3,60	1,52
Literatura ocena 7	4,46	1,83	4,70	1,96

Rezultati Mann-Whitney U testa pokazuju značajne statističke polne razlike za ocenu bezbednosti okoline puta na fotografijama iz literature ocenjenim ocenama 3 ( $Z=-4,664$ ;  $p=0,000$ ) i 4 ( $Z=-3,386$ ;  $p=0,001$ ), kao i kontrolne fotografije ocenjene ocenama 2 ( $Z=-3,658$ ;  $p=0,000$ ) i 4 ( $Z=-2,112$ ;  $p=0,035$ ) (Tabela 5.). Može se zaključiti da su osobe ženskog pola ocenjivale pasivnu bezbednost okoline puta višim ocenama od ispitanika muškog pola i od ocean iz literature, što dovodi do zaključka da potcenjuju opasnost koju ima faktor put.

**Tabela 5.** Rezultati Mann-Whitney U testa za pol ispitanika i ocene bezbednosti okoline puta

	Literatura ocena 3	Literatura ocena 4	Provera ocena 2	Provera ocena 3
Mann-Whitney U	2569,500	3032,000	2927,500	3478,500
Wilcoxon W	7129,500	7037,000	7487,500	8038,500
Z	-4,664	-3,386	-3,658	-2,112
Asymp. Sig. (2- tailed)	0,000	0,001	0,000	0,035

Rezultati prikazani u Tabeli 6. pokazuju statistički značajne razlike u oceni bezbednosti okoline puta prema vozačkom iskustvu ispitanika. Statistički značajne razlike postoje kod fotografija iz literature ocenjenim ocenama 3 ( $\chi^2=18,691$ ;  $p=0,002$ ) i 7 ( $\chi^2=11,875$ ;  $p=0,037$ ). Kod fotografije ocenjene u literaturi ocenom 3 važi zakonitost da ispitanici sa više godina iskustva put ocenjuju kao manje bezbedan, dok kod fotografije ocenjene ocenom 7 važi zakonitost da su ispitanici sa većim iskustvom ocenjivali put višim ocenama, što ukazuje na činjenicu da osobe sa dužim vozačkim iskustvom imaju približne ocene bezbednosti okoline puta, ocenama iz literature, za razliku od osoba sa kraćim vozačkim iskustvom, čije ocene imaju veliko odstupanje od ocena iz literature. Isti je zaključak i kod kontrolnih slika 3 i 6.

**Tabela 6.** Rezultati Kruskal Wallis testa za vozačko iskustvo ispitanika i ocene bezbednosti okoline puta

	Literatura ocena 3	Literatura ocena 7	Provera ocena 3	Provera ocena 6
Chi-Square	18,691	11,857	28,641	17,642
df	5	5	5	5
Asymp. Sig.	0,002	0,037	0,000	0,003

U Tabeli 7. su prikazani rezultati Kruskal Wallis testa koji pokazuju statistički značajne razlike u oceni bezbednosti okoline puta prema kategorijama vozačke dozvole ispitanika. Naime, za fotografiju koja je ocenjena ocenom 3 u literaturi i na kontrolnoj fotografiji, važi zakonitost da su navedene slike najvećim ocenama ocenjivali vozači u procesu obuke, dok su ispitanici koji imaju položenu kategoriju za upravljanje teretnim vozilima ocenjivali najnižim ocenama. Navedeni rezultati pokazuju da ispitanici koji imaju položeno za upravljanje teretnim vozilima objektivnije opažaju i ocenjuju bezbednost okoline puta, za razliku od ispitanika sa drugim kategorijama vozačke dozvole i ispitanika koji su u procesu obuke.

**Tabela 7.** Rezultati Kruskal Wallis testa prema kategorijama vozačke dozvole ispitanika i ocene bezbednosti okoline puta

	Literatura ocena 3	Provera ocena 3
Chi-Square	17,756	12,666
df	5	5
Asymp. Sig.	0,003	0,027

Rezultati Kruskal Wallis testa pokazuju statistički značajne razlike za ocenu bezbednosti okoline puta, za slike ocenjene ocenom 3, prema obrazovanju ispitanika. Navedeni rezultati pokazuju da su obe fotografije ispitanici koji imaju završen fakultet ocenjivali najvišim ocenama, dok su najniže ocene za navedene fotografije izdvajali ispitanici koji su završili master studije (Tabela 8.).

**Tabela 8.** Rezultati Kruskal Wallis testa prema obrazovanju ispitanika i ocene bezbednosti okoline puta

	Literatura ocena 3	Provera ocena 3
Chi-Square	14,753	33,916
df	2	2
Asymp. Sig.	0,001	0,000

U Tabeli 9. su prikazani rezultati Kruskal Wallis testa prema mestu stanovanja ispitanika i ocenama bezbednosti okoline puta, koji pokazuju značajne statističke razlike za kontrolne fotografije ocenjene ocenama 2 ( $\chi^2=11,455$ ;  $p=0,022$ ), 3 ( $\chi^2=14,301$ ;  $p=0,006$ ) i 5 ( $\chi^2=11,192$ ;  $p=0,024$ ). Navedeni rezultati pokazuju istu zakonitost za sve tri fotografije, da su najvišim ocenama okolinu puta ocenjivali ispitanici iz Južne Srbije, dok su najnižim ocenama ocenjivali ispitanici iz Vojvodine.

**Tabela 9.** Rezultati Kruskal Wallis testa prema mestu stanovanja ispitanika i ocene bezbednosti okoline puta

	Provera ocena 2	Provera ocena 3	Provera ocena 5
Chi-Square	11,455	14,301	11,192
df	4	4	4
Asymp. Sig.	0,022	0,006	0,024

Rezultati Kruskal Wallis testa pokazuju statistički značajne razlike između ispitanika sa različitim učestalostima upravljanja motornim vozilom u saobraćaju i ocene bezbednosti okoline puta za fotografiju ocenjenu ocenom 3 po literaturi ( $\chi^2=16,450$ ;  $p=0,006$ ) i kontrolnu fotografiju iste ocene ( $\chi^2=18,027$ ;  $p=0,003$ ) (Tabela 10.).

**Tabela 10.** Rezultati Kruskal Wallis testa prema učestalosti upravljanja motornim vozilom u saobraćaju ispitanika i ocene bezbednosti okoline puta

	Literatura ocena 3	Provera ocena 3
Chi-Square	16,450	18,027
df	5	5
Asymp. Sig.	0,006	0,003

U Tabeli 11. su prikazani rezultati Kruskal Wallis testa koji pokazuju statistički značajne razlike u oceni bezbednosti okoline puta prema godinama starosti ispitanika. Naime, za fotografiju koja je ocenjena ocenom 3 u literaturi i koja je na kontrolnoj fotografiji ocenjena istom ocenom, važi zakonitost da su navedene fotografije većim ocenama ocenjivali mlađi ispitanici, dok su stariji ispitanici ocenjivali nižim ocenama.

**Tabela 11.** Rezultati Kruskal Wallis testa prema godinama starosti ispitanika i oceni bezbednosti okoline puta

	Literatura ocena 3	Provera ocena 3
Chi-Square	41,844	58,871
df	20	20
Asymp. Sig.	0,003	0,000

Statistička analiza podataka pokazuje da najviše razlike u navedenim grupama ispitanika ima kod vrednovanja opasnosti okoline puta na fotografiji koja je u literaturi ocenjena ocenom 3 i kontrolnoj fotografiji ocenjenom istom ocenom.

#### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu prikupljenih, obradjenih i u radu analiziranih podataka, mogu se izvesti sledeći opštih zaključci:

- ispitanici ocenjuju okolinu puta, najpribližnije oceni iz literature, u slučaju ocene 2 (2,33), a najviše su odstupili kod ocena 6 i 7 (3,6 i 4,64 respektivno);
  - za razliku od literature, ispitanici su višim ocenama ocenjivali manje bezbedne okoline puteve (ocene od 1 do 3), dok su manjim ocenama, od ocena u literaturi, ocenjivali bezbedne puteve (ocene od 4 do 7);
  - ispitanici kod nebezbednih puteva potcenjuju opasnost, dok se kod bezbednih puteva javlja precenjivanje opasnosti;
  - ispitanici koji su učestvovali u saobraćajnim nezgodama ocenjuju okolinu puta kao manje bezbednu (ocenjuju nižim ocenama) za razliku od ispitanika koji nisu učestvovali u saobraćajnim nezgodama, koji ocenjuju višim ocenama;
  - osobe ženskog pola ocenjuju pasivnu bezbednost okoline puta višim ocenama od ispitanika muškog pola i od ocena iz literature, što dovodi do zaključka da potcenjuju opasnost koju nosi faktor put;
  - osobe sa dužim vozačkim iskustvom imaju približne ocene bezbednosti okoline puta, ocenama iz literature, za razliku od osoba sa kraćim vozačkim iskustvom;
  - ispitanici koji imaju položeno za upravljanje teretnim vozilima objektivnije opažaju i ocenjuju bezbednost okoline puta, za razliku od ispitanika sa drugim kategorijama vozačke dozvole;
  - za pojedine fotografije okoline puta uočena je zakonitost da najvišim ocenama okolinu puta ocenjuju ispitanici iz Južne Srbije, dok najnižim ocenama ocenjuju ispitanici sa mestom stanovanja u Vojvodini.
- Istraživanja u oblasti opažanja i procene rizika koji nosi faktor put pokazala su veliki broj metodoloških problema i ograničenja. Relativno mali broj istraživanja sproveden je kako bi se ispita sam proces opažanja rizika koji nosi faktor put, nasuprot velikom broju studija koje su se bavile procesom preuzimanja rizičnih manevara u saobraćaju i procenom rizika faktora čovek. Iz perspektive bezbednosti saobraćaja, percepcija rizika od strane vozača koju sa sobom nosi faktor put je posebno inspirativna oblast, jer pruža veću mogućnost manipulisanja prilikom projektovanja puteva i okoline puteva, naime veoma je bitno kako vozač opaža put i kako procenjuje rizik same deonice i okoline puta. Suštinski problem, kojim se trenutno ne bave ni teorija a ni praksa, ogleda se u mogućnosti predviđanja i kvantifikovanja koristi ili šteta do kojih može doći kroz male promene u ponašanju vozača. Na primer, ukoliko neka promena na putu rezultuje malom, ali relativno održivom promenom u ponašanju vozača, teško je proceniti koristi u smislu poboljšanja bezbednosti u saobraćaju. U budućnosti, istraživanja u ovoj oblasti trebalo bi koncipirati sa ciljem da se ispita kako različiti elementi puteva utiču na percepciju rizika, kako različita okolina puta može uticati na promene u ponašanju vozača i kako je na taj način moguće unaprediti bezbednost na putevima.

## Literatura

- [1]. Bahar, G., Parkhill, M., Tan, E., Philp, C., Morris, N., Naylor, S., White, T. (2009). Highway Safety Manual Knowledge Base. NCHRP.
- [2]. Čubranić-Dobrodolac, M., Lipovac, K., Čičević, S., Tubić, V., (2014). Percepcija rizika vozača i njen uticaj na nastanak saobraćajnih nezgoda. Prvi srpski kongres o putevima, Beograd.
- [3]. Lipovac, K. (2008). Bezbednost saobraćaja, JP Službeni list, Beograd.
- [4]. Marković, N., Pešić, D., Antić, B. (2011). Posebni slučajevi uticaja neispravnosti vozila na saobraćajnu nezgodu, Analiza složenih saobraćajnih nezgoda i prevare u osiguranju, Saobraćajni fakultet u Beogradu, Zlatibor.
- [5]. Pallant, J. (2013). SPSS survival manual: A step by step guide to data analysis using IBM SPSS (4th ed.). Crows Nest, NSW: Allen & Unwin.
- [6]. Pešić, D., Lipovac, K., Vollpracht, H., Antić, B., (2014). Indikatori bezbednosti saobraćaja koji se odnose na puteve. Prvi srpski kongres o putevima, Beograd.
- [7]. Pešić, D., Marković, N., Vujanić, M., Rosić, M., (2012). Importance of vertical traffic signalization database development presented trough Alibunar municipality section, XI International Symposium "Road accidents prevention 2012", Novi Sad.
- [8]. Statistički izveštaj o stanju bezbednosti saobraćaja u Republici Srbiji u 2013. godini. (2013) Agencija za bezbednost saobraćaja.
- [9]. Statistički izveštaj o stanju bezbednosti saobraćaja u Republici Srbiji u 2014. godini. (2014) Agencija za bezbednost saobraćaja.
- [10]. Vujanić, M., Marković, N. (2014). Veštačenje saobraćajnih nezgoda i primena na unapređenje bezbednosti saobraćaja. Prvi srpski kongres o putevima, Beograd.
- [11]. Vujanić, M., Okanović, D., Božović, M. (2010). Saobraćajno obrazovanje kao faktor prevencije saobraćajnih nezgoda. X International Symposium "Road Accidents Prevention 2010", Novi Sad.
- [12]. Vujanić, M., Pešić, D., Barović, V. (2010). Nastanak opasne situacije zbog nedostatka (nepravilnosti) saobraćajne signalizacije, Zbornik radova Opasna situacija i verodostojnost nastanka saobraćajne nezgode (prevare u osiguranju), Saobraćajni fakultet u Beogradu, Zlatibor.

# REVIZIJE BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA PROJEKATA KONVERZIJE KLASIČNIH U KRUŽNE RASKRSNICE

Boris Antić<sup>1</sup>, Milan Savićević<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, [b.antic@sf.bg.ac.rs](mailto:b.antic@sf.bg.ac.rs)

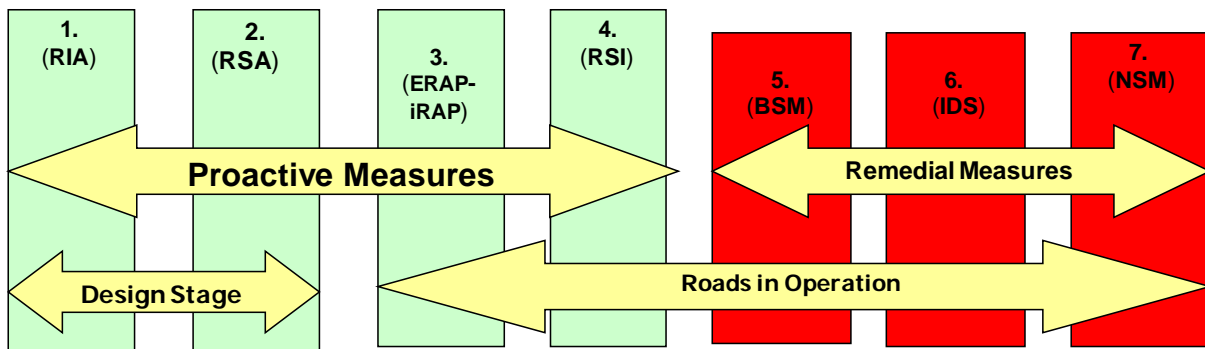
<sup>2</sup> NIS a.d. Novi Sad, [milan.savicevic@nis.rs](mailto:milan.savicevic@nis.rs)

**Rezime:** U sistemu faktora bezbednosti saobraćaja, faktor put sa okruženjem doprinosi nastanku saobraćajnih nezgoda u oko 28% slučajeva. Shodno tome, tokom proteklih decenija su ulagani značajni naponi da se razviju procedure čija primena će omogućiti unapređenje putne infrastrukture. Imajući prethodno u vidu, Evropska komisija je identifikovala putnu infrastrukturu kao treći stub bezbednosti saobraćaja koji bi trebalo unapređivati kako bi se značajno smanjio broj saobraćajnih nezgoda, a brojnim dokumentima su dokazane prednosti sprovođenja savremenih alata kao što su revizije bezbednosti saobraćaja. Raskrsnice predstavljaju lokacije na kojima po pravilu dolazi do nakupljanja saobraćajnih nezgoda pa su u prethodnom periodu izražene težnje da se klasične raskrsnice konvertuju u kružne raskrsnice. Na taj način smanjuje se broj konfliktnih tačaka, povećava propusna moć i ostvaruju i drugi pozitivni efekti u saobraćaju, pa će u ovom radu upravo biti prikazana iskustva revizije bezbednosti saobraćaja ovakvih projekata.

**Ključne reči:** Bezbednost saobraćaja, Savremene procedure za unapređenje puta, Revizije bezbednosti saobraćaja, Projekti, Kružne raskrsnice.

## 1. UVOD

Sagledavajući ciljeve strateških dokumenata EU, Evropska Komisija je predstavila Direktivu 2008/96/EC o upravljanju bezbednošću putne infrastrukture, kojom se od zemalja članica zahteva uspostavljanje i implementacija procedura koje se odnose na Procenu uticaja elemenata puta na bezbednost saobraćaja – RIA, Reviziju bezbednosti puta – RSA, Proveru bezbednosti puta – RSI i Upravljanje bezbednošću na mreži puteva – NSM (Network Safety Management) kako bi bili pokriveni i proaktivni tj. preventivni alati (RIA, RSA i RSI) i reaktivni tj. sanacioni alati (NSM). Pored toga, važno je pokriti procedure koje se odnose na fazu projektovanja budućih saobraćajnica, kao i već izvedenu putnu infrastrukturu. Upravo imajući u vidu ove preporuke, JP "Putevi Srbije" su prepoznali značaj unapređenja faktora put i inicirali realizaciju projekta "Revizija bezbednosti saobraćaja na projektima u toku", čiji predmet rada su dominantno predstavljali projekti konverzije šest klasičnih raskrsnica u kružne raskrsnice.



Slika 1 Prikaz alata – procedura za unapređenje faktora „Put“

Source: (RIPCORDER-ISEREST: Road Infrastructure Safety Protection – Core Research and Development for Road Safety in Europe; Increasing Safety and Reliability of Secondary Roads for Sustainable Surface Transport, <http://www.ripcord-iserst.com>)

Kada je reč o primeni RSA, u Velikoj Britaniji je primena RSA obavezna za sve nove puteve i poboljšanja postojećih puteva na nacionalnoj strateškoj mreži od 1990, dok se u Danskoj obavezno primenjuje od 1993. godine i to na svim novim državnim putevima, mada se realizuje i na ostalim saobraćajnicama. Na Islandu je RSA obavezna od 1997. za sve projekte čiji troškovi iznose više od 600.000 evra i sve raskrsnice. U Norveškoj se RSA primenjuje od 1999. godine. U Francuskoj i Irskoj se RSA obavlja od 2001. godine, a u Švedskoj je RSA deo opšteg procesa kontrole kvaliteta. Letonija, Nemačka, Finska i Estonija su primenu RSA započele 2002. godine, a u Austriji i Litvaniji RSA se sa primenom RSA započelo 2004. godine. Poljska je počela sa primenom RSA od 2005, kao obavezom za nacionalne puteve, dok je u Holandiji, Belgiji (Flandrija), Grčkoj, Mađarskoj, Italiji i Portugaliji, RSA još 2008. bio u fazi realizacije.

<sup>1</sup> Boris Antić: [b.antic@sf.bg.ac.rs](mailto:b.antic@sf.bg.ac.rs)



RSA kao procedura nije skupa za primenu i ima visoku efektivnost. Istraživanja sprovedena u Velikoj Britaniji pokazuju da na mestima na kojima je obavljena revizija godišnje smanjenje žrtava iznosi 1,25 dok ne mestima gde nije obavljena smanjenje iznosi 0,26 godišnje. Slična istraživanja iz Danske potvrdila su stopu povraćaja tokom prve godine od 146%, dok su Australijske analize primene RSA u fazi projektovanja pokazale odnose koristi i troškova koji su se kretali od 3:1 do 242:1. Generalno posmatrano, ako se obavljanjem revizije može sprečiti bar jedna saobraćajna nezgoda, korist će znatno premašiti troškove.

Revizija bezbednosti puta je nezavisna, detaljna, sistematična i tehnička provera bezbednosnih karakteristika puta u vezi sa karakteristikama dizajna projekta putne infrastrukture i pokriva sve nivoe, od planiranja do rane eksploatacije (Directive 2008/96/EC). RSA se smatra integralnim delom: procesa planiranja, idejnog projekta, detaljnog projekta, pred otvaranja puta i njegove rane eksploatacije, i primenjuje na novim ili rekonstruisanim putevima sa ciljem da se izvrši identifikacija i eliminacija rizika za učesnike u saobraćaju.

U procesu RSA učestvuju izvođač radova odnosno vlasnik infrastrukture, projektant i revizor (auditor). Revizor radi nezavisno od ostalih aktera i svoje rezultate iznosi u izveštajima o reviziji za svaki nivo primene posebno. Ostali akteri imaju obavezu da izvrše korekcije radi otklanjanja kritičnih elemenata projekta naznačenih u izveštaju, ili u suprotnom moraju da obrazlože nepostupanje u skladu sa izveštajem. Predmet RSA se razlikuje za svaki nivo primene, ali u osnovi obuhvata proveru svih konstruktivnih elemenata puta i okruženja, dovedenim u vezu sa uslovima saobraćaja. Mogućnost da se korektivne mere za poboljšanje mogu uvesti u dosta ranoj fazi daju ovom alatu preventivan karakter.

Najznačajnije karakteristike primene RSA su nezavisnost revizije i obavezne visoke kvalifikacije revizora. Revizori bi trebalo da imaju iskustva u projektovanju puteva, saobraćajnom inženjeringu, uticaju faktora čovek i analizi saobraćajnih nezgoda. Uvek kada upravljač puta planira nove puteve ili kada se novi putevi menjaju usled promene lokalnih uslova, projektanti puteva moraju da razmotre veliki broj različitih aspekata i interesa u svojim projektima, koji bi mogli da imaju uticaj na sam projekat.

Iz nekoliko razloga, troškovi projekta, ograničenja u okruženju i politička ograničenja primoravaju projektante da prave kompromise, koji nemaju uvek za rezultat projekat sa najvišim nivoom bezbednosti. Aspekti bezbednosti na putevima se najimplicitnije razmatraju u standardima za projektovanje, dok se u postojećim procedurama odobravanja obično samo proverava poštovanje standarda za projektovanje.

Usled toga, novi putevi takođe mogu da imaju relativno nizak nivo bezbednosti, što primorava drumske vlasti da kasnije pokreću skupe korektivne mere. Kako bi se izbeglo da novi putevi ne budu bezbedni, revizije bezbednosti na putevima su razvijene u Velikoj Britaniji i usvojene u mnogim drugim zemljama. Tokom ovih revizija, tim stručnjaka za bezbednost na putevima proverava planove, tražeći mogućnost poboljšanja bezbednosti na putevima, i informiše drumske vlasti o tome.

Glavna prednost revizija bezbednosti na putevima je to što upravljač puta može da preduzme odgovarajuće korektivne mere pre nastanka saobraćajnih nezgoda. Dalje, intervencijama pre otvaranja za saobraćaj izbegavaju se skupe i dugotrajne izmene postojeće drumske infrastrukture.

Revizije bezbednosti na putevima su integralni deo procesa planiranja i projektovanja. Revizije se obavljaju pre donošenja administrativnih odluka. U procesu revizije uglavnom učestvuju tri različita aktera: klijent, projektant i revizor. Glavni učesnici su klijent (tj., drumska uprava ili vlasnik puta), koji pokreće reviziju i odlučuje o daljim akcijama, i revizori, koji mogu da budu spoljni stručnjaci, ali i pripadnici drumskih vlasti. U svakom slučaju se mora garantovati nepristrasnost revizora i oni ne smeju da budu učesnici projekta.

Potrebne kvalifikacije revizora su veoma velike. Revizori moraju da imaju iskustvo u projektovanju puteva, kao i u oblastima inženjeringa bezbednosti na putevima i ponašanja učesnika u saobraćaju. Revizori ne samo da moraju da budu u stanju da čitaju planove, projekte, već i da otkrivaju propuste u njima i implikacije u pogledu bezbednosti. Pored diplome univerziteta ili sličnog obrazovnog nivoa, potrebno je i učešće u programima obuke i na seminarima.

Glavni zadatak revizora je inspekcija i provera planova, odnosno projekta. Najvažniji preduslov za obavljanje revizija je, dakle, postojanje projektne dokumentacije. Pored toga, potrebni su podaci o saobraćaju u obliku saobraćajnih prognoza. Mada je revizija bezbednosti na putevima proaktivan alat, zbog čega nisu eksplicitno potrebni podaci o saobraćajnim nezgodama, analiza saobraćajnih nezgoda u susjednim oblastima može da pruži bitne informacije o lokalnim rizicima koji bi mogli da utiču i na novi put.

Revizije se obično obavljaju tokom procesa planiranja i projektovanja u okviru projekata puteva, sve do rane faze rada:

- Tokom studija izvodljivosti (planiranja) se razvija opšti koncept projekta. Ova faza se završava određivanjem pravca. Revizija u ovoj fazi može da utiče na osnovna pitanja projektovanja, kao i na određivanje pravca.
- Tokom faze idejnog projekta dobijaju se opšti uzdužni profil i dimenzije elemenata puteva. Posle odobravanja ovih planova započinju procedure dobijanja zemljišta. revizija u ovoj fazi može da dovede do promene projekta pre skupe kupovine zemljišta.
- Tokom faze glavnog projekta se planovi dalje razrađuju pre izgradnje. Revizija u ovoj fazi podrazumeva proveru uticaja na bezbednost ovih detalja pre početka izgradnje.
- Neposredno pre otvaranja puta za saobraćaj revizori obavljaju terenske provere – najbolje u različitim periodima dana – razmatrajući bezbednost svih učesnika u saobraćaju.
- Neposredno posle otvaranja puta za saobraćaj revizori proveravaju da li učesnici u saobraćaju koriste put na željeni način. Međutim, zbog preklapanja se inspekcijama bezbednosti na putevima, većina zemalja koristi samo jedan od ova dva alata posle otvaranja za saobraćaj.

Rezultati projekta ROSEBUD, kao i međunarodnih studija obavljenih u Velikoj Britaniji, Danskoj i Australiji i posvećenih efektima i koristima revizija bezbednosti saobraćaja na putevima, generalno pokazuju da obavljanje revizija nije skupo, ali da je veoma efektivno. Kolateralni efekat revizija bezbednosti na putevima je podizanje svesti o bezbednosti na putevima u procesu projektovanja puteva. Procena izveštaja o revizijama pomaže u identifikovanju tipičnih propusta na polju bezbednosti, što može da se iskoristi za poboljšanje uputstava za projektovanje i daljih edukativnih programa za revizore i projektante. Kada je reč o RSA, neophodno je da revizori budu vođeni savremenom literaturom u ovoj oblasti, uzimajući u obzir specifičnosti i principe koje je potrebno uvažiti prilikom projektovanja kružnih raskrsnica. S obzirom na to, za potrebe realizacije projekta "Revizija bezbednosti saobraćaja na projektima u toku", revizioni tim je između ostalog koristio ROAD SAFETY AUDIT MANUAL (Koridori Srbije i Louis Berger), ROAD SAFETY AUDIT HANDBOOK (EC, SEETO, COWI), ROAD SAFETY PRINCIPLES (EC, SEETO, COWI), UPUTSTVO ZA REVIZIJU BEZBEDNOSTI PUTA (Cvetanović i Banić), ROUNDABOUTS: AN INFORMATIONAL GUIDE (US Department of Transportation).

## 2. EFEKTI KONVERZIJE KLASIČNIH U KRUŽNE RASKRSNICE

Zagovornici konverzije klasičnih raskrsnice ističu brojne prednosti kružnih i raskrsnica sa kružnim tokom saobraćaja, kao na primer, da su bezbednije (zbog manjeg broja konfliktnih tačaka, ali i zbog smanjenja brzine kretanja vozila pri prolasku kroz raskrsnicu), ekološki prihvatljivije (koriste manje energije), da su ambijentalno lepše, a neki čak i da su efektivnije u pogledu protoka saobraćaja. U brojnim svetskim studijama pokazalo se da je na kružnim raskrsnicama koje su konvertovane iz klasičnih raskrsnica sa direktnim ukrštanjem tokova zabeleženo smanjenje broja saobraćajnih nezgoda kao i broja nastradalih lica (Schoon and VanMinnen, 1993; ITE, 1999; Brüde and Larsson, 2000; Robinson et al., 2000; Hyden and Varhelyi, 2000; Persaud et al., 2001; Stone et al., 2002; Elvik, 2003; De Brabander et al., 2005; Rodegerdts et al., 2007).

**Tabela 1. Pregled rezultata različitih studija o efektivnosti kružnih raskrsnica**

Autori	Napomena	Ukupno smanjenje	Nezgode sa ranjivim učesnicima	
			Biciklisti	Pešaci
Schoon and Van Minnen (1993)		-47%	-30%	-89%
ITE (1999)		-15%		
Brüde and Larsson (2000)	jednotračne		-21%	-79%
Robinson et al. (2000)	Australija	od -45% do -87%		
	Francuska	od -57% do -78%		
	UK	od -25% do -39%		
	SAD	-51%		
Hyden and Varhelyi (2000)		-46%	-60%	-80%
Persaud et al. (2001)	sve nezgode	-39%		
	nezgode sa povređenima	-76%		
Stone et al. (2002)				-7%
Elvik (2003)	nezgode sa povređenima	od -30% do -50%		
De Brabander et al. (2005)	nezgode sa povređenima	-39%		
Rodegerdts et al. (2007)	Australija	od -41% do -63%		
	Francuska	od -78% do -82%		
	SAD	od -45% do -81%		
Gross et al. (2013)	sve nezgode	-21%		
	nezgode sa povređenima	-66%		

Međutim, različite studije pokazale su različit procenat smanjenja broja saobraćajnih nezgoda. Naime, pokazalo se da efektivnost kružnih raskrsnica u pogledu bezbednosti saobraćaja zavisi od niza faktora kao što su geometrija raskrsnice, broj saobraćajnih traka, ograničenje brzine, zatim učešće pešaka i biciklista u saobraćajnom toku kao i od istorije izgradnje kružnih tokova u nekom regionu tj. od naviknutosti vozača na kružne raskrsnice (Persaud et al., 2001; De Brabander and Vereeck, 2007). Sa druge strane, postoje i mišljenja koja dovode u pitanje svrsishodnost konverzije raskrsnica koje su izgrađene kao raskrsnice sa direktnim ukrštanjem tokova u raskrsnice sa kružnim tokom saobraćaja, s obzirom da sama konverzija iziskuje značajna materijalna sredstva i smatraju da je taj novac bolje uložiti u izgradnju novih saobraćajnica. Konačno, kružne raskrsnice generišu mnogo više problema sa aspekta ranjivih učesnika saobraćaja, nego što je to slučaj sa klasičnim raskrsnicama. Ipak, kako je prethodno već napomenuto, rezultati brojnih studija nesporno ukazuju da koristi koje se sa aspekta bezbednosti saobraćaja ostvaruju konverzijom klasičnih raskrsnica sa direktnim ukrštanjem tokova u kružne i raskrsnice sa kružnim tokom saobraćaja višestruko nadmašuju uložene resurse. Ipak, pre realizacije projekta konverzije važno je sprovesti postupak revizije kako bi se otklonili eventualni nedostaci i u potpunosti ispoštovali principi projektovanja bezbednog saobraćaja na putevima.

### **3. STUDIJA SLUČAJA – REVIZIJE BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA PROJEKATA KONVERZIJE KLASIČNIH U KRUŽNE RASKRSNICE**

Za potrebe JP "Putevi Srbije", sprovedena je revizija bezbednosti saobraćaja za šest projekata u kojima su klasične raskrsnice (trokake, četvorokake, T-raskrsnice) poboljšane - konvertovane u kružne raskrsnice i to:

- UKRSNO MESTO DRŽAVNIH PUTEVA: IB REDA br. 15 I IIA REDA br. 102 (BEČEJ)
- UKRSNO MESTO DRŽAVNIH PUTEVA: IIA REDA br. 207 I IIA REDA br. 211 (VITKOVO)
- UKRSNO MESTO DRŽAVNOG PUTA IB REDA br. 28 I LOKALNOG PUTA U LJUBOVIJI
- UKRSNO MESTO DRŽAVNIH PUTEVA: IB REDA br. 33 I IIA REDA br. 165 (MILOŠEVA KULA)
- UKRSNO MESTO UKRSNOG DRŽAVNIH PUTEVA: IB REDA br. 23 I IIB REDA br. 405 (TORNIK)
- UKRSNO MESTO DRŽAVNOG PUTA I B REDA br. 12 SA OBILAZNICOM U BAČKOJ PALANCI

Prilikom sprovođenja postupka revizije, nakon prezentovanja podataka o projektu i tehničkim uslovima predmetnih saobraćajnica, rezultati su sistematizovani u izveštaju u kome je nakon uvodnih razmatranja analizirano:

0. Prethodna faza
1. Funkcija puta
2. Poprečni profil
3. Trasa puta
4. Raskrsnice
5. Javne i privatne usluge, kontrola pristupa
6. Ugroženi korisnici puta
7. Vertikalna i horizontalna signalizacija, osvetljenje
8. Osobine elemenata pored puta i elementi pasivne bezbednosti

Na zahtev naručioca "JP Putevi Srbije", za svaku od navedenih revizija, data je rekapitulacija ključnih rezultata odnosno mera koje je potrebno sprovesti u cilju unapređenja postojećeg projekta.

Za prethodnu fazu, nisu postojali podaci o prethodnim revizijama, odnosno nisu postojali rezultati koji bi bili predmet ove revizije.

Kada je reč o funkciji puta, važno je sagledati potrebe korisnika u okruženju za pristupom. Uz uvažavanje ovih potreba, trebalo bi sprečiti direktan pristup saobraćajnici, odnosno projektovati pristup tako da se ne ugrožava bezbednost saobraćaja (npr. predvideti izgradnju servisnih saobraćajnica i sl.). Pored toga, izdignuta razdelna (usmeravajuća) ostrva na koja se nastavljaju razdelna (usmeravajuća) ostrva u vidu horizontalnih oznaka na kolovozu efektivnija su u pogledu kanalisanja tokova ako su produžena.

Na ulaznim pravcima mora biti projektovana defleksija kolovoza pre ulaska u kružnu raskrsnicu, pa je neophodno adekvatnim merama upozoriti vozače na nailazak na kružnu raskrsnicu i neophodnost poštovanja ograničenja brzine. Preporuka je da se na prilazima kružnoj raskrsnici u skladu sa odgovarajućim pravilnikom projektuju poprečne vibracione trake, kao i šušteće profilisane trake na pozicijama razdelnih neisprekidanih linija, što bi doprinelo smanjenju brzine i boljem kanalisanju tokova.

Ukoliko u zoni raskrsnice postoje fiksni objekti (stubovi, stabla, panoji i sl.) neophodno je utvrditi njihov uticaj na umanjeње preglednosti, kao i njihov uticaj na bezbednost učesnika u saobraćaju jer takvi objekti predstavljaju opasne i bliske prepreke, pa bi takve objekte trebalo ukloniti, odmaći, promenom konstrukcije ublažiti posledice eventualnog udara u objekat, odnosno obezbediti odgovarajućim ogradama.

Osvetljavanje kružne raskrsnice poboljšava vidljivost u zoni raskrsnice, unapređuje uslove odvijanja saobraćaja i povećava bezbednost saobraćaja. Posebno bi trebalo voditi računa o vrsti stubova osvetljenja i o njihovoj poziciji. Naime, trebalo bi stubove rasvete udaljiti od raskrsnice, koristiti stubove od savremenih bezbednih konstrukcija, odnosno obezbediti ih odgovarajućim ogradama. Sa druge strane, projekat osvetljenja bi trebalo uraditi tako da se smanji negativan uticaj zaslepljivanja i da se smanje kontrasti prilikom ulaska/izlaska iz osvetljene zone.

Kada je reč o porečnom profilu kod kružnih raskrsnica od suštinskog značaja je pozicija i veličina centralnog ostrva, pa je prilikom revizije neophodno voditi računa o tome da li su u skladu sa tim tokovi dobro kanalisani. Preporučuje se projektovanje prelaznog prstena koji bi eventualno koristila komercijalna vozila. Provera radijusa ulaznih i izlaznih kolovoza je važna jer ulazni radijusi moraju biti manji od izlaznih radijusa kako bi kanisanje tokova bilo pravilno i kako bi bilo omogućeno brže pražnjenje kružne raskrsnice. Ako u zoni raskrsnice postoje objekti atrakcije, neophodno je razmotriti potrebe pešaka i sprovesti kanisanje pešačkih tokova. Na mestima na kojima postoje obeleženi pešački prelazi potrebno je imati u vidu pešake sa posebnim potrebama.

Sa aspekta poprečnog profila, neophodno je da ukoliko se kružna raskrsnica projektuje u nasipu, na onim delovima gde postoji visoki nasip razmotriti potreba za postavljanjem odgovarajuće zaštitne ograde pored puta. Završeci ograde bi trebalo da budu spuštjeni i udaljeni od ivice kolovoza tako da vidljivi početak iznad bankine bude udaljen od ivice kolovoza za 2 m, a početno-završni element tzv. kosi završetak bi trebalo da bude jednom trećinom dužine ukopan u bankinu. Na ovaj način bi bile smanjene posledice eventualnog silaska vozila sa puta i sudara sa početkom ograde. Trebalo bi pri reviziji imati u vidu širinu bankina koje bi bile stabilizovane, odnosno obezbediti da noseći deo (posteljica) ispod bankine može da izdrži opterećenje teretnog vozila, čime bi bilo omogućeno bezbednije, eventualno, prinudno zaustavljanje i sprečeno urušavanje kolovozne konstrukcije.

Kada je reč o trasi puta važno je da ne postoje tangencijalna kretanja, odnosno da se projektovanje centralnog ostrva, ulaznih i izlaznih radijusa, kao i defleksija na ulaznim pravcima sprovedu tako da onemoguće tangencijalna kretanja.

Saobraćajni znakovi koji su predviđeni za postavljanje na razdelnim ostrvima, bi bili efektivniji ukoliko bi imali unutrašnje osvetljenje, pa bi uočljivost tih znakova a time i bezbednost saobraćaja bili unapređeni. Boljem kanisanju tokova doprinosi postavljanje markera – katadioptera. Kako bi postavljeni markeri bili funkcionalni u dužem toku eksploatacije, predlaže se postavljanje na obod kružnog ostrva, a ne na obod prelaznog kolovoza, jer bi teška teretna vozila korišćenjem i prelaskom preko prelaznog kolovoza u kružnom toku oštećivala markere – katadioptere.

U slučaju postojanja javnih objekata u zoni raskrsnice, neophodno je takve površine u potpunosti fizički odvojiti od kolovoza, kako bi bio sprečen povećan broj konflikata usled isključivanja i uključivanja vozila na kolovoz. Ukoliko postoje potrebe ranjivih učesnika saobraćaja, neophodno ih je razmotriti, analizirati i u skladu sa rezultatima projektovati odgovarajuću infrastrukturu. Saobraćajnu signalizaciju i osvetljenje je potrebno detaljno analizirati tokom revizije, a posebno je potrebno proveriti pozicije, kao i usaglašenost sa važećim podzakonskim aktima.

Projektovane kanale, propuste i šahtove za vodu je važno analizirati u skladu sa topografijom terena. Neophodna je provera da li su počeci i završeci propusta za vodu u skladu sa zahtevima bezbednosti saobraćaja odnosno izvedeni na takav način da prilikom silaska vozila sa kolovoza i udara u propust ne nastaju teže posledice.

Konačno revizija bi trebalo da omogući u potpunosti bezbedan saobraćaj, pa bi tim koji sprovodi reviziju trebalo da ukaže i na one elemente koji predstavljaju specifičnost konkretne lokacije, bez obzira da li su problematični elementi obuhvaćeni kontrolnim listama.

### 3. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

U zemljama koje upravljaju stanjem bezbednosti saobraćaja pažnja se posvećuje svim faktorima bezbednosti saobraćaja. Iako je čovek u sadejstvu sa ostalim faktorima odgovoran za oko 95% saobraćajnih nezgoda, ne sme zanemariti ni faktor put koji sa okruženjem i uz delimično prisustvo ostalih faktora utiče na oko 28% saobraćajnih nezgoda. U razvijenim zemljama savremenene procedure unapređenja putne infrastrukture su pravno normirane aktivnosti jer su sastavni deo zakona o bezbednosti saobraćaja na putevima. Pored toga, uobičajena je obaveza da preduzimanje mera za unapređenje bezbednosnih karakteristika putne mreže predstavlja obavezu i zadatak upravljača puta.

Razvojem savremenih alata za unapređenja puta, kao faktora bezbednosti saobraćaja, došlo se do aspekta da nije dovoljno, poučno, isplativo i humano baviti se bezbednošću saobraćaja nakon nastanka grešaka koje dovode do saobraćajnih nezgoda, već se i u ranim fazama projektovanja puta, odnosno u fazi studija izvodljivosti mogu uočiti nepravilnosti u projektovanju. Sa druge strane, moguće je ispitati razne alternative i naći onu koja nudi najviši stepen bezbednosti. Danas se smatra da svaka zemlja koja na bilo kom nivou upravlja stanjem bezbednosti saobraćaja treba da u raspoloživoj meri primenjuje set predloženih alata, jer svaki od njih ima dobre strane zbog kojih ga treba primenjivati i zbog čega je neophodan, ali i nedostatke koje je moguće prevazići primenom drugih alata. Iz tih razloga pri definisanju seta procedura za unapređenje bezbednosti putne infrastrukture, važno je uzeti u obzir kako proaktivne alate, ali i reaktivne – sanacione alate. Sa druge strane, neophodno je pokriti kako fazu koja se isključivo odnosi na projekte novih tj. neizgrađenih puteva, ali i fazu unapređenja puteva koji su već u funkciji.

Konverzije klasičnih u kružne raskrsnice pokazale su se kao visoko efektivne u pogledu unapređenja bezbednosti saobraćaja, ali je pre izvođenja važno sprovesti reviziju ovakvih projekata, kako bi se eventualni nedostaci neutralisali. Studija prikazanih slučajeva pokazala je na koje detalje je potrebno obratiti pažnju pri reviziji kako bi se nivo bezbednosti saobraćaja podigao na najviši mogući nivo.

#### Literatura

- [1] Brüde, U., Larsson, J. (2000). What roundabout design provides the highest possible safety? *Nordic Road Transport Res.* 2, 17–21.
- [2] De Brabander, B., Nuyts, E., Vereeck, L. (2005). Road safety effects of roundabouts in Flanders. *Journal of Safety Research* 36, 289–296.
- [3] Directive 2008/96/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on road infrastructure safety management, *Official Journal L 319*, 29/11/2008 P. 0059 – 0067
- [4] Elvik, R. (2003). Effects on road safety of converting intersections to roundabouts: review of evidence from Non-U.S. studies. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1847, 1–10.
- [5] Gross, F., Lyon, C., Persaud, B., Srinivasan, R. (2013). Safety effectiveness of converting signalized intersections to roundabouts. *Accident Analysis and Prevention* 50, 234-241.
- [6] Hyden, C., Varhelyi, A. (2000). The effects on safety time consumption and environment of large scale use of roundabouts in an urban area: a case study. *Accident Analysis and Prevention* 32, 11–23.
- [7] Persaud, B., Retting, R., Garder, P., Lord, D. (2001). Safety effects of roundabout conversions in the United States: empirical Bayes observational before-and-after study. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1751, 1–8.
- [8] RIPCORD-ISEREST: Road Infrastructure Safety Protection – Core Research and Development for Road Safety in Europe; Increasing Safety and Reliability of Secondary Roads for Sustainable Surface Transport, <http://www.ripcord-iserst.com>
- [9] Robinson, B.W. et al. (2000). Roundabouts: an informational guide. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Report FWHARD-00-067. Washington DC, USA.
- [10] Rodegerdts, L., Blogg, M., Wemple, E., Myers, E., Kyte, M., Dixon, M. (2007). Roundabouts in the United States. Report 572. *Transportation Research Board – National Cooperative Highway Research Program*. Washington DC, USA.
- [11] Schoon, C., Van Minnen, J. (1993). Accidents on roundabouts II: second investigation into the safety of roundabouts especially for cyclists and moped riders. *Foundation for Road Safety Research (SWOV)*, rapport R-93-16. Leidschendam.
- [12] Stone, J.R., Chae, K., Pillalamarri, S. (2002). The effects of roundabouts on pedestrian safety. *Southeastern Transportation Center*, working paper. Tennessee, USA.

# BUDUĆNOST PUTNE INFRASTRUKTURE U CILJU POBOLJŠANJA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA – PREGLED V2I TEHNOLOGIJA

Dalibor Pešić<sup>1</sup>, Boris Antić<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, d.pesic@sf.bg.ac.rs

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, b.antic@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** Jedan od osnovnih ciljeva EU Transportne Bele knjige je prepolovljavanje smrtno stradalih lica u nezgodama do 2020. godine u odnosu na 2010., a do 2050. godine broja smrtno stradalih lica u nezgodama na nulu. Sa tim u vezi razvoj i poboljšanje elemenata svih faktora bezbednosti saobraćaja, čovek, vozilo, put i okolina, mora biti u najmanju ruku istovremen. Međutim, u današnje vreme razvoj i inovacije u putnoj infrastrukturi ne prate u potpunosti razvoj ostalih faktora, a posebno automobilske industrije. Tendencija u svetskoj automobilskoj industriji je da do 2050. godine najveći broj ili skoro sva vozila budu autonomna vozila, koja se kreću samostalno. Da bi u potpunosti odgovorila budućim zahtevima bezbednosti saobraćaja, osim razvoja vozila, neophodno je početi i sa bržim razvojem i osavremenjavanjem putne infrastrukture. U radu su, imajući u vidu pravce razvoja nauke i tehnologije, kao i ciljeve transportnih politika i politika bezbednosti saobraćaja, predstavljeni moguću budući pravci razvoja putne infrastrukture, posebno u delu Vehicle-to-infrastructure (V2I) tehnologija, u cilju odgovaranja na sve složenije zahteve bezbednosti saobraćaja.

**Ključne reči:** putna infrastruktura, bezbednost saobraćaja, autonomna vozila, V2I tehnologije.

## 1. UVOD

Prema podacima Svetske zdravstvene organizacije [1], svake godine u svetu 1,24 miliona ljudi smrtno strada i oko 50 miliona ljudi biva povređeno u drumskim saobraćajnim nezgodama. Na inicijativu Ujedinjenih nacija dekada od 2010. do 2020. godine je proglašena dekadom akcije za bezbednost saobraćaja, a sve imajući u vidu globalne tendencije da se smanji stradanje ljudi u saobraćajnim nezgodama. Globalni dokumenti, a i dokumenti na nivou Evropske unije (EU), kao što su EU Transportna Bela knjiga daju pravce i smernice za delovanje za unapređenje stanja bezbednosti saobraćaja. EU Transportna Bela knjiga daje i određene ciljeve, koji su prepolovljavanje broja smrtno stradalih u saobraćajnim nezgodama do 2020. godine i svođenje ovog broja na nulu do 2050. godine.

Globalni plan Akcije za bezbednost saobraćaja predviđa intenzivan rad u svim stubovima: zaštitni sistem, odnosno jačanje institucionalnog kapaciteta, bezbednija vozila, bezbedniji učesnici u saobraćaju, bezbedniji putevi i efikasnije zbrinjavanje i nega povređenih nakon nezgode. Može se zaključiti da je bezbednost puta "izvučena" kao poseban stub, kome treba posvetiti punu pažnju.

U današnje vreme poznati su tzv. savremeni alati za unapređenje bezbednosti puta, počev od revizija bezbednosti saobraćaja, preko provera bezbednosti saobraćaja, identifikacije i upravljanja crnim tačkama, upravljanje bezbednošću na putnoj mreži, mapiranje rizika, itd. Ovi alati se primenjuju u različitim fazama tzv. životnog ciklusa puta. Kako bi se potencijal ovih alata maksimalno iskoristio, upravljači puta moraju shvatiti njihov značaj i početi sa primenom. Iako je moguće u najvećoj meri uticati na poboljšanje infrastrukture, ipak, sa druge strane, postoje detalji koji se odnose na tzv. ponašanje učesnika u saobraćaju i koje prethodno navedeni alati ne mogu "rešiti". Sa tim u vezi, u današnje vreme intenzivno se radi i razvijaju se različite ITS tehnologije, koje su ugrađuju u vozila i koja imaju zadatak da spreče nastanak saobraćajnih nezgoda, odnosno da spreče veće posledice tih nezgoda. Ovi ITS uređaji, ugrađeni u vozilu, imaju zadatak da uoče određene nepravilnosti, mogući nastanak opasne situacije i/ili saobraćajne nezgode i da upozore vozača na te nepravilnosti, ili da sami uređaji odreaguju i spreče neželjene posledice. Na primer, ukoliko ITS sistem u vozilu detektuje umor vozača on će reagovati da bi upozorio vozača na primer zvučnim signalom. Sa druge strane, ukoliko ITS sistem u vozilu detektuje da vozač velikom brzinom prilazi nekoj prepreci, nekom drugom vozilu, uređaj može sam odreaguovati i preduzeti radnju usporavanja značajno pre nego što bi to vozač sam mogao imajući u vidu psihofizičko stanje i sposobnosti vozača, čime bi se sprečile i nezgode i posledice.

U današnje vreme, razvoj ITS tehnologije i drugih sistema aktivne i pasivne zaštite, koja se ugrađuju u vozila, je prilično napredovao u odnosu na primer ITS tehnologiju koja se odnose na put i putnu infrastrukturu. Drugim rečima, razvoj ITS tehnologije u vozilima ne prati razvoj ostalih ITS sistema, već je značajno napredniji, a osnovni koncept je da se sveobuhvatno posmatra i unapređuje bezbednost saobraćaja, svi njeni aspekti i svi faktori bezbednosti saobraćaja i da se sve ravnomerno razvija, ako je moguće, jer se tako postižu najbolji efekti.

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: d.pesic@sf.bg.ac.rs

Sa druge strane, budućnost ide ka tome da se vozaču "oduzimaju" privilegije odlučivanja, pa čak i upravljanja vozilom, drugim rečima, ide se ka tome da će u budućnosti sve veći broj vozila na putevima biti tzv. autonomna vozila, koja se kreću bez upravljanja i donošenja odluka od strane vozača. Procenjuje se da će do 2050. godine skoro sva vozila koja se nalaze na putevima biti autonomna vozila. Da bi se ove pretpostavke obistinile i obezbedili ciljevi smanjenja broja stradanja u saobraćajnim nezgodama na brojke bliske nuli, neophodno je raditi na razvoju i istraživanjima koja se odnose na sve veći procenat automatizacije procesa upravljanja vozilom, odnosno na sve većem uvođenju autonomnih vozila, što se može postići, sa druge strane, intenzivnim razvojem ITS tehnologije koja se odnosi na put i putnu infrastrukturu, a posebno na ITS tehnologiju koja omogućava V2V (Vehicle-to-Vehicle) komunikaciju vozila i vozila i V2I (Vehicle-to-Infrastructure) komunikaciju između vozila i puta (Slika 1).



**Slika 1.** Koncept V2V i V2I uređaj za detektovanje mogućeg prolaska na crveno svetlo

Source: <http://www.hadikazemi.com/img/project1.jpg>

Imajući prethodno navedeno u vidu u ovom radu biće predstavljeni mogući budući pravci razvoja putne infrastrukture, posebno u delu V2I tehnologija, sa ciljem odgovaranja na sve složenije zahteve bezbednosti saobraćaja, odnosno biće dat pregled odabranih V2I tehnologija koje omogućavaju unapređenje stanja bezbednosti saobraćaja.

## 2. V2I TEHNOLOGIJE – KONCEPT I TENDENCIJE

U dosadašnjem razvoju i eksploataciji bezbednosnih sistema fokus je prvenstveno bio na smanjenju povreda u slučaju nastanka opasnih situacija. Počev od sigurnosnih pojaseva i vazdušnih jastuka u današnje vreme postoje i takvi sistemi koji automatski javljaju hitnim službama da se saobraćajna nezgoda dogodila sa preciznim podacima o lokaciji [2]. Današnji trend u bezbednosti saobraćaja nije samo da se spreče posledice već i sam nastanak saobraćajne nezgode. Ovo se može postići projektovanjem i izgradnjom tzv. "pametnih" vozila i "pametnih" saobraćajnica i to korišćenjem naprednih elektronskih uređaja, odnosno ITS sistema. Osnovna ideja ovih uređaja je da budu u mogućnosti da upozore vozača o opasnim situacijama i to na vreme kako bi se mogla preduzeti preventivna akcija za izbegavanje saobraćajne nezgode, odnosno da sami reaguju na pojavu opasnosti.

Trenutno postoje dva područja istraživanja u pogledu ITS tehnologija: napredne senzorske tehnologije i komunikacione tehnologije unutar vozila i između vozila i infrastrukture [2]. Sa unapređenjem ovih tehnologija vozači mogu biti više svesniji saobraćajnih situacija i okolnosti na saobraćajnicama. Ovo će omogućiti vozačima da reaguju adekvatno i pravovremeno na okolnosti kao što su klizav kolovoz ili loša, odnosno ograničena vidljivost, itd. Uvođenjem V2V tehnologija upozorenja na različite vrste opasnosti može se prenositi od vozila do vozila i tako omogućiti da se upozorenja koja se prenose između vozila koriste na način da se postiže pravovremeno obaveštavanje. Takođe, vozači mogu dobiti informacije i o saobraćajnim nezgodama kako bi imali mogućnost promene ruta i izbegavanja zagušenja.

V2I tehnologije su tehnologije koje omogućavaju komunikaciju vozila i infrastrukture i samim tim omogućavaju upravljanje saobraćajem kroz obezbeđenje informacija u realnom vremenu o vremenskim prilikama, saobraćajnim nezgodama i sl. Takođe, kao i V2V tehnologije, V2I tehnologije pružaju informacije vozačima, koje omogućavaju da izmene svoju projektovanu putanju ili vreme stizanja do cilja kako bi izbegli zagušenja. Jedan od osnovnih ciljeva koncepta razvoja V2I tehnologija je da putna infrastruktura i oprema puta budu prilagođene budućim zahtevima kako bezbednosti saobraćaja, tako i uvođenjem autonomnih vozila u upotrebu. Sa tim u vezi, neophodno je da putevi, kompletna putna infrastruktura i oprema puta, sa jedne strane, daju podršku tranzicionom periodu uvođenja autonomnih i hibridnih vozila, ali i podršku zajedničkom učestvovanju u saobraćaju konvencionalnih i autonomnih vozila, sa druge strane.

Sa porastom broja autonomnih vozila na saobraćajnicama javiće se potreba za razvojem novih pravilnika, uputstava, ali i metodologija, tehnika i alata za ocenjivanje rizika i bezbednosti saobraćaja, konačno i kroz precizno utvrđivanje kapaciteta i modelovanje protočnosti saobraćajnica.

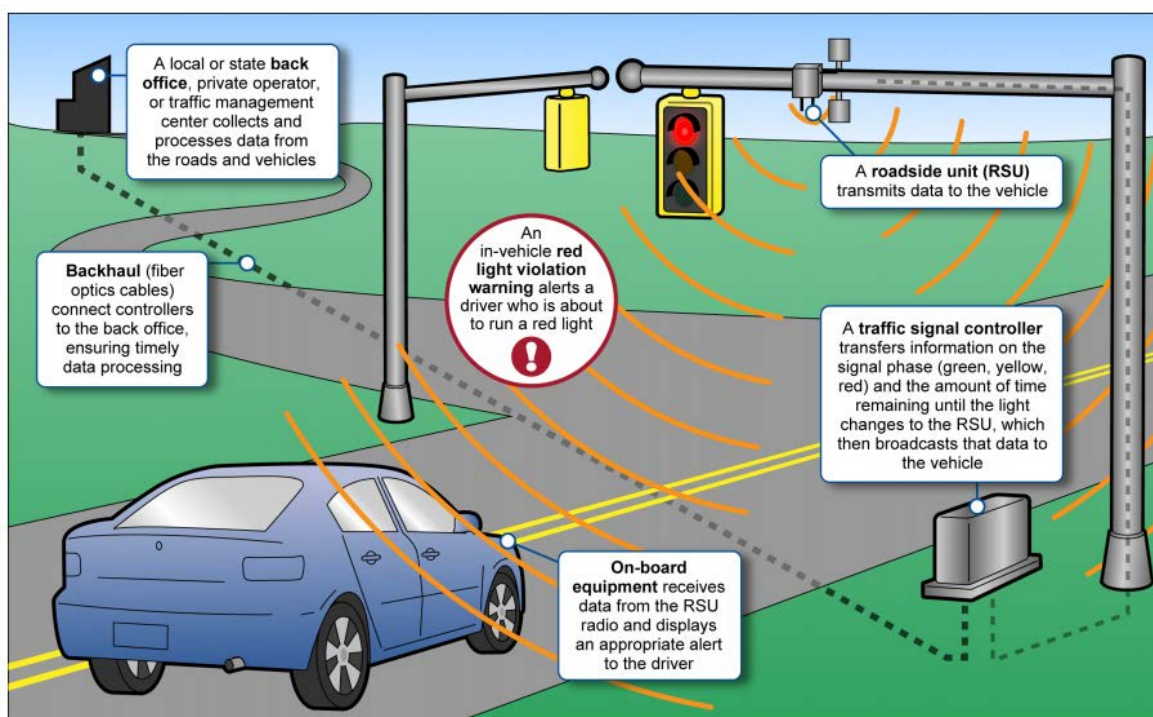
Razvoj V2I tehnologija će ići ka razvoju elemenata bezbednosti saobraćaja koji se odnose na vozilo i interakciju vozila sa putnom infrastrukturom na deonicama puteva, ali i na raskrsnicama (ukrštanjima) kao i interakciju vozila sa drugim nadolazećim vozilima. Najčešće korišćene tehnologije su one koje omogućavaju držanje vozila u saobraćajnoj traci, držanje bezbednog odstojanja i poštovanje ograničenja brzine. Imajući u vidu ipak da trenutni razvoj putne infrastrukture nije jednovremen u svim regionima i zemljama, buduće aktivnosti će biti usmerene ka obezbeđivanju adekvatnih uslova za kretanje od strane autonomnih vozila, posebno u tranzicionom periodu zajedničkog saobraćanja konvencionalnih i autonomnih vozila.

### 3. KRATAK PREGLED ODABRANIH V2I TEHNOLOGIJA

Sistem upozorenja o mogućem nepoštovanju crvenog svetla na semaforu (Slika 2 i Slika 3) je sistem koji ostvaruje komunikaciju između vozila i opreme putne infrastrukture, u ovom slučaju semaforškog uređaja [4]. Uređaj je opremljen kamerom za nadgledanje saobraćaja, koja ima i funkciju merenja brzine i odstojanja vozila i koje je povezan sa kontrolerima semafora. U okviru uređaja obrađuju se podaci o prilaznoj brzini i udaljenosti vozila i na osnovu faze u kojoj se nalazi uređaj (crveno, crveno-žuto, žuto, zeleno) procenjuje se da li će vozilo sa nesmanjenom brzinom proći na crveno svetlo. U slučaju da uređaj proceni ovakav scenario šalje se signal ka vozilu, koji aktivira uređaj u vozilu sa zadatkom upozoravanja vozača o mogućem prolasku na crveno svetlo i mogućem stvaranju opasne situacije.



Slika 2. V2I uređaj za detektovanje mogućeg prolaska na crveno svetlo  
Source: (US GAO-15-775)



Slika 3. V2I uređaj za detektovanje mogućeg prolaska na crveno svetlo  
Source: (US GAO-15-775)

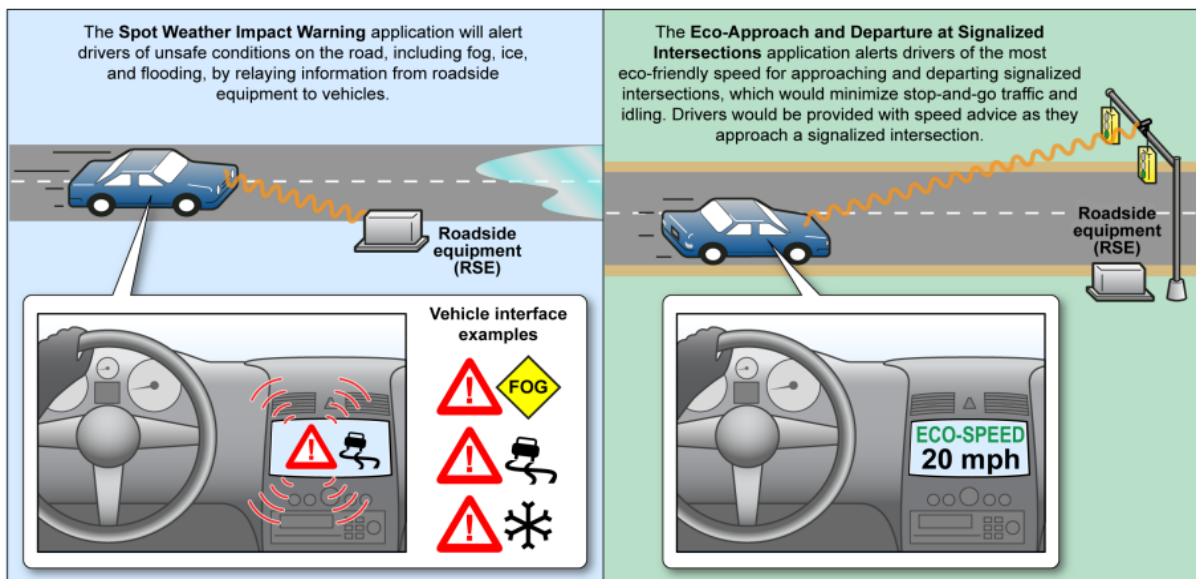


Uređaj koji upozorava na loše vremenske prilike (Slika 4, levo) ima zadatak da upozori vozača ukoliko je stanje kolovoza, na primer led, sneg ili voda na putu, odnosno ukoliko se ispred vozila nalazi deonica puta pod maglom [4]. Ovakve situacije, posebno, kada se led, sneg, voda ili magla nalazi samo na pojedinim deonicama puta, predstavljaju izuzetno opasne i iznenadne situacije za vozača. Ovi uređaji se mogu postavljati na deonicama puta gde se takve situacije očekuju, a uređaj koji detektuje loše vremenske uslove prikuplja podatke preko odgovarajućih senzora i putem odgovarajuće komunikacione poruke šalje informacije nailazećem vozilu.

Vozilo nakon primanja poruka upozorenja iste prenosi audio putem preko zvučnih signala upozorenja i/ili video putem preko odgovarajućih displeja na kojima se prikazuju simboli o kakvoj opasnosti, odnosno upozorenju se radi. Dakle, i ovaj uređaj ima zadatak da obavesti vozača o potencijalnim opasnostima, pa ostaje na vozaču da reaguje u cilju predupređenja mogućih posledica i njegova efikasnost zavisi upravo od samog vozača.

Uređaj koji signalizira tzv. "preporučenu" brzinu (Slika 4, desno) je uređaj koji se po pravilu instalira na semaforisanim raskrsnicama i čiji je zadatak da merenjem udaljenosti vozila od semafora, njegove prilazne brzine i poređenjem sa trenutnim stanjem signalnog plana semafora procenjuje kojom brzinom vozilo može proći raskrsnicu na bezbedan način i bez zaustavljanja.

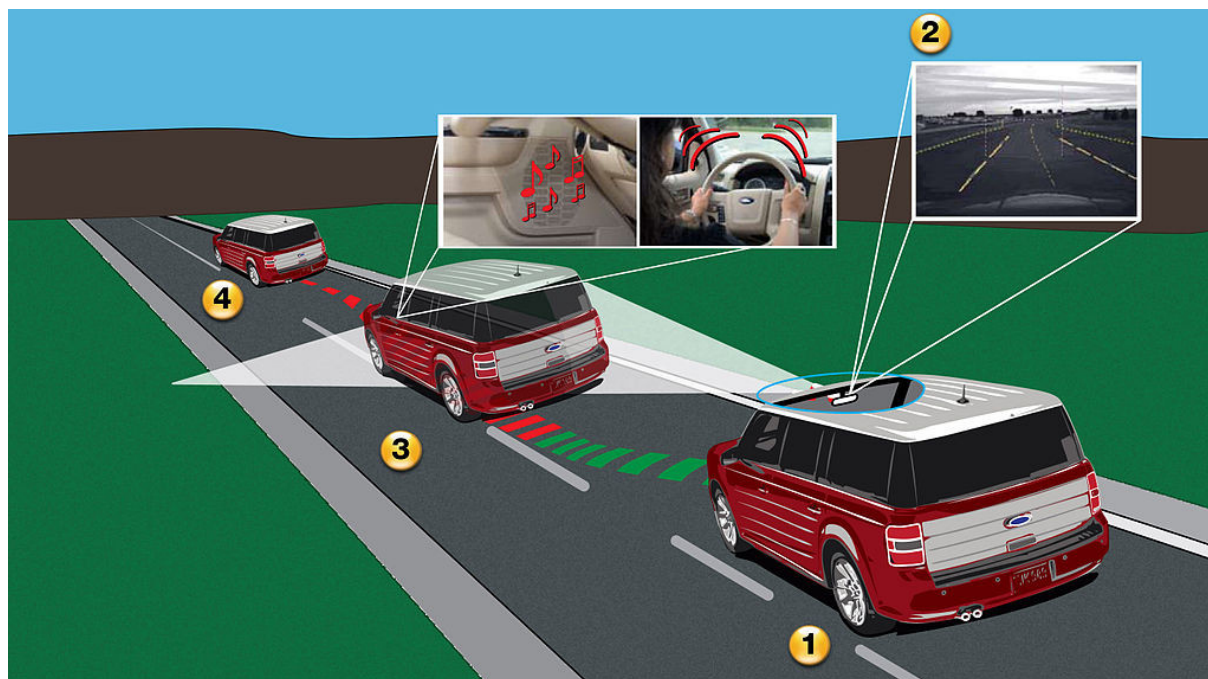
Informacija o "preporučenoj" brzini se šalje ka vozilu i ista se audio i/ili video porukom prenosi ka vozaču. Ovaj sistem praktično omogućava minimiziranje zaustavljanja i ponovnog kretanja, čime se sa jedne strane obezbeđuje kontinuirani saobraćajni tok u smislu brzine kretanja, koji je samim tim i prilično bezbedan, a sa druge strane, značajno se utiče na potrošnju pogonskog goriva, smanjenje emisije izduvnih gasova i drugih štetnih materija, smanjuje buka itd. Sveobuhvatno, ovaj V2I sistem omogućava veoma širok spektar prednosti, a njegova efikasnost takođe zavisi od vozača, odnosno da li će vozač reagovati na upozoravajuće poruke.



**Slika 4.** V2I uređaj za detektovanje loših vremenskih prilika (levo) i preporučenu brzinu na prilazu semaforisanoj raskrsnici (desno)  
Source: (US GAO-15-775)

Uređaj koji ima zadatak da održava vozilo u saobraćajnoj traci (Slika 5) je V2I tehnologija koja funkcioniše po principu komunikacije vozila i putne infrastrukture, tako što vozilo putem odgovarajućih kamera snima put ispred vozila [4]. Na osnovu snimljenih podataka, vrši se obrada i detektovanje da li se vozilo nalazi u saobraćajnoj traci i nakon proračuna u zavisnosti od ugla i brzine kretanja vozila, prvo se šalje signal upozorenja o mogućem napuštanju saobraćajne trake, a nakon toga ukoliko vozač ne reaguje vrši se korekcija putanje. Ovaj uređaj je posebno značajan kod situacija kada dolazi do opadanja koncentracije vozača, zatim do povećanja umora vozača, ometanja pažnje vozača i slično, što je posebno karakteristično kod saobraćajnih nezgoda u kojima učestvuje samo jedno vozilo – izletanje sa kolovoza, odnosno u kojima dolazi do čeonih sudara usled napuštanja saobraćajne trake ka vozilu koje dolazi iz suprotnog smera i kod situacija uporedne vožnje.

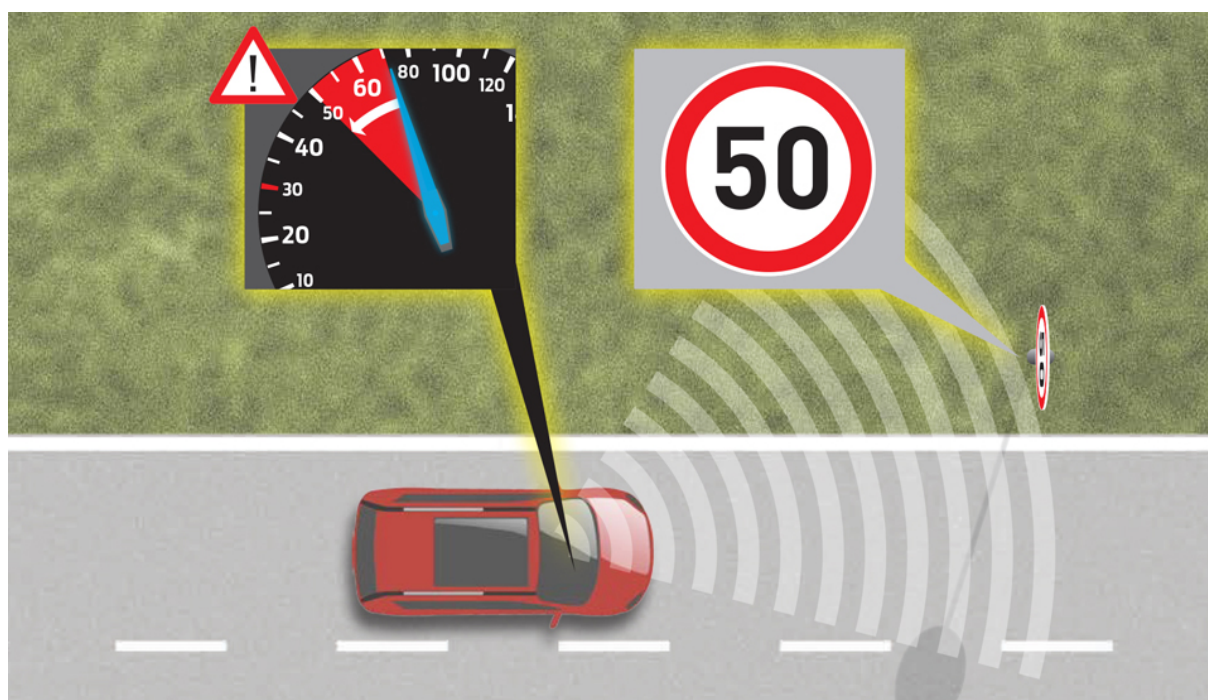
Sa obzirom da je kod ove tehnologije važno da su uzdužne oznake na kolovozu vidljive, osnovni problem koji može nastati je nemogućnost uočavanja oznaka, a usled njihove istrošenosti, odnosno ukoliko su oznake pokrivene (snegom, ledom, blatom, rasutim materijalima i sl.).



**Slika 5.** V2I uređaj za održavanje vozila u saobraćajnoj traci

Source: <http://proctorcars.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2015/10/lane-departure-warning.jpg>

V2I tehnologija koja očitava saobraćajne znakove, prepoznaje i one koji se odnose na ograničenje brzine (Slika 6) i u skladu sa trenutnom brzinom vozila i očitanim ograničenjem brzine upozorava vozača o prekoračenju ograničenja brzine najčešće putem displeja i uz zvuk upozorenja. Osnovna svrha ove V2I tehnologije je smanjenje kako broja, tako i posledica eventualnih saobraćajnih nezgoda, ali efikasnost je takođe povezana sa prihvatanjem upozorenja od strane vozača i njegove odluke poštovanja, odnosno ignorisanja upozorenja.

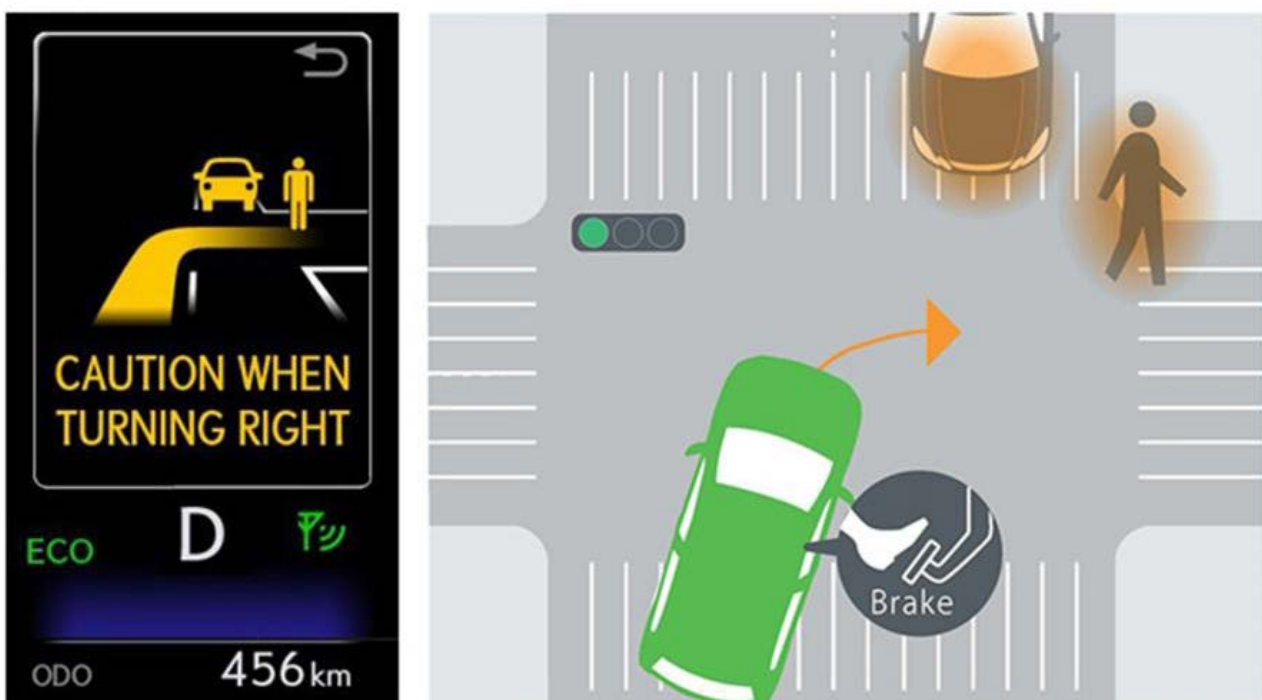


**Slika 6.** V2I uređaj za prepoznavanje saobraćajnih znakova ograničenja brzine

Source: [http://toddhancock.ca/wp-content/uploads/2015/04/S-MAX\\_intelligent\\_speed\\_limiter.jpg](http://toddhancock.ca/wp-content/uploads/2015/04/S-MAX_intelligent_speed_limiter.jpg)

Ipak, potrebno je naglasiti da su V2V i V2I tehnologije u razvoju i da je veoma mali broj njih ušao u komercijalnu upotrebu. Za masovniju upotrebu neophodan je sinhronizovan rad kako proizvođača automobila, tako i upravljača puteva, koji bi prihvatili već razvijene tehnologije, zajedno ih razvijali i došli do konačnog cilja, a to je potpuna automatizacija kretanja pametnih vozila po pametnim saobraćajnicama.

Kao primer jedne od V2I tehnologija, koja je ušla u masovnu upotrebu krajem 2015. godine je tehnologija TOYOTE, koja je uvela sistem prepoznavanja zagušenja i smanjene vidljivosti u raskrsnicama, sa ciljem upravo smanjenja saobraćajnih nezgoda nastalih navedenim okolnostima (Slika 7). Naime, u posebno složenim i zagušenim raskrsnicama vozaču, zbog velikog obima informacija, koje bi trebalo, a ne može da obradi, ovaj sistem šalje informacije o opasnosti koju je mogao predvideti (npr. nailazak pešaka). Informacije koje vozilo prima šalju se sa uređaja koji su postavljeni u samoj raskrsnici, a uparivanje vozila i infrastrukture je na udaljenosti od 100 m. Dodatna mogućnost TOYOTINOG V2I sistema je upozoravanje vozača da će proći na crveno svetlo ukoliko ne započne zaustavljanje vozila, odnosno prikazivanje preostalog vremena zelenog, do pojave crvenog svetla. Do marta meseca 2016. godine u Japanu je oko 50 raskrsnica opremljeno ovim tehnologijama, a ceo koncept je iniciran podacima da najveći broj saobraćajnih nezgoda i posledica nezgoda nastaje u neposrednoj blizini ili u samim raskrsnicama.



Slika 7. TOYOTIN V2I sistem

Source: [http://images.cdn.autocar.co.uk/sites/autocar.co.uk/files/styles/gallery\\_slide/public/images/car-reviews/first-drives/legacy/20150930\\_02\\_02\\_en.jpg?itok=YptCUjWk](http://images.cdn.autocar.co.uk/sites/autocar.co.uk/files/styles/gallery_slide/public/images/car-reviews/first-drives/legacy/20150930_02_02_en.jpg?itok=YptCUjWk)

Pored navedenih V2I tehnologija EuroRAP je zajedno sa EuroNCAP pripremio izveštaj pod nazivom "Putevi koji vozila mogu čitati" (eng. Roads That Cars Can Read) [8]. U izveštaju se naglašava Napredni sistem za pomoć vozačima (eng. Advanced Driver Assistance Systems - ADAS), koji ističe dve važne V2I tehnologije kojima će se u skorijoj budućnosti poklanjati velika pažnja: Lane Departure Warning (LDW) / Lane Keeping Assistance (LKA) i Traffic Sign Recognition (TSR). ADAS se u današnje vreme ugrađuje u mnoga vozila, na primer: Navigacioni sistemi, Informacije o saobraćaju, Adaptive Cruise Control, Collision Avoidance, Intelligent Speed Adaptation, Night Vision i dr [8].

LKA/LDW je sistem koji "očitava" oznake na kolovozu i ima mogućnost davanja vizuelnih, audio ili taktilnih upozorenja ukoliko vozilo napusti saobraćajnu traku, bez prethodnog davanja signala o takvoj nameri [8]. TSR je sistem, koji, sa druge strane, ima mogućnost da očitava i prikazuje saobraćajne znakove, pa čak i saobraćajne znakove ograničenja brzine i da šalje upozorenja [8].

Da bi se uspešno realizovale i bile efikasne navedene V2I tehnologije osim harmonizacije u načinu obeležavanja saobraćajnica, neophodno je sprovesti uspostavljanje kvaliteta standarda za obeležavanje saobraćajnica i isto tako za saobraćajne znakove. Pored toga neophodno je sprovesti detaljna istraživanja radi ocene postojećih oznaka na kolovozu i saobraćajnih znakova [8].

Kako bi se obezbedilo da oznake na kolovozu budu čitljive u Izveštaju [8] su navedeni faktori koji mogu uticati na očitavanje oznaka na kolovozu i podeljeni na:

- Izuzetno značajne – stanje površine kolovoza (mokar, led, ...), višestruke oznake na kolovozu, stare oznake na kolovozu
- Srednje značajne – podužni i poprečni pad kolovoza, pružanje trase puta, način rešavanja "granica" između više kolovoznih i saobraćajnih traka
- Manje značajne – širina saobraćajnih traka – previše uske ili široke trake, vidljivost – magla.

U pogledu čitljivosti saobraćajnih znakova takođe su definisani faktori [8]:

- Izuzetno značajni – vandalizam, pozicija znaka, ometanje vidljivosti
- Srednje do izuzetno značajni – konfuzija sa saobraćajnim znakovima koji su pogrešni, pogrešno pozicionirani saobraćajni znakovi, ugao postavljanja znakova
- Srednje značajni – kvalitet površine znaka, nekonzistentnost u pozicioniranju znakova, prekogranične razlike u veličini, obliku i boji znaka
- Srednje do manje značajni – konfuzija usled velikog broja saobraćajnih znakova na jednom mestu, osvetljenje lokacije znakova.

Konačno, za uspešno uvođenje navedenih V2I tehnologija neophodno je na prvom mestu utvrditi kvalitet saobraćajnih znakova i oznaka na kolovozu na glavnim Evropskim koridorima, zatim na glavnim koridorima unutar zemalja, na TEN-T rutama, kao i na nacionalnim važnim saobraćajnicama. Dakle, neophodno je definisati stanje kolovoza širom Evrope, razlike između zemalja i razlike između kategorija puta.

#### 4. ZAKLJUČAK

ITS sistemi su u poslednje vreme primili veliki značaj kod istraživačke zajednice. Naravno da je ovo i očekivano jer ITS sistemi pružaju različite mogućnosti tzv. "revolucionarne vizije" u budućem saobraćajnom sistemu [9]. Zbog toga se u poslednje vreme puna pažnja posvećuje upravo i delu ITS sistema koji se odnosi na V2V tehnologije, koje omogućavaju komunikaciju između vozila, a posebno na V2I tehnologije, koje omogućavaju komunikaciju vozila sa infrastrukturom. Tri su glavna uticaja razvoja ovih ITS sistema [9]: unapređenje i poboljšanje protoka saobraćaja, a samim tim i mobilnosti, unapređenje aktivne i pasivne bezbednosti kroz smanjenje broja i posledica saobraćajnih nezgoda i obezbeđivanje platforme koja omogućava sagledavanje ekoloških i drugih uticaja od strane transportnog sistema.

Kako se prema prognozama očekuje da do 2050. godine skoro sva vozila budu tzv. autonomna vozila, potrebno je na vreme krenuti u razvijanje odgovarajućih tehnologija i u prilagođavanje postojeće infrastrukture budućim zahtevima. Poseban problem predstavlja upravo činjenica da je razvoj ITS sistema neravnomeran, kada se posmatraju vozila, odnosno infrastruktura, jer vozila značajno prednjače u ovim aspektima, kako je i prikazano u ovom radu. Ipak, najveći izazovi se očekuju u tzv. tranzicionom periodu, u periodu postepenog uvođenja autonomnih vozila u upotrebu, pa će se u nastavku očekivati prilično intenzivan istraživački rad upravo u delu razvoja kako ITS sistema u vozilima, tako i u infrastrukturi, što će biti veliki izazov ne samo za istraživače, već i za proizvođače vozila i putare, ali i prilika za međusobnu saradnju sa zajedničkim ciljem – uspostavljanje kvalitetnog transportnog sistema.

#### Literatura

- [1.] World Health Organisation (WHO) (2015). Global Status Report on Road Safety, Geneva.
- [2.] Motsinger, C., Hubing, T. (2007). A Review Of Vehicle-To-Vehicle And Vehicle-To-Infrastructure Initiatives, Technical Report: CVEL-07-003 (<http://www.cvel.clemson.edu/Reports/CVEL-07-003.pdf>, 15.03.2016. )
- [3.] <http://www.hadikazemi.com/>, 10.03.2016.
- [4.] United States Government Accountability Office (US GAO). Intelligent Transportation Systems - Vehicle-to- Infrastructure Technologies Expected to Offer Benefits, but Deployment Challenges Exist – GAO-15-775 (<http://gao.gov/assets/680/672548.pdf>, 10.03.2016.)
- [5.] <http://proctorcars.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads>, 10.03.2016.
- [6.] <http://toddhancock.ca/wp-content/uploads>, 10.03.2016.
- [7.] <http://images.cdn.autocar.co.uk>, 10.03.2016.
- [8.] EuroRAP, EuroNCAP (2011). Road That Cars Can Read (<http://www.eurorap.org/portfolio-items/roads-that-cars-can-read-a-consultation-paper/>, 21.03.2016.)
- [9.] University of Detroit - Intelligent Transportation Systems (ITS) Research (<http://eng-sci.udmercy.edu/programs/eng/electrical-computer/Research/index.htm>, 11.03.2016.)

# PRIMENA INTELIGENTNIH TRANSPORTNIH SISTEMA ZA DETEKCIJU UMORA U CILJU UNAPREĐENJA BEZBEDNOSTI PUTEVA

Jelica Davidović<sup>1</sup>, Dalibor Pešić<sup>2</sup>, Boris Antić<sup>3</sup>

**Rezime:** Saobraćajne nezgode koje nastanu zbog umora vozača, a procenjuje se da se njihov procenat kreće od 20 do 50 u zavisnosti od države, najčešće se događaju na monotonim deonicama puteva, koje karakterišu dugi pravci i na kojim mogu da se razviju velike brzine. Takve saobraćajne nezgode se završavaju smrtnim ishodom ili teškim telesnim povredama. Kako bi se unapredila bezbednost puteva u svetu se, poslednjih godina, ulažu veliki naponi u razvoj inteligentnih transportnih sistema koji će pomoći u detektovanju umora kod vozača, upozoriti vozača ili onemogućiti dalju vožnju. Ovaj problem je prepoznala automobilska industrija i preduzela značajne korake u razvoju i implementaciji inteligentnih transportnih sistema za detekciju umora. Do sada su veliku pažnju privukli sistemi koji detektuju nivo umora na osnovu brzine i učestalosti zatvaranja očiju, pomeranja točka upravljača, na osnovu ponašanja vozila u saobraćajnoj traci itd. koji zvučnim signalom ili vibracijama upozoravaju vozače da su pospani.

**Ključne reči:** sistemi za detekciju umora, bezbednost saobraćaja, monotone deonice puteva, umor, ITS

**Abstract:** Traffic accidents that occur due to driver fatigue, and it is estimated that their percentage ranges from 20 to 50 depending on the country, most often occurring in the monotonous road sections, which are characterized by long lines and which can develop a high speed. Such traffic accidents ending in death or serious injuries. In order to improve road safety in the world, in recent years, efforts have been made in the development of intelligent transport systems will help in detecting the fatigue, to warn the driver or prevent the further driving. This problem was recognized by the automotive industry and has taken significant steps in the development and implementation of intelligent transport systems for the detection of fatigue. So far they have attracted a lot of attention systems that detect the level of fatigue based on the speed and frequency of closing the eyes, moving the steering wheel, on the basis of the behavior of vehicles in the lane, etc. that sound signal or vibration alert drivers that they are sleepy.

**Key words:** fatigue detection systems, road safety, monotonous road sections, fatigue, ITS

## 1. UVOD

Danas, u eri razvoja informacionih tehnologija svakodnevno se ulaže velika energija za usavršavanje sistema koji će olakšati život ljudima. Jedna od grana, koja istraživačima iz ove oblasti, privlači veliku pažnju jeste saobraćaj. Ukoliko se posmatraju faktori bezbednosti saobraćaja, koji su klasifikovani u četiri grupe: čovek, vozilo, put i okolina i elementi u okviru faktora čovek, u poslednje vreme se element umor svrstava u jedan od najuticajnijih. Iz tog razloga, posebna pažnja usmerena je ka razvoju sistema za detekciju umora kako bi se smanjio broj saobraćajnih nezogda koji nastaje zbog umora, a procenjuje se da se, u zavisnosti od države, zbog umora dogodi od 20 do 50% saobraćajnih nezogda, koje se najčešće završavaju teškim telesnim povredama ili smrtnim ishodom.

Brojne laboratorijske studije su pokazale da usled ograničenog spavanja (smatra se oko pet sati za jednu noć ili šest sati više noći) dovodi do nakupljanja dnevnog deficita performansi koje utiču na sposobnosti praćenja saobraćaja, vremena reakcije i stanja budnosti (Williamson et al., 2011), prema tome rizik za nastanak nezgode se povećava.

Dejstvo inteligentnih transportnih sistema se može posmatrati kroz dva glavna segmenta bezbednosti saobraćaja, aktivnu i pasivnu bezbednost. Oba segmenta imaju veoma veliki broj uticajnih faktora. Infrastruktura ITS-a duž puteva, ulica, uređaja u vozilima ima zadatak da korišćenjem trenutno prikupljenih informacija o saobraćaju putovanje učini bezbednijim i efikasnijim, sa ekonomskog aspekta.

Sistemi za detekciju umora vozača, koji su do sada razvijeni, zasnovani su na različitim principima, kao što su detekcija umora na osnovu brzine i učestalosti zatvaranja očnih kapaka, na osnovu praćenja pozicije vozila u saobraćajnoj traci, na osnovu zevanja i pomeranja glave, položaj vozila u odnosu na razdelnu liniju itd.

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, jelicadavidovic@sf.bg.ac.rs

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, d.pesic@sf.bg.ac.rs

<sup>3</sup> Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, b.antic@sf.bg.ac.rs

U ovom radu su prikazane neke od dosadašnjih praksi i iskustava kojima su se bavili istraživači iz celog sveta, a imaju za cilj da se detektuje umor i spreči nastanak nezgode. Međutim, do danas nije razvijen sistem koji bi bio dostupan svim vozačima putničkih automobila, a sistemi koji su razvijeni još uvek su u samom začetku, odnosno njihova pouzdanost nema naučnu verifikaciju.

## 2. METODOLOGIJA

Analiza literature je obuhvatala pretragu onlajn baza naučnih časopisa i to: ScienceDirect ([www.google.com](http://www.google.com)) i Springer (<http://www.springer.com/gp/>). Prva faza je obuhvatala pretragu naučnih baza prema unapred definisanim ključnim rečima (fatigue, sleepiness, drowsiness, alertness, detection, monitor, management, technology, and countermeasure). Nakon rezultata pretrage, pristupilo se detaljnoj analizi naslova i abstrakta. Druga faza analize, obuhvatala je prikupljanje kompletnih radova koji su prošli prvu fazu analize. Posle toga, pristupilo se detaljnoj analizi kompletnih radova. Nakon detaljne analize radova, sistemi za detekciju umora su klasifikovani u četiri grupe, prema tehnikama koje se koriste za detekciju umora. Za svaku od tehnika kroz rezultate su prikazani opis funkcionisanja sistema, primena, prednosti i nedostaci.

## 3. REZULTATI - PREGLED DOSADAŠNJIH ISKUSTAVA

Analizom prikupljenih radova sistemi za detekciju umora koji se zasnivaju na ITS-u mogu se klasifikovati u četiri grupe, i to:

- Steering Pattern Monitoring (praćenje pomeranja točka upravljača)
- Vehicle Position in Lane Monitoring (praćenje pozicije vozila u saobraćajnoj traci)
- Driver Eye-Face Monitoring (praćenje očiju-lica vozača)
- Physiological Measurement (fiziološke mere)

### 3.1. Steering Pattern Monitoring

#### Opis

Sistem za detekciju umora koji se zasniva na praćenju pomeranja točka upravljača primenjuje se kako bi sprečio nastanak saobraćajnih nezgoda koje nastanu jer vozač zaspi. Usled umora vozača dolazi do pada koncentracije. Smanjenjem koncentracije kod vozača smanjuju se i motoričke sposobnosti čoveka što dovodi do nedostatka manjih korekcija i manje preciznog ponašanja prilikom upravljanja. U slučaju mikro-sna ponašanje vozača karakteriše:

- Upravni ugao gledanja ostaje skoro konstantan
- Oči su zatvorene ili „zagledane“
- Ponovo otvara oči
- Ponovo se vrši orijentacija položaja

Ovo ponašanje se pojavljuje u normalnim uslovima vožnje, ali je pojava učestalija kada je povećan nivo pospanosti kod vozača. Pospanost je moguće detektovati pre pojave mikro-sna upravo zbog sposobnosti ITS uređaja da otkriju i procene stepen pospanosti na osnovu gore navedenog obrasca ponašanja.

#### **Primena:**

Sistem za detekciju umora koji se zasniva na praćenju pomeranja točka upravljača razvijen je u vozilima kao sistem koji kombinuje frekvenciju i snagu reakcije vozača sa drugim podacima kao što su brzina vozila i trajanje putovanja za izračunavanje indeksa pospanosti. Detektor pospanosti vozača identifikuje situaciju kada je vozač pod rizikom da zaspi i šalje upozorenje. Upozorenje je najčešće zvučno, kada se na prikazani način utvrdi da je vozač zaspao aktivira se alarm koji ima za cilj da spreči nastanak saobraćajne nezgode.

#### **Prednosti:**

Prednosti ovog sistema su što može da upozori vozača, odnosno da probudi vozača koji je zaspao i samim tim spreči nastanak saobraćajnih nezgoda.

#### **Nedostaci:**

Nedostatak ovog sistema je što postoji mogućnost da se aktivira na dugim pravcima kada nije potrebna korekcija točka upravljača, odnosno može doći do pojave lažnih upozorenja što utiče na vozače da ne veruju u pomenuti sistem, a samim tim i potcene značaj takvih sistema u njihovim vozilima. Kao nedostatak ovog sistema svakako treba istaći visoku cenu.

### **3.2. Vehicle Position in Lane Monitoring**

#### **Opis:**

Ova tehnika se zasniva na praćenju pozicije vozila u saobraćajnoj traci pomoću postavljenih kamera na bočnim stranama vozila. Takođe, kamere se postavljaju i na prednje vetrobransko staklo i usmerene su ka putu. Različitim eksperimentima i istraživanjima je utvrđeno da ovaj metod daje veoma dobre rezultate u različitim situacijama. Tokom vožnje, podaci se prikupljaju, a nakon toga se video snimci analiziraju sa značajnim poremećajima koji se javljaju u slikama. Pojava smetnji u snimcima zahteva od ove tehnike da odnos signal-šum bude veoma nizak.

#### **Primena:**

Različiti eksperimenti pokazuju da je dati metod efikasan pri detekciji umora kod vozača, što posebno ističu Chunling et al. (2013). Umorni vozači pokazuju veće varijabilnosti u svom upravljanju i poziciji u saobraćajnoj traci, pokazujući male korekcije u svom upravljanju (Edwards et al, 2007). Sistemi za upozorenje za odstupanje od saobraćajne trake se sastoje od kamera koje su postavljene na prednjem vetrobranskom staklu i/ili na bočnim stranama vozila i usmerene ka kolovozu. Pomenuti sistem funkcioniše tako što algoritmi tumače saobraćajnu signalizaciju, odnosno razdelne/ivične linije i upozorava vozača ukoliko dođe do nenamerne promene saobraćajne trake (Houser et al., 2009).

Jedan od sistema je Savetodavni sistem za umorne vozače (Advisory system for tired drivers-ASTiD) koji se postavlja na kontrolnoj tabli i prati istoriju spavanja, trenutne uslove vožnje i dinamiku upravljanja. Koriste se ulazni podaci: podaci o prethodnom spavanju, doba dana i vreme vožnje, pomoću toga algoritmom za modelovanje umora izračunava se kolika je verovatnoća da će vozač da zaspi.

#### **Prednosti:**

Sistem može da upozori vozača koji je zaspao u toku vožnje zvučno ili vibracijama. Ukoliko se uložiti u infrastrukturu mogu se ugraditi vibrirajuće trake koje će vibracijama upozoriti/probuditi vozača u slučaju da je izašao iz saobraćajne trake kojom se kretao. Imajući u vidu da se 20% saobraćajnih nezgoda sa smrtnim ishodom dogodi upravo zbog umora ovakvim ulaganjem u puteve može se značajno unaprediti bezbednost saobraćaja, odnosno smanjiti broj stradalih u saobraćajnim nezgodama.

#### **Nedostaci:**

Kao glavni nedostatak ovog sistema za detekciju umora je nedovoljan uzorak ispitanih vozača koji su koristili ovaj sistem. Sistem je skup i nije dostupan svim vozačima. Iz pomenutih razloga ne može se utvrditi kolika je greška pri njegovom aktiviranju.

### **3.3. Driver Eye-Face Monitoring**

#### **Opis:**

Sistem za detekciju umora koji se zasniva na praćenju očiju-lica vozača u realnom vremenu i na osnovu prikupljenih slika ocenjuje mentalno stanje vozača. Stanje vozača se može otkriti pomoću zatvaranja kapaka, treptajima, zevanjem i pokretima glavom. Alarm će se aktivirati ukoliko sistem prepozna simptome pospanosti, umora i ometanja.

Sistemi koji funkcionišu na bazi praćenja lica vozača se mogu podeliti u dve opšte kategorije.

- U prvoj kategoriji, pristup se vrši na osnovu obrade informacija samo u predelu oka. Glavni razlog za ovaj pristup je taj što se osnovni simptomi umora kod vozača pojavljuju u očima.
- U drugoj kategoriji se pristup vrši na osnovu obrade informacija iz drugih predela lica. Simptomi koji označavaju umor (na primer zevanje) se mogu otkriti na drugim delovima lica, osim očiju.

Prema Sigari et al., (2014) osnovni delovi sistema za prećenje lica vozača su:

- Uređaj za fotografisanje
- Hardverska platforma i procesor
- Inteligentni softver

#### **Primena:**

Sun et al., (2012) su razvili sistem za detekciju umora vozača na osnovu karakteristika lica. Prvi korak je fotografisanje u cilju lociranja lica i očiju. Zatim se vrši identifikacija stanja oka (utvrđuje se da li je oko otvoreno, delimično otvoreno ili zatvoreno) i položaj usta. Na kraju se stanje vozača prati preko algoritma.

Veliku primenu kod detekcije umora vozača ima PERCLOS (Procenat zatvaranja očnih kapaka učesnika tokom vremena). PERCLOS princip je korišćen za analizu stanja oka. PERCLOS je udeo zatvorenog oka u jedinici vremena. PERCLOS je potvrđen i pronađen kao najvažniji očni parametar za praćenje umora. Brzina otvaranja i zatvaranja očiju je dobar pokazatelj umora. Definiše se kao vreme potrebno da se u potpunosti otvore ili u potpunosti zatvore oči. Prethodne studija pokazuje da se brzina zatvaranja oka kod umorne osobe izrazito razlikuje od brzine zatvaranja kod budne. Stepent otvaranja očiju zavisi od oblika zenice. Primećuje se da ako su oči zatvorene, zenice su prekrivene očnim kapcima i postaju elastičnije. Dakle, može se koristiti odnos koliko je zenica elipsasta kako bi se okarakterisao stepent otvorenosti oka. Zbirno trajanje zatvorenog oka, isključujući vreme za normalno treptanje, koristi se za izračunavanje PERCLOS-a.

Praćenjem očiju i usta, može dovesti do ranog otkrivanja umora vozača, a samim tim i izbegavanje nezgoda. Učestalost treptanja se povećava sa pojavom umora. Pored toga, mikro spavanje predstavlja kratke periode spavanja koji traju 3 do 4 sekunde i pokazatelj je umora, ali teško je precizno predvideti umor vozača na osnovu ponašanja samo jednog vozača. Pored toga, promene u vozačkim performansama su komplikovanije i nisu pouzdane. Dakle, broj zevanja je drugi parametar u ovom sistemu.

Nivo umora kod vozača može da se utvrdi na osnovu pomeranja očnih kapaka. U cilju analize pokreta očnih kapaka, potrebno je praćenje ljudskog oka. Pristupi za otkrivanje očiju bazirani su na aktivnoj infracrvenoj svetlosti i koriste poseban efekat crvenih očiju. To je jednostavan i efikasan pristup za detekciju očnih zenica na osnovu šeme diferencijalnog infracrvenog osvetljenja.

AdaBoost klasifikatori se koriste za detekciju lica i očiju u sistemu za detekciju umora vozača. Prikazani sistem je efikasan za identifikaciju stanja oka, koji se zasniva na tehničkoj obradi slike, a može da utvrdi vreme kada je vozač umoran, kao što su dremanje ili nepažnja i da aktivira alarm koji će upozoriti vozača.

Takođe i Optalert - sistem za detekciju umora koji koristi infracrvenu refleksiju za detekciju učestalosti treptanja, kao i brzinu i trajanje treptaja. Mali senzori i svetleće diode su postavljeni na dnu okvira za naočare i usmereni su direktno u oči korisnika, mikroprocesor je smešten na ručicu naočara i kablom povezuje naočare i procesor na monitoru (Johns et al., 2007). Studijama je utvrđeno da ovaj sistem ne utiče nepovoljno na vozače, ali i da nije dobar za detekciju umora kod vozača koji imaju poremećaje sna.

Sistem za detekciju umora koji su prikazali Klauer et al., (2003) se sastoji od četiri kamere koje su instalirane u kamionima. Ove četiri kamere beleže lice vozača, pogled napred, pogled u desno i levo spoljašnje ogledalo. Sva četiri pogleda istovremeno su beležena kroz četvorojezgarni razdvajač, tako da su obučeni analitičari podataka mogli istovremeno da vide sve četiri slike (Slika 1).



Slika 1. Četiri pogleda kamere u isto vreme kroz četvorojezgarni razdvajač (Klauer et al., 2003)

Postavljeno je 12 senzora u kabini da prati performanse u toku vožnje. Ovih 12 senzora pratili su točak upravljača, bočno i podužno ubrzanje, odstupanje od linije, vreme do sudara, bočni sudar i zatvaranje očnih kapaka. Kada su premašene vrednosti kriterijuma bilo koje vozne performanse, objektivne ili subjektivne mere opreznosti, prikupljanjem podataka sistem bi sačuvao snimljen video dva minuta pre i minut posle izazvanog događaja. Sistem automatski prikuplja podatke sa minimalnom intervencijom vozača. Urađen je



tako da prikuplja podatke o performansama vožnje i budnosti vozača koji mogu biti značajni za analizu, bez evidentiranja sati video zapisa koji nisu potrebni za neke analize.

Podaci se očitavaju iz kamiona i sadrže podatke o vozačkim performansama, uključuju podatke prikupljene preko senzora i snimljene podatke sa neupadljivih kamera. Analitičari pregledaju kasete, ocenjuju nivo pospanosti, zatim donesu odluku o ozbiljnosti i razlozima izazvanog događaja i utvrđuju lokaciju na kojoj se odigrao događaj.

Sistema za upozorenje pospanosti zasnovanog na fazi logičkoj analizi slika su razvili Wu and Chen (2008). Zahvaljujući poboljšanju mikroprocesora poslednjih godina, velika, dvodimenzionalna slika se može lako obraditi pomoću kompjutera. Tehnika analize slike je brzo prihvaćena i primenjena. Kamera koja radi na punjenje postavljena je na kontrolnoj tabli i služi za prikupljanje uzastopnih slika vozača u format windows bitmap. Nakon toga koristi se program napisan u C++ kodu da bi se izračunala pozicija očiju i trajanje zatvaranja očiju na osnovu prikupljenih fotografija. Na kraju se koristi fazi logika za utvrđivanje budnosti vozača. Kao ulazne promenljive koriste se učestalost treptanja i trajanje zatvaranja očiju. Faktor rizika se računa na osnovu postavljenih pravila i defazifikacije.

#### **Prednosti:**

Prednosti sistema za detekciju umora koji rade po principu praćenja očiju/lica vozača se ogledaju u mogućnosti ranog utvrđivanja umora i upozorenja vozača i pre nego što dođe do sna. Naime, oči i usta vozača, u nekim slučajevima i položaj brade ukazuju na nivo umora kod vozača i opasnost da će vozač zaspati u toku vožnje. U takvom stanju sistem upozorava vozača, najčešće zvučno i onemogućava mu dalje upravljanje vozilom.

#### **Nedostaci:**

Kod sistema za detekciju umora koji rade po principu identifikacije položaja, odnosno stanja oka nedostatak je mogućnost lokalizovanja očiju u slučaju da vozač nosi tamne naočare za sunce ili mnogo pomera glavu. Kod sistema gde analitičari procenjuju nivo umora vozača nedostatak je što procena nivoa umora zavisi od iskustva analitičara. I kod ovih sistema problem je što su u začetku i ne postoji dovoljno naučnih radova kojima je verifikovana pouzdanost ovih sistema.

### **3.4. Physiological Measurement**

#### **Opis:**

Sistem za detekciju umora vozača koji se zasniva na fiziološkim merama ima za cilj da spreči da vozač zaspi. Dakle, da pre nego što vozač zaspi na osnovu ponašanja vozača aktivira upozorenje. Balkin et al., (2001) govore o idealnom sistemu za upravljanje umorom. Od takozvanog "idealnog" sistema se očekuje sledeće:

- Sposobnost predviđanja umora na osnovu faktora koji ga proizvode
- Sposobnost praćenja i merenja umora na osnovu voznih performansi vozača i
- Sposobnost da efiksno i blagovremeno reaguje dokle god je to potrebno kada umor vozača dostigne visok nivo

Uslovi koje treba da ispune proizvođači ITS za detekciju umora su da uređaj izmeri ono što tvrdi da je zaista izmerio, drugo, da bude pouzdan i treće je da osetljivost sistema treba da bude veoma visoka. To znači da treba da bude sveden na minimum broj propuštenih detekcija umora. Istovremeno, sistem takođe treba da svede na minimum broj lažnih alarma tj detekcija umora gde oni zapravo i ne postoji. Poslednja dva kriterijum protivreče jedan drugom, smanjenje jednog dovodi do povećanja drugog i upravo to predstavlja glavni izazov pred kojim se nalaze proizvođači ovih uređaja (Balkin et al., 2001).

#### **Primena:**

SAVE sistem je zapravo, SAVE aplikacija koja se sastoji od tri komponente ili podaplikacije. Njihov uzajamni odnos je prikazan na slici 2.

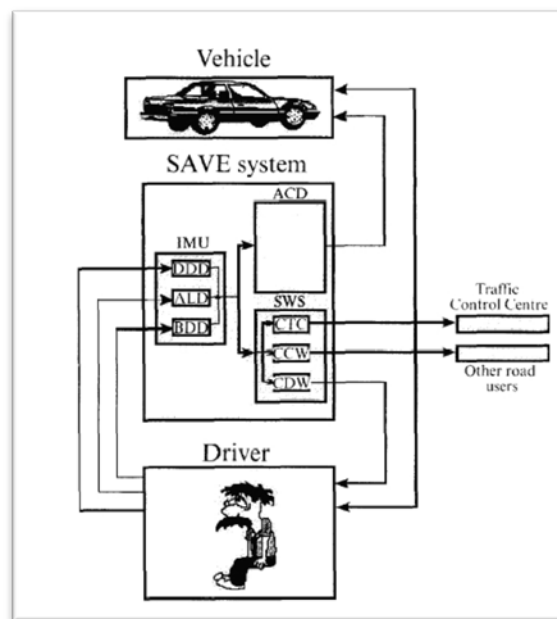
Osnovni elementi:

- integrisana jedinica za nadzor (IMU),
- automatska kontrola saobraćaja (ACD),
- sistem za čuvanje upozorenja (SWS).

Integrirana jedinica za nadzor je usmerena na otkrivanje stanja vozača, da li je u stanju da vozi ili ne. S obzirom da postoji mnogo različitih razloga za nebezbednu vožnju, IMU se sastoji dalje od tri podsistema: detektora za pospasonost vozača (DDD), detektora za alkohol (ALD) koji otkriva da li je vozač pod dejstvom alkohola i detektora kočenja (BDD) koji identifikuje propust vozača da koči.

Ako uređaj detektuje da je bezbednost vozača ugrožena iz nekog razloga, SAVE aplikacija preuzima kontrolu nad vozilom. Dve podaplikacije su odgovorne za ovu akciju. Automatska kontrola uređaja (ACD) će zaustaviti vozilo bezbedno pored puta kada vozač ne reaguje na opasnost. Ova akcija ne zahteva učešće vozača, a sprovodi se na osnovu informacija prikupljenih pomoću raznih senzora, na primer prisustvo drugog automobila u blizini. Ako IMU detektuje da vozač ne postupa adekvatno, ali je u stanju da reaguje, SWS prvo upozorava vozača na odgovarajući način preko CDW podaplikacije. CCW sistem nakon zaustavljanja vozila obaveštava druge vozače da je vozilo zaustavljeno zbog mogućih zdravstvenih problema njegovog vozača (Hancock and Verwey, 1997).

Hancock and Verwey, (1997) ukazuju da adaptivni sistemi imaju jasan cilj, a to je unapređenje kvaliteta ponašanja vozača u sistemu vozač-automobil. Trenutne i buduće tehnologije će omogućiti projektantima da razvijaju sve inteligentnije sisteme. Ova činjenica ne garantuje da su svi projektovani sistemi inteligentni. Međutim, tipičan inženjerski pristup prilikom projektovanja je „ako ja to mogu da kontolišem, može svako“. Istina je da je čovek izuzetno prilagodljiv različitim situacijama, pa samim tim i novoj tehnologiji, ali to ne znači da će se prilagoditi u potpunosti ovim sistemima u različitim okolnostima. Poenta primene ovih sistema je da bude prihvaćena od strane svih vozača, ne samo od visokoobrazovanih nego i od vozača koji su manje upućeni u ovu vrstu tehnike, od vozača sa određenih ograničenjima i tako dalje.



Slika 2. Uzajamni odnos aplikacija u SAVE sistemu

#### **Prednosti:**

Kada vozači postanu pospani, njihova glava počinje da pada što dalje prouzrokuje udaljavanje vozila od centra saobraćajne trake. Prethodne metode uglavnom reaguju tek nakon što vozač počne da spava, što je često prekasno da se spreči nezgoda. Međutim, fiziološki signali počinju da se menjaju u ranijim fazama pospanosti. Dakle, fiziološki signali su veoma pogodni za detekciju pospanosti sa veoma velikom stopom pouzdanosti. Na taj način oni upozoravaju vozača blagovremeno da je pospan i samim tim sprečavaju pojavu saobraćajnih nezgoda.

#### **Nedostaci:**

Sistemi za detekciju umora koji se zasnivaju na prećenju fizioloških mera se, zapravo, baziraju na elektrokardiogramu (EKG), elektromiogramu (EMG), elektroencefalogramu (EEG) i elektrooculogramu (EOG). Kako bi se utvrdili navedeni signali potrebno je povezati sistem sa telom vozača, odnosno zahteva povezivanje elektroda na telo vozača, što može biti neprijatno vozačima.

#### 4. DISKUSIJA I ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Okolo 20% saobraćajnih nezgoda u svetu se dogodi zbog umora vozača. Procenat saobraćajnih nezgoda u kojima učestvuju profesionalni vozači, a koje nastanu zbog umora se kreće i do 50%. Poslednje decenije velika pažnja se posvećuje merama za smanjenje nezgoda koje su nastale zbog umora. Jedna od mera je i sistem za detekciju umora. Sa razvojem savremenih tehnologija, odnosno inteligentnih transportnih sistema počeo je i razvoj sistema za detekciju umora koji se upravo zasnivaju na ITS-u.

Analizirani su brojni sistemi i klasifikovani su u četiri grupe. Kao osnovni nedostatak ističe se cena ovih sistema, odnosno nemogućnost komercijalne upotrebe. Komercijalnom upotrebom sistema za detekciju umora može se značajno smanjiti broj saobraćajnih nezgoda, a samim tim i broj nastradalih. Takođe, važno je napomenuti da nije dovoljno samo implementirati ove sisteme, potrebno je da ih vozači pravilno koriste i da prekinu vovoznju na upozorenja. Međutim, javlja se problem prihvatanja ovih sistema od strane vozača. Da li su vozači spremni da priznaju da su umorni i da prihvate sistem koji će im "zabraniti da voze"? I da li su spremni da pravilno koriste ove sisteme? Možda bi bilo dobro razmisliti o instaliranju "crne kutije" u drumsku vozila, koja će beležiti sve neophodne podatke, pa i podatke da je vozač bio upozoren, što bi kasnije moglo uticati na dalje razvijanje sistema, ali i na definisanje pravog uzroka nezgoda.

Pojava lažnih alarma i upozorenja o umoru nepovoljno deluju na ukupnu efikasnost sistema. Na primer, ponavljanje lažnih alarma najčešće dovodi do smanjenja korisničkog poverenja u sistem, a samim tim dovodi i do obustave korišćenja uređaja. Do pojave lažnih alarma može da dovede i postavljanje pragova koji služe za detekciju. Lal (2003) je utvrdio da je njegov sistem za detekciju imao stopu greške 10-11%. Naravno, postoje i dokazi da su korisnici spremni da tolerišu i neke lažne uzbune. Pored toga što utiču na poverenje korisnika u slučaju lažnih alarma, ovi uređaji dovode i do toga da korisnici nemaju jasnu sliku kako uopšte uređaji funkcionišu. Na primer, sistem može da obavesti vozača da je on umoran u situacijama u kojima se uopšte ne oseća umorno (ovde važi pretpostavka da sistem funkcionise pravilno i da obaveštenje ne treba smatrati lažnim alarmom). U tom slučaju, od izuzetne je važnosti da je vozač informisan i upućen kako da razlikuje subjektivnu procenu umora i trenutno stanje umora koje se pogoršava u određenim trenucima. Ako nije osposobljen da napravi razliku, to obično dovodi do potcenjivanja efekata umora (Horne and Reyner, 2001). Dakle, neslaganje vozača i uređaja će rasti sa porastom nivoa umora. Obuka vozača je kritičan aspekt uspešne implementacije ovakvih sistema. Suština je da korisnici koji nemaju poverenja u sistem, da li zbog ponavljanja lažnih alarma ili zbog neslaganja reagovanja uređaja i njihovih subjektivnih procena, ne mogu da koriste sistem pravilno (Balkin et al., 2001).

Sistemi koji prate ponašanje vozača su u suštini oblici automatizacije. Na osnovu klasifikacije ljudsko-automatske interakcije, tehnologije koje detektuju umor vozača obično funkcionišu pomoću analize informacija. Automatizacija u ovoj fazi integriše podatke, izvlači zaključke i generiše predviđanja. Implementacija uređaja za detekciju umora može dovesti i do opuštanja vozača, odnosno do previše oslanjanja na uređaj, što je veoma opasno u situacijama u kojima može doći do greške sistema.

Prikazani sistemi za detekciju umora mogu značajno da unaprede bezbednost saobraćaja na putevima, odnosno da smanje broj saobraćajnih nezgoda i broj nastradalih. Međutim, još uvek nisu u komercijalnoj upotrebi, proizvođači vozila ih ne stavljaju u standardnu opremu. Tu se javlja pitanje, da li je u pitanju visoka cena ovih sistema ili nespremnost vozača da se suoče sa ovim produktom savremenih tehnologija.

Dalji razvoj sistema za detekciju umora treba da prati i razvoj puteva, npr. postavljanje vibrirajućih traka na svim deonicama koje su monotone i koje karakterišu dugi pravci, postavljanje izmenljive signalizacije koja će ukazivati vozačima da nailaze na duge monotone deonice i ukazati na mere koje mogu preduzeti. Pored puteva, posebno autoputeva, napraviti "zone odmora", u kojima će vozači moći da testiraju nivo umora, da se odmore, dobiju kofeinski napitak, po potrebi odspavaju, dobiju savete o prepoznavanju znakova umora i adekvatnim merama za eliminisanje umora.

#### Literatura

- [1] Balkin, T.; Horrey, W.; Graeber, R.; Czeisler, C.; Dinges, D. 2001. The challenges and opportunities of technological approaches to fatigue management, University of Pennsylvania.
- [2] Chunling, T., Yskandar, H., Karim, Dj., Shengzhi, D. (2013). Vehicle Position Monitoring Using HoughTransform. IERI Procedia 4, 316-322.

- [3] Edwards, D.J., Sirois, B., Dawson, T., Agguire, A., Davis, B., Trutschel, U. (2007). Evaluation of fatigue management technologies using weighted feature matrix method. Fourth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, Stevenson, Washington.
- [4] Hancock, P. A., Verwey W.B. 1997. Fatigue, workload and adaptive driver systems, University of Minnesota
- [5] Horne, J. A.; Reyner, L. A. 2001. Beneficial effects of an “energy drink” given to sleepy drivers, *Amino Acids*, 20(1), 83–89.
- [6] Houser, A., Murray, D., Shackelford, S., Kreeb, R., Dunn, T. 2009. Analysis of benefits and costs of lane departure warning systems for the trucking industry. Washington, D.C.: Department of Transportation, Federal Motor Carrier Safety Administration.
- [7] Johns, M.W.; Tucker, A.; Chapman, R.; Crowley, K.; Michael N. 2007. Monitoring eye and eyelid movements by infrared oculography to measure drowsiness in drivers. *Somnologie*. 11; 234-242.
- [8] Klauer, S., Dingus, T., Neale, V. (2003). The effects of fatigue on driver performance for single and team long – haul truck drivers, *Proceedings of the Second International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*, 143-147.
- [9] Lal, S.K.; Craig, A.; Kirrkup, L.; Nquzea, H. 2003. Development of an algorithm for an EEG-based driver fatigue countermeasure 34 (3): 321-328.
- [10] ScienceDirect, available at: <http://www.sciencedirect.com/>
- [11] Sigari, M., Pourshahabi, M., Soryani, M., Fathy, M. 2014. “A Review on Driver Face Monitoring Systems for Fatigue and Distraction Detection”
- [12] Springer, available at: <http://www.springer.com/gp/>.
- [13] Sun, H.; Zhu, Q.; Shen, W.; Leng, Z.; Wu, H. 2012. Driver Fatigue Detection System Based on the Feature of Face, *American Journal of Engineering and Technology Research*, 56-63.
- [14] Williamson, A.; Lombardi, D.A.; Folkard, S.; Stutts, J.; Courtney, T.K.; Connor, J.L. 2011. The link between fatigue and safety, *Accid Anal Prevention* 4 (3): 498-515.
- [15] Wu, J.D.; Chen, T.R. 2008. Development of a drowsiness warning system based on the fuzzy logic images analysis, *Expert Systems with Applications* 34, 1556-1561.

# TYPICAL ROAD SAFETY ENGINEERING PROBLEMS IN SEETO AND TRACECA REGIONS: A PRACTICAL GUIDE FOR ROAD SAFETY AUDITORS

**Dr Alan Ross**

*President, International road safety Centre, alanross999@gmail.com*

**Dr Dejan Jovanov<sup>1</sup>**

*Director, Road safety Engineering, International Road Safety Centre, dejan.jovanov68@gmail.com*

**Summary:** *Typical road safety engineering deficiencies identified by the authors in 2 recent large projects covering 17 countries have been collected together. The 1st project covered SEETO Region with 7 participants (ALB, BIH, CRO, MKD, MNE, SRB and KOS\*) and the 2nd one in TRACECA Region with 10 countries (ARM, AZE, MDA, UKR, GEO, KAZ, KGZ, UZB, TAJ and TUR). Road Safety Audit (RSA) was introduced to selected specialists from each of these 17 countries through training courses and practical work. This practical implementation experience enabled the authors to analyze the problems found most frequently in RSAs in these regions so that they could develop appropriate guidelines for road engineers on possible solutions that could be applied to these typical and recurring problems. These problems and solutions have been presented in 8 different chapters, based on PIARC RSA approach (Road function, Cross section, Alignment, Intersections, Public/private services, Public transport, Vulnerable road users, Traffic signing, marking and lighting and Roadside features). This paper will show some extracts that can be used as a guide to typical road safety engineering problems and treatments.*

*\* This designation is without prejudice to positions on status, and in line with UNSCR 1244 and the ICJ Opinion on the Kosovo declaration of independence.*

**Key Words:** *Road Safety Deficiencies, Road Safety Audit, Guidelines, Manuals TRACECA, SEETO*

## 1. INTRODUCTION

After almost two decades of experience with Road Safety Audit (RSA) Worldwide, this procedure is now recognized as one of the most efficient engineering tools. RSA is a highly efficient and cost effective engineering tool for improvement of safety on roads. It is much cheaper to identify road safety deficiencies in the process of design than later after construction is completed. The RSAs are among the most cost-effective investments a Road Authority can undertake.

With its EU Directive No. 2008/96 on road infrastructure safety management, published in October 2008, the European Union (EU) made a clear decision that the RSA will be mandatory for the Trans-European Road Network (TERN) in forthcoming years. This Directive contains another tool called Road Safety Inspection (RSI) on safety deficiencies of existing roads. The activity is very similar to the Road Safety Audit in the pre-opening phase of newly constructed roads. RSIs are essential for the redesign and upgrading of existing roads and it is done in many countries to give the designers insights and direction for safety improvements. Within this guide Road Safety Inspections are included under the general heading of Road Safety Audits.

Unfortunately, in reality there is little systematic application of RSA at present in SEETO (South-East Europe Transport Observatory) and TRACECA (Transport Corridor Europe-Caucasus-Asia) Regions. RSAs that are implemented are mostly promoted by IFIs (WB, WIB, EBRD, ADB, etc.) and implemented by foreign consulting companies. Even when RSAs are undertaken, the resulting RSA recommendations are not always implemented fully by the road authorities. The latest EU funded Projects have tried to develop capacity for RSA implementation in each of the countries. Therefore, in SEETO (ALB, BIH, CRO, MKD, MNE, SRB and KOS\*) and TRACECA (ARM, AZE, MDA, UKR, GEO, KAZ, KGZ, UZB, TAJ and TUR) Region some important steps towards RSA implementation have been taken (For example each country now has several trained auditors, and a Regional Road Safety Audit manual (based on PIARC – World Road Association) has been produced and certain Pilot road sections have been audited). In some of the countries RSA has been introduced into the legislation as a mandatory procedure.

The main aim of the Practical Guide is to be strong and illustrative support for previously trained and future/prospective road safety auditors in the SEETO/TRACECA region. The Practical Guide follows the

---

<sup>1</sup> Corresponding author: Dr Dejan Jovanov, dejan.jovanov68@gmail.com

PIARC (World Road Association) approach concerning classification of identified road safety deficiencies into 8 broad groups or categories:

- Road function
- Cross section
- Alignment
- Intersections
- Public and private services; service and rest areas, public transport
- Vulnerable road user needs
- Traffic signing, marking and lighting
- Roadside features and passive safety installations

Apart from typical road safety deficiencies in the above categories, this Practical Guide contains three separate chapters:

- Temporary signing and marking at Work Zones
- Accident type sketches
- Potential crash reduction via various countermeasures.

Each Chapter contain possible measures with appropriate illustrations and sketches (these are not presented within this paper due to limitation in available space)

## 2. TYPICAL ROAD SAFETY ENGINEERING DEFICIENCIES

The most important road safety deficiencies observed within SEETO and TRACECA RSAs are briefly presented with typical problems, appropriate illustrations of unsafe design and the expected types of accidents that may occur in practice. Pictures from both regions have been used to illustrate problems as these are typical problems in both regions

### 2.1. Road Function

- Roads with mixed function (Linear settlements)

**Typical Problems:** Mixture of road functions (usage of the road as fast distributors for fast longer distance motorized traffic and as a location of slow local traffic) causes one of the major road safety problems especially in Low and Medium Income Countries (LMICs), such as in most of the countries of SEETO/TRACECA Region. This is one of the common problems in almost all countries where the rate of expansion of isolated communities along a road can rapidly reduce the effectiveness of a nationally or regionally important route as a result of the local traffic activities overwhelming the through route function of the road.

In such cases, the role of the road in the road hierarchy becomes eroded / confused. While the road is passing through settlements (without existence of by-pass) can it keep its geometry unchanged? Can it still be called International/Regional/National road, or does it then become a street? This, simple planning (designing) error of local administrations, can cause tremendous problems in road safety. Once intense development has been allowed it is very difficult to achieve improvements without major reconstruction on a new alignment. Often even when a bypass has been built, the village often over time extends out across to the new road. This is mainly an issue of access and development control and relevant authorities need to apply such measure.

**Examples of unsafe designs:**



Armenia



Kyrgyzstan

Bosnia and Herzegovina



Turkmenistan

**Expected accidents:** Pedestrian crossing street outside a junction; Pedestrian in the road; At least two vehicles - same direction - rear end collisions; At least two vehicles - head on collision in general; At least two vehicles - same road - opposite direction - turning left (right) in front of other vehicle, etc.

## 2.2. Cross Section

- Types of cross profiles (Width of the road)

**Typical Problems:** A cross section will normally consist of the carriageway, shoulders or kerbs, drainage features, and earthwork profiles. It may also include facilities for pedestrians, cyclists or other special user groups. There is some evidence to suggest that widening lane or carriageway width or widening shoulders up to a certain extent is beneficial in reducing certain types of accidents. However, beyond a certain point it can have negative effects on road safety (users will start using extended width as a regular lane). Dangerous cross sections of express roads and highways are frequently being used in SEETO/TRACECA region. For example, a four lane road without a crash barrier or two lane road with wide hard shoulders. A road with a wide hard shoulder can sometimes be misused by drivers as a very narrow four lane road, with disastrous results and very serious crashes.

Cross sections, particularly on roads through built up areas, are often not uniform or consistent. Local developments may encroach onto the carriageway because of the lack of effective planning control. In rural conditions cross sections may be reduced at drainage structures causing sudden changes in width. Maintenance of the road in full profile also impacts the safety situation. If a pavement width reduces due to the lack of maintenance (water on the pavement, sand, gravel, etc.) or pavement breaking at the edges effectively narrowing the road width, head on collisions or loss of control over a vehicle can occur. Steep side slopes, introduced for drainage purposes, do not allow a driver to recover in cases where he leaves the carriageway, and thereby add to the likelihood of an accident. Open channel drains can also increase the probability that driver error will result in an accident.

### Examples of unsafe designs:



Armenia



Serbia



Georgia



Azerbaijan

**Expected accidents:** At least two vehicles - head on collision in general; Hitting parked vehicles on the right (left) side of the road; At least two vehicles - same direction - rear end collisions; Pedestrian crossing street outside a junction; Pedestrian in the road; etc.

### 2.3. Alignment

- Vertical and horizontal curves (Consistency)

**Typical Problems:** Unexpectedly tight horizontal curves can lead to accidents as drivers try to drive through them at too high a speed. A similar situation may occur on horizontal curves in other similar hazardous situations, such as steep gradient or after a long straight section where driver is encouraged or misled (by the approach geometry) to think that he can drive at higher speed than is safe for that location. The sight distances associated with larger curve radii may also encourage driver to overtake in unsafe conditions.

It may be difficult for a driver to estimate the sight distance on a curve crest and he may overtake when he doesn't have sufficient length to do so safely. It can be extremely expensive to provide safe overtaking sight distances on crest curves. However, a complete ban on overtaking can be difficult to enforce because of the presence of very slow-moving vehicles, the lack of driver discipline in selecting stopping places, and poor maintenance of road markings and signs.

Poor co-ordination of the horizontal and vertical alignments can result in visual effects which contribute to the accidents and are detrimental to the road appearance. Unsafe combinations of horizontal and vertical curvature are likely to be misinterpreted by a driver and may result when horizontal and vertical curves of different length occur at the same location. These situations are particularly dangerous and are unfortunately frequently present in SEETO/TRACECA region.

In general, interurban main roads of the higher class should have minimum radii of 500 m and the horizontal alignment of classes below should follow the tulip of radii (see below). On the other hand, for human factors the length of straight road sections should be limited to 1.500m to avoiding monotony and sleepiness of drivers combined with speeds far above of the speed limits and to make it easier to judge speeds of oncoming traffic.

#### Examples of unsafe designs:



The Former Yugoslav Republic of Macedonia



Georgia



Moldova



Kazakhstan

**Expected accidents:** Single vehicle accident in a bend - going either side of the road; At least two vehicles - head on collision in general; At least two vehicles - same direction - rear end collisions; etc.

### 2.4. Intersections

- Channelization of traffic flows

**Typical Problems:** Channelization is a useful tool in traffic management. It should be applied to all junctions on high speed roads. This may require local widening but the small additional cost of this at the design stage



will be offset by future safety benefits in almost every case. Consideration of the access needs of emergency and other priority vehicles is required, especially in the event of an accident or breakdown. If provision is not made for this, damage to kerbs will quickly occur. Channelization guides the driver through the conflict points, provides safe areas for him to stop while making a manoeuvre and reduces conflicts between different flows.

Channelization by means of road markings, raised kerbs, traffic islands and bollards, can be used to guide vehicles along a specific path on the approach to and/or exit from a junction and to position them at the safest location to make their manoeuvre. The benefits of this are that movements are simplified, less confusion arises and the number of conflict points is minimized.

Traffic islands have the added benefit of providing a refuge for pedestrians crossing the road. They also provide a convenient location for street furniture such as signs, street lighting and drainage covers. Urban channelization schemes can be relatively complex, dealing with large traffic volumes. In rural areas concern is usually focused on protecting turning vehicles from faster moving traffic and to position vehicles correctly on the road.

### Examples of unsafe designs:



Kosovo\*



Ukraine



Moldova



Tajikistan

\* This designation is without prejudice to positions on status, and in line with UNSCR 1244 and the ICJ Opinion on the Kosovo declaration of independence

**Expected accidents:** At least two vehicles - same road - opposite direction - turning left (right) in front of other vehicle; At least two vehicles - crossing (no turning) – different; At least two vehicles - head on collision in general; At least two vehicles - same direction - entering traffic; At least two vehicles - opposite direction no turning – others, etc.

### 2.5. Public and private services

- Services along roadside

**Typical Problems:** Roadside facilities (rest places and petrol stations) are necessary to serve the long distance traffic between regions and towns (villages). Drivers need to rest at least once every 2 or 3 hours in order to maintain their concentration when driving. It is useful to combine rest areas with petrol and/or service stations at 30 – 50 km distances. Entrances and exits to and from Service and Rest areas can cause a disruption to traffic on the main carriageway if they are not separated well, and special attention should be given to design and maintenance of deceleration and acceleration lanes. It is important that sufficient rest areas are provided at around 10-20 km intervals but there should not too many to avoid constant disruption of the main flow of traffic by constantly exiting and merging traffic. Such rest areas may be used for selling goods by local farmers to minimize such activity along the roads (see the example of Moldova below). Farmers should reach the areas from minor roads behind the service area.

In SEETO, and more specifically in TRACECA Region there are a lot of examples where roads are encroached upon by unacceptable commercial services or there are unsuitable rest areas. This is dangerous for all road users, because of huge speed differences and mixture of different categories of road users (sudden vehicle stops and entering the traffic stream, as well as presence of unprotected pedestrians on high speed roads).

Master plans, land usage, urban development and restrictions in access to the public road network are key elements for preventing these types of accidents. In good planning system these types of crashes could be prevented in early stage of planning, during Road Safety Impact Assessments (RSIA). Effective access and development controls can prevent such unsafe conditions developing.

### Examples of unsafe designs:



Ukraine



Kazakhstan



Kyrgyzstan



Moldova

**Expected accidents:** At least two vehicles - same direction - rear end collisions; At least two vehicles - same direction - entering traffic; Hitting parked vehicles right (left) side of the road; Pedestrian walking along the road; At least two vehicles - U-turn in front of the other vehicle, etc.

## 2.6. Vulnerable road user needs

- Pedestrian crossings

**Typical Problems:** Pedestrians should not have to walk at all along interurban roads. Hard shoulders are not intended for vulnerable road users but for emergency use by vehicles only. With the exception of roundabouts, pedestrian crossings should ideally be grade separated on major roads if large numbers of vulnerable road users are expected. At-grade pedestrian crossing on dual carriageways or multi-lane roads should be forbidden unless traffic signals are provided. To enable pedestrians to cross safely the crossings facilities should be provided as underpasses or overbridges with ramps, not stairs. Any other solution significantly increases risks of with pedestrian accidents. Even though this is not in accordance with any road standards/norms in the world, including even upgraded old German (DIN) and ex-soviet SNiP and GOST standards which are still commonly used in SEETO/TRACECA Region, there are many such examples where pedestrian crossings are placed at grade on busy international roads.

In order to provide additional traffic capacity at junctions, local widening is sometimes carried out. This often increases the crossing distance, again creating increased risk for pedestrians. Heavy crossing demands may sometimes occur away from junctions where vehicle speeds are very high and this is often the case in SEETO/TRACECA regions. The provision of underpasses or overbridges however may be too expensive and may not be well used. Designers and the road authority need to provide crossings which the pedestrians will willingly use.

**Examples of unsafe designs:**



Kazakhstan



Ukraine



Tajikistan



Uzbekistan

**Expected accidents:** Pedestrian crossing street outside a junction; Pedestrian crossing street at a junction; Pedestrian in the road; At least two vehicles - same direction - rear end collisions; Single vehicle accidents – others, etc.

**2.7. Traffic signing, marking and light**  
- Signing

**Typical Problems:** Warning signs and warning markings are used to give advance notice of a potential hazard ahead or of any unexpected feature of the road geometry. The signs are used in specific situations when there is a change in the road, such as in a bend, on high speed road or on the approach to junction. The location of signs is very important because they should provide adequate warning or information at sufficient distance, however they should not obscure important road features. Of great importance for the visibility of the signs is that they be located in positions where overgrown vegetation cannot obscure the visibility of the sign. Signs must be visible at all times, so reflective materials should be used for night-time visibility and urban signs may require to be lit internally or externally. In some SEETO and more specifically in TRACECA countries, it is common practice for the signs to be missing (even at potentially dangerous locations), not properly positioned, without reflectivity, non-standardized or even not uniform in compliance with International UN Conventions.

A recurring problem with signs is of them being obscured, either by permanent features such as street furniture and vegetation or by parked vehicles and, on dual carriageways, by moving vehicles in the nearside lane (if there is no repeated sign on the other side of the road). Too many signs can detract from their objective by overloading the driver with too much information too quickly, which leads to confusion or to a situation where the driver ignores certain signs. Signs may not be visible at night time because of poor illumination, lack of routine maintenance, continuity of power supply or inappropriate positioning (too high, set back out of road or turned away from driver). If reflective signs are not regularly cleaned, they may not retain their design properties and purpose.

**Examples of unsafe designs:**



Tajikistan



Georgia



Kazakhstan



The Former Yugoslav Republic of Macedonia

**Expected accidents:** Pedestrian crossing street outside a junction; Pedestrian crossing street at a junction; At least two vehicles - crossing (no turning) – different; At least two vehicles - same direction - rear end collisions; At least two vehicles - same road - opposite direction - turning left (right), etc.

## 2.8. Roadside features and passive safety installations

- Roadside obstacles (plants, trees, light poles, advertisements, etc.)

**Typical Problems:** The presence of roadside obstacles, street furniture (for example, road signs and lighting columns) advertising signs and trees has two safety implications. The first is the potential danger of collision, and the second is their obstruction of visibility. Visibility is important not only for the driver, but also to other road users. Obstructions caused by trees, for example, may result in a pedestrian making an unwise decision.

Great care should be taken concerning the positioning of roadside features which may either obstruct visibility, lead to accidents or increase accident severity. Where it is impractical to remove obstructions which contribute to hazardous situations, consideration should be given to their replacement with equipment designed to collapse on impact, re-alignment of the road, or the introduction of barriers. Once a road is completed, care must be taken to ensure that obstacles are not introduced by other institutions subsequently, such as telephone or electricity authorities. Vegetation should be trimmed regularly and planning controls should be enforced to prevent stalls and structures being too close to the road edge. In some SEETO/TRACECA countries, trees are often planted adjacent to roads in order to provide shade for pedestrians, animals and parked vehicles and in other countries to prevent the wind from bringing snow onto the road.

### Examples of unsafe designs:



Uzbekistan



Montenegro



Azerbaijan



Albania

**Expected accidents:** Single vehicle accidents with obstacles on or above the road; Single vehicle accidents with obstacles – others; Single vehicle accident - Leaving straight road - either side of the road; At least two vehicles - same direction - rear end collisions; Pedestrian walking along the road, etc.

## 2.9. Temporary signing and marking at Work Zones

**Typical Problems:** A work zone is an area of road or roadside where construction, maintenance or other works are performed and which may affect the safety and limit the free movement of road users through and in the vicinity of the Work Zone. Work zones are zones on the road with higher risk of accidents for both road users (vehicle occupants and vulnerable categories) and workers. A Traffic Management Plan (TMP) of good quality should be made and followed so that all participants in traffic are protected against risk of a traffic accident. Such TMP should contain all elements starting from design, placement, maintenance to the removal of all elements regulating the road traffic.

To minimize the problems and increase safety, work zone layout (marking and signing) requires special consideration for the following reasons:

- Work zone is a section of road where, most often, geometrical characteristics of the road and the traffic conditions are temporarily changed to poorer conditions (less safe). The types of executed works are often road construction, rehabilitation and maintenance, but there are other types of work on the road that need the same treatment, for instance work with cables, pipes etc. located in the road area.
- Employees in work zones spend most of their working hours directly exposed to traffic. In accidents, happening in work zones, these employees are often the victims, and often at as much at risk as the road users.

The growing international transit traffic flow in TRACECA countries implies the need for main traffic corridors to be constructed according to international standards and requires European standards and a widely recognized and consistent system for road works signing and work zone safety.

### Examples of unsafe designs:



Armenia



Ukraine



Azerbaijan

**Expected accidents:** Single vehicle accidents with roadwork materials; Hitting parked vehicles right (left) side of the road; At least two vehicles - head on collision in general; At least two vehicles - same direction - rear end collisions; Pedestrian walking along the road, etc.

### 3. CONCLUSION

Education and training of the auditors is probably one of the weakest points in the entire RSA chain within the SEETO and TRACECA Region. This is exacerbated by the frequent reluctance of roads authorities to implement RSA recommendations even where RSAs are done. The reasons for this are the relatively short history of RSA, lack of understanding of RSA methodology and procedures and lack of RSA literature in local languages. This is why the team of safety engineering specialists, who are knowledgeable and familiar with SEETO and TRACECA Region, prepared the Practical Guide for Road Safety Auditors in SEETO and TRACECA Region to help present and future auditors in their work.

The Practical Guide for Road Safety Auditors is based on actual and recurring traffic situations identified as road safety deficiencies in these 17 countries and international best practice and proposals for improvement (treatment). As SEETO and TRACECA Regions contains important transport links (corridors), harmonization of road standards and elimination of potential risks for the road users are of utmost importance. This is why this Practical Guide for Road Safety Auditors is based on the existing RSA Manuals from the SEETO and TRACECA Region while also applying a common approach to RSA based on PIARC (World Road Association) guidance. This will ensure that similar approaches are applied to RSA related improvements of road infrastructure (RSA Reports) across the wider area spanning 17 countries.

The main purpose of developing the guidelines (which will be published in the near future by the international road safety centre being established in Belgrade) was to help new auditors and Clients to recognize typical and most frequent road safety deficiencies in road engineering on the networks of the 17 countries and to prevent them in the design/construction and maintenance processes. This paper is intended to inform the readers about the existence and imminent availability/ publication of the new guidelines. It also will hopefully encourage greater knowledge about typical road safety deficiencies which can in turn lead to the improvement of road design standards.

### Acknowledgements

This Paper presents a digest from Practical Guide for road safety auditors in TRACECA Region which builds to a large extent on international best practice, direct experience of the authors in TRACECA countries and draws upon detailed guidance and concepts in the 3 key publications indicated below:

1. "Towards safer roads in developing countries", a guide for planners and engineers, developed by TRL, Ross Silcock Partnership and ODA in 1991,
2. "Catalogue of design safety problems and practical countermeasures", developed by World Road Association (PIARC) in 2009 and
3. "The handbook of road safety measures", written by Rune Elvik and Truls Vaa, in 2004.
- 4.

The above 3 documents provide much more detailed guidance on all key aspects of safety engineering and authors recommend that road engineers should use these in planning and operation of roads to ensure safer road networks.

This Practical Guide document is aimed specially at the needs of safety auditors in TRACECA Region and has addressed only the main issues of relevance to them and their tasks in preparing safety audit reports.

The Guide authors have drawn as necessary on these 3 documents and adapted the ideas and concepts to local circumstances. We are grateful to the authors of the original documents for sharing their experience via these documents and to our fellow.

The Authors of this paper are grateful and wish to acknowledge the contributions of our fellow authors of the Practical Guide: Hans-Joachim Vollpracht, Rajko Branković and Filip Trajković. All photographs used as illustration of the problems, or as best practices are provided by authors.

## References

- [1]. Catalogue of Design Safety Problems and Practical Countermeasures, World Road Association (PIARC), Paris, 2009
- [2]. Directive on Road Infrastructure Safety Management No 96/2008, European Parliament and of The Council, Brussels, 2008
- [3]. Elvik, R. & Vaa, T.: The Handbook of Road Safety Measures, Elsevier, Amsterdam, 2004
- [4]. Elvik, R.: State-Of-The-Art Approaches to Road Accident Black Spot Management and Safety Analysis of Road Networks, RIPCORDER – ISEREST Report, 2008
- [5]. Good-Practice Guidelines to Infrastructural Road Safety, European Union Road Federation, 2002
- [6]. Guidelines for Road Safety Audits, German Road and Transportation Research Association (FGSV), Edition 2002
- [7]. Low-Cost Road and Traffic Engineering Measures for Casualty Reduction, European Transport Safety Council (ETSC), Brussels, 1996
- [8]. M. Belcher, S. Proctor & R. Cook: Practical Road Safety Auditing, TMS, 2<sup>nd</sup> Edition, 2008
- [9]. Road Safety Audit – Best Practice Guidelines, Qualification for Auditors and “Programming”, RIPCORDER-ISEREST Project – WP4, EU Project, 2008
- [10]. Road Safety Audit Guideline, World Road Association (PIARC), Paris, 2007
- [11]. Road Safety Audit Manual, South East Europe Transport Observatory (SEETO), EC/SEETO, 2009
- [12]. Road Safety Inspection – Best Practice And Implementation Plan, RIPCORDER-ISEREST Project – WP5, EU Project, 2008
- [13]. Road Safety Inspection Guideline, World Road Association (PIARC), Paris, 2007
- [14]. Road Safety Inspection Manual, South East Europe Transport Observatory (SEETO), EC/SEETO, 2009
- [15]. Road Safety Manual, World Road Association (PIARC), Paris, 2003
- [16]. Sustainable Safe Road Design: A Practical Manual, World Bank, 2005
- [17]. Towards Safer Roads in Developing Countries”, A guide for Planners and Engineers, TRL, Ross Silcock Partnership and Oda, UK, 1991

# USING SERBIAN ROAD SAFETY EXPERTISE TO ASSIST CAUCASUS AND CENTRAL ASIAN COUNTRIES

**Dr Alan Ross and Dr Dejan Jovanov**

IRSC, alanross999@gmail.com, dejan.jovanov68@gmail.com

**Summary:** Road safety is a growing problem in all sub regions of the world and this is also true in TRACECA covering 5 countries in Caucasus Region and 5 countries in Central Asia Region. This presentation will show how Serbian expertise and experience was applied systematically in these 10 countries to significantly strengthen their institutional capacity to address their road safety problems. As result of that very positive experience, the author with other international road safety advocates are in process of establishing an International Road Safety Centre (IRSC) in Belgrade to continue and extend such work to other low and middle income countries. The results of that TRACECA project (which was rated by independent EU evaluation, as one of the best and most effective EU funded projects undertaken in the last 10 years) were presented as a case study at the recent United Nations 2nd Ministerial meeting on road safety in Brazil in Nov 2015 at the midpoint of the UN Decade of Road safety.

**Keywords:** Road Safety sharing experience, LMICs, International Road Safety Centre, Road safety role models for LMICs.

## 1. BACKGROUND

This 2-year project which commenced mid Jan 2014 and which finishes mid Jan 2016 is an EU funded regional road safety project covering 10 beneficiary countries in TRACECA region. This region covers the countries between China and Europe and includes Armenia, Azerbaijan, Georgia, Moldova, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Tajikistan Turkmenistan<sup>1</sup>, Ukraine and Uzbekistan. The regional statistics are as follows:

Road deaths: 19000/ year

Road injuries: 200,000 / year

Annual losses: US\$ 17 billion / year (Approx. 4 % of annual regional GDP)

Regional Ave Deaths / 100000 Population = 15.27 (EU Average = 6)

These countries over the next 30-50 years are likely to experience huge increases in traffic as a result of the expected increasing trade links between these 2 major economic powers. Even with the current relatively low traffic levels, there are already around 19,000 road deaths and nearly 200,000 persons injured every year and this is now costing the region around US \$17 billion annually (4% of the region's GDP) and risk of death in a road crash is about 2 to 3 times as high as the average of EU countries. The economic losses from road accidents are about 5 times as high as the total development aid provided to that region). With increasing traffic levels such human and economic losses are certain to increase in future years unless effective action is taken to prevent this.

The project was aimed at supporting the 10 countries in their efforts to improve capacity to implement improvements in 6 sectors of road safety, 5 of which are same as the 5 pillars in the UN Decade of Action (safety management, safer roads, safer vehicles, safer road users and safer emergency services). In addition, the project also included activities in a 6th sector "changing attitudes".

The following section describes how this project developed and then systematically implemented a strategy focused on delivering agreed impacts that will increase the chances of sustainability and how and why we used Serbian expertise and experience to assist these countries. In developing and implementing the strategy the team also drew upon the best practices and guidance available in various World Bank and other documents<sup>2 3</sup> The strategy also took into account the fact that although a similar general approach can be used to provide consistency and comparability, the starting position and needs of each country are very different. To be sure that the required impact has occurred, these "starting positions" and needs first had to be documented in some systematic way so that country specific solutions could be developed to meet the

---

<sup>1</sup> Although originally included as part of the regional project, Turkmenistan did not take up the invitations to participate in the various workshops and training opportunities

<sup>2</sup> World report on Injury prevention, WHO/ World Bank, Geneva

<sup>3</sup> World Bank Road Safety Management Project Guide



particular circumstances of each country. The project team also wanted to deliver real impacts through the project and therefore gave particular attention to this aspect in their implementation strategy so that such impact could be demonstrated at project end.

In order to place high emphasis and focus on delivering the impacts that will lead to sustainability, the project team developed a 4-phase strategy for implementation:

Phase 1: Understanding problems, needs and constraints in each country

Phase 2: Developing capacity amongst key specialists to be able to apply safe systems approaches

Phase 3: Developing motivation and aspirations of key decision makers in these countries

Phase 4: Institutionalizing road safety activities to increase likelihood of sustainability

## 2. PHASES 1 AND 2: UNDERSTANDING THE PROBLEMS, NEEDS AND CONSTRAINTS IN EACH COUNTRY AND DEVELOPING CAPACITY

The project team focused in its first 2 phases on understanding the general problems across the region, identifying the particular problems inhibiting development of road safety within key sectors in each of the 10 individual countries and in training of safety engineering and other professionals in key sectors from each country. This was done through a number of activities including

❖ **Visits to every one of the 10 beneficiary countries during inception period** for discussions with experts in each country so that current status of safety activities and institutional capacity regarding road safety could be “benchmarked” at project commencement against impact indicators related to institutional development. For example, to assess if there is effective capacity to manage and coordinate road safety activity, we can check to what extent (0% to 100%) that elements and functions such as the following exist in a country

- Legislation exists designating responsibilities for road safety
- A coordination body has been established
- There is a fully staffed and funded Secretariat to follow up coordination body decisions
- Reliable sustainable funding is available for safety activities and interventions

Depending on the extent to which that these and similar “institutional development indicators” exist and are fulfilling their function, one can make a rough assessment of the likelihood of there being effective institutional capacity to manage and coordinate road safety in that country. The data can be presented in DEE benchmarking<sup>4</sup> spider charts.

These can show the strengths and weaknesses of each country and within each individual sector (examples below show %age progress in all countries on implementing action plans and an example spider chart from Azerbaijan shows how it compares on key aspects of “management and coordination” against the average (in white) of all TRACECA countries). Similar DEE benchmarking spider charts were prepared for each country and for each sector and subsector within each country to provide a definitive overview and record of the position at the project start point.



Figure 1. Benchmarking spider

<sup>4</sup> DEE technique - impacts and outcomes delivery system - see [www.deetechnique.com](http://www.deetechnique.com)

These aspects benchmarked at commencement can be used during the project to keep everyone focused on what has to be delivered by project end and if repeated at project end, provide a very convenient and unambiguous way to demonstrate the specific changes and impacts achieved by the project

- ❖ **7 Regional and sub regional workshops and training courses** ranging from 2 days to 5 days to do capacity building of key experts and potential future trainers from each country and to agree sector specific needs in key sectors in each country. This resulted in over 70 persons being trained in safety engineering issues such as, tunnel safety, road safety audit and Blackspot management programmes. Over 20 were given an additional 1-week intensive course on safety auditing. After further training in following months and submission and marking of their practical projects/ assignments, around 15 were certified as Road Safety Audit (RSA) Instructors able to train others in their respective countries and the remaining 5 being certified as only as Road Safety Auditors The now constitutes a pool of 20 Road safety auditors all trained to a consistent level and able to provide safety auditing services at local prices in each country plus a capacity to develop future safety auditors to create a larger pool of road safety auditors to meet the growing needs for such services. Draft regional guidelines have been prepared on road safety Audits and Blackspot programmes and guidance provided on alternative ways in which mandatory road safety audits can be included into legislation.
- ❖ **9 x Four-day National Action planning workshops** for 40 -50 representatives from the key stakeholder agencies in each country to develop priority action plans aimed only at removing obstacles and impediments preventing effective road safety activity in each sector and to define priorities for action. Over 450 senior persons from key government, private sector and NGO stakeholders introduced to international best practices in road safety in key sectors and successful road safety programmes in the region and from around the world. Safety experts from each country participated via sector specific breakout groups within each workshop to develop the action plans for each sector that were then amalgamated into 3-year priority action plans for each country. Where necessary or feasible an interim multisector working group was established in each country to liaise with the project team and to provide coordination until appropriate more formal coordination mechanisms could be established by government.

### **3. PHASE 3 DEVELOPING MOTIVATION AND ASPIRATIONS OF KEY DECISION MAKERS IN THESE COUNTRIES**

A **Study tour was organised for 24 deputy directors / 2<sup>nd</sup> highest officials from the 3 most important organisations** responsible for road safety in each country (traffic police, Ministry of transport and roads administration) to show them how other similar countries have improved road safety. Normally such study tours are organised to take senior officials to the countries with the best road safety (e.g. Sweden, UK, Netherlands etc.). Although this can be very useful in giving participants an overview of what can be achieved in a country, this can sometimes also be counterproductive and intimidating as study tour participants can sometimes go away disheartened at the huge gap between their own country and the study tour country in terms of road safety, systems and funding. They often return to their own countries depressed and disheartened feeling that it would be impossible to reach such high levels of safety in their own countries. It was therefore necessary for motivation and aspirational purposes, to identify a role model country which was similar to them but which had been very successful in road safety and to which they could relate to better and see as a possible aspirational role model.

The ex-Soviet countries that are now in EU all had very similar ex-soviet systems, standards and constraints that currently exist in TRACECA region but overcame them and like other EU countries managed to make dramatic reductions of 40-60% in road deaths in the last decade by adopting the safe systems approaches being applied in other EU countries. Although they achieved significant reductions and are potential role models for the ex-soviet TRACECA countries, they are, in fact, not the best examples since, as a consequence of being EU members, they had additional pressures on them, to comply with EU directives, agreements and legislation affecting road safety and which pushed their governments to comply with EU best practices. However, another nearby country, Serbia is NOT an EU member so did not have such pressures but also had similar ex-Soviet systems, practices and constraints to those in TRACECA countries. Despite this they also achieved equally impressive reductions in road deaths over the last 10 years as were achieved in EU countries. They did this by **voluntarily** adopting and where appropriate adapting best practices from Europe and applying them in their country.

Consequently, Serbia was potentially a much more “replicable” role model and all participants, although initially very dubious about the merits of going to Serbia for a study tour, went away astonished that a country like them and despite its similar ex-soviet constraints was still able to address its road safety problems effectively and achieve huge reductions in road deaths. The study tour participants were given some joint and some sector specific training each morning and then taken on site visits each afternoon so they could talk directly to and to question/ interrogate counterpart officials in Serbian government organisations who were directly involved in implementing the major reforms in how road safety is addressed in Serbia.

**Table 1: Success in ex-soviet countries implementing EU approaches to road safety.**

	Road deaths		%Change 2001-2011	Deaths /100.000 population	
	2001	2011		2001	2011
<b>Bulgaria</b>	1011	755	-34.9	12.4	8.9
<b>Czech Republic</b>	1334	802	-47.0	13.0	6.7
<b>Estonia</b>	199	101	-49.2	14.6	7.5
<b>Hungary</b>	1239	638	-48.5	12.1	6.4
<b>Latvia</b>	558	179	-67.9	23.6	8.0
<b>Lithuania</b>	706	297	-57.9	20.2	9.2
<b>Poland</b>	5534	4189	-24.3	14.5	11.0
<b>Romania</b>	2461	2018	-18.0	10.9	9.4
<b>Slovakia</b>	814	324	-47.2	11.6	6.0
<b>Slovenia</b>	278	141	-49.2	14.0	6.9
<b>Serbia</b>	1275	728	-42.9%	16.99	10.06
<b>European Union (EU)</b>	54302	30108	-44.6	11.3	6.0

Source: TRACECA Road Safety II

Source: TRACECA Road Safety II

The participants from TRACECA countries went away highly motivated and enthused feeling that if a country like them which is not in EU or wealthier or smarter or with better educated officials can do this, then there is absolutely no reason why their own countries could not also do this. This to them was not only an achievable goal but for the richer or larger countries, a little bit shaming that a smaller, in some cases a less wealthy, country had been able to do so much more in road safety while they despite their size and wealth had been able to do so little in their own countries. All study tour participants went away highly motivated and determined to do something to move road safety forward in their own countries. Follow up visits to countries confirmed that a much more motivated and more proactive approach is now evident amongst these “leaders of road safety” who returned enthused from the study tour and there is some evidence that they are pushing harder for action to be taken to improve road safety.

In order to further reinforce and increase motivation of those who had visited Serbia, a number of the Serbian road safety experts who had participated in and in some cases had led or helped to introduce the reforms undertaken in Serbia were engaged as specialists within the project teams to visit each country to talk about the Serbian experience and to share insights into how such reforms could be undertaken in an ex soviet / ex socialist environment. This included specialists in vehicle standards and technical inspection, experts in road safety engineering, experts in safety legislation and management and university academics specialising in teaching and research in road safety issues.

#### **4. PHASE 4 INSTITUTIONALIZING ROAD SAFETY TO INCREASE LIKELIHOOD OF SUSTAINABLE ACTIVITY**

Most of the TRACECA project beneficiary countries are still at an early stage of road safety development and need practical assistance /guidance to develop their road safety activities – especially in management coordination and funding of road safety. For road safety to germinate, prosper and grow it was necessary to systematically build road safety into the normal activities and practices in selected organizations that can influence road safety in a country and to develop, train and motivate key individuals who can then go on to train and motivate other professionals beyond the project period.

We needed to provide guidance on safety legislation, international conventions and organisational structures and mechanisms to manage and stimulate road safety activities. We also needed to enable the road safety audit instructors developed earlier within the project to train other local safety auditors each year as needed. These 'institutionalizing' activities were implemented by deploying a number of teams several of which included Serbian experts, each team (typically with 2 experts from the project) made 2-day visits to each country with each team focussing on their particular specialist topics or aspects. They worked with small groups of 12-15 relevant local experts from that country in round table discussions, site visits and practical training sessions. Sometimes 2 or more teams were in the same country on the same days because of need to have joint sessions but most of the time, each team and members within each team had their own distinct programme of tasks and team specific schedule of visits. Team members were drawn from our pool of international experts who were all practitioners with extensive practical implementation experience in their areas of expertise. Our pool included many of the same individuals who were the architects and implementers of the major reforms that were done in Serbia to convert a country with typical ex-Soviet systems, corruption and constraints etc. into one with a modern EU safe systems approach to road safety. They shared their practical experience with the TRACECA countries. Once the initial round of visits to initiate activities were completed, the core group of experts were redeployed / reconfigured into different "teams" with different tasks so that they could follow up activities initiated earlier and provide mentoring / support until local experts were confident and able to do the key activities that we are trying to institutionalize in each country.

All of the activities were designed to initiate, develop or expand safety activity in key institutions or organisations and to create a supportive and conducive environment for road safety to take root so that it could grow and prosper. This institutionalised road safety activity.

The teams that were deployed during the institutionalising phase were as follows:

**1 Road safety Audit (RSA) and Blackspot management (BSM) team** included Serbian experts and made follow up visits to every country to help them develop BSM activity and do further training / evaluation of the BSM engineers and the road safety audit (RSA) instructors that we trained during phase 1 – the best of whom we certified as "project approved" Safety Auditor Instructors. We provided guidance on alternative ways to draft legislation for mandatory safety audits, developed regional guidelines on safety audit and separate regional guidelines on Blackspot management programmes. Where possible we encouraged establishment of annual road safety audit courses at a university or under a 'society of engineers' or similar in each country to develop a regular local safety audit course to develop local safety auditors.

**2 Action plan implementation and safety training team** included Serbian experts and made a visit to every country to implement a 1-day workshop / round table discussion with the 12-15-member interim working groups (established from key agencies after each action planning workshop and who are developing / finalising the immediate road safety action plans). This team covered action plan implementation and provided practical examples of how to implement safety in each sector in a country. On the 2<sup>nd</sup> day they held a ½ day round table discussion with university professors and assisted them to introduce modules of road safety lectures into relevant university courses. They also implemented a ½ day round table discussion for university professors and local research institutes on road safety research (including crash costing) and provide assistance / support and mentoring plus links to overseas university researchers to start implementing and encouraging development of road safety research programmes in each country.

After the first round of visits, some further follow up visits were made to some countries to monitor and oversee development / integration of safety modules provided for inclusion into local university courses and to provide mentoring for those doing safety research. Links were established between Belgrade University and local researchers in the region for joint research projects and publishing of research papers on road safety issues.

**3 UNECE conventions Team.** Individual experts on EU Agreements and UNECE Conventions were deployed to make 2 day visits to different groups of countries in accordance with the needs identified and specific assistance requested by individual countries at the regional UNECE conventions workshop. For example, ADR (dangerous goods) expert was to visit 6 countries, and the AETR (working hours) expert was to visit 6 countries and the Vehicle regulations expert was to visit 5 countries. Each expert had his own

programme and schedule of visits but they were occasionally together for joint activity. Each expert will provide advice /practical training as required in their specialist areas.

**4 Vehicle Periodic Technical Inspection team** included a Serbian Expert and made 2 day visits to each of the 9 countries to assess the effectiveness of current practices in periodic technical inspection of private vehicles, to provide training where needed and advice /guidance on how things could be improved. A second follow up visit was done a couple of months later to review progress and to develop road maps for improvement (where a system already exists) or for introducing a periodic technical inspection system (where a periodic technical inspection system for private vehicles had been discontinued /suspended e.g. Ukraine and Georgia). Further visits were made to Georgia and Ukraine to assist them to on the steps needed to re-establish periodic technical inspection of light vehicles.

**5 Crash data systems Team** included Serbian experts and they visited police in every country to review existing systems and practices in crash data collection, storage, retrieval, analyses and dissemination in relation to best international practices before recommending country specific improvements to the crash data system, data analyses and accessibility to data by stakeholders in a country. Where possible and where police agreed we identified core non confidential items that could be placed on a regional crash data base where data could be accessible to all countries for inter-regional comparisons etc.

**6 Freight traffic routes and commercial parking team** The expert has already visited several countries in the region while providing inputs to the safety engineering work in phase 1 so will make a few more visits before preparing the draft guidelines and recommendations. These will then be discussed further with roads administrations in each country by the RSA and BSM team and later the Design Standards team.

**7 Safety Design Standards team** included Serbian experts and did a “gap analyses” of existing (ex-soviet style) road design standards and practices of scheme approvals/ checking in each country to identify the impediments, which were preventing application of modern techniques of safety conscious planning and design. They then developed recommendations on how road design standards needed to be improved / updated to incorporate safety engineering and to permit modern speed reduction interventions such a traffic calming on major roads where they pass through small communities. They also suggested how the road design approval process could be improved to remove the current (ex-soviet style) focus on simplistic “compliance with standards” to one where the proposed road scheme is reviewed from a wider safety and operational perspective instead of just compliance with (often out-dated or inadequate) design standards.

**8 Management, Coordination, Funding and Cost estimation team** (variable numbers - drawn from our core team and our pool of experts as necessary). This team provided inputs to the work of other teams as well as providing advice/ guidance to beneficiary stakeholder organisations on the 4 key aspects of management, coordination, Funding and crash cost estimation plus related issues such as legislation, crash data system etc. Different experts including some Serbian experts participated in this team.

All of the above teams worked on a number of integrated tasks where the aggregated activities of all teams influenced and affected the final outcomes in a particular sector in a particular country. Significantly increased institutional capacity was achieved in each beneficiary country’s ability to address road safety issues. We also have developed and motivated a corps of local experts in the key sectors who can continue improving safety in each country and have have initiated key institutionalising activities such improved crash data analyses and accessibility, regular road safety audit courses, road safety research and inclusion of road safety training into the curricula of universities producing future road engineers and other key professionals. All of these activities will initiate and support the development of a more conducive environment for road safety to develop and grow in each country.

Three-year priority plans have developed for each of the 9 countries and each country has been assisted during the first year to remove the most urgent obstacles and impediments inhibiting the development of effective road safety activities. The institutionalization of some safety activities will sow the seeds for more effective activity if they can be nurtured and supported but much will depend on the willingness of countries to take road safety more seriously and to see road safety as an investment and not as a cost. Ideally the countries should be assisted to implement the whole of the 3-year priority action plans that would embed road safety into all key sectors and make it highly likely that sustainability could be achieved.

## **5. COMPLIANCE WITH BEST INTERNATIONAL PRACTICE IN DESIGNING / IMPLEMENTING ROAD SAFETY PROJECTS IN LOW AND MIDDLE INCOME COUNTRIES**

The project was designed using the “safe systems” approach and was implemented in accordance with best international practice as outlined below

### **1 Lead agency empowerment**

Most of the 10 countries were at an early stage of road safety development and did not yet have effective road safety coordination, management and funding of their road safety activities. Relevant technical assistance was provided as needed to each country to strengthen those activities. Country specific priority action plans have been finalized to identify and remove obstacles and impediments to improvement of road safety. Interim multi-sector working groups were established in each country to do coordination until more formal structures could be established and a lead agency designated. Assistance /guidance has been provided on safety legislation and in some countries (e.g. Ukraine) assistance/ support has been provided to establish a parliamentary road safety subcommittee to raise awareness and to promote road safety amongst highest level decision makers

### **2 Health Sector Collaboration and Partnership**

The health sector is included in the working groups established and health sector along with other key stakeholders from government private sector and NGOs have been encouraged to work in partnership to support and promote the multisector approach advocated via the project. Where feasible, health sector data was used along with Police crash data and data on insurance compensation claims to initiate estimation of the true value of each severity of casualty and crash type in each country. This will enable annual losses to the economy to be estimated and will permit cost benefit analyses of potential interventions to enable more effective use of the limited funds available.

### **3 Sequencing of World Bank report recommendations**

The project fully endorsed the systematic multi sector approach where interventions have to be undertaken in key sectors to try to prevent unsafe vehicles, unsafe roads and unsafe road users from using public roads. It also recognized that these should be done in an integrated manner and under an overall action plan being implemented and managed by a multi sector coordinating Group with adequate human and financial resources to coordinate and manage such activity. The project was designed and implemented using exactly this approach.

### **4 Strengthening Monitoring and evaluation**

At commencement of the project road safety activities in each sector were benchmarked against the “desired” situation (i.e. if everything was being done perfectly) to see what percentage of progress had been made towards the desired situation in each country. This benchmarking was also used to compare each country against the average of the other countries in the region so that strengths and weakness of each individual country could be assessed. This exercise was repeated at the end of the project to assess what developmental “impact” that the project had in moving road safety forward. In addition, efforts were made to encourage traffic police to make non-confidential items within the crash database available to all stakeholders so that sector specific interventions could be devised and monitored more easily by stakeholders in each country to ensure effectiveness of safety investments. Efforts were also made to initiate establishment of a regional crash database so that countries can make comparisons against other countries in the region. Countries were introduced to and encouraged to use intermediate performance indicators (e.g. %age of vehicle occupants wearing seat belts) and institutional development indicators (as used in the benchmarking) to monitor development of institutional road safety capacity and to monitor the effects of interventions.

### **5 Integrating Project management arrangements**

The country specific action plans all included actions to establish improved management coordination and funding of road safety activity and all plans advocated the designation of a lead agency to coordinate and promote road safety activity. Where there was no effective management such as where there was a Road Safety Commission but no permanent technical staff to act as a secretariat (e.g. Azerbaijan), establishment of a Secretariat was included in the action plan. Where no coordinating mechanism existed, an interim multi

sector-working group was established to coordinate matters until government can establish suitable structures and mechanisms to do such activity.

## **6 Targeting road policing and communications support**

The importance of ensuring effective enforcement supported by relevant road user awareness /publicity campaigns was recognized. An effort was made to establish a regional traffic police-working group to enable traffic police across the region to share experience and to harmonize legislation, penalties and processes. This will facilitate consistency of traffic policing enforcement across the region and contribute to better management of road safety in TRACECA countries. In addition, the project has had discussions with development banks active in each country to encourage them to include safety components (including awareness raising campaigns in communities affected by infrastructure projects) into their lending programmes.

## **7 Engaging all tiers of government, NGOs and the private sector**

The 4-day Action planning workshops in each of the 9 countries involved around 40 -50 participants drawn from the key government, NGO and private sector stakeholders with responsibilities in or the ability to influence road safety (i.e. over 450 persons in total across the region). Sector experts from these different organisations worked in sector breakout groups to discuss and develop the specific actions and interventions for each sector in the Action plan. The project team acted as a facilitator / catalyst to enable such multi sector meetings to take place and the plans to be devised. All tiers of government, NGOs and Private sector collaborated to develop the action plans and are represented on the interim working groups that are refining the action plans until government establishes appropriate structures to manage, coordinate and finance road safety.

## **8 Ensuring access to performance data**

Police crash data is still considered confidential in many TRACECA countries and police normally only supply data tables to other stakeholders if a specific written request is made. The police crash databases are generally not available for further direct analyses by stakeholders. The project has reviewed current police crash data systems and made recommendations on improvement of content and analyses procedures and has looked at ways to enable better access to crash data for other stakeholders. Efforts were also made to initiate establishment of a regional crash database from the non confidential items of data collected in each country so that inter country comparisons can be made. Such improved access to crash data will permit improved performance monitoring of interventions.

## **9 Partnering with Global and Regional service networks**

The 9 countries have been introduced to the willingness of development banks to support road safety, to the UN Decade of safety and WHO / UNRSC publications / guidelines on safety issues as well as to the most important 7 EU Agreements and UN conventions that are related to road safety. (The countries were assisted to make progress in implementing such conventions in an effort to encourage consistency and harmonisation of international legislation across the region.) They have also been informed about the wide range of safety management structures and funding mechanisms that have been used at various times in various countries and the particular circumstances where they have been most successful. Examples of successful safety programmes in the most safety conscious countries Sweden, UK, Netherlands, Australia and Japan have been used to illustrate how other countries have successfully improved their road safety and the organisational structures and funding mechanisms they have used to do this. Of particular relevance has been the experience of the EU, which consistently, over several decades, has continued improving road safety by 40-50% each decade showing that even when all the easy, initial improvements have been done it is still possible to achieve further reductions in road deaths.

## **10 Stimulating South - South dialogue and Action**

A number of ex Soviet countries who are now EU members also managed to reduce their road deaths by 40-60 % during the last Decade but because they were inside the EU, they had been subject to a number of additional pressures, legislation and directives as EU members which pushed and encouraged their governments to take action on road safety. However, Serbia, another country with similar ex soviet structures, systems and practices **but NOT an EU member** also managed to make a 50% reduction in road deaths over the same Decade. They did this by adapting and **voluntarily implementing EU practices**. Serbia therefore offered a more suitable role model for TRACECA countries to emulate rather than one of the EU countries. Twenty-four very senior officials (deputy directors) from senior police, roads authority and Ministries of Transport from the 9 countries were taken to Serbia on a 1-week Study tour so they could meet with counterparts and see and discuss with implementers how the reforms had been achieved. Later the

same Serbian experts and who designed and oversaw implementation of the reforms in each sector in Serbia were taken to each country so that additional senior officials and decision makers could be made aware of the Serbian experience / success as motivation to them to also to implement such reforms. Thus in this case the experience of one developing country was directly used in motivating and encouraging the 9 TRACECA countries to do more.

### **11 Accelerating project implementation**

This project covered 9 countries and has been designed on the basis of delivering outcomes and developmental impacts that were defined and used in the benchmarking report at project commencement. The first phases of the project focussed on understanding both the general deficiencies across the region (which could be dealt with via regional initiatives) and country specific needs (that required country specific assistance). The first phases also developed technical capacity of key officials who need to be the key providers of the safer systems that have to be developed in each country. To motivate senior officials, it was necessary to demonstrate to them that improvement was possible and that smaller, poorer countries with ex-soviet systems and constraints the same as theirs had nevertheless achieved major improvements. The study tour to Serbia provided that spur and encouraged the officials to realise that they too could make similar improvements in their own countries by adopting and implementing the EU safe systems approach to road safety as being advocated and being implemented by the project team. This helped to accelerated the willingness and ambition of the key influential officials in each country to take action. To further accelerate and strengthen the development of road safety, the final phase of the project was focused on “institutionalising” road safety to try to set in motion the key activities and to create the right conditions and environment where road safety could grow and develop. This was done in part by using the same experts who made the major reforms in Serbia to provide advice and short cuts to the TRACECA countries seeking to implement similar reforms as were done in Serbia. The project delivered most of the of agreed outcomes by project end.

### **12 Adapting to Unique Country Circumstances**

The recommendations of the world report on traffic injury were the basis of the approach adopted in the TRACECA regional project. The need for effective management and coordination of road safety, the need for sustainable funding, the need for good crash data etc. are all fundamentals of any serious effort to improve road safety. There was a clear need in every country to improve the management coordination and funding of road safety but how this was to be done, of course, depended on the particular circumstances, existing structures and legislative framework in each country. The first 2 phases of the project focused on raising general awareness of the scale and urgency of the road safety problem, capacity building in some key sectors such as safety engineering and in understanding the sector specific needs in each country. The subsequent phases focussed on motivating key officials to action and providing country specific follow up “Institutionalising” activities most appropriate to the needs of each country for sustainability.

## **6 CONCLUDING REMARKS ON EFFECTIVENESS OF THE APPROACH ADOPTED**

EU as part of a wider evaluation did an external independent evaluation of the project and the results showed that out of the 30 or so EU funded projects covering all sectors undertaken over the last 10 years, this particular project was ranked amongst the very best project and received a maximum marks under every single category evaluated.

The effectiveness of the approach adopted of using a similar developing country which has achieved some success in road safety as a role model rather than the very best countries for road safety (i.e. UK, Sweden and Netherlands) proved to be far more useful to the developing countries involved. Countries were much more motivated and could see that they too could achieve such success. This experience has reinforced the decision by the authors and a number of international road safety advocates to establish an international Road Safety Centre<sup>5</sup> in Belgrade that will service the needs of low and medium income countries by sharing knowledge and experience from Serbia and other the developing countries who have made progress in reducing their deaths and injuries.

The development of road safety in Serbia has also led to the growth of a number of organisations who are now active on road safety related activities and who can contribute to presentation of Serbia as potential location for study tours to see how road safety can be improved. Organisations like Belgrade University,

---

<sup>5</sup> see [www.Irscroadsafety.org](http://www.Irscroadsafety.org)



Police academy, the Road Safety Agency, NAVAK Driving centre, Automobile Association etc. can all add to the attractiveness of Serbia as a potential location for study tours to learn about road safety issues



**Figure 2.** *International Road safety Centre (IRSC)*

A not for profit organisation

Sharing knowledge and experience with Low and medium income countries (LMICs)

As figure 2 shows the proposed IRSC which currently in process of being established will address all 5 pillars of the UN Decade of action and will offer courses and training in the key aspects in each of these pillars. Course lecturers will include internationally known experts, Serbian experts and experts from other developing countries who have demonstrated success in delivering effective road safety programmes. The centre will be operational from May 2016

**Further information from**

Alan Ross, IRSC President,  
alanross999@gmail.com or a.ross@irsc.org  
www.irscroadsafety.org  
Tel +380 50 30 309 233 or + 44 7801 428 082

# METODE I TEHNIČKE MERE ZA POVEĆANJE SIGURNOSTI U SAOBRAĆAJU

MSc Riste RISTOV<sup>1</sup>

PhD Slobodan OGNJENović<sup>2</sup>

BSc Ivana NEDEVSKA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Prostor DOO Kumanovo, Macedonia, e-mail: [risteristov333@yahoo.com](mailto:risteristov333@yahoo.com),

<sup>2</sup> University "Ss. Cyril and Methodius", Faculty of Civil Engineering – Skopje, Macedonia, e-mail: [ognjenovic@gf.ukim.edu.mk](mailto:ognjenovic@gf.ukim.edu.mk)

<sup>3</sup> GEING Krebs und Kiefer – Skopje, Macedonia, e-mail: [ivana\\_nedevska@live.com](mailto:ivana_nedevska@live.com)

**Rezime:** *Povećani saobraćaj i sve veći broj saobraćajnih nesreća na navode ka novim razmišljanjima ka povećanju sigurnosti na putevima.*

*Uglavnom, sigurnost na putevima bi zavisila od nivoa opremljenosti sa građevinskog i saobraćajnog aspekta. Kao dodatni razlozi za nesigurne saobraćajnice mogle bi da se navedu i zastarele metode i standardi opremanja i neprimena iskustava iz zapadnih zemalja. Svakako, veliki uticaj na trenutno pa i na buduće stanje imala bi izrada strategije opremanja puteva zasnovane na domaćim i stranim metodama i iskustvima. U tom slučaju, dosledna primena strategije bi bila ključna, odnosno da li bi se primenjivao maksimalni nivo opremljenosti ili bi bilo određenih odstupanja u zavisnosti od fizičkih ili finansijskih ograničenja.*

*U ovom radu biće navedeni glavni razlozi za nesigurne puteve i biće priložene neke metode i tehničke mere za poboljšanje stanja čime bi se direktno doprinelo povećanju sigurnosti na putevima.*

**Ključne reči:** *Saobraćaj, saobraćajne nesreće, opremljenost, sigurnost.*

## 1. UVOD

U Makedoniji, prema statistici o saobraćajnim nezgodama, u toku godine 150 do 200 lica su žrtve nesreća na putevima sa fatalnim ishodom, a 1500 do 2000 lica su žrtve sa teškim telesnim povredama. Prema statistici, uzrok nesreća u oko 90% slučajeva je subjektivni faktor, a oko 10% su ostali faktori (stanje na putu, saobraćajno opterećenje i dr.) Iz ovoga proizlazi da, ukoliko postoji mogućnost, unapređenje bezbednosti u saobraćaju može se postići samo poboljšanjem karakteristika puta sa građevinskog i saobraćajnog aspekta.

Smatra se da je jedan put idealno realizovan ako učesnicima u saobraćaju omogući sigurnost i udobnost za projektovanu brzinu.

## 2. STANJE NA PUTEVIMA U MAKEDONIJI

Trenutna opremljenost na putevima u velikom broju slučajeva je nasleđena iz prethodnih JUS (sada MKS) standarda koji vremenom nisu nadograđeni u zavisnosti od iskustava iz saobraćajnih nesreća pa i iz iskustava zapadnih zemalja.

Ponekad se nesigurni putevi rade još u fazi planiranja izgradnje novog puta, pa se greške provlače u ostalim fazama projektovanja do same realizacije projekta odnosno do faze izvođenja radova. Krajnji rezultat se najčešće vidi u početku eksploatacije.

U nekim slučajevima, nekorektna rešenja u vezi bezbednosti su greške samog Investitora. Uglavnom se radi o nekorektnim finansijskim konstrukcijama za izgradnju, a koje se zasnivaju jedino na proceni o potrebnim finansijskim sredstvima na bazi sličnih projekata približno istog karaktera. U tim slučajevima se, kao po pravilu, "štedi" na saobraćajnoj signalizaciji i opremi za povećanje bezbednosti na putu. Često, finansijska ograničenja diktiraju promene u izvođenju kapitalnih objekata za put, na primer primena površinskih raskrsnica na brzim putevima (da bi izbeglo građenje denivelisane raskrsnice), primena vrednosti horizontalnih i vertikalnih elemenata puta ispod minimalnih vrednosti za datu brzinu (da bi se izbeglo građenje većeg objekta ili da bi se izbeglegla veća eksproprijacija zemljišta) i sl. Ovaj pristup vodi do smanjenja sadržaja i u saobraćajnom delu. U najvećem broju slučajeva radi se o sadržajima koji su u najbližoj vezi sa učesnicima u saobraćaju (zaštitna i žičana ograda), a koji su najskluplji deo projektne dokumentacije za saobraćajnu signalizaciju i opremu. Na narednim slikama prikazane su neke karakteristične lokacije na autoputevima i na ekspresnim putevima kod kojih je vertikalna signalizacija direktno izložena udaru vozila.



**Slika 1.** Nezaštićena saobraćajna signalizacija na autoputu A1, deonica Kumanovo-Skoplje  
Izvor: Google Maps/Street view

U velikom broju slučajeva nezaštićeni su i stubovi na objektima kao i ulazni tunelski portali. Pored njihove direktne izloženosti, dodatnom ogradom nezaštićen je i obod objekta. Ta ograda bi prihvatila izletanja tvrdih predmeta sa kolovozne površine na objektu na vozne trake autoputa.



**Slika 2.** Nezaštićeni građevinski objekti na autoputu A1, deonica Kumanovo-Veles  
Izvor: Google Maps/Street view

Kritična mesta na autoputevima su i loši spojevi ograde na objektima sa zaštitnom ogradom na putu. U velikom broju slučajeva, zaštitna ograda značajno odstupa od pravca ograde na objektu što je opasno u slučaju udara vozila.



**Slika 3.** Neodgovarajući spoj elastične ograde sa ogradom na objektu na autoputu A1, deonica Veles-Negotino  
Izvor: Google Maps/Street view

Veći broj puteva je nezaštićen ogradom na mestima gde su brzina veće od 100 km/h. Najčešće je to slučaj na autoputevima bez zaustavne trake, a na kojima postoje proširenja za zaustavljanje i odmarališta. Često su ta odmarališta na ivici provalije bez ikakve zaštite. Praksa je da na se na ovim mestima zaštitna ograda ne postavlja po obodu odmarališta. U tom slučaju površina namenjena za odmor predstavlja jednu vrstu otkočnog praga za vozila koja bi izletela sa puta na desnu stranu i završila bi u ambis.



**Slika 4.** Neodgovarajuća postavljena zaštitna ograda na autoputu A1, deonica Skoplje - Veles  
Izvor: Google Maps/Street view

Pored izostavljanja zaštitne ograde, na putevima sa brzinama većim od 100 km/h često ne postoji žičana ograda koja bi sprečila pristup ljudi, domaćih i divljih životinja na kolovoznu površinu na neobeležanim mestima.



**Slika 5.** Izostavljena zaštitna i ograda od žice na putevima sa dozvoljenom brzinom većom od 100 km/h na magistralnom putu A4, deonica Prilep - Bitolj  
Izvor: Google Maps/Street view

### 3. MERE ZA POBOLJŠANJE BEZBEDNOSTI U SAOBRAĆAJU

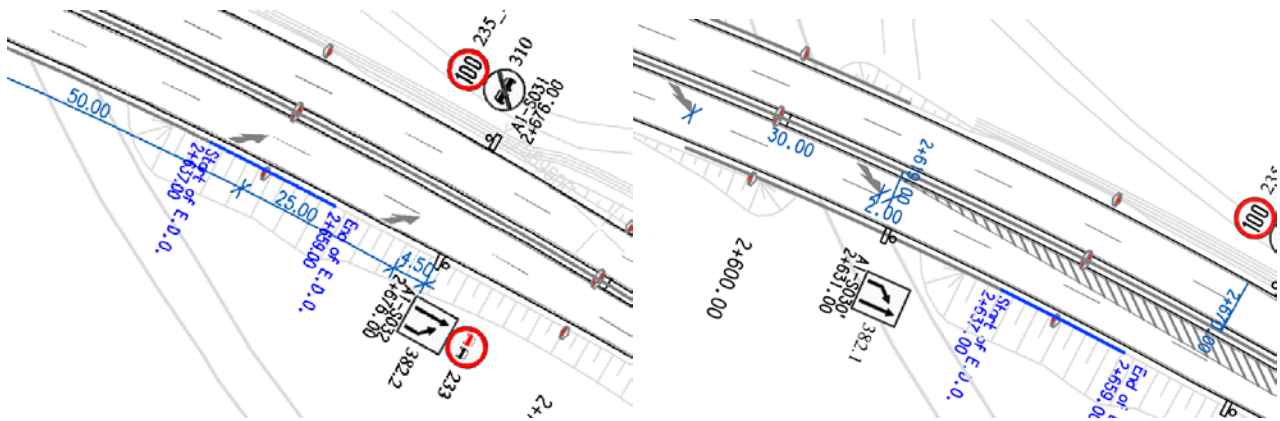
Postojeće mere za poboljšanje bezbednosti u saobraćaju rade se na većem institucionalnom nivou u Makedoniji (RBSP – Republički savet za bezbednost u saobraćaju i u Ministarstvu za transport i veze), a preporuke koje proizilaze su globalnog karaktera i odnose se samo na statistički najbrojnije uzroke. Sa druge strane, Zakon o bezbednosti u saobraćaju je individualnog karaktera i tretira samo saobraćajne principe upravljanja vozilom. Saobraćajni projekat je najčešće posvećen usmeravanju saobraćaja i davanjem jasne slike trenutne situacije na putu, pokriva ili treba da pokrije građevinske nedostatke puta i nudi pregled eventualnih opasnosti.

Krajnja provera saobraćajnih anomalija koje bi dovele do eventualnih saobraćajnih nezgoda i žrtava radi se u Reviziji bezbednosti saobraćaja (Road Safety Audit). U ovoj reviziji utvrđuju se sve tehničke greške kao mogući razlozi saobraćajnih nezgoda. Ovaj tip dokumentacije ne podleži trenutnoj zakonskoj regulativi u Makedoniji o pripremi bilo kakvog tipa projektne dokumentacije.

Revizija bezbednosti saobraćaja radi se prema individualnim zapažanjima na licu mesta ili u projektnoj dokumentaciji i pri tome se mapiraju lokacije koje bi predstavljale potencijalnu opasnost za vozače. Takođe, u dokumentaciji se daju i preporuke za rešavanje utvrđenih opasnih mesta.

### 3.1. Начин на прекинување на коловозна лента

Završetak saobraćajne trake koja je prethodno služila protočnom saobraćaju najčešće se radi sa desne na levu stranu kolovoza. Pri tome smanjuje se mogućnost da se spora vozila bezbedno uključe u saobraćajnu traku koja je prethodno služila za kretanje brzih vozila. Završetak brze trake, odnosno suženje kolovoza sa leve na desnu stranu omogućilo bi značajno smanjenje brzine vozila u saobraćajnoj traci za preticanje čime bi se obezbedio bezbedniji prelaz svih vozila u voznu traku [2,3].



**Slika 6.** Završetak saobraćajne trake

Izvor: Osnovni Projekat ekspresnog puta Gradsko-Prilep, deonica Raec-Drenovo (Основен сообраќаен проект „Раец-Дреново“)

### 3.2. Završni elementi elastične ograde

Krajnji terminali elastične zaštitne ograde u našim uslovima izvode se prema standardu MKS UC4.110 (ranije JUS). Prema tom standardu elastična ograda završava se kosim ukopavanjem u bankinu. Prema stranim standardima i iskustvima, ovakav način završetka je nepraktičan jer ostavlja mogućnost da dođe do prevrtanja vozila pri prelazu preko njea. [3,4,5].



**Slika 7.** Završni terminali elastične zaštitne ograde

Izvor: [www.tatasteelconstruction.com](http://www.tatasteelconstruction.com)

### 3.3. Raydvajanje kolovoza

Na mestima na kojima se kolovozi razdvajaju pri velikim brzinama, nezavisno od toga da li se razdvaja jednosmerni ili dvosmerni saobraćaj, čelno ostaje fiksna prepreka. U tom slučaju se javlja potreba terminala za smirivanje udarne sile, postavljaju se tzv. udarni jastuci (crash cushions) [3].



**Slika 7.** Razdvajanje kolovoza (slika levo: denivelisana raskrsnica Hipodrom; slika desno: udarni jastuk)  
Izvor: Google Maps/Street view, [www.safetybarriersolutions.com.au](http://www.safetybarriersolutions.com.au)

### 3.4. Primena pasivne noseće konstrukcije na vertikalnoj signalizaciji

U novije vreme u razvijenim zemljama, sve češća je primena fleksibilne ili lomljive noseće konstrukcije. Ovakav tip konstrukcije primenjuje se na mestima na kojima se očekuju velike brzine, odnosno na mestima gde se očekuju katastrofalne posledice u slučaju saobraćajne nezgode. Trenutno su aktuelna dva tipa nosećih konstrukcija [6,7]:

- Fleksibilnam ceo saobraćajni znak se savija u odnosu na jednu tačku (zglob)
- Lomljiva, noseća konstrukcija se lomi u podužne trake



**Slika 7.** Tipovi nosećih konstrukcija vertikalne signalizacije  
Izvor: [www.sapagroup.com](http://www.sapagroup.com)

### 3.4. Trake za upozoravanje zabranjenog kretanja

Primena ovih traka je na jednosmernim rampama na denivelisanim raskrsnicama. Služe da upoznaju vozača o zabranjenom pravcu kretanja. Trake su sa nižim pragom u pravcu dozvoljenog kretanja i izaziva blage potrese u pravcu kretanja i grupe vibracija u obrnutom smeru [8].



**Slika 8.** Trake za upozorenje zabranjenog pravca kretanja  
Izvor: [www.evonik.com](http://www.evonik.com)

#### 4. Zaključak

Primena metoda i tehničkih mera za poboljšanje bezbednosti u saobraćaju treba da bude tačno utvrđena i opravdana. Uglavnom, primenjene mere treba da zavise od situacije i od potreba, a ne da se svedu na šabloniziranje. Ovakve mere treba da obezbede put koji će biti siguran u svim uslovima i u svim situacijama pri najtežim saobraćajnim udesima. Praktično ove mere treba da obezbede sigurnost čak i u uslovima u kojima vozač namerno želi da izazove saobraćajnu nesreću, namernim udarom u znak, stub objekta, ulazni portal tunela ili namernim sletanjem sa puta.

Ovakav pristup se sve više primenjuje u novije vreme još u fazi projektovanja i svi nedostaci se koriguju pre realizacije projekta. Poželjno je da se isti pristup primeni i na postojećim putevima čime bi se značajno povećala bezbednost na celoj putnoj mreži.

#### Literatura

- **STATISTICAL REVIEW - TRANSPORT AND OTHER SERVICES:**  
[1] Republic of Macedonia State Statistical Office (2015). 83-89 p.
- **A1 BASIC TRAFIC DESIGN – RAEC RIVER BRIDGE TO DRENOVO INTERCHANGE:**  
[2] Ristov R. 2014. PROSTOR DOO Kumanovo. 4-8 p.
- **A1 DESIGN STAGE RSA – RAEC RIVER BRIDGE TO DRENOVO INTERCHANGE:**  
[3] Jakeman T.; Gleeson P. 2014. iMC Worldwide. 9-20 p.
- **МКС У.С4.110:1984:**  
[4] Техничка опрема на јавни патишта. Заштитна челична ограда. Технички услови за поставување. 453-462 p.
- **ROAD SAFETY BARRIERS - DESIGN GUIDE:**  
[5] Austroads (2004). 9-25 p.
- **TRAFFIC SIGNS MANUAL, CHAPTER 1 - INTRODUCTION:**  
[6] The Department for Transport 2004. UK. 11-16 p.
- **THE USE OF PASSIVELY SAFE SIGNPOSTS AND LIGHTING COLUMNS:**  
[7] Williams G.L.; Kennedy J.V.; Carroll J.A.; Beesley R. 2008. Transport Research Laboratory. 9-15 p.
- **WWW.EVONIK.COM:**  
[8] Roth, T. (2015). Rumble strips to prevent wrong-way driving.  
(on-line) available at:  
[http://corporate.evonik.com/en/media/press\\_releases/pages/news-details.aspx?newsid=52838](http://corporate.evonik.com/en/media/press_releases/pages/news-details.aspx?newsid=52838)  
(26.06.2015)

# EFIKASNO POZICIONIRANJE USPORIVAČA SAOBRAĆAJA NA ZADATOJ DEONICI PUTA

Dalibor PEŠIĆ<sup>1</sup>; Miroslav ROSIĆ<sup>2</sup>; Andrijana PEŠIĆ<sup>3</sup>, Tijana IVANIŠEVIĆ<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Saobraćajni fakultet, [d.pesic@sf.bg.ac.rs](mailto:d.pesic@sf.bg.ac.rs)

<sup>2</sup> Agencija za bezbednost saobraćaja, [miroslav.rosic@abs.gov.rs](mailto:miroslav.rosic@abs.gov.rs)

<sup>3</sup> Agencija za bezbednost saobraćaja, [andrijana.pesic@abs.gov.rs](mailto:andrijana.pesic@abs.gov.rs)

<sup>4</sup> TRAFFIC SAFETY GROUP D.O.O, [tijana.ivanisevic@mail.com](mailto:tijana.ivanisevic@mail.com)

**Rezime:** Jedan od načina preventivnog delovanja u cilju unapređenja bezbednosti saobraćaja je „upravljanje brzinama“. Značaj upravljanja brzinama se odgleda kroz činjenicu da brzina utiče i na aktivnu (nastanak saobraćajne nezgode) i na pasivnu bezbednost saobraćaja (težina posledica). Jedan od načina za upravljanje brzinama je postavljanje fizičkih prepreka, odnosno primena usporivača saobraćaja – „ležećih policajaca“, platformi i drugih prepreka. U cilju postizanja pozitivnih efekata postavljanjem usporivača saobraćaja potrebno je pored kvalitetnog odabira različitih parametara samih prepreka (visina, tip, širina i sl.), pravilno rasporediti usporivače po dužini određene deonice, kako bi brzine bile najmanje. Nepoznavanjem promene brzine kretanja u zavisnosti od blizine usporivaču saobraćaja, moguće je da efekat usporivača neće biti u potpunosti iskorišćen, a sve kao posledica njihove neadekvatne pozicije - međusobne udaljenosti. Kvalitetan algoritam za pozicioniranje usporivača saobraćaja treba da za zadatu dužinu deonice i željeno ograničenje brzine definiše neophodan broj usporivača i njihov međusobni raspored kako bi brzine na celokupnoj deonici bile manje od zadanog ograničenja. U radu je dat literarni prikaz efekata usporivača saobraćaja na smanjenje brzine, sistematizovane su preporuke za pozicioniranje usporivača.

**Ključne reči:** upravljanje brzinama, efekat usporivača saobraćaja, usporivači saobraćaja.

## 1. UVOD

Jedan od načina za preventivno delovanje u cilju unapređenja bezbednosti saobraćaja pešaka je „upravljanje brzinama“. Upravljanje brzinama podrazumeva definisanje i uspostavljanje zaštitnog sistema za učesnike u saobraćaju, odnosno za pešake.

Za pešake, upravljanje brzinama, podrazumeva da se brzine vozila smanje na mestima povećane koncentracije pešaka (vrtići, škole, tržni centri, pijace,...), tako da u slučaju stvaranja opasnih situacija i eventualnog nastanka saobraćajnih nezgoda posledice saobraćajnih nezgoda budu manje.

Vertikalne izbočine, usporivači saobraćaja ili popularno „ležeći policajci“ su danas popularna mera za usporavanje saobraćaja, koja se primenjuje na putevima u Republici Srbiji. Začeci vertikalnih izbočina kao mere za upravljanje brzinama se vezuju za 70-te godine prošlog veka i za Holandiju. Međutim, danas je to široko rasprostranjena i najčešće korišćena mera za upravljanje brzinama. Imajući u vidu da vertikalne izbočine, imaju već višegodišnju istoriju postojanja, one su često bile i predmet različitih naučnih i stručnih radova, različitih priručnika i sl. Uređene lokalne zajednice i države odavno imaju jasan set kriterijuma/pravila za postavljanje vertikalnih izbočina i detaljno razvijene procedure za njihovu implementaciju. Iako su vertikalne izbočine i danas aktuelna tema, stiže se utisak da je vrhunac u pogledu razvoja određenih pravila koja se tiču vertikalnih izbočina dostignut krajem prošlog veka i početkom 21. veka.

Na drugoj strani, stiže se utisak da u domaćoj praksi, pravila po kojima se vrši postavljanje vertikalnih usporivača nisu dovoljno jasna, a da se preporuke često ili apsolutno ne poznaju, ili apsolutno zanemaruju. Često se mera koja podrazumeva postavljanje vertikalnih izbočina posmatra kao jednostavna i „mala“ mera, pa se bez „dubljeg udublivanja“ u problem, vertikalne izbočine kao rešenje olako primenjuju. Ključni problemi koji prate postavljanje vertikalne izbočine su praktično apsolutni izostanak bilo kakve prethodne analize, kao i izostajanje bilo kakve evaluacije nakon postavljanja vertikalnih izbočina. Činjenica, je da se većina donosioca odluka isključivo oslanja na određeno iskustvo, ali i da se izostajanje evaluacije primenjene mere i



donošenje odluka bez prethodne analize može primetiti i kod drugih mera u bezbednosti saobraćaja. Koliko je taj koncept suštinski pogrešan ukazuju mnogobrojne studije i preporuke, čiji su izvori uglavnom izvan Republike Srbije. Vertikalne izbočine ostvaruju mnogo širi efekat osim eventualnog delovanja na smanjenje brzina, i potrebno ih je sve sagledati prilikom donošenja odluke. Između ostalog, od fizičkih karakteristika vertikalnih izbočina, međusobnog razmaka, geometrije, ali i uslova saobraćaja kao što su protok saobraćaja, može zavistiti efikasnost određene vertikalne izbočine, ali i njena svrsishodnost. Stoga je prilikom postavljanja vertikalnih izbočina, kao i kod bilo koje druge mere, neophodno izvršiti određenu analizu, kao i odgovarajuću evaluaciju.

U radu je ukazano na zakonske osnove za postavljanje vertikalnih izbočina u Republici Srbiji, ali je izvršen i odgovarajući pregled domaće i strane literature koja tretira kriterijume za postavljanje vertikalnih izbočina na kolovozu. Cilj rada je da se istakne kompleksnost teme oko vertikalnih izbočina, da se izvrši sistematizacija većina značajnih aspekata bitnih prilikom donošenja odluke o postavljanju vertikalnih izbočina, kako bi se delovalo na unapređenje celokupnog upravljačkog postupka koji prati postavljanje određenih vertikalnih izbočina. Na kraju rada su prikazani primeri karakterističnih vertikalnih izbočina na teritoriji Beograda.

## 2. NORMATIVNI OKVIR U REPUBLICI SRBIJI

Vertikalne izbočine („ležeći policajci“) su često korišćena mera za kontrolu brzine u saobraćaju, a prevashodno sa ciljem obezbeđenja bezbednosti pešaka i drugih ranjivih učesnika u saobraćaju.

U okviru poglavlja 9. Zakona o bezbednosti saobraćaja na putevima (u daljem tekstu Zakon), je u članu 165. navedena zakonska regulativa koja se tiče Tehničkih sredstava za usporavanje saobraćaja, i to:

- Šta su tehnička sredstava za usporavanje saobraćaja? To su fizičke prepreke, vibracione i šušteće trake.
- Čemu služe sredstva za usporavanje saobraćaja? Ona fizički ograničavaju brzinu kretanja vozila, odnosno dodatno upozoravaju da brzina kojoj se vozila kreću nije bezbedna.
- Kako se obeležavaju sredstva za usporavanje saobraćaja? Propisanom saobraćajnom signalizacijom.
- Gde je dozvoljeno postavljati sredstva za usporavanje saobraćaja? Samo na opštinskim putevima u naselju, a izuzetno i na državnom putu u zonama škola, vrtića ili drugih objekata, pored kojih je, radi bezbednosti svih učesnika u saobraćaju dodatno ograničena dozvoljena brzina u naselju.
- Ko odobrava postavljanje tehničkih sredstava za usporavanje saobraćaja? Tehnička sredstva za usporavanje saobraćaja se postavljaju prema projektu na koji saglasnost daje ministarstvo nadležno za poslove saobraćaja, odnosno organ lokalne samouprave nadležan za poslove saobraćaja.

Na osnovu Zakona o bezbednosti saobraćaja na putevima, ministar nadležan za poslove saobraćaja je doneo Pravilnik o tehničkim sredstvima za usporavanje saobraćaja na putevima (u daljem tekstu Pravilnik), koji je stupio na snagu 7.2.2014. godine, što je skoro 3 godine nakog donošenja osnovnog Zakona kojim je predviđeno donošenje Pravilnika. U Pravilniku je definisano šta se podrazumeva pod tehničkim sredstvima za usporavanje saobraćaja (Član 3): fizičke prepreke – veštačka izbočina, plato, suženje kolovoza, horizontalno skretanje kolovoza, šušteća traka i vibraciona traka. Pravilnikom je razrađen termin fizičkih prepreka koje se mogu koristiti kao tehnička sredstva za usporavanje saobraćaja. Popularno nazvani „ležeći policajci“ su označeni terminom veštačka izbočina. U članu 4 Pravilnika je konkretnije definisano koje uslove mora da ispunjava veštačka izbočina:

- Veštačka izbočina se postavlja pod pravim uglom u odnosu na osu kolovoza.
- Dimenzije veštačkih izbočina su:
  - Visina ne sme prelaziti 3 cm, a širina ne sme biti manja od 60 cm, za brzine od 50 km/h;
  - Visina ne sme prelaziti 5 cm, a širina ne sme biti manja od 90 cm, za brzine do 40 km/h;
  - Visina ne sme prelaziti 7 cm, a širina ne sme biti manja od 120 cm, za brzine do 30 km/h.
- Veštačke izbočine do 50 i 40 km/h se izvode od gumenih i plastičnih modularnih elemenata, dok se izbočine iz stava 2 i 3 mogu izvoditi i od asfaltne ili betonske mase.
- Veštačka izbočina može biti označena po celoj površini.

Pravilnikom nisu propisani drugi detalji koji se tiču postavljanja usporivača saobraćaja.

Pravilnikom o saobraćajnoj signalizaciji (u daljem tekstu Pravilnik o SS) od 10.12.2014. godine je propisan znak iz grupe saobraćajnih znakova obaveštenja, označen šifrom III-4, sa značenjem „prepreka za usporavanje saobraćaja“. Znak III-4 prikazan je na Slici br. 1 i označava nailazak na mesto na putu gde su postavljeni elementi za usporavanje saobraćaja. Pravilnikom o saobraćajnoj signalizaciji je takođe bliže određeno (Član 91) sa se saobraćajni znak III-4 postavlja neposredno ispred mesta ili deonice puta gde su postavljeni elementi za usporavanje saobraćaja.



III-4

**Slika 1.** Znak „prepreka za usporavanje saobraćaja“



I-10

**Slika 2.** Znak „neravan kolovoz“

Nije retkost da se u domaćoj praksi u blizini usporivača saobraćaja nalaze i znakovi za ograničenje brzine kretanja vozila. Umesto saobraćajnog znaka „prepreka za usporavanje saobraćaja“ u praksi se neposredno ispred usporivača saobraćaja nalazi i znak iz grupe znakova upozorenja – znak sa šifrom I-10 „neravan kolovoz“ (Slika br. 2) koji označava blizinu dela puta na kome je kolovoz neravan zbog postojanja opasne izbočine na kolovozu.

### 3. PRIRUČNIK ZA PROJEKTOVANJE PUTEVA

Posebno poglavlje u Priručniku za projektovanje puteva (u daljem tekstu Priručnik) koje je objavilo JP „Putevi Srbije“ je i poglavlje 6 koje se odnosi na saobraćajnu signalizaciju, odnosno podpoglavljje 6.4 koje se odnosi na sredstva i mere za usporavanje saobraćaja. Stavke definisane u Priručniku predstavljaju samo smernice i mere, koje su u većem delu samo preporuka projektantima, a ne i zakonska obaveza. Veštačke izbočine su u Priručniku označene kao „oštrije mere za usporavanje saobraćaja“ i postavljaju se tamo gde vozača treba fizički prinuditi da smanje brzinu, pri čemu im učinak zavisi od oblika kosih rampi, kao i od međusobnog razmaka između sredstava. U Priručniku su veštačke izbočine podeljene na više različitih podvrsta:

- Veštačka izbočina trapezoidnog oblika (za brzine od 30 do 80 km/h)
- Veštačka izbočina sinusoidnog oblika (za brzine od 30 do 50 km/h)
- Montažni prinudni usporivač (trapezni ili polukružni oblik) (za brzine od 50 do 80 km/h).

U Priručniku se za svaki pojedinačni tip veštačkih izbočina definišu područje primene, izvođenje, dimenzionisanje, prednosti, mane i mogućnosti kombinovanja. Poseban značaj Priručnika se ogleda u činjenici da su objašnjene mogućnosti upotrebe više uzastopnih veštačkih izbočina. Tako je, na primer, za obezbeđivanje željene brzine od 30 km/h uz pomoć prinudnog montažnog usporivača potrebno postaviti dva uzastopna usporivača na razdaljini od 50-75 m. Praktično postavljanje na manjoj razdaljini od preporučenih neće imati zahtevni efekat – efekti dva usporivača se nepotrebno preklapaju. Na drugoj strani, ako se dva uzastopna usporivača postave na većoj razdaljini od preporučene postoji opasnost da neće biti postignuta željena brzina na celoj deonici. Za sve specifične vrste veštačkih izbočina je navedeno u preporukama da bi trebali biti udaljeni od raskrsnice najmanje 8 m, a područje primene je samo za saobraćajnice u naselju.

U Priručniku su detaljno date preporuke za postavljanje određenih tehničkih sredstava za usporavanje saobraćaja, i to u odnosu na funkcionalnu klasifikaciju puteva, sa posebnim uređenjem u naselju (zone škola, zona 30 i zona usporenog saobraćaja), kao i u odnosu na dozvoljenu brzinu kretanja. Pored toga,

definisani su i dodatni kriterijumi koje donosilac odluke treba da uzme u obzir, kao što su širina kolovoza sa ivičnim trakama, položaj puta u prostoru, struktura vozila, štetni uticaji, opterećenje bukom, kašnjenje pri vožnji interventnih vozila, održavanje puteva (zimski uslovi), urbanistički uslovi itd.

Priručnikom je preporučena apsolutna primena svih navedenih vrsti veštačkih izbočina u zoni škole i zoni 30. Međutim, u odnosu na klasifikaciju puta, veštačke izbočine se mogu bez razmatranja dodatnih uslova primenjivati na pristupnim putevima (lokalnim i područnim) i to u naselju za sve tri navedene vrste, a na prelazu u naselje svi osim montažnih prinudnih usporivača. Na daljinskim putevima nije preporučeno postavljanje usporivača, ali na sabirnim i veznim jeste, uz obavezno razmatranje dopunskih uslova (osim veštačke izbočine sinusoidnog oblika). Prema preporukama, veštačke izbočine se ne postavljaju van naselja, bez obzira na funkcionalnu klasifikaciju puta.

Kao mane, gotovo, svih navedenih vrsta veštačkih izbočina navode se:

- Povećanje buke i emisija.
- Prouzrokovanje raspodele saobraćajnih tokova.
- Neudobnost vožnje za biciklisti i
- nepovoljnost za teretna vozila i autobuse.

Priručnik ne predstavlja posebno detaljno uputstvo za izradu vertikalnih izbočina, ali sadrži skup veoma sistematizovanih i kratkih informacija kako bi ih donosilac odluke što bolje i jednostavnije sagledao. Primera radi, za prinudni montažni usporivač polukružnog oblika, koji se u domaćoj praksi često sreće, je definisano da se primenjuje samo na saobraćajnicama u naselju gde je protok manji od 600 PAJ/vršnom času, na ravnim deonicama, ne na mestima gde prolazi linija javnog putničkog saobraćaja ili gde je veći teretni saobraćaj. Međutim, u Priručniku je navedeno da se za isti model vertikalne izbočine, po pravilu, ne označavaju (vertikalnom saobraćajnom signalizacijom), i ne koristi se na mestima pešačkih prelaza, i na udaljenosti manjoj od 8 m ispred raskrsnice. Ne ulazeći u smisao svakih od stavki, Priručnik zasigurno predstavlja dobru osnovu i približan okvir koji treba poštovati. Pored svega, Priručnik sigurno predstavlja dobar primer svih onih aspekata koje treba uzeti u obzir prilikom postavljanja vertikalne izbočine. Na primer, za montažni prinudni usporivač polukružnog oblika su u Priručniku definisane i dimenzije za potrebe obezbeđivanja tri opsega brzina (za brzine od 50 km/h, do 40 km/h i 30 km/h). U slučaju da je željeno da prinudni usporivač utiče da brzine budu manje od 30 km/h, onda visina treba da bude 7cm, a odnos dužine od početka usporivača do središnje ose i visine u odnosu 8:1.

Analiza normativnog okvira u pogledu tehničkih uređaja za usporavanje saobraćaja je nedovoljno uređena i ostavlja veliki prostor na strani projekatana. Pre svega, pored definisanja dimenzija veštačkih izbočina, neophodni su jasniji kriterijumi pod kojim uslovima se oni mogu postavljati. Nesavesno postavljanje fizičkih izbočina može imati višestruke negativne efekte.

. Oblast usporivača saobraćaja nije apsolutno neuređena u Republici Srbiji. Postoji odgovarajuća osnova koja predstavlja okvir za postavljanje usporivača. Međutim, u domaćoj praksi se prepoznaje sklonost da se određene mere „prepisuju“ i usvajaju bez prethodnog udublivanja u način na koji oni deluju. Nijedna mera, nema univerzalno dobar ili negativan efekat, a na različitim lokacijama različite mere mogu dati različite efekte. Potrebno je primeniti onu meru koja će u najvećoj meri uticati na rešavanje problema na konkretnoj lokaciji ili deonici.

### 3. LITERARNI PREGLED

Cortell i dr. (2006) su zaključiti da je na 78% lokacija primećeno smanjenje brzine, pri čemu je broj saobraćajnih nezgoda sa povređenim licima smanjen sa 5 na 1. Elvik i dr. (2004) su takođe došli do zaključka da su mere za usporavanje saobraćaja efikasne. Dixton i dr. (1997) ukazuju da vertikalne izbočine teraju vozače da uspore, zbog čega su pešaci bezbedniji. Danas kada su različite vertikalne izbočine svakodnevnica u vožnji svakog vozača, moguće je dobiti brzu i kvalitetnu evaluaciju iz ugla njihovo ponašanja. Zaključci bi verovatno bili da se isti vozač ne ponaša na svakoj vertikalnoj izbočini isto – na nekoj

će usporiti više, na nekoj manje, kao i da ima vozača koji će preko iste vertikalne izbočine preći različitim brzinama. Uticaj vertikalnih izbočina na brzinu kretanja je donekle i intuitivan i očigledan. Naime, neusporavanjem pred takvom preprekom vozači rizikuju da nanesu oštećenja na sklopovima na vozilu i samom vozilu. Salau i dr. (2004) ukazuju da različite vertikalne izbočine imaju ključnu ulogu u delovanju na smanjenje brzine, smanjivanjem procenta prekoračenja brzine od strane vozila, a što značajno doprinosi sveukupnom cilju povećanja bezbednosti saobraćaja. Međutim, Salau i dr. (2004) ističu da pored važnosti vertikalnih izbočina, često ne postoje jasna uputstva za njihovu implementaciju i svoj rad baziraju na tri, po njima, ključna parametra vertikalnih izbočina koja utiču na brzinu vozila: visina, širina i međusobna udaljenost.

Antić i dr. (2013) ističu da je jedna od često primenjivanih mera implementirana sa ciljem smanjenja brzine vertikalno izdizanje kolovoza – veštačke izbočine. Antić i dr. (2013) su merili efekat „ležećih policajaca“ sa tri različite visine (3, 5 i 7 cm) za smanjenje brzine i zaključili da bi se „ležeći policajci“ sa 5 i 7 cm trebali postavljati na lokacijama na kojima je bezbednost u većoj meri ugrožena. Antić i dr. (2013) ističu da iako je napravljena zakonska osnova za postavljanje tehničkih sredstava za usporavanje saobraćaja, donosioci odluka često imaju problem prilikom donošenja odluke u pogledu visine određene vertikalne izbočine. Drugim rečima, vertikalne izbočine veće visine imaju veći efekat na smanjenje brzine.

Stiče se utisak da tema usporivača saobraćaja zauzima značajno mesto u literaturi krajem prošlog veka i početkom 21. veka. U tom periodu, većina lokalnih zajednica i država usaglašava kriterijume za postavljanje vertikalnih prepreka. Odeljenje za transport na Univerzitetu u Ajovi (Hallmark i dr., 2002) ističe da jedan od najvažnijih faktora koji može imati uticaj na efikasnost vertikalnih izbočina, razmak između tačaka u „kojima se vrši usporavanje“. Drugim rečima, ako su vertikalne izbočine postavljene previše daleko, brzine možda neće biti efikasno smanjene i resursi su bespotrebno potrošeni. Hallmark i dr. (2002) ističu ipak da postoji mnoštvo različitih kriterijuma za međusobni razmak između vertikalnih izbočina i sprovode literarni pregled najmanje 10 različitih radova posvećenih toj temi. Wainwhring (1998) ističe da je razlog za postojanje mnoštva kriterijuma upravo to što postoji mnoštvo različitih veštačkih izbočina (sa različitim modifikacijama u odnosu na osnovne varijante). ITE Traffic Engineering Council (1997) je objavio jednačinu, opštu „prosečnu“ jednačinu, za neophodan razmak uređaja koji imaju visinu od 3 inča (7,62 cm):

$$H_s = 0,5(2(V_{85})^2 - 700)$$

Imajući u vidu da se radi o prostoru SAD, vrednost razmaka se dobija u stopama, a brzina (85-ti percentil želenje brzine) se unosi u miljama po času.

Smith i dr. (2002) su vršili ispitivanje uticaja privremenih vertikalnih izbočina na brzinu, i zaključili su da je efikasno smanjene prosečne brzine i 85-ti percentil na samom mestu vertikalne izbočine i nakon vertikalne izbočine, ali ne tako efikasno i pre vertikalne izbočine. Johanson i dr. (2011) su ispitivali najbolju poziciju vertikalnih izbočina (onih koji ne zauzimaju čitavu širinu kolovoza) u odnosu na pešački prelaz, sa zaključkom da su brzine na pešačkom prelazu bile nešto manje u situaciji kada je razmak između vertikalnih izbočina bio veći, i predlažu kao optimalnu udaljenost od 10 m od pešačkog relaza, ili dužine od oko dva putnička automobila. Parkhill i dr. (2007) ističu da bez obzira što su veštačke izbočine postale opšte popularna mera, njihov dizajn i način primene značajno varira u različitim područnim jedinicama.

Instituit inženjera transporta (Intitute of Transportation Engineers - ITE) je objavio publikaciju „Prilog prakse za dizajn i implementaciju vertikalnih izbočina“ (Parkhill i dr., 2007):. Prepoznaju četiri ključne faze u izradi vertikalnih izbočina (Parkhill i dr., 2007):

- Uspostavljanje formalne javne rasprave i pokretanje zahteva.
- Utvrđivanje potreba „ulice i okruženja“.
- Izgradnja i održavanje vertikalnih izbočina.
- Monitoring i evaluacija efikasnostu ugrađenih vertikalnih izbočina.

U domaćoj praksi najčešće se ne poštuju u potpunosti koraci koji bi se odnosili na utvrđivanje potreba „ulice i okruženja“, a posebno monitoring i evaluacija efikasnosti primenjenih mera. Pod utvrđivanjem potreba „ulice i okruženja“, Parkhill i dr. (2007) navode da je potrebno utvrditi: karakteristike samog puta, karakteristike saobraćaja (brzine, obim saobraćaja, struktura saobraćaja i sl.), zastupljenost pešaka i biciklista. Parkhill i dr. (2007), takođe, ukazuju i na još jedan važan aspekt koji treba uzeti u obzir prilikom projektovanja vertikalnih izbočina i drugih tehničkih sredstava za usporavanje saobraćaja. Naime, ističu da vertikalne izbočine utiču na smanjenje obima saobraćaja, pa su određena istraživanja pokazala i smanjenje za 28%. Pored toga Parkhill i dr. (2007) ne preporučuju postavljanje vertikalnih izbočina na puteve sa više od dve saobraćajne trake, kao i na rutama po kojima se kreće veliki broj autobusa ili vozila hitnih službi.

Prilikom evaluacije određenog zahteva za vertikalnim izbočinama obično se kreira takav sistem vrednovanja prioriteta koji u obzir uzima: brzinu, obim saobraćaja, broj saobraćajnih nezgoda povezanih sa brzinom, blizinu škola ili drugih objekata gde se očekuje veće prisustvo dece, putevi bez trotoara, postojanje biciklističke rute (Parkhill i dr., 2007). Pri tome se mora voditi računa da se poštuju kriterijumi evaluacije koje propisuje određena opština/lokalna zajednica. Međutim u procesu evaluacije odmah treba voditi računa o ciljevima postavljanja vertikalne izbočine (Parkhill i dr., 2007). Pored delovanja na brzine, može se uticati na „filtriranje saobraćaja“ (npr. demotivisanje određenih vozila da koriste određenu ulicu kao tranzitnu zbog kraćeg putovanja). Evaluaciju treba sprovesti u kontekstu postavljenog cilja.

U preporukama koje navode Parkhill i dr. (2007) se navodi i javna rasprava o predlogu, i to sa: vlasnicima, stanovnicima, službama za održavanje puteva, hitnim službama i sl. Državni univerzitet u Ajovi (Smith i dr., 1997) je i objavio detaljnu studiju o vertikalnim izbočinama, u kojoj su naveli da postavljanje uličnih vertikalnih izbočina nije „mali projekat“, i nema „mali uticaj“ na celokupni sistem odvijanja saobraćaja, pa i bezbednost saobraćaja. Stoga ističu, da ništa ne sme biti implementirano, pre nego što detaljno budu ispitani svi uslovi za postavljanje (Smith i dr., 1997).

Najčešće kritike vertikalnih izbočina se odnose na: povećanje vibracije, povećanje buke i povećanje potrošnje goriva koja se indirektno odražava i na povećanu emisiju. Međutim, ne može se zauzeti stav da kriterijumi za postavljanje vertikalnih izbočina ne postoje. Ti kriterijumi se najčešće ne poznaju, ili se i zanemaruju.

#### 4. DISKUSIJA

Osnovni i najvažniji kriterijum za postavljanje svih usporivača saobraćaja, pa samim ti i vertikalnih izbočina je činjenica da na određenoj lokaciji postoji veliki broj prekoračenja ograničenja brzine i da je stoga potrebno delovati na njeno smanjenje. Praktično, fizičkim preprekama će se delovati na vozače da smanje brzinu kretanja na mestu postavljanja fizičke prepreke. To indirektno podrazumeva, da praktično nema pokretanja procedure postavljanja veštačkih izbočina pre nego što se izvrši merenje brzine na određenoj lokaciji. Teorijski posmatrano, postavljanje veštačkih izbočina je moguće i bez prethodnog merenja brzine, kako bi se u zonama u kojima je bezbednost prioritetnija (zone škole, zone usporenog saobraćaja), a prisustvo ranjivih učesnika veliko, osiguralo da ne nastanu situacije u kojima se javljaju ekscesi (ekstremi koji odstupaju od ponašanja većine vozača). Generalno se mogu prepoznati dva koncepta:

- Postavljanje vertikalnih usporivača, ili drugim mera za usporavanje brzine kao preventivne mere, bez obzira u kojoj meri vozači poštuju ograničenje brzine na konkretnoj lokaciji ili deonici. Ovakvim pristupom se upravljač ne rukovodi „svešču“ vozača o bezbednosti saobraćaja, već fizičkim preprekama deluje na smanjivanje rizika. Međutim, postavlja se pitanje opravdanosti postavljanja usled dokazanih negativnih efekata. Ukoliko većina vozača poštuje ograničenje brzine, vertikalne izbočine utiču demotivirajuće na vozače i praktično imaju uticaj samo na malu populaciju ekstremnih vozača koji bi kršili propise – prekoračivali ograničenje brzine.
- Postavljanje vertikalnih izbočina samo gde postoji osnovana potreba da se smanje trenutni pokazatelji raspodele brzine vozila na konkretnoj lokaciji ili deonici, uz poštovanje svih ostalih definisanih kriterijuma za njihovo postavljanje. Ovakvim pristupom se ispunjava osnovna svrha

vertikalnih izbočina. Usporivači saobraćaja u ovakvoj situaciji deluju na većinu vozača, i kao takvi ispunjavaju svoju svrhu.

## 5. PRIMERI VERTIKALNIH IZBOČINA NA TERITORIJI GRADA BEOGRADA

Primeri vertikalnih izbočina na teritoriji grada Beograda prikazani su na Slici br. 3.



Slika 3. Primeri vertikalnih izbočina

## 6. ZAKLJUČAK

Postavljanje tehničkih uređaja za usporavanje saobraćaja je nedovoljno uređena i ostavlja veliki prostor za „slobodu odlučivanja“ od strane projektanata ili drugih lica. Međutim, ne može zauzeti stav da kriterijumi za postavljanje tehničkih uređaja za usporavanje saobraćaja ne postoje. Ti kriterijumi se najčešće ne poznaju, ili se zanemaruju. Nijedno rešenje u saobraćajnom inženjerstvu ne treba primenjivati kao apsolutno dobro – bezbedno rešenje. Svakom rešenju mora da prethodi odgovarajuća analiza, na osnovu koje će se definisati mere koje će imati najveći efekat. Pored toga, nakon definisanja određene mere neophodno je izvršiti određenu evaluaciju.

Postavljanje tehničkih uređaja za usporavanje saobraćaja nije „mali“ projekat i svakako nema „mali“ uticaj na sistem odvijanja saobraćaja, upravljanje brzinama, pa i na „celokupnu“ bezbednost saobraćaja. Stoga treba

istaći da ništa ne sme biti implementirano, pre nego što detaljno budu ispitani svi uslovi za postavljanje tehničkih uređaja za usporavanje saobraćaja.

## Literatura

- [1] Smith, D. J., Knapp, K., & Hallmark, S. (2002). Speed impacts of temporary speed humps in small Iowa cities. *ITE Journal*, 77(1).
- [2] Antić, B., Pešić, D., Vujanić, M., & Lipovac, K. (2013). The influence of speed bumps heights to the decrease of the vehicle speed—Belgrade experience. *Safety science*, 57, 303-312.
- [3] Dixon, M.A., Alvarez, J.A., Rodriguez, J., Jacko, J.A., 1997. The effect of speed reducing peripherals on motorists' behaviour at pedestrian crossing. *Computers & Industrial Engineering* 33 (1–2), 205–208.
- [4] Elvik, R., Vaa, T., 2004. *The Handbook of Road Safety Measures*. Elsevier Science Ltd. (based on Elvik, R., Mysen, A.B., Vaa, T., 1997. *Traffic Safety Handbook*. Institute of Transport Economics, Oslo).
- [5] Salau, T. A. O., Adeyefa, A. O., & Oke, S. A. (2004). Vehicle speed control using road bumps. *Transport*, 19(3), 130-136.
- [6] Parkhill, M., Sooklall, R., & Bahar, G. (2007). Updated guidelines for the design and application of speed humps. In *ITE 2007 Annual Meeting and Exhibit*. Pittsburgh PA.
- [7] Cottrell, W.D., Kim, N., Martin, P.T., Perrin Jr., J., 2006. Effectiveness of traffic management in Salt Lake City, Utah. *Journal of Safety Research* 37, 27–41.
- [8] Wainwright, W. Scott. *Montgomery County's Speed Hump Program-A Love Hate Story*. Compendium of Papers for the 68th Annual Meeting of Institute for Transportation Engineers (CD-ROM). Institute of Transportation Engineers, Toronto, Canada, 1998.
- [9] Smith, Daniel T., and Donald Appleyard. *Improving the Residential Street Environment*. Report FHWA/RD-81/031. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., 1981.
- [10] Hallmark, S., Knapp, K., Thomas, G., & Smith, D. (2002). *Temporary speed hump impact evaluation* (No. CTRE Project 00-73,).
- [11] *ITE Traffic Engineering Council Speed Humps Task Force* (1997). *Guidelines for the Design and Application for Speed Humps*. Institute of Transportation Engineers, Washington, D.C..
- [12] Smith, D. E., & Giese, K. L. (1997). *A study on speed humps*.
- [13] *Pravilnik o saobraćajnoj signalizaciji*, (2014). *Službeni glasnik Republike Srbije*, br. 134/2014.
- [14] *Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima*, (2009). *Službeni glasnik Republike Srbije* br. 41/09, 53/10, 101/11, 32/2013-odluka US, 55/2014 I 96/2015.

# СПЕЦИФИЧНОСТИ ПРОВЕРЕ БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА У ЗОНАМА ШКОЛА

## Крсто Липовац

Редовни професор и шеф Катедре за безбедност саобраћаја и друмска возила, Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду, [k.lipovac@sf.bg.ac.rs](mailto:k.lipovac@sf.bg.ac.rs)

## Александар Трифуновић<sup>1</sup>

Асистент, Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду, [a.trifunovic@sf.bg.ac.rs](mailto:a.trifunovic@sf.bg.ac.rs)

**Резиме:** Провера безбедности саобраћаја (ПБС) је савремена процедура унапређења безбедности путева која се у пракси показала веома корисном, када се ради о постојећим путевима и улицама. У најразвијенијим земљама су разрађени поступци ПБС у појединим специфичним случајевима, као што су аутопутеви, двотрачни путеви, улице у насељима, раскрснице и сл. Међутим, до сада није развијен посебан поступак ПБС у зонама школа. Са друге стране, специфичне карактеристике ових зона, а посебно карактеристике деце, намећу потребу да се развије посебна процедура ПБС у зонама школа. Наиме, неопходно је "кроз диоптрију безбедности саобраћаја" сагледати све путеве/улице, објекте око пута и друге елементе околине и утврдити да ли су ови елементи прилагођени дечијим потребама и могућностима, да ли поседују небезбедне и деци неприлагођене елементе који могу отежавати учешће деце у саобраћају или повећавају ризик од настанка саобраћајних незгода са учешћем деце. Циљ рада је да се, на основу страних и домаћих искустава о Провери безбедности саобраћаја, дефинишу специфичности ПБС у зонама школа и специфични елементи које би требало обухватити посебним чек листама. Систематска и стручна примена ПБС у зонама школа могла би унапредити знање о проблемима безбедности саобраћаја и олакшати процес дефинисања оптималних, јефтиних контрамера. Ово је један од најјефтинијих и најефикаснијих поступака унапређења безбедности саобраћаја у зонама школа.

**Кључне речи:** безбедност саобраћаја, Провера безбедности саобраћаја, зона школе.

## 1. УВОД

Према извештајима Светске здравствене организације, број жртава у саобраћајним незгодама се мери милионима, док саобраћајне незгоде прете да постану водећи узрок смрти у свету. У последњих десет година у Републици Србији, саобраћајне незгоде просечно на годишњем нивоу однесу више од 500 живота, док више од 17.000 људи бива тешко или лако повређено (Агенција за безбедност саобраћаја, 2015.). Са друге стране, саобраћај је неминовна последица развоја и напретка сваког друштва без ког је немогуће функционисати. Због тога је потребно стално радити на препознавању проблема и проналажењу начина за смањење проблема које саобраћај неминовно носи са собом (Стратегија безбедности саобраћаја Републике Србије за период од 2015. до 2020. године). Такође, број саобраћајних незгода у региону SEETO (South-east Europe Transport Observatory) је неприхватљиво висок. Један од разлога за овакво стање је то што делови постојеће мреже нису погодни у погледу безбедности саобраћаја. Честа је ситуација да су путеви пројектовани и изграђени пре неколико деценија, за мањи обим саобраћаја и спорији возни парк. Поред тога, на обновљеним деоницама путева број саобраћајних незгода је и даље висок, јер повећање безбедности на путевима, у већини случајева, није приоритет у пројектима. Велика заблуда је да су само грешке или лоше понашање возача узрок саобраћајних незгода у скоро свим случајевима. Резултати истраживачких пројеката о узроцима саобраћајних незгода показују да у свакој трећој саобраћајној незгоди окружење пута има значајан утицај (World Road Association (PIARC), 2008.a). Пут, као један од четири фактора безбедности саобраћаја, својим карактеристикама утиче на број и последице саобраћајних незгода (World Road Association (PIARC), 2007.). Традиционални приступ безбедности саобраћаја заснива се на спровођењу мера дефинисаних на основу саобраћајних незгода које су се догодиле, начину настанка и последица истих. Овакав приступ безбедности саобраћаја је нека врста приступа „чекај и гледај“, односно заштитне мере се нису разматрале све док ситуација постане неприхватљива, са аспекта саобраћајних незгода. Пројектовање и примена заштитних мера се спроводи тек након идентификације високо ризичних деоница пута и анализе саобраћајних незгода (World Road Association (PIARC), 2008.a). Са друге стране, превентивно деловање у безбедности саобраћаја је основ данашње мисли о унапређењу безбедности саобраћаја. Идеја превентивног деловања јесте да се делује пре него што настану саобраћајне незгоде и настану последице. У свету се у стратегијама безбедности саобраћаја највише пажње посвећује превентивном деловању, односно шта све може да се уради да не настане

<sup>1</sup> Аутор задужен за кореспонденцију: [a.trifunovic@sf.bg.ac.rs](mailto:a.trifunovic@sf.bg.ac.rs)



саобраћајна незгода, односно да се ублаже последице. Стручњаци из области безбедности саобраћаја свакодневно развијају и унапређују алате, односно мере којима се може значајно, превентивно деловати на безбедност саобраћаја. Традиционални приступ решавања проблема безбедности саобраћаја уочавањем и отклањањем високо ризичних места/деоница (тзв. "црних тачака") није овом приликом запостављен, али се све више потенцира на томе да се уочне потенцијално опасна места на којима се могу догађати незгоде и отклоне опасности пре настанка незгода (Вујанић et al, 2009.). Циљ модерног приступа безбедности саобраћаја је да се сталним праћењем и анализама уочавају проблеми који се јављају у саобраћају и који могу довести до инцидентних ситуација. Уочавањем оваквих проблема омогућено је деловање, односно предузимање одређених мера за спречавање настанка саобраћајних незгода (Вожни, 2013.).

### **Деца у саобраћају**

Саобраћај је сложен систем који је прилагођен старијим и одраслим особама. Деца имају потешкоћа за самостално учествовање у саобраћају, а ако учествују у саобраћају, то је најчешће као пешаци уз пратњу старијих особа, путници у возилу или бициклисти, па се због тога саобраћајно окружење мора прилагодити деци. Деца предшколског узраста тешко одређују смер кретања и не могу да прате брзе измене саобраћаја. За њихово кретање је значајно емоционално стање и импулсивност (Нововић и др., 2000.). Због свега поменутог, деца, као најрањивији учесници у саобраћају, представљају категорију којој треба посветити посебну пажњу и прилагодити им окружење пута. Према извештају Светске здравствене организације о превенцији повреда деце из 2008. године, 21% од свих саобраћајних незгода су незгоде у којима су учествовала деца (WHO, 2008.). Повреде у саобраћајним незгодама су водећи узрок смрти код деце узраста од 15 до 19 година и други узрок смртног страдања деце од 5 до 14 година старости. Сваког дана у Сједињеним Америчким Државама погине у просеку троје деце млађе од 14 година, а 469 бива повређено у саобраћајним незгодама, према подацима из 2011. године. Деца пешаци чине 20% смртно страдалих пешака, а деца бициклисти 11% погинулих бициклиста (NHTSA, 2013.), што само указује да је потребно радити на побољшању и прилагођавању пута и околине потребама и могућностима деце, поготову на местима где свакодневно има већи број деце, зонама школа. У Србији је током 2014. године настрадало 1479 деце до 14. година, од чега је 10 смртно страдало (као путници у возилу у 40% случајева, као пешаци у 50% случајева, возачи бицикала 10%) (Агенција за безбедност саобраћаја, 2015.). Деца су различито угрожена у саобраћају према годинама старости. До десете година живота, деца најчешће учествују у саобраћају у пратњи родитеља или старатеља. Након десете године живота, деца углавном самостално учествују у саобраћају као пешаци или бициклисти, па се као последица повећане мобилности и њиховог неискуства учествовања у саобраћају, јавља повећање ризика код ове категорије учесника. Понашање деце је врло често непредвидиво и зависи од разних фактора. Грешке које праве деца у саобраћају условљене су ограниченим способностима примања више информација, немогућношћу правилне процене брзине и удаљености возила, као и прецењивањем својих могућности. Неретко је присутно и међусобно доказивање и такмичење између деце. Деца често греше и у процени времена потребног за прелазак улице, при чему на њихово понашање утиче много различитих карактеристика. Физичке карактеристике деце која похађају основну школу, као што су: телесна конституција, "мала" висина и дужина корака, уз карактеристике понашања, представљају специфичности које често доводе до стварања изненадне и неочекиване појаве детета на коловозу, па возачи немају могућност благовременог реаговања и избегавања изненадно створене опасне ситуације. Наведене чињенице указују на то да савремен концепт заштите деце у саобраћају мора да подразумева концепт прилагођавања саобраћајног окружења потребама деце (Пешић и Смаиловић, 2013.).

### **Провере безбедности постојећих путева - ПБС (Road Safety Inspection - RSI)**

Посматрајући напред наведени фактор пут, његове специфичности, као и специфичности деце као учеснике у саобраћају, намеће се закључак да је потребно превентивно деловати на унапређење безбедности саобраћаја у зонама школа. Током последњих година развијени су посебни методи за превентивно деловање и повећање нивоа безбедности саобраћаја, а који су засновани на анализи и унапређењу саобраћајног окружења, од којих се посебно издвајају методе Ревизије безбедности пројекта пута (RSA – Road Safety Audit) и Провере безбедности постојећих путева (ПБС) (RSI – Road Safety Inspection). Имајући у виду да је просторна позиција највећег броја школа дефинисана годинама, па и деценијама уназад, као погодан метод за анализу и унапређењу саобраћајног окружења у зонама школа намеће се метод Провере безбедности постојећих путева.

ПБС практично представља алат, којим се унапређују карактеристике пута у функцији безбедности саобраћаја, имајући у виду све могуће учеснике у саобраћају. Још шездесетих година прошлог века у Сједињеним Америчким Државама вршене су одређене инспекције путева ради откривања опасних места и тада (1967.) су постојала одређена упутства за вршење инспекција. Осамдесетих година прошлог века уведене су формалне процедуре за провере безбедности саобраћаја, које представљају оквир за утврђивање пропуста на постојећим путевима. Потреба за предузимањем мера за превенцију саобраћајних незгода била је посебно изражена у Великој Британији почетком 1970-тих. Концепт ПБС се појавио у Великој Британији и састојао се у томе да неки путеви имају велику фреквенцију саобраћајних незгода и да се то може спречити кроз разматрање безбедности. Засновано на Акту о друмском саобраћају 1974.године и његовој ревизији 1988.године која је обавезала управљача пута да смање могућност за дешавање саобраћајних незгода на новим путевима, 1990.године су објављени први стандарди Провера безбедности саобраћаја. 1990.године Велика Британија је написала свој први Приручник за ПБС, а потом је 1991.године Велика Британија званично озаконила употребу ПБС за све важне путеве и аутопутеве. Приручник за ПБС у Великој Британији је доживео прву своју ревизију 1996.године и тада је усвојен Национални приручник за ПБС, који је предвидео спровођење ПБС за све важне путеве, уколико ресурси то дозвољавају. PIARC дефинише ПБС као систематску проверу постојећег пута или деонице пута од стране стручњака за безбедност саобраћаја у циљу идентификовања небезбедних услова, елемената и недостатака које могу проузроковати незгоде са тешким последицама (World Road Association (PIARC), 2008a). ПБС има за циљ да открије елементе због којих настају незгоде и последице незгода на постојећим путевима и да промовише мере за отклањање проблема, па ако се ове мере спроводе, очекивано је да се унапреди безбедност саобраћаја (Вујанић et al, 2009.). Према PIARC-овом приручнику за Проверу безбедности саобраћаја, ПБС представља формални процес који спроводи независни проверавач (инспектор). Приликом спровођења ПБС, са аспекта безбедности саобраћаја, потребно је испитати и анализирати осам карактеристика пута: функцију пута; попречни профил пута; пружање трасе; укрштања; јавне и приватне сервисне површине; рањиве учеснике у саобраћају; саобраћајне знакове, ознаке на коловозу и светлосну сигнализацију; околину пута. Током инспекције потребно је користити и попуњавати контролне листе које олакшавају и убрзавају процес спровођења ПБС-а. Преглед резултата даје се најчешће у одговарајућем стандардизованом формулару. У овом формулару пропусти се наводе у оквиру главних наслова контролних листи, заједно са местима. Овај документ представља начин за прикупљање информација на једном формулару. Такав формулар требало би да представља део извештаја о Провери безбедности на путевима (World Road Association (PIARC), 2008a). Изнаведеног разлога у даљем раду је предложена чек листа за специфичности провере безбедности саобраћаја у зонама школа.

Поред наведеног, узимајући у обзир специфичности примене ПБС-а, у свим инспекцијама требало би узимати у обзир читав спектар људских фактора, који се односе на грешке возача изазване карактеристикама путева. Питања којима би требало посветити пажњу су напор/радно оптерећење, перцепција и избор брзине (то је углавном аутоматски процес који зависи од различитих фактора, међу којима су и геометрија путева и окружење). (World Road Association (PIARC), 2008b). Деца најчешће као учесници у саобраћају спадају у групу пешака и бициклиста, а они су најрањивији учесници у саобраћају и њима би требало посветити посебну пажњу током теренске студије. Према PIARC-овом приручнику о људским факторима, у инспекцијама се морају размотрити многе потенцијалне противмере, које се крећу од успоравања саобраћаја до инфраструктурних интервенција, као што су постављање бициклистичких стаза дуж једне стране пута или изградња пешачких стаза раздвојених од главног пута. Такође би требало узети у обзир потребе бициклиста и пешака за преласком пута (World Road Association (PIARC), 2008b). Тротоари за пешаке у неким земљама не постоје или су потпуно покривени продавницама, гаражама, ресторанима, грађевинским материјалом или паркираним возилима, што у зони школа никако не би смело да се догађа. Пешаци су принуђени да ходају по самом путу, што може да буде опасно када у саобраћају има аутомобила и теретних возила. Ова ситуација је још опаснија уколико се школе налазе на саобраћајницама са интензивним саобраћајним током.

На основу страних искустава о Провери безбедности саобраћаја, анализе литературе о безбедности пешака у саобраћају и безбедности деце у зонама школа, дефинисане су чек листе намењене испитивању и евидентирању тренутног затеченог стања у зонама школа, са аспекта безбедности саобраћаја. Примена ПБС у зонама школа могла би унапредити знање о проблемима безбедности саобраћаја, олакшати процес дефинисања оптималних, јефтиних контрамера, чиме би се постигао већи ниво безбедности деце у зонама школа.

***Законски основ и прва искуства Провера безбедности саобраћаја у Републици Србији и земљама окружења***

У Србији је Законом о безбедности саобраћаја на путевима дефинисана законска обавеза реализације савремених процедура за унапређење безбедности путева. Према Закону (Закон о безбедности саобраћаја на путевима, 2009.) управљач јавног пута мора обезбедити независне пројекте провере безбедности саобраћаја на путу и то: периодичне провере у периоду од пет година за све деонице државних путева, циљане провере за најугроженије деонице државних путева и циљане провере за остале путеве према могућностима, односно потребама“ (члан 156, став 4).

Први кораци Провере безбедности саобраћаја у Републици Србији спроведени су на деоници Крагујевац-Равни Гај (М-23.1) у фази извођења радова на путу, 2004. године (Липовац и др., 2007.) и пилот пројекат на Ибарској магистралу (деоница од Београда до Чачка, 2009. године) (iRap, 2009.).

На нивоу Босне и Херцеговине, управљање путевима подељено је између Федерације БиХ и Републике Српске. У Федерацији БиХ надлежни орган за путеве је ЈП „Цесте Федерације Босне и Херцеговине“ и према Закону о основама безбједности саобраћаја на путевима у Босни и Херцеговини, надлежни орган за путеве дужан је да над пројектованим путевима спроведе Ревизију безбедности саобраћаја (РБС), а над постојећим путевима спроведе Проверу безбедности саобраћаја (ПБС) (Закон о основама безбједности саобраћаја на путевима у Босни и Херцеговини, 2006.). На нивоу Републике Српске, надлежни орган за мреже магистралних и регионалних путева је ЈП „Путеви Републике Српске“, а за ауто-путеве и брзе путеве ЈП „Ауто-путеви Републике Српске“. У циљу повећања нивоа безбједности саобраћаја на путевима Републике Српске успостављен је систем обавезне независне ревизије пројеката путева (РБС) и систем обавезне независне провере постојећих јавних путева (ПБС). Спровођење ПБС и РБС дефинисано је Законом о безбједности саобраћаја Републике Српске (Закон о безбједности саобраћаја на путевима Републике Српске, 2011.). Овим Законом дефинисано је да се у фази пројектовања, изградње и реконструкције путне инфраструктуре обавезно врши ревизија пројеката путева. Постојећи јавни путеви, према ЗОБС-у РС, подлежу обавезној провери са аспекта безбедности саобраћаја, у циљу идентификације недостатака који би могли негативно утицати на безбедност саобраћаја. Провери безбедности саобраћаја обавезно подлежу магистрални и регионални путеви, а у случају потребе и остали јавни путеви и улице у насељу. Закон такође предвиђа да се ПБС спроводи према листи провере јавних путева. Ову листу и временско-динамички план спровођења ПБС, једном годишње израђује јавно предузеће којем је поверено управљање магистралним и регионалним путевима, у складу са показатељима стања безбедности саобраћаја и другим параметрима (Закон о безбједности саобраћаја на путевима Републике Српске, 2011.; Вожни, 2013.). Ревизију и проверу безбедности саобраћаја спроводе независна, лиценцирана правна или физичка лица, а лиценце за спровођење издаје Агенција за безбједност саобраћаја Републике Српске. Правно или физичко лице које врши ревизију не може бити укључено у процес пројектовања путева који су предмет ревизије, а лице које врши проверу безбедности саобраћаја не може бити укључено у процес управљања путевима који су предмет провере (Закон о безбједности саобраћаја на путевима Републике Српске, 2011.).

У оквиру пројекта „Јачање стања и система безбједности саобраћаја у Републици Српској“ рађене су три провере безбедности саобраћаја, у периоду од 19.03.2012. до 23.03.2012. године и то:

1. на магистралном путу М4, дионица број 17 (Челинац-Котор Варош); секција Забрђе од 12+500 km до 14+000 km,
2. на магистралном путу М16, дионица број 180 (Градишка-Нова Топола); од 11+590 km до 12+255 km и дионица број 181 (Нова Топола-Клашнице 1) од 0+000 km до 0+625 km,
3. на магистралном путу М16.1, дионица Клашнице 1 – Прњавор, секција Бјелошевићи од 11+000 km до 12+000 km (Вожни, 2013.).

Према закону о безбедности саобраћаја Бивше Југословенске Републике Македоније (Закон за безбедност на саобраћајот на патиштата, 2014.) из 2014. године, не постоји законска обавеза спровођења Провере безбедности саобраћаја. Аутори једног од првих радова о Провери безбедности саобраћаја на територији наведене државе, наводе да су постојећа истраживања о Провери безбедности саобраћаја у Македонији врло скромна, и да скоро не постоје студије или истраживачки пројекти о овом алату (Feta & Kristi, 2007.). Слично као и у Македонији, примена Провере безбедности саобраћаја није обухваћена ни законом о безбедности саобраћаја Црне Горе из 2012. године (Закон о безбједности саобраћаја на путевима, 2012.).

### **Страна искуства**

У раду аутора Rune Elvik-а (Провера безбедности саобраћаја: безбедносни ефекти и најбоља практична упутства) приказано је тренутно познавање практичне примене ПБС, позитивни ефекти провере безбедности саобраћаја, као и прелиминарни водич за спровођење ПБС (Elvik, 2006.). Аутор у раду наводи да само поправка саобраћајних знакова има вели утицај на унапређење безбедности

саобраћаја. Наиме, студија из 1986.године (Lyles и др., 1986.) показује да се поправком саобраћајних знакова, број саобраћајних незгода са телесним повредама смањи за 15%, а број незгода са материјалном штетом за 7%. Друга студија, из 2003. године (Ford и Calvert, 2003), показала је да се поправком саобраћајних знакова, број незгода са смртно страдалим смањи за 55%, број незгода са телесним повредама за 31%, а број саобраћајних незгода са материјалном штетом за 46%. Ова студија је рађена за високоризичне деонице пута, па постоји могућност да су стварни ефекти знатно мањи. Аутори Mascauly и McInerney, су у свом раду проучавали ефекте провере безбедности саобраћаја. Резултати су показали да је у више од 78% свих правилно спровдених ПБС, однос користи и трошкова био позитиван, а у око 47% случајева предности су два пута биле веће од трошкова (Mascauly and McInerney, 2002.). ПБС усмерена ка заштитним оградама и мере које се односе на правилно дефинисање почетка и завршетка заштитних ограда, доприносе смањењу саобраћајних незгода за око 7% и смањењу последица саобраћајних незгода за 44% до 47% (Elvik, 2004.; Elvik, 2006.).

У Канади (провинцији Calgary) (Kattan, et al, 2011.), је вршено истраживање поштовања ограничења брзине кретања у зони школа и зони игралишта, у којима је брзина кретања возила ограничена до 30km/h. Циљ истраживања је био да се утврди поштовање ограничења брзине у зонама школа и зонама игралишта. Узорак за ово истраживање је био 11 зона школа и 16 зона игралишта случајно изабраних у четири кварта провинције Calgary-и. Резултати студије показују да су брзине кретања возила ниже на путу са две саобраћајне траке у односу на путеве са четири саобраћајне траке; ниже на путевима са заштитном оградом у односу на путеве без заштитне ограде; ниже на путевима са дисплејем за мерење брзина возила; ниже на раскрсницама регулисаним светлосним сигналимa и у зонама где су присутна деца у дужим од 200m. Аутори су закључили да је за побољшање безбедности деце, потребно да табле које означавају зоне школе или зоне игралишта буду уочљивије и постављене на месту "стварног почетка" зоне.

Друмска федерација Европске Уније (ERF) је развила чек листе које обухватају раскрснице са дуплим тракама, раскрснице са светлосним сигналимa и градске путеве (ERF, 2002.а.). Имајући у виду да се Провера безбедности саобраћаја на путевима може спроводити (спроводи) у процесу изградње пута, тј. на новим путевима (који још нису пуштени у експлоатацију) и тада се ова фаза назива "претпремијера" и у овом случају чек листе се користе на почетку процеса процењивања. Узимајући у обзир инспекције које се врше на постојећим путевима, ове се листе могу искористити како би се дала "прва процена" тог пута, након што је друга фаза која се назива "наставак" успешно окончана. Ове листе анализирају стање пута у погледу саобраћаја, корисника, околине итд. како би се олакшало уочавање могућих проблема (ERF, 2002.б.). Чек листе намењене групи путева и раскрсница у градовима у оквиру фазе пре пуштања пута у експлоатацију, обухватају следеће области:

- Општим аспектима одређеног пута када је у питању перцепција (способност опажања) корисника, изглед околине, систем одвода воде, мрежа улица, зоне школа и области за рекреацију.
- Аспекта који се тичу дизајна пута: прегледност, попречни и подужни профил пута, план земљишта, итд.
- Корисницима пута: пешаци, бициклисти и корисници јавног превоза.
- Путном инфраструктуром, укључујући светлосну сигнализацију, саобраћајне знакове, путну сигнализацију, заштитне ограде, опрема за надзор саобраћајног тока и друге објекте.
- Пратећим елементима пута укључујући првенство пролаза, прилазе, области за утовар/истовар, паркинг просторе...

У фази експлоатације пута, чек листе намењене групи путева и раскрсница у градовима, обухватају следеће области:

- Опште аспекте стања пута.
- Аспекте дизајна као што су видљивост, разумљивост елемената на путу, доследност у поштовању заузетих ставова и принципа изградње.
- Друге кориснике путева: пешаке, бицикliste...
- Путну инфраструктуру, укључујући светлосну сигнализацију, саобраћајне знакове, хоризонталну сигнализацију, опрему за надзор саобраћајног тока, заштитне ограде, итд.
- Пратеће елементе пута

На основу напред наведеног може се заључити да постоји велики потенцијал у ПБС за унапређење безбедности саобраћаја у зонама школа. Наведена и у раду приказана литература даје квалитетан основ за дефинисање чек листи намењене Провери безбедности саобраћаја у зонама школа, којима би се постигло једноставно, квалитетно и прецизно дефинисање оптималних и јефтиних контрамера, чиме би се, пре свега, подигао ниво безбедности деце у саобраћају, у зонама школа, и постигла велика економска корист/уштеда.

## 2. МЕТОДОЛОГИЈА РАДА

У раду су на основу страних искустава о Провери безбедности саобраћаја (Road Safety Audits and Inspections, 2014; Elvik Rune, 2006; Antov Dago, 2012;), анализе литературе о безбедности пешака у саобраћају (Montella & Mauriello, 2010; Burt Duane, 2014; University Of California, 2013; ASIRT, 2002;) и безбедности деце у зонама школа (Metropolis Peter, 2002;) дефинисане специфичности ПБС у зонама школе и специфични елементи (околина) пута, чије би стање на терену требало евидентирати посебним чек листама. Првобитне чек листе, које су састављене уз помоћ наведене литературе, унапређене су и прилагођене испитивању безбедности саобраћаја у зонама школе, на основу спроведеног пилот пројекта реализованог у селима Општине Раче Крагујевачке, као репрезенту руралне средине, и на територији града Београда, репрезенту урбане средине. Систематска и стручна примена ПБС у зонама школа могла би унапредити знање о проблемима безбедности саобраћаја и олакшати процес дефинисања оптималних, јефтиних контрамера.

### 3. РЕЗУЛТАТИ РАДА

Стручњаци Друмске федерације Европске Уније (European Union Road Federation) сматрају да су чек листе само средство које испитивач употребљава, а при томе нису алат који делује као замена за стручност при испитивању безбедности саобраћаја на путевима. Чек листе развијене за пилот тестове и демонстрациону фазу су веома детаљне тако да их могу користити стручњаци са различитим нивоом академског знања и/или искуством у вези безбедности путева (ERF, 2002.а.). Чек листе за проверу безбедности саобраћаја на путевима су креиране са циљем да се у будућности олакша њихова примена на националним нивоима и према појединачним националним стандардима (ERF, 2002.б.).

Чек листа, која је у раду приказана, намењена је за спровођење Провере безбедности саобраћаја у зони школе и подељена је на 7 целина, како би се олакшао и систематизовао унос података затечених на терену у зони школе. Поред сваког питања остављено је поље за напомену у које се могу унети битне и прецизне карактеристике затеченог стања на терену, како би се створила боља слика да би се санирао уочени проблем. Поједина питања имају петостепену Ликертову скалу, како би се на неки начин квантификовало затечено стање на терену. Пре попуњавања чек листе и одласка на терен, особа која спроводи ПБС и попуњава чек листу дужна је да прочита упутство за попуњавање чек листе, прочита и проучи чек листу, као и да реши све недоумице везане за попуњавање чек листе. **Текст упутства за попуњавање листе:** *Пре попуњавања питања која се односе на зону школе, попуните заглавље Контролног листа (бр. Контролног листа и датум). Отворена питања у Контролном листу попуњавати прецизно и читко. За питања на којима има две алтернативе одговора, потребно је заокружити алтернативу која одговара затеченом стању на терену. Питања која поред алтернатива имају и скалу оцена од 1 до 5 (1 – најнижа, 5- највиша оцена), намењена су за квантификовање одговора на постављено питање, како би се градирали разлике између различитих ситуација затечених на терену. На основу сопствене процене рангирати затечено стање и заокружити оцену од 1 до 5. Поред сваког питања остављено је поље Напомена у које можете детаљније описати затечено стање на терену. Након попуњавања упитника и провере да сте ситуацију са терена најбоље могуће пренели у Контролни лист, потпишите документ у предвиђено поље.*

Први део чек листе садржи општа питања о зони школе, ко би се стекла шира слика о просторном положају школе и општим питања везаних за (безбедност) саобраћаја. Питања која садржи први део чек листе:

- Да ли је школа у насељу или ван насеља?
- Назив улице/пута?
- Да ли се из школе излази на државни пут?
- Колико саобраћајних трака има у улици/путу на које се излази из школе?
- Ширина коловозних трака и укупна ширина коловоза?
- Да ли између коловозних трака постоји разделно острво и колока је ширина острва
- Колики је проток саобраћаја у улицу у којој се налази главни улаз у школу?
- Каква је структура саобраћајног тока у улици у којој се налази главни улаз у школу (описати или квантификовати)?
- Да ли постоји знак "зона школе" и колико је ограничење брине у улици у којој се налази улаз у школу?

Други део питања намењен је испитивању затеченог стања у зони школе везаног за тротоаре. Првобитна намена јесте да се испита постојање, трасе и начин повезивања тротоара у зони школе. Питања везана за тротоаре обухватају и испитивање прилагођености тротоара особама са инвалидитетом. Питања намењена испитивању стања затеченог у зони школе везаног за тротоаре:

- Да ли постоји тротоар у зони школе на страни улице на којој се налази школа?

## СПЕЦИФИЧНОСТИ ПРОВЕРЕ БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА У ЗОНАМА ШКОЛА

- Да ли постоји тротоар у зони школе са стране улице до школе?
- Да ли постоји тротоар у зони школе, са стране улице преко пута школе?
- Да ли је довољно широк тротоар да опслужује пешачке токове у зони школе? Да ли се на тротоару налазе паркирана возила?
- Да ли се на тротоару налазе контејнери, тезге за продају робе или неки други објекти, растиње, предмети који ометају нормално кретање пешака?
- Да ли је тротоар прилагођен особама са инвалидитетом?
- Да ли су све путање пешака функционално повезане (нема прекида стаза, угажених путева – пречица и сл.)?

Наредни сет питања се односи на анализи затеченог стања не терену у зони школе везаног за пешачке прелазе. Испитује се постојање, стање, просторни положај, начин извођења тротоара, прилагођеност истих реалним потребама пешачких токова, али и потребама особама са инвалидитетом.

- Да ли су пешачки прелази уочљиви и правилно постављени?
- Да ли су пешачки прелази семафоризовани?
- Да ли су пешачки прелази уређени и прилагођени безбедном преласку улице/пута?
- Да ли је коловоз сужен на месту где се налази обележен пешачки прелази?
- Да ли су пешачки прелази издигнути од равни коловоза?
- Да ли пешачким прелазима претходе "лежећи полицајци"?
- Да ли су пешачки прелази постављени на путањама којима се крећу деца?
- Да ли постоји посебна ограда пред пешачки прелаз која усмерава кретање деце, онемогућава директан излазак на коловоз и усмерава им поглед ка надолазећем саобраћају?
- Да ли возачи својим возилима "блокирају" пешачки прелаз?
- Да ли је пешачки прелаз прилагођен особама са инвалидитетом?

Група питања намењених за испитивање светлосне саобраћајне сигнализације обухвата стање затечено на терену у зони школе. Поред положаја семафора, испитује се и могућа примена бројач за одбројавање времена до укључивања зеленог/црвеног светла, ако и прилагођеност семафора особама са оштећеним слухом/видом и особама са физичким инвалидитетом. Питања ове групе наведена су таксативно у наставку текста:

- Да ли постоје семафори у раскрсницама у зони школе?
- Да ли план темпирања светлосних сигнала функционално опслужује пешачке токове?
- Да ли план темпирања светлосних сигнала функционално опслужује саобраћајне токове (моторна возила)?
- Да ли план темпирања светлосних сигнала функционално опслужује саобраћајне токове (бициклисте)?
- Да ли на светлосним сигналима за пешаке постоји посебан бројач за одбројавање времена до укључивања зеленог/црвеног светла?
- Да ли је семафор прилагођен слепим и слабовидим особама?
- Да ли је семафор прилагођен особама које имају оштећен слух?
- Да ли је семафор прилагођен особама са физичким инвалидитетом?

Посебну групу чине питања намењена за испитивање услова вожње бицикла у зони школе. Ова питања обухватају пре свега испитивање затеченог стања на терену у зони школе у смислу изграђености бициклистичких стаза, пружање трасе, начину извођења бициклистичких стаза, али и постојање инфраструктуре за паркирање бицикла. Питања ове групе су следећа:

- Да ли постоје бициклистичке стазе у зони школе?
- Да ли постоје бициклистичке траке у зони школе?
- Да ли је бициклистичка стаза/трака јасно обележена?
- Да ли су на бициклистичким стазама/тракама паркирана возила?
- Да ли се бициклистичке стазе намењене и кретању пешака?
- Да ли су све путање бициклиста функционално повезане?
- Да ли постоје посебни елементи на којима се бициклисти могу задржати (наслонити) на месту пред улазак у раскрсницу са циљем уступања првенства пролаза?
- Да ли постоји паркинг за бициклисте у школском дворишту?
- Да ли постоји паркинг за бициклисте у зони школе?

Иако испитивања понашања деце, на први поглед, не би могла да спадају у класичну ПБС, посебно је битно обратити пажњу на фактор човек (дете) у саобраћајном систему. Циљ ове групе питања јесте да се испитају понашања деце у зони школе, па на основу понашања предузети техничке мере, како би се спречило небезбедно понашање деце у саобраћају. Питања везана за испитивање понашања

деце се односе пре свега на начин прелажења улице, понашање на семафору, тротоару, употреби мобилних телефона, вожњи бицикла и сл. Питања ове групе су:

- Да ли се деца заустављају пре ступања на обележени пешачки прелаз?
- Да ли деца прелазе ван пешачког прелаза са старијом особом која их прати?
- Да ли деца (самостално или група деце) прелазе ван пешачког прелаза?
- Да ли деца претрчавају улицу ван пешачког прелаза?
- Да ли се деца заустављају испре ивице коловоза пре ступања на коловоз?
- Да ли деца користе мобилни телефон када прелазе улицу?
- Да ли деца претрчавају улицу на пешачком прелазу?
- Да ли деца на обележеном пешачком прелазу прелазе улицу укосом или под правим углом?
- Да ли деца ван обележеног пешачког прелаза прелазе улицу укосом или под правим углом?
- Да ли деца чекају на појаву зеленог светла на семафору?
- Колико често деца долазе бициклом у школу?
- Деца правилно користе бициклистичке стазе?
- Деца користе коловоз за вожњу бицикла?
- Деца користе тротоар за вожњу бицикла?

Наредна питања спадају у ширу област која се односи на фактор ПУТ у зони школе и која је подељена у седам подобласти.

Прва подобласт чине питања везана за саобраћајну сигнализацију у зони школе:

- Да ли су границе зоне школе правилно обележене вертикалном и хоризонталном саобраћајном сигнализацијом?
- Да ли у зони школе постоје дисплеји за приказивање тренутне брзине возила возачима или други уређаји?
- Да ли су саобраћајни знакови правилно постављени и неоштећени (задовољавајућа ретрорефлексија...)?

Наредни сет питања је намењен испитивању стања успоривача саобраћаја у зони школе:

- Да ли постоје успоривачи саобраћаја?
- Да ли су успоривачи саобраћаја правилно постављени и јасно обележени?
- Да ли је довољна висина успоривача саобраћаја?
- Да ли је удаљеност између успоривача саобраћаја довољна да створи предуслове за поштовање ограничења брзине (да возила не убрзавају нагло између два успоривача)?

Веома битна група питања се односи на испитивање стања уличне инфраструктуре у зони школе. Ова питања су намењена да испитају постојање и стање уличног осветљења, заштитних ограда, као и камера и елемената који упозоравају возаче на присуство деце у саобраћају.

- Да ли постоје елементи који упозоравају на присуство деце у саобраћају (семафори трептачи, вибро-траке, саобраћајни знакови или табле поред пута)?
- Да ли постоје камере за аутоматску детекцију прекршаја у зони школе (брзина, црвено светло)?
- Да ли постоји улично осветљење у зони школе?
- Да ли постоји осветљење на дечијим путевима?
- Да ли улично осветљење исправно функционише?
- Да ли је довољно осветљена зона школе?
- Да ли постоје посебне пасареле или подземни прелазни за кретање пешака?
- Да ли на коловозу постоје посебна разделна оства која помажу пешаку да прелазак коловоза заврши у фазама?
- Да ли су та острва довољно широка (велика) за задржавање пешака, односно бициклиста?
- Да ли постоји ограда између улице и тротоара која усмерава кретање деце?
- Да ли је ограда правилно постављена?
- Да ли је ограда у функционалном стању (нема оштећења)?
- Да ли су школска игралишта и школско двориште ограђени?
- Да ли је ограда у функционалном стању (оштећена)?

Наредна група питања се односи на опремљеност зоне школе по питању паркирања и заустављања возила запослених, посетиоца, али и за возила за снабдевање робе и особа са инвалидитетом.

- Да ли постоји паркинг за запослене у школи?
- Да ли постоји паркинг за посетиоце школе?
- Да ли постоји паркинг за бицикле у оквиру школског дворишта?
- Да ли постоји место на коме се возило безбедно зауставља, да дете безбедно уђе/изађе из возила?

## СПЕЦИФИЧНОСТИ ПРОВЕРЕ БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА У ЗОНАМА ШКОЛА

- Да ли постоји посебан прилаз за снабдевање робе школи?
- Да ли постоји прилаз за возила која довозе децу са инвалидитетом до школе?

Група од два питања је намењена за испитивање пружања трасе пута:

- Да ли је пут прегледан у зони школе?
- Да ли постоји подужни нагиб при пружању трасе пута у зони школе?

Последњу групу питања која се односе на фактор ПУТ, чине питања намењена за испитивање редовног одржавања пута и тротоара, као и одржавања у зимском периоду.

- Да ли правилно функционише систем за одводњавање воде са коловоза?
- Да ли задржавање воде на коловозу утиче на ометање кретања пешака (прскање пешака)?
- Да ли правилно функционише систем за одводњавање воде са тротоара?
- Да ли задржавање воде на тротоарима утиче на ометање кретања пешака?
- Да ли је у зимским условима очишћен снег са тротоара?
- Ко је задужен да у зимским условима одржава тротоаре у зони школе?
- Да ли је у зимским условима очишћен снег са бициклистичке стазе?
- Да ли је у зимским условима очишћен снег са коловоза?

Битан сегмент за безбедност деце јесте испитивање садржаја ка којима деца гравитирају у зони школе. Питања из ове групе су следећа:

- Да ли постоје објекти намењени деци (књижаре, пекаре, продавнице) са супротне стране улице од школског дворишта?
- Да ли постоје објекти намењени деци (књижаре, пекаре, продавнице) са стране улице на којој је школа?
- Да ли је деци на путевима до ових објеката обезбеђено безбедно кретање?
- Да ли постоје објекти који ометају или умањују прегледност и могућност учовања деце која жели да пређе улицу у зони школе?
- Да ли возачи имају визуелну препреку која их омета да уоче дете које жели да пређе улицу на обележеном пешачком прелазу?

Питања која се односе на испитивање понашања возача у зони школе не спадају у класичну ПБС, али је веома битно за безбедност саобраћаја деце, испитати понашање возача у зони школе и предузети контрамере за отклањање небезбедних понашања возача у зони школе. Наредна питања су намењена испитивању понашања возача у зони школе:

- Да ли возачи поштују ограничење брзине у зони школе?
- Да ли возачи непрописно паркирају возила у зони школе?
- Да ли возачи непрописно заустављају возила у зони школе?

За све учеснике у саобраћају у зони школе је битно присуство и понашање у присуству школског полицајца и полицијске патроле постављене у зони школе.

- Да ли се периодично појављује полицијска патрола у зони школе?
- Да ли постоји и правилно врши своју дужност школски полицајац?

Постоје школе које су позиционирани у близини пруге и пружних прелаза, па је од велике значајности за безбедност деце у саобраћају испитати безбедност пружних прелаза.

- Да ли у зони школе постоје пешачки пружни прелаз?
- Да ли у зони школе постоје пружни прелаз за возила?
- Да ли су пружни прелаз правилно обезбеђени?
- Да ли су пружни прелаз осветљени?
- Да ли је осветљење исправно?
- Да ли су пружни прелаз обезбеђени (браници, полупбраници)?

Велики број деце старијих разреда основне школе долази самостално у школу јавним превозом, па је веома битно испитати безбедност стајалишта у зони школе, њихово тренутно функционално стање и њихову прилагођеност потребама деце.

- Да ли постоје стајалишта јавног превоза у зони школе?
- Да ли су стајалишта издвојена са улице?
- Да ли су стајалишта функционално повезана са пешачким стазама?
- Да ли су стајалишта израђена, на начин, када се аутобус заустави, друга возила не могу да пролазе?

Чек листа, специфичне Провере безбедности саобраћаја у зонама школа, садржи наведена питања и намењена је за лако и систематизовано прикупљање података, са терена, у зонама школе, при спровођењу Провере безбедности саобраћаја.

## 4. ЗАКЉУЧАК



У раду је приказана чек листа намењена спровођењу Провере безбедности саобраћаја у зонама школа, као једне од проактивних метода за унапређење безбедности саобраћаја. Имајући у виду светска искуства по питању односа трошкова и користи од примене ПБС, потребно је у што краћем року почети примену ПБС, како је и дефинисано Законом о безбедности саобраћаја на путевима Републике Србије, као и спровођење сегмента специфичне ПБС у зонама школа. Детаљном анализом елемената пута, окружења пута и целокупног простора у зони школе, идентификују се уочени проблеми и предлажу мере за повећање нивоа безбедности саобраћаја у зони школе, по критеријуму временских одредница и захтеваних финансијских улагања. Применом ПБС, поједини уочили недостаци у зонама школа, могли би се отклонити у кратком временском року, јер постоји велики број мера које не захтевају велика финансијска улагања, а чији кратак период имплементације значи да до побољшања безбедности саобраћаја може доћи у кратком временском периоду. Савремени концепт заштите деце у саобраћају се заснива на прилагођавању саобраћајног окружења деци, чији је предуслов познавање тренутног стања, како би се избегле или ублажиле последице саобраћајних незгода у зонама школа.

Систематска и стручна примена ПБС у зонама школа могла би унапредити знање о проблемима безбедности саобраћаја и олакшати процес дефинисања оптималних, јефтиних контрамера. Ово је један од најјефтинијих и најефикаснијих поступака унапређења безбедности саобраћаја у зонама школа, а у раду приказана чек листа олакшава релазацију ПБС у зонама школа.

### Literatura

- [1]. Agencija za bezbednost saobraćaja Republike Srbije. Statistički izveštaj o stanju bezbednosti saobraćaja u Republici Srbiji za 2014.godinu, 2015.
- [2]. Allan, P. Road Safety Inspection. Road Safety Seminar, Lome, Togo, 2006.
- [3]. Antov, Dago. Road Safety Inspection Guidelines and Checklists. BALTRIS – Improving Road Infrastructure Safety in the Baltic Sea Region, 2012.
- [4]. ASIRT. Pedestrian Safety Checklist, 2002.
- [5]. Burt Duane. Road Safety Audit Tool for Pedestrians who are Vision Impaired. Vision Australia (Victoria), Melbourne, 2014.
- [6]. Elvik Rune. Road Safety Inspections: Safety Effects And Best Practice Guidelines. The Institute for Transport Economics, 2006.
- [7]. Elvik, R. (2006) „Road safety inspections: safety effects and best practice guidelines“, Oslo.
- [8]. Elvik, R. The Handbook of Road Safety Measures, 2004.
- [9]. European Union Road Federation (ERF). Checklists for Audits/Inspections, 2002.b.
- [10]. European Union Road Federation (ERF). Good Practise Guidelines to Infrastructural Road Safety, 2002.a.
- [11]. Ford, S. H. and E. C. Calvert. Evaluation of a low-cost program of road system traffic safety reviews for county highways. Transportation Research Record, 1819, 231-236, 2003.
- [12]. iRap. Pilot project Ibarska magistrala, Serbia, 2009.
- [13]. Kattan, L., Tay, R., Acharjee, S. Managing speed at school and playground zones, Accident Analysis and Prevention 43, pp.1887–1891. 2011.
- [14]. Lipovac, K., D. Miložić, D. Jovanov i R. Branković. Rezultati primene mera Provere bezbednosti saobraćaja (PBS) - Studija slučaja, 2007.
- [15]. Lyles, R., Lighthizer, D., Drakopoulos, A., Woods, S. Efficacy of Jurisdiction-Wide Traffic Control Device Upgrading. Transportation Research Record, 1068, 34-41, 1986.
- [16]. Macaulay, J. and McInerney, R. Evaluation of the proposed actions emanating from road safety audits. AP-R209/02. Austroads, Sydney, 2002.
- [17]. Metropolis Peter. Road Safety around Schools, Audit Checklists. Main Roads WA, Department of Planning and Infrastructure, Department of Education, 2002.
- [18]. Milić, S., Nešić, M., Rosić, R., Trifunović, A. Saobraćajno obrazovanje i vaspitanje dece predškolskog uzrasta na primeru Opštine Kovačica. (2014). III Međunardna Konferencija

„Bezbednost saobraćaja u lokalnoj zajednici“, Banja Luka, 30.-31. oktobar 2014. godine.

- [19]. Montella, A. & Mauriello, F. Pedestrian Crosswalks Safety Inspections: Safety Assessment Procedure. 4 th International Symposium on Highway Geometric Design, Valencia, Spain, 2010.
- [20]. NHTSA, (2013). 2011 - Children Traffic Safety Facts. Internet adresa: <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/Pubs/811767.pdf>, Posećeno: 23.01.2015. godine.
- [21]. Novović, S., Nešić, M., Dimitrijević, N. Psiho-fizičke osobine dece kao polazni faktor za projektovanje mera za zaštitu dece u saobraćaju, Bezbednost dece u saobraćaju – naučno stručni skup. Saobraćajni fakultet, Beograd, 2000.
- [22]. Pešić, D., Smailović, E. Model analize bezbednosti saobraćaja u zoni škole. VIII međunarodna konferencija Bezbednost saobraćaja u lokalnoj zajednici. Valjevo, Divčibare, 18 – 20. april, 2013.
- [23]. Road Safety Audits and Inspections. The Norwegian Public Roads Administration's, 2014.
- [24]. Sinani F., Bombol K. Elementi predlog-modela za reviziju bezbednosti puteva u Republici Makedoniji, Palić, 2007.
- [25]. Strategija bezbednosti saobraćaja Republike Srbije za period od 2015. do 2020. godine, radna verzija. 2015.
- [26]. University Of California, report. A Technical Guide for Conducting Pedestrian Safety Assessments for California Communities. University of California, Berkeley, Institute of Transportation Studies, Technology Transfer Program, 2013.
- [27]. Vožni Vanja. Savremene metode za unapredjenje bezbednosti saobraćaja i primena provere bezbednosti saobraćaja na delu magistralnog puta M-4, od Kozarca do Srednje Lamovite, Saobraćajni fakultet u Univerzitet u Beogradu, Završni rad, 2013.
- [28]. Vujanić, M., Lipovac, K., Antić, B., Pešić, D., Marković, N., Đorđević, M., Pešić, D., Božović, M., Vujanić, M., Vujanić, D. Priručnik za provere bezbednosti saobraćaja na putevima, Saobraćajni fakultet u Univerzitet u Beogradu, 2009.
- [29]. WHO, (2008). World Report on Child Injury Prevention.
- [30]. World Road Association (PIARC). Human factors guidelines for safer road infrastructure, 2008.b.
- [31]. World Road Association (PIARC). Road Accident Investigation Guidelines For Road Engineers, 2007.
- [32]. World Road Association (PIARC). Road Safety Inspection Guideline, 2008.a.
- [33]. Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima. Crna Gora, 2012.
- [34]. Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima Republike Srbije. Službeni glasnik Republike Srbije, 2009.
- [35]. Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima Republike Srpske. Službeni glasnik Republike Srpske, broj 63/11, Banja Luka, 2011.
- [36]. Zakon o osnovama bezbednosti saobraćaja na putevima u Bosni i Hercegovini. Službeni glasnik BiH, 2006.
- [37]. Zakon za bezbednost na saobraćajot na patištata. Makedonija, 2014.

# SAFETY IMPACTS ALONG INCREMENTALLY-BUILT MOTORWAYS USING CORRIDOR-WIDE ANALYSIS: THE CASE STUDY OF GREECE'S TRIPOLI-KALAMATA MOTORWAY

Vily Vegiri<sup>1</sup>

Stelios Kazakos<sup>2</sup>

Ioannis Dimitropoulos<sup>3</sup>

**Abstract:** *Comparisons of the evolution of road safety statistics for whole corridors consisting of pre-existing and newly-built road links can provide a meaningful measure of the road safety impacts associated with a network upgrade. The paper presents a case study from the Tripoli – Kalamata motorway opened to traffic incrementally over a course of almost three years, during which the single carriageway link remained in full operation. The upgraded connection was eagerly awaited, primarily because of the substantial decrease in travel times; it appears that the 66-kilometre long new motorway has brought about a net safety benefit as well. Comparison of motorway subsections with the corresponding “old national road” segments is made in accordance with the opening date of the former; both accident numbers and indices are taken into account. The approach can be used in similar situations where gradual openings and short timeframes may not lend themselves to direct, clear-cut “before-vs.-after” analyses.*

**Keywords:** *motorway, accidents, corridor, incremental opening*

## 1. INTRODUCTION

Motorway network development in Greece is relatively recent. Construction has been particularly intensive in the last two decades and thus the total length of operating sections is now almost eight times that of the mid 90s. This expansion has coincided with a sharp decline in the total national number of fatalities, which is now almost 60% lower than its 1994 level – despite the fact that the number of vehicles has more than doubled since. The inherent safety benefits of motorways are well documented [1] and are related primarily to the divided carriageways, grade-separated junctions, typically forgiving design elements and exclusion of vulnerable users. It is true, however, that at the national level road safety improvements are to be attributed to a combination of factors, including improvements in the quality of vehicle fleet, enforcement and driver behavior over longer periods. In Greece in particular, the economic crisis of the past several years has led to reduced traffic and consequently to even lower fatality rates due to the reduced overall exposure. This paper highlights that, even in a time of decelerated delivery of road corridor upgrades, tangible road safety improvements can be demonstrated in the specific case of the one project that experienced the least construction delay, namely the Corinth-Kalamata motorway and in particular its greenfield 66-km section developed alongside a pre-existing two-lane highway.

The difficulty of demonstrating safety impacts during a short timeframe, in which the length of motorway in operation was gradually increasing, was overcome by dividing the examined time period into two nearly equal “early” and “late” parts. In the first sub-period, only limited sections of the motorway were being made available gradually, whereas in the latter most if not all of the new stretch was in operation. The emphasis was not on the – foreseeable – superiority of motorways over two-lane rural roads in terms of safety but on the overall improvement of safety on the road transport corridor following its capacity improvement. For this purpose, evaluated road segments included the totality of road links within the given corridor at any given time. This way, it is possible to assess the net safety effect of a project linking points A and B, in terms of change in the overall risk of road travel between A and B (assuming no projects have been undertaken in other parallel links), including any “accident migration” impacts [2].

---

<sup>1</sup> Vily Vegiri – Operation and Maintenance Manager, Moreas SA – [vvegiri@moreas.com.gr](mailto:vvegiri@moreas.com.gr)

<sup>2</sup> Stelios Kazakos – Head of Quality, Moreas SA – [skazakos@moreas.com.gr](mailto:skazakos@moreas.com.gr)

<sup>3</sup> Ioannis Dimitropoulos – Transport Specialist, The World Bank – [idimitropoulos@worldbank.org](mailto:idimitropoulos@worldbank.org). NOTE: The paper refers to work carried out while Mr. Dimitropoulos was affiliated with Moreas SA.

## 2. THE CORRIDOR IMPROVEMENT PROJECT

After a succession of stalled or aborted projects, the southernmost continental European stretch of route E-65 between the Greek towns of Tripoli and Kalamata was gradually introduced to operation after 2010 as part of the Moreas Motorway BOT Project. Tripoli is the capital of the Peloponnese Region and Kalamata its most populous city and also a tourist and transport node. At a distance of about 75 km (centre-to-centre), the two towns have sometimes been regarded as two poles of a potential development corridor, in whose middle lies the industrial hub of Megalopolis.

Prior to 2010 the only road connection between Tripoli, Megalopolis and Kalamata was the two-lane national road, consisting of five distinct segments, listed from north to south:

Segment (i) – Tripoli to Athinaeo (13.5 km, mountainous terrain, largely hairpin bends)

Segment (ii) – Athinaeo to Lefktro (18.5 km, combination of flat and hilly terrain)

Segment (iii) – Lefktro to Paradisia (5.6 km, flat terrain)

Segment (iv) – Paradisia to Tsakona (14.4 km, mountainous terrain, largely hairpin bends)

Segment (v) – Tsakona to Thouria (22.0 km, flat or hilly terrain, partly through villages)

The corresponding motorway lengths (denoted I to V) opened gradually between March 3, 2010 and December 22, 2012. The new 2x2-lane divided sections have design speeds up to 130 km/h and include a number of major structures, the longest one being the Rapsomati Tunnel (1.3 km). Table 1 shows lengths, opening dates, and traffic volume for the five pairs of segments. Traffic volume is expressed in vehicle-km realized during the examined period from January 1, 2008 through June 30, 2014 – based on traffic counts carried out by the Moreas Motorway's Operation Department.

**Table 1.** *Motorway and 2-lane road segments along the Tripoli-Kalamata corridor*

Segment	Motorway length in km	Motorway opening date	Motorway traffic in vehicle-km x10 <sup>8</sup>	2-lane road length in km	2-lane road traffic in vehicle-km x10 <sup>8</sup>
I / i (Tripoli-Athinaeo)	<b>11.8</b>	Nov 3, 2010	0.954	<b>13.5</b>	1.211
II / ii (Athinaeo-Lefktro)	<b>14.7</b>	Mar 30, 2010	1.218	<b>18.5</b>	1.392
III / iii (Lefktro-Paradisia)	<b>5.8</b>	Dec 8, 2010	0.471	<b>5.6</b>	0.691
IV / iv (Paradisia-Tsakona)	<b>12.0</b>	Dec 22, 2012	0.317	<b>14.4</b>	1.698
V / v (Tsakona-Thouria)	<b>21.8</b>	Jul 23, 2012	0.667	<b>22.0</b>	3.659

*Note: Traffic refers to the totality of the period from Jan. 2008 through Jun. 2014; motorway segments were operating only through part of this period and hence have lower overall traffic.*

## 3. METHODOLOGY FOR EXAMINING SAFETY IMPACTS

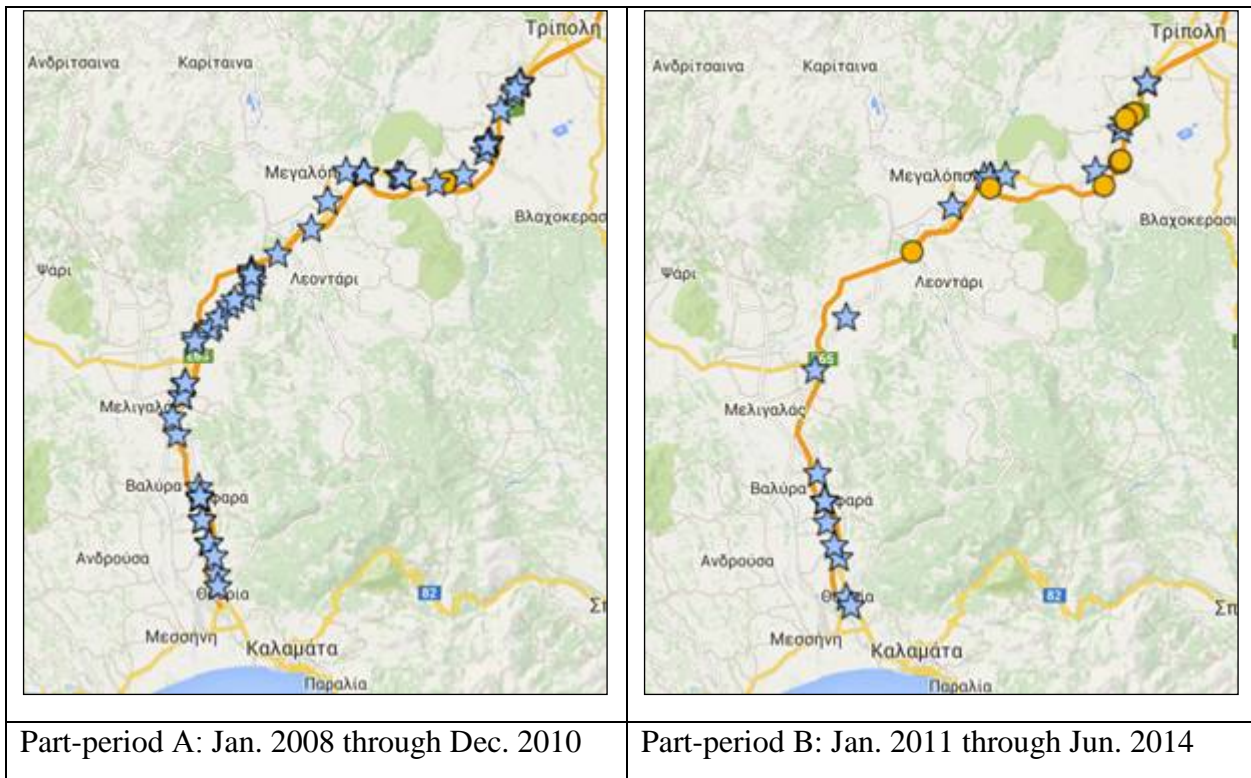
For the aforementioned period of 6½ years, casualty data (injury / fatality) were compiled from sources comprising the Moreas Motorway Operation Department's database, the records of the Tripoli and Kalamata Traffic Police Departments as well as the publicly-accessible database of the New Greek National Statistical Office (ELSTAT).

Given that the national road accident casualty figures dropped significantly during the study period, the first investigation was a comparison of trends between the road corridor and the whole of Greece.

Next, a proxy for before-vs.-after analysis is applied, forming the main part of the present paper's content. Given the incremental opening of new motorway sections, it is not possible to perform a comparison between two "steady states" that would show clearly the impact of the project on the corridor's safety. The closest approximation could be achieved by dividing the study period into two parts of similar durations – part A covering 2008 through 2010 and part B covering the 3.5 years up to the end of June 2014.

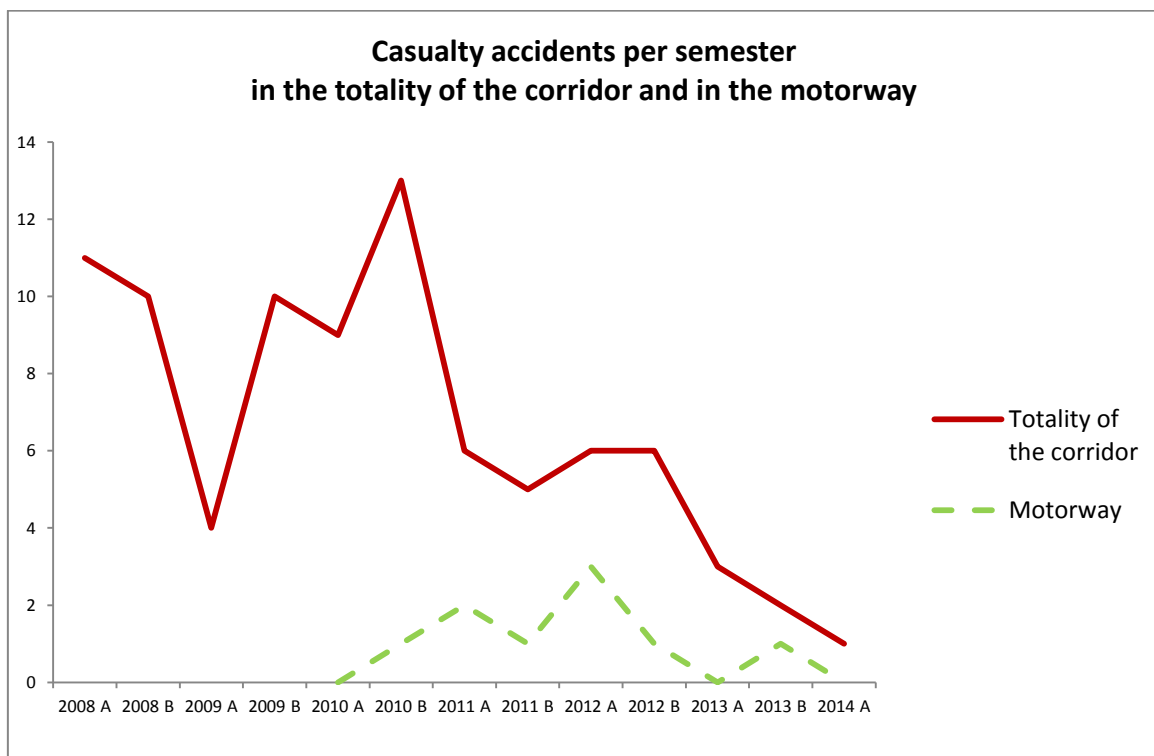
For these two part-periods, accident numbers and rates are compared for both the totality of the Tripoli-Kalamata corridor's links and the five pairs of individual segments. Chi-square testing is used to establish the statistical significance of the observed differences.

Given the relatively low overall number of accidents, it was not deemed meaningful to perform either blackspot analysis or to disaggregate among impact types. Accidents for the two part-periods are mapped in Figure 1.

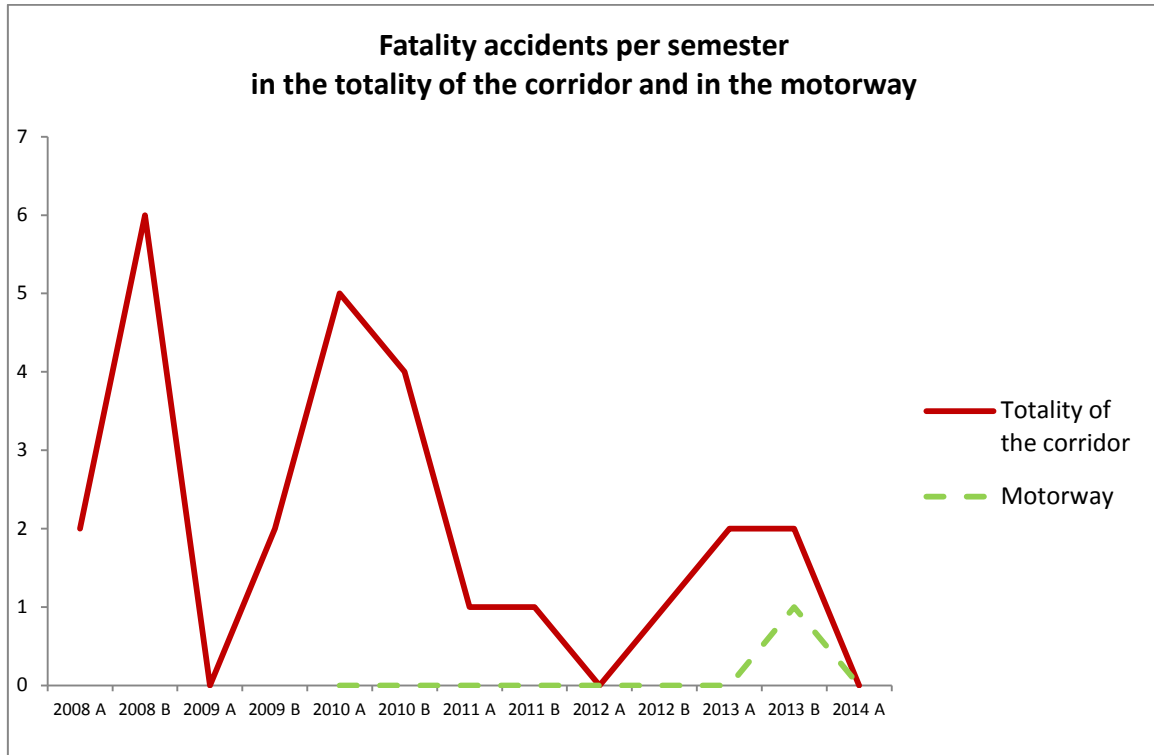


**Figure 1.** Casualty accidents on motorway (circle) and 2-lane rural road (star)

Moreover, Figures 2 and 3 show the trend of, respectively, casualty and fatality accidents over time.



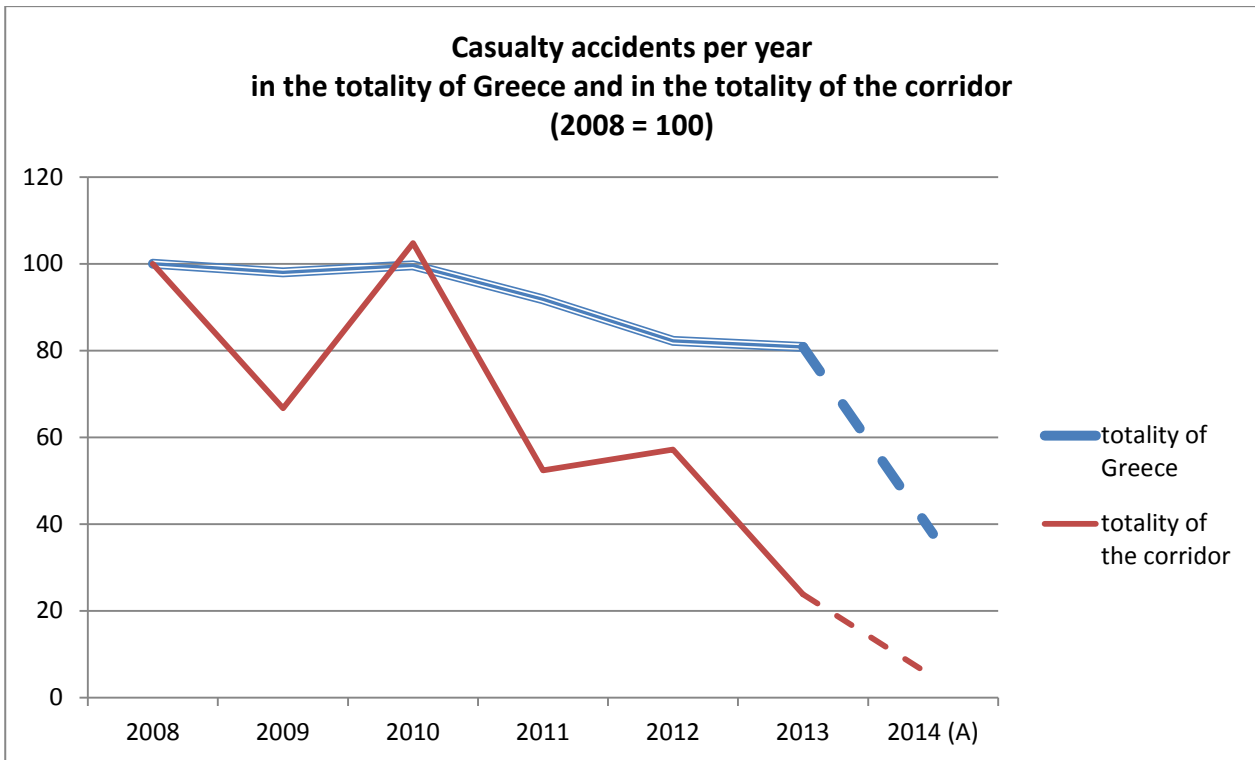
**Figure 2.** Casualty accidents per semester in the totality of the corridor, i.e. motorway plus two-lane road (solid red) and the motorway alone (dashed green)



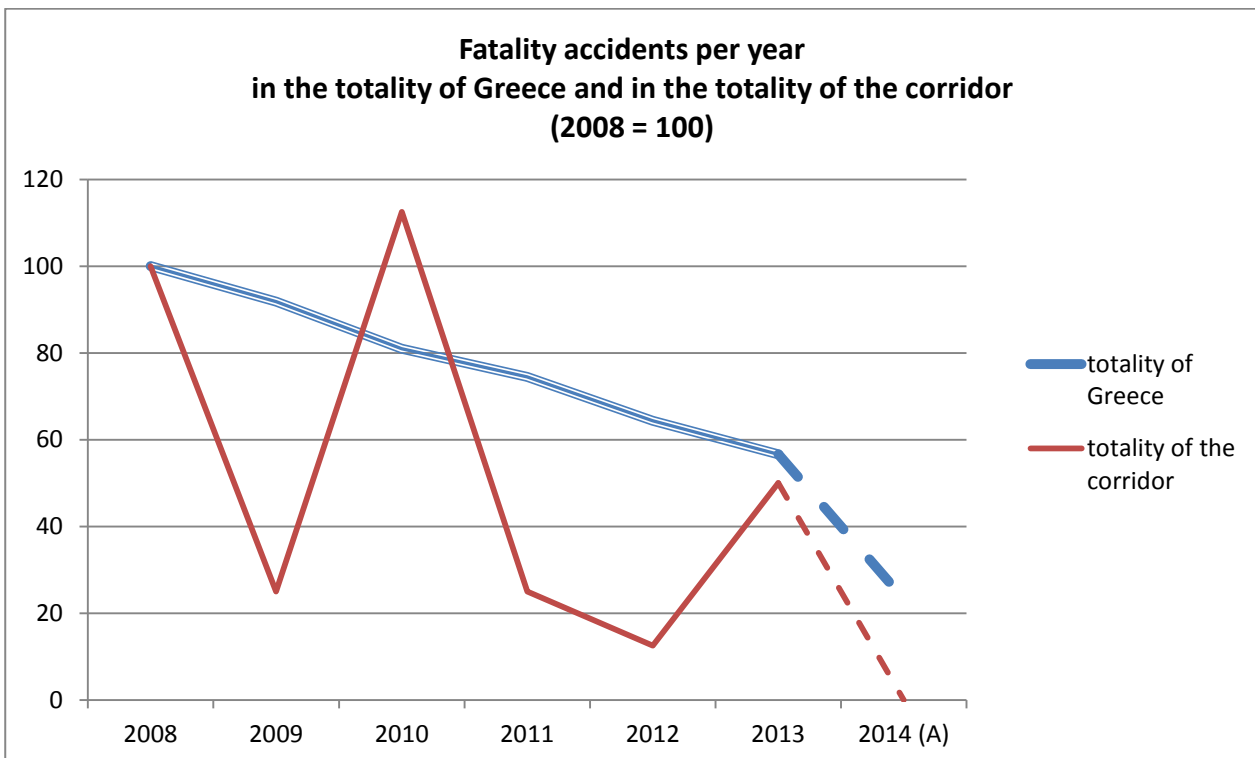
**Figure 3.** Fatality accidents per semester in the totality of the corridor, i.e. motorway plus two-lane road (solid red) and the motorway alone (dashed green)

#### 4. COMPARISON WITH NATIONAL ACCIDENT TRENDS

The numbers of casualty and fatality accidents in both the corridor and the totality of Greece are indexed, setting the value of 100 for the year 2008. The trend in both cases is downward and the indices are closely correlated (Pearson's R coefficient equals 0.8375). However, the drop in accident numbers is more intense along the Tripoli-Kalamata corridor than in the rest of the country, as illustrated in Figures 4 and 5. For example, in 2013 accidents along the corridor were 76% less than in 2008; whereas in the country the reduction was only 19%.



**Figure 4.** Casualty accidents per semester in the totality of Greece (blue) and in the totality of the corridor, i.e. motorway plus two-lane road (red) – indexed (2008=100)

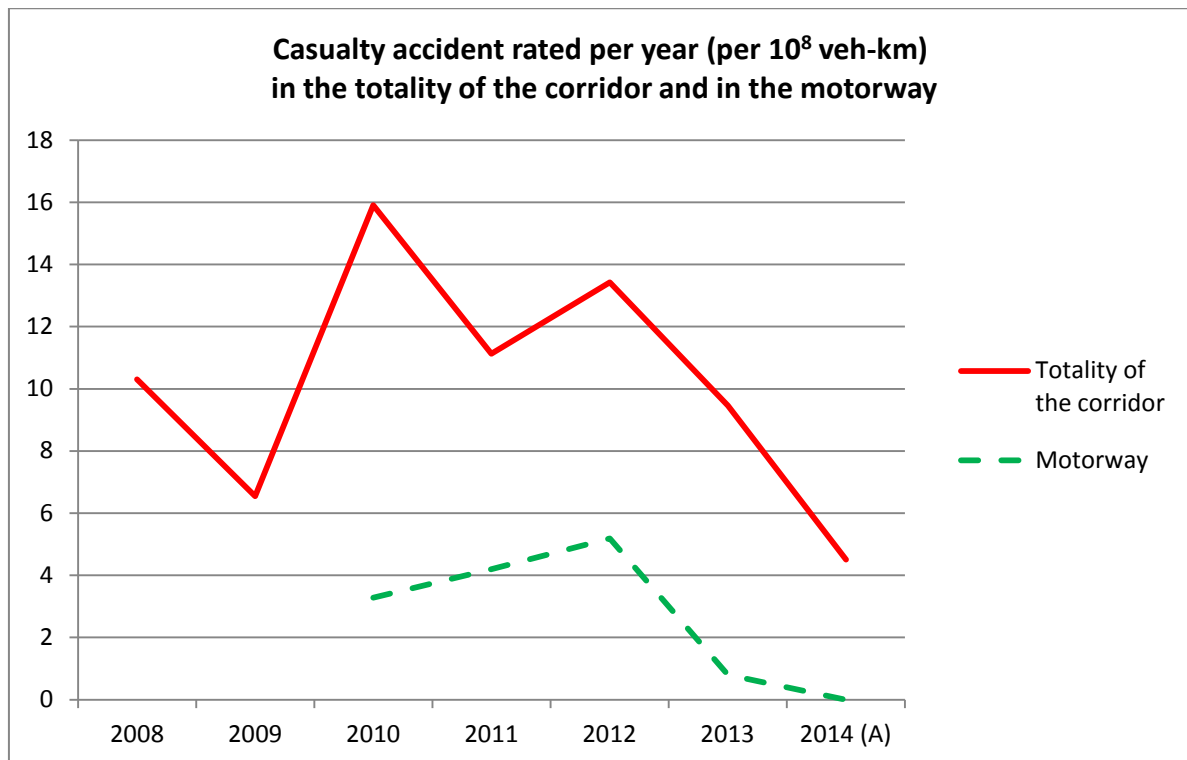


**Figure 5.** Fatality accidents per semester in the totality of Greece (blue) and in the totality of the corridor, i.e. motorway plus two-lane road (red) – indexed (2008=100)

### 5. EVOLUTION OF ACCIDENT RATES ON THE MOTORWAY AND THE TWO-LANE ROAD

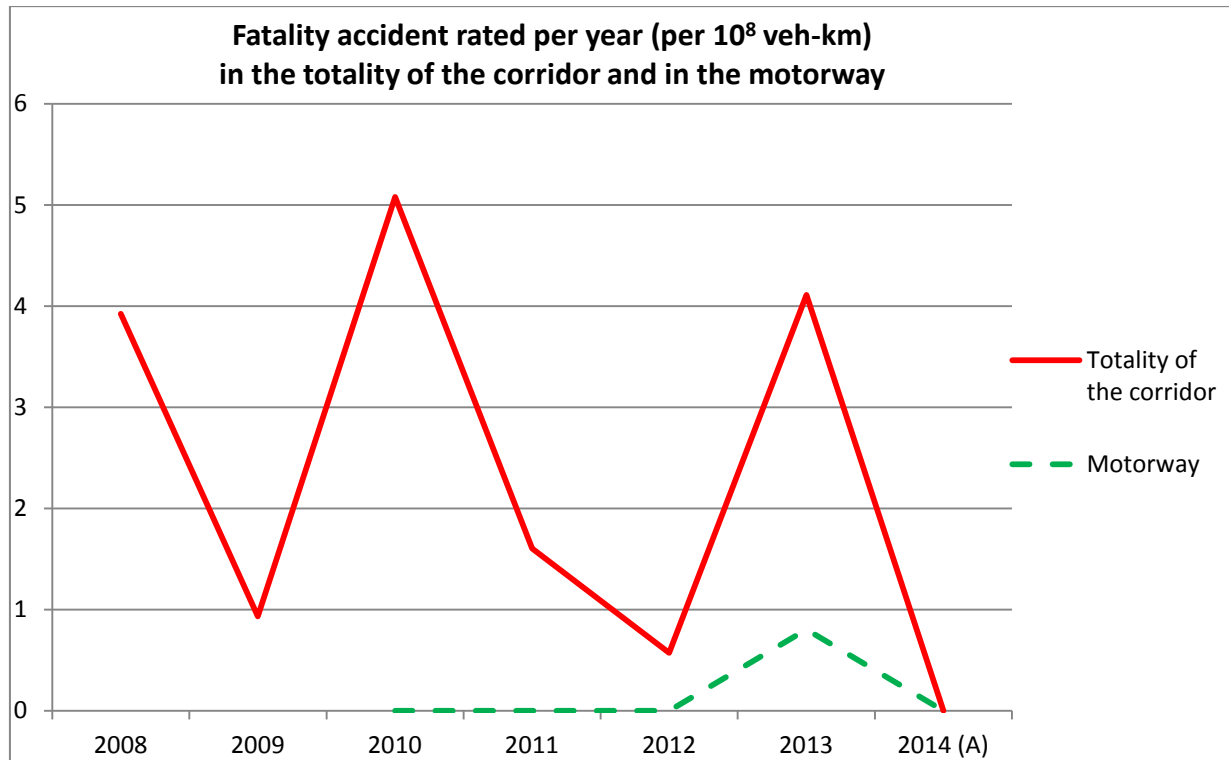
Accident rates observed in the first few years of incremental operation of the Tripoli-Kalamata motorway are systematically under 6 casualties per  $10^8$  vehicle-km – a level compatible with other domestic and international motorways [3].

The evolution of the casualty accident rate and fatality rate for the totality of the corridor and for the motorway is shown in Figures 6 and 7.



**Figure 6.** Casualty accident rates per semester for the totality of the corridor, i.e. motorway plus two-lane road (solid red) and the motorway alone (dashed green), 2008A through 2014B





**Figure 7.** Fatality rates per semester for the totality of the corridor, i.e. motorway plus two-lane road (solid red) and the motorway alone (dashed green), 2008A through 2014B

Furthermore, casualty numbers and rates are compared for the part-periods A (2008-2010) and B (2011 through June 2014), both for the totality of the corridor and for each of its five segments from north to south. Table 2 shows the comparison for the whole corridor (motorway plus two-lane road) and Table 3 for the two-lane road only.

**Table 2.** Accident numbers and rates per segment of the full corridor

Part-period	Corridor segment					Full length
	I-i	II-ii	III-iii	IV-iv	V-v	Full corridor
<b>CASUALTY NUMBER</b>						
(A) 2008-2010	26	27	5	26	28	112
(B) 2011-2014A	15	11	2	4	19	51
<b>TOTAL</b>	<b>41</b>	<b>38</b>	<b>7</b>	<b>30</b>	<b>47</b>	<b>163</b>
<b>CASUALTY RATE per 10<sup>8</sup> vehicle-km</b>						
(A) 2008-2010	23,13	18,50	11,83	24,46	13,48	18,22
(B) 2011-2014A	14,41	9,56	2,71	4,20	8,45	8,32
<b>TOTAL</b>	<b>18,94</b>	<b>14,56</b>	<b>6,02</b>	<b>14,89</b>	<b>10,86</b>	<b>13,28</b>

**Table 3.** Accident numbers and rates per segment of the two-lane road

Part-period	Corridor segment					Full length 2-lane road
	i	ii	iii	iv	v	
<b>CASUALTY NUMBER</b>						
(A) 2008-2010	26	24	5	26	28	109
(B) 2011-2014A	8	10	0	4	19	41
<b>TOTAL</b>	<b>34</b>	<b>34</b>	<b>5</b>	<b>30</b>	<b>47</b>	<b>150</b>
<b>CASUALTY RATE (per 10<sup>8</sup> vehicle-km)</b>						
(A) 2008-2010	24,11	19,83	12,09	24,46	13,48	18,66
(B) 2011-2014A	60,25	54,96	0,00	6,30	12,01	14,59
<b>TOTAL</b>	<b>28,08</b>	<b>24,42</b>	<b>7,24</b>	<b>17,67</b>	<b>12,84</b>	<b>17,34</b>

The following observations can be made:

- Segments with the highest curvature (i.e. I/i, IV/iv and II/ii) have the highest casualty rates.
- In all 5 segments, rates decrease in part-period B. The corridor's full-length rate in period B is 54% lower than in period A.
- Rate reduction is significantly lower if the 2-lane road is considered alone. In fact, the rate in certain segments (i and ii) are increased in part-period B compared to A.

Chi-square testing resulted in significance at a level of 0.05 or lower (i.e. highest significance) in the following comparisons:

**CORRIDOR:**

- Segment I/i has the lowest reduction in casualty rate (significance level 0.016)
- Segments III/iii (0.014) and IV/iv (0.041) have the highest reduction

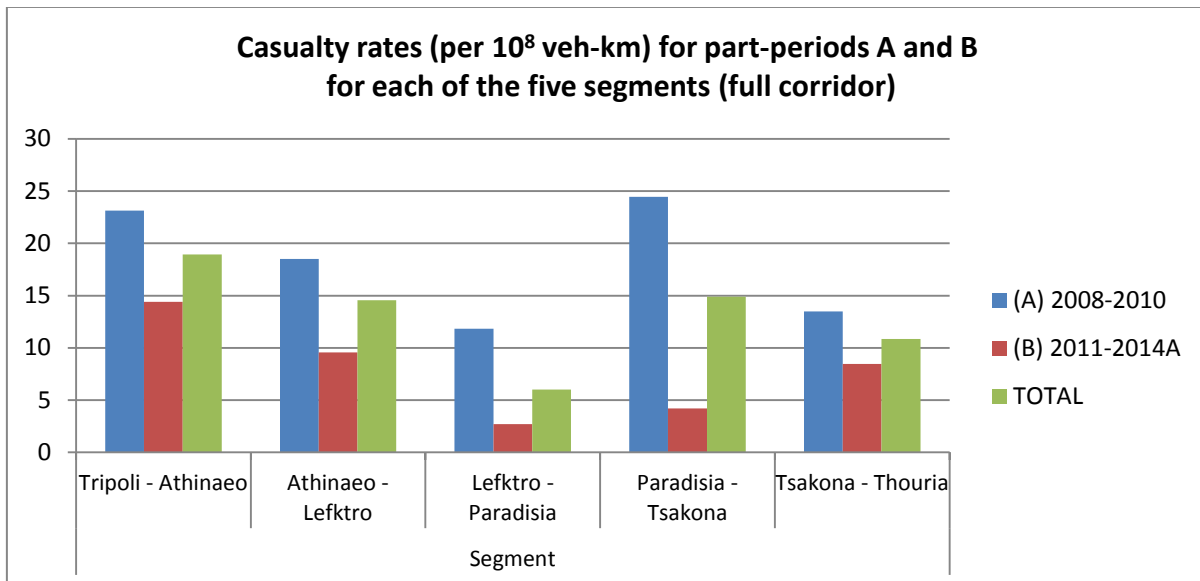
**TWO-LANE ROAD:**

- Segments i and ii have a statistically highly significant increase (instead of a decrease) in casualty rates (levels  $3 \times 10^{-33}$  and  $4 \times 10^{-26}$  respectively)
- Compared to the overall rate reduction, that in segments iii and iv is higher (significance levels  $4 \times 10^{-5}$  and 0.011 respectively)

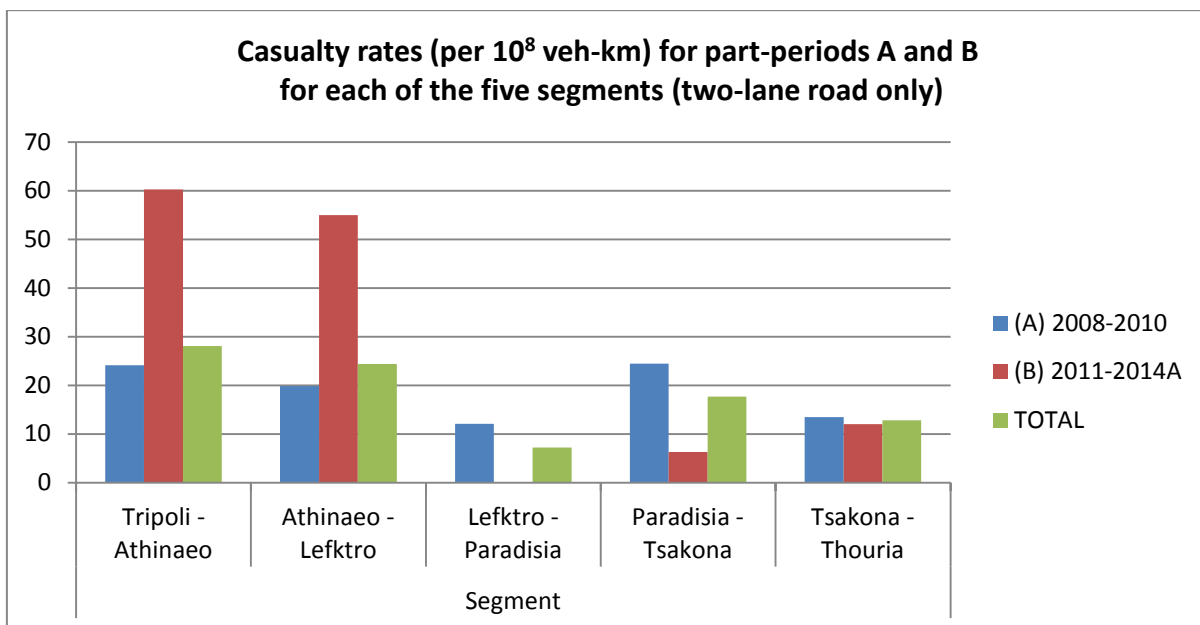
**CORRIDOR vs. TWO-LANE ROAD:**

- The corridor's reduction is bigger than that of the two-lane road alone. The difference is significant at a level of 0.029.

Comparison of the rates per segment is depicted in Figures 8 and 9 respectively.



**Figure 8.** Casualty rates for part-periods A and B for each of the five segments (full corridor)



**Figure 9.** Casualty rates for part-periods A and B for each of the five segments (two-lane road only)

## 6. CONCLUSIONS

The Tripoli-Kalamata corridor has clearly improved in terms of road safety since the gradual opening of motorway sections. This improvement is stronger than the overall drop in accident figures that has been observed for the whole of Greece in the years since 2008. The evidence suggests that safety improvements along the corridor were not an inevitability but rather the result of the introduction of an inherently safer new motorway alignment.

In fact, the two-lane pre-existing road has only marginally improved in terms of safety over the examined 6.5 year period; in two of its segments, accident rates have actually deteriorated.

Although the timeframe of the analysis was not sufficient for a full-blown before-vs.-after comparison, it is still possible to identify statistically significant differences that demonstrate the improvements achieved through the construction and operation of a modern motorway along the Tripoli-Kalamata corridor. Future analysis, especially if paired with even more systematic traffic and accident data collection on behalf of the Greek State, will allow for sound, substantiated results at a wider scale.

However, even with data covering only short periods, especially in a relatively low-volume traffic corridor such as Tripoli-Kalamata – which has an AADT well under 10,000 vehicles – the corridor-wide analysis can enhance possibilities for identifying the true safety impacts of projects.

This approach may be worth pursuing beyond individual projects as well, for comparing road safety trends on new constructed corridors across the region (Serbian Road Corridors being a possible example). Indeed, national road authorities and/or project implementation units may be interested in monitoring the overall safety performance of their networks using – among other things – some of the ideas used in the present paper.

## References

- [1] Elvik R., Vaa T “The handbook of Road Safety Measures”, 2004
- [2] LBoyle, A.J.; Wright, C.C. Accident migration after remedial treatment at blackspots. *Traffic Engineering and Control* 25:260-267; 1984.
- [3] DaCoTA European Road Safety Observatory, “Traffic Safety basic facts 2012 – Motorways”, 2013

## H4b BETONSKE ZAŠTITNE OGRADE NA SLOVENSKIM AUTOPUTEVIMA

### Miran Klemar

DELTA BLOC International GmbH, A-2752 Wöllersdorf, Kirchdorfer Platz 1, Avstrija,  
miran.klemar@deltabloc.com

Abstrakt: Evropska norma EN 1317 kao najstroži kriterij predviđa nivo (stepen) zadržavanja H4b, tj. sistem koji mora da izdrži sudar i proboj tegljača od 38 tona, kod brzine sudara 65 km/h i upadnog ugla 20°. Taj sistem BZO nivoa zadržavanja H4b sve više postaje stalnica i na slovenskim autoputevima. Pošto autoputevi nisu samo ravan otvoreni koridor, nego su dionice autpouteva i mostovi, viadukti, zvučne barijere u blizini naselja, sa različitim sistemima betonskih zaštitnih ograda (BZO) karakteristika H4b obezbeđuje se zaštita od proboja tegljača od 38 tona i na tim dionicama autputeva.

Ključne reči: H4b, betonske zaštitne ograde, BZO, zvučne barijere, EN 1317

*Summary: European norm EN 1317 as the most stringent criteria predicts level (degree) to keep H4b. Safety barrier must withstand impact and penetration tug of 38 tonnes, at speeds hitting 65 km / h in the incident angle of 20 °. The system of concrete safety barriers containment level H4b remains constant also on Slovenian motorways. Since the highway is not usually only straight corridor, bad also bridges, viaducts and highway are near the satlemnts with noisse barriers, sometimes needs to be provided protection from penetration of the 38 tons tugs on those shares also.*

**Key words:** H4b, concrete safety barriers, noise barriers, EN 1317

## 1. UVOD

Izbor odgovarajućih zaštitnih ograda na putevima merodavan je za bezbednost svih učesnika u saobraćaju, kako osoblja na gradilištima puteva i stanovnika pored puteva. Bezbednost saobraćaja sa pogleda zaštitnih ograda definisana je u evropskim normama EN 1317. Prvi standardi 1317 su iz godine 1993, u početku testiranjem sa kaskaderima u vozilima, a već od 1994 godine dalje već sa crash testovima sa lutkama (dummy), jer dokazivanje bezbednosti se dokazuje sa crash testovima sa različitim vozilima.

Najbitnije karakteristike koje se definišu standardom 1317:

- nivo zadržavanja; najniži N1 do najstroži H4b, (N1=900kg putnički automobil; H4b=38 tonski tegljač),
- radna širina sistema; najstroži W1 do najniži W8, ( $W1 \leq 0,6m$ ,  $W8 \leq 3,5m$ ),
- ASI stepen - jačina udara na putnika u vozilu 900kg; najstroži A do najniži C)

Ove 3 vrednosti dozvoljavaju da se odbojna ograda od prefabrikovanih betonskih elemenata, od livenog betona, od čelika i drugih materijala nezavisno od njihovog načina proizvodnje i montaže - uporede jedan sa drugim i da se njihovo ponašanje u slučaju udara opiše.

Ispitivaju se i drugi uslovi, kao što je odvajanje glavnih delova ograde, usmeravanje vozila u pravcu vožnje po udaru, prodor delova ograde u putničku kabinu vozila,...

Evropska norma 1317 je harmoniziovana 01.01.2008 sa prelaznim vremenom od 3 godine, tako, da je od 01.01.2011 u zemljama EU dozvoljena samo upotreba zaštitnih ograda sertifikovanim po tom standardu, tj. sa CE sertifikatom.

## 2. STANJE NA PODRUČJU UPOTREBE BETONSKIH ZAŠTITNIH OGRADA U EVROPSKIM ZEMLJAMA

U većini EU zemalja središnja zaštitna ograda mora izdržati udar od najmanje 13 tonskog autobusa. Zavisno o države, propisa u mnogo slučajeva zahteva se i najstroži zahtev H4b – što znači, da ograda treba da izdrži proboj kod udara tegljača od 38 tona sa brzinom 65 km/h i upadnim uglom 20°. Kako, gde i koje ograde se upotrebljavaju zavisi od projektovanja, odnosno zavisi od nacionalnih, državnih ili drugih standarda, smernica, pravila, itd...

Neki primeri su:

- Nemačka: izbor definisan u RPS 2009 (Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme )
- Austrija: RVS (Die Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen)
- Slovenija: TSC 02.210 : 2012 Varnostne ograde pogoji in način postavitve

**Tabela 1: Primene novoa zadržavnja po tabeli RVS Austrija**

JDTLV	zul. Höchst-geschwindigkeit für PKW [km/h]	Randabsicherung		Mittelabsicherung	
		Gefährdung		Mittelstreifenbreite	
		normal	hoch	> 3,50 m	≤ 3,50 m
≤ 1.000	≤ 100	N1	H1	H1	H2
≤ 1.000	> 100	N2	H1	H1	H2
1.000 < JDTLV ≤ 5.000	≤ 100				
1.000 < JDTLV ≤ 5.000	> 100	H1	H2	H2	H3
> 5.000	≤ 100	H2	H3 / H4b <sup>2)</sup>	H3	H3 / H4b <sup>2)</sup>
> 5.000	> 100				

<sup>2)</sup> bei besonders hohen Rückhalte- und Sicherheitsanforderungen

Izvor: RVS Austrija

**Tabela 2:** Primene nivoa zadržavanja po TSC 02.210 : 2012 Slovenija

	Specifičen občestni prostor in nevarni odseki cest	Nivo zadržavanja
1	Cesta skozi vodovarstveno območje (cona 1), kjer je dovoljena hitrost vožnje > 90 km/h	<b>H2 do H3</b>
2	Avtocesta, hitra cesta, glavna ali regionalna cesta I. ali II. reda, ki poteka vzporedno z železniško progo z gostim prometom	
3	Cesta, ki poteka ob posebno nevarnih objektih v katerih so prisotne nevarne kemikalije ali vnetljive snovi	
4	Avtocesta, hitra cesta, glavna ali regionalna cesta I. ali II. reda, kjer so v bližini javni prostori z gostim peš prometom	
5	Območje podpornih in nosilnih konstrukcij ob vozišču	
6	Ločilni pas širine $\leq 2,80$ m	

Izvor: TSC 02.210 : 2012

Pošto autoput nije samo ravni koridor sa nekoliko vozni traka u suprotnim pravcima podeljenih na sredini, nego su to i delovi autoputa kao tuneli, mostovi, zaštita od buke u području, gde prolazi autoput kroz ili pored naselja, itd...pa je tako i tu potrebna i zaštitna ograda koja može obezbeđivati nivo zadržavanja H4b.

## 2.1 Trasa

Glavno područje za upotrebu stalnih zaštitnih ograda su najviše brzi putevi i autoputevi. U većini EU zemalja za središnju zaštitnu ogradu zahteva se da izdrži udar 13 tonskog autobusa. Zavisno od države, u mnogo slučajeva zahteva se i najstroži zahtev H4b – što znači, da ograda treba da izdrži proboj kod sudara tegljača od 38 tona sa brzinom 65 km/h i upadnim uglom 20°. Barijera H4b tako može i u redkim slučajevima sastavljena iz dva reda BZO, kao je to slučaj u Austriji u Beču.



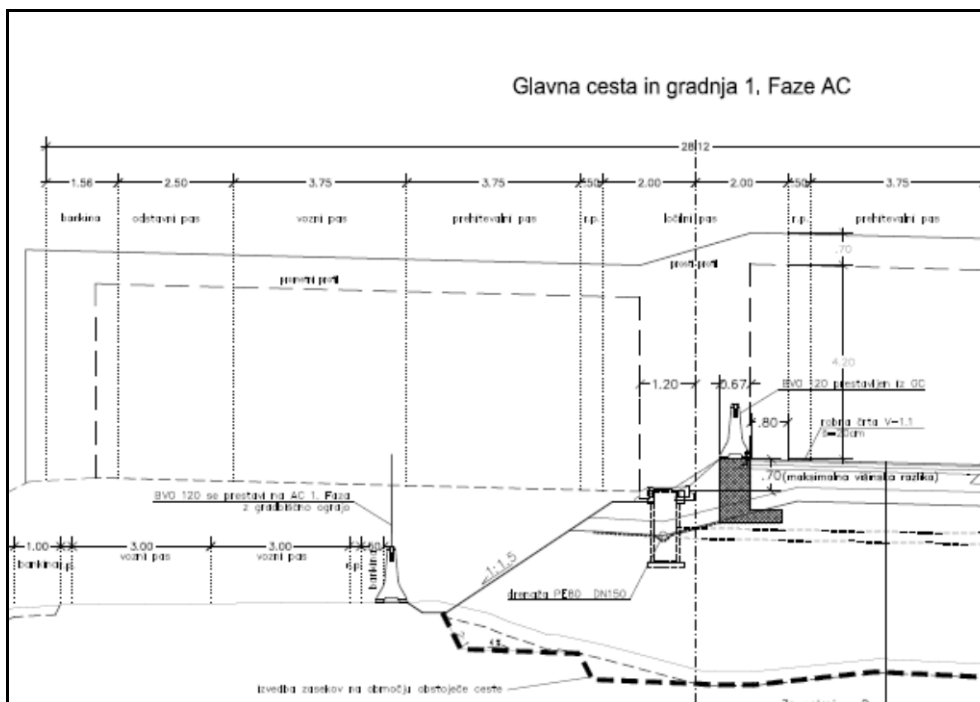
**Slika 1:** BZO montažna zaštitna H4b u srednjoj traci autoputa – dva reda Austrija  
Izvor: Arhiva Deltabloc

Obično se postiže nivo zadržavanja na trasi i sa jednim redom BZO. Tipovi Deltabloc BZO, koji obezbeđuju nivo zadržavanja za trasu sa jednim redom su Deltabloc DB 100, Deltabloc DB 120S i Deltabloc DB 100 LSW-M sa integriranom zvučnom ogradom.



**Slika 2:** BZO - montažna nivo zaštite H4b u srednjoj traci autoputa – jedan red  
Izvor: Arhiva Deltabloc

Kod izgradnje zadnje 17km dionice autoputa u Sloveniji AC A4 Slivnica – Draženci – MMP Gruškovje upotrebljen je sistem Deltabloc DB 120S H4b/W5. Pošto se radi ta trasa na postojećoj trasi, kao dobra primena u praksi, navedena barijera prvo se koristi kao privremena ograda za gradilište, pa se posle demontira i ponovo montira kao stalna montažna BZO u srednjoj razdelnoj traci.

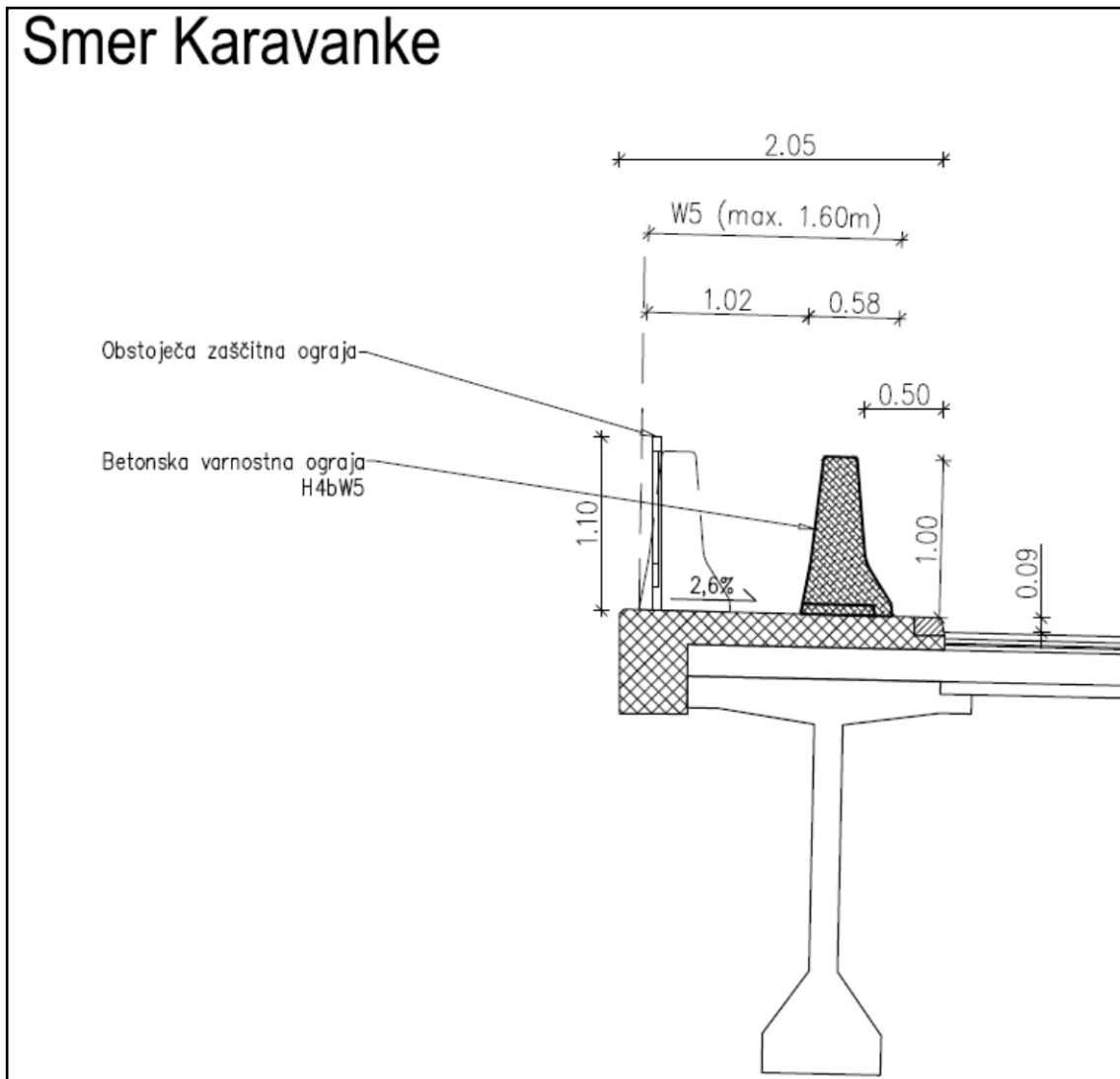


**Slika 3.** NPP AC A4 Gruškovje Draženci sa BZO DB 120S K280E H4b/W5/ASI B  
Izvor: PZR DARS AC A4 Slivnica MMP Gruškovje



## 2.2 Most

Zaštitne ograde za mostove takođe se ubrajaju u trajne zaštitne ograde, ali zbog svojih posebnih karakteristika imaju sopstvenu kategoriju.



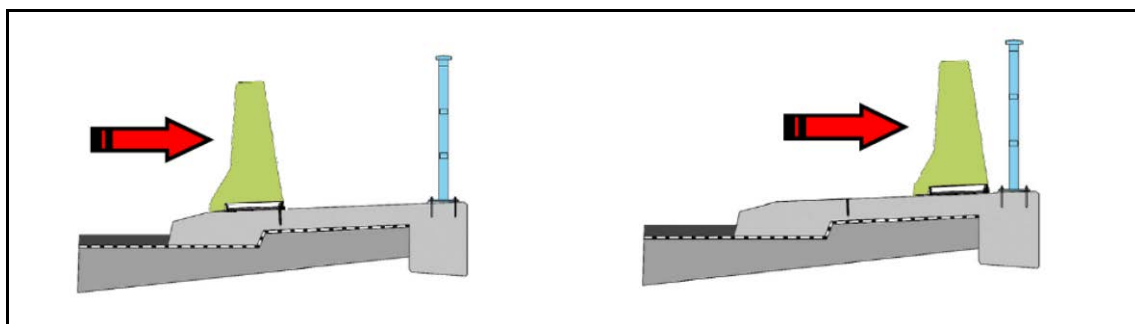
**Slika 4:** Viadukt Kokra Smer Karavnke DB 100AS-R H4b  
Izvor: Tender DARS Mart 2016

Posebno i zahtevano područje za upotrebu zaštitnih ograda su mostovi i vijadukti na putevima i autoputevima. Uobičajeni betonski Nju Džersi elementi su povezani sa nosačem ili se konstrukcijskom armaturom, tako, da kod udara tegljača dođe do većih oštećenja noseće konstrukcije ili rubnog venca. Bolji način nekih ograda sa crash testom je prosto postavljanje na rubni venac ili noseću konstrukciju.

Prednost nekih sistema kao npr. sistem DB 100AS-R su pored najveće sigurnosti zadržavanja H4b i malo područje delovanja W5, dokazano i izmereno smanjenje opterećenja na konstrukciju mosta rubne kape u slučaju udara za otprilike 2/3, sistemsko rešenje dilatacije elementima dilatacije za delovanje mosta i do 90cm i noseća konstrukcija i rubni venac mosta ili vijadukta ostaju i nakon udara tegljača od 38 t neoštećeni.



**Slika 5:** Ograda i noseća konstrukcija pre i posle udara tegljača od 38 tona  
Izvor: Kreš test arhiva Deltabloc



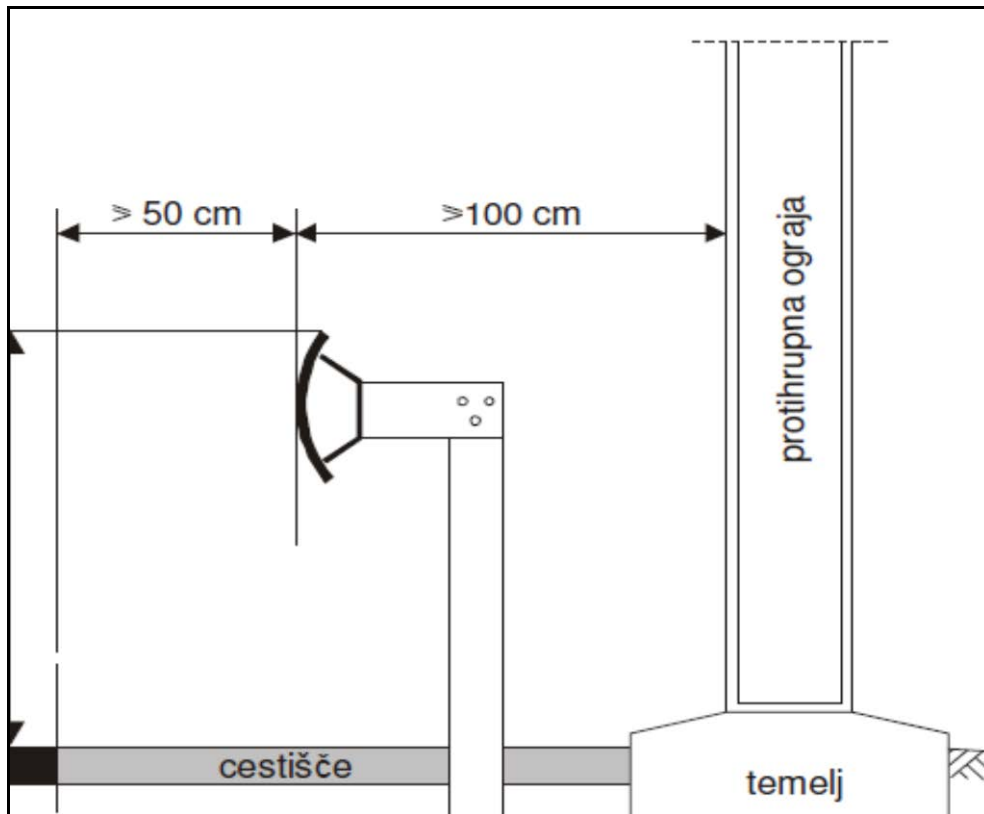
**Slika 6:** Šematski prikaz levo pre udara, desno posle udara tegljača od 38 tona  
pomak BZO 98cm ograda za pešake ostaje neoštećena  
Izvor: Arhiva Deltabloc

Uprava DARS je sa nalogom 112/2014-U dana 17.10.2014 sa datumom 11.11.2014 potvrdila, da se na svim premostitvenim objektima (mostovima, viaduktima) dužine više od 100 m in visine iznad 10 m primenjuju zaštitne ograde nivoa zadržavnja H4b.

U većini EU zemalja središnja zaštitna ograda treba najmanje da izdrži sudar 13 tonskog autobusa. Zavisno od države, propisa u mnogo slučajeva zahteva se i najstroži zahtev H4b – što znači, da ograda treba da izdrži proboj kod udara tegljača od 38 tona sa brzinom 65 km/h i upadnim uglom 20°. Pa tako i u Sloveniji na autoputevima DARS-a primenjuje se i u sredinem razdelnom pojasu sistem H4b.

### 2.3 Ograde za zaštitu od buke

Sve više zemalja obraća pažnju i na okolinu i zaštitu životne sredine kroz koju prolaze brzi putevi i autoputevi, pa je tako i u Sloveniji u poslednjih nekoliko godina izrađeno nekoliko 100.000 m<sup>2</sup> barijera za zaštitu od buke. Osnovna rešenja su npr. Obračanje pažnje na izbor vozne površine (kakav asfalt, beton,...), smanjenje maksimalne brzine (npr. u noćnim satima), pasivno rešenje – obnova prozora okolnih zgrada, i svakako još rešenje postavljanjem barijere za zaštitu od buke. Širina puteva i autoputeva u puno slučajeva nije neograničena, pa tako još uvek na mnogim autoputevima sistemi zaštitne ograde i zvučne barijere nisu izvedeni po propisima za bezbednost saobraćaja, posebno ne sa zahtevima standarda 1317.



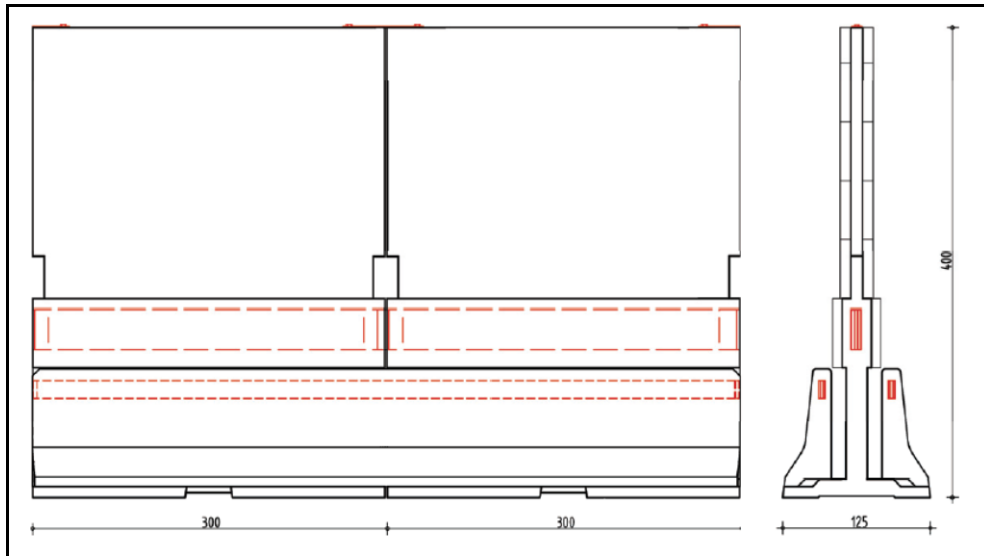
**Slika 7:** Šematski prikaz zaštitne ograde i zvučne barijere  
Izvor: TSC 02.210 : 2012

Ako se izvede detalj po gore navedenim minimalnim uslovima, kod većine čeličnih zaštitnih ograda kod udara putničkog vozila težine od 900 kg, dolazi do pomeranja čelične ograde za radnu širinu W4, W5, tj. 1,3 ili čak 1,7 metara, što znači, da putničko vozilo udari i u ogradu za zaštitu od buke. Kod udara tegljača od 38 tona, pomeranje čelične ograde zavisno od tipa može biti i do W7, W8. To znači da ima katastrofalne posledice na vozača u vozilu, okolinu, ako je sistem u srednjoj traci a dođe do proboja i za vozila u suprotnom pravcu,...

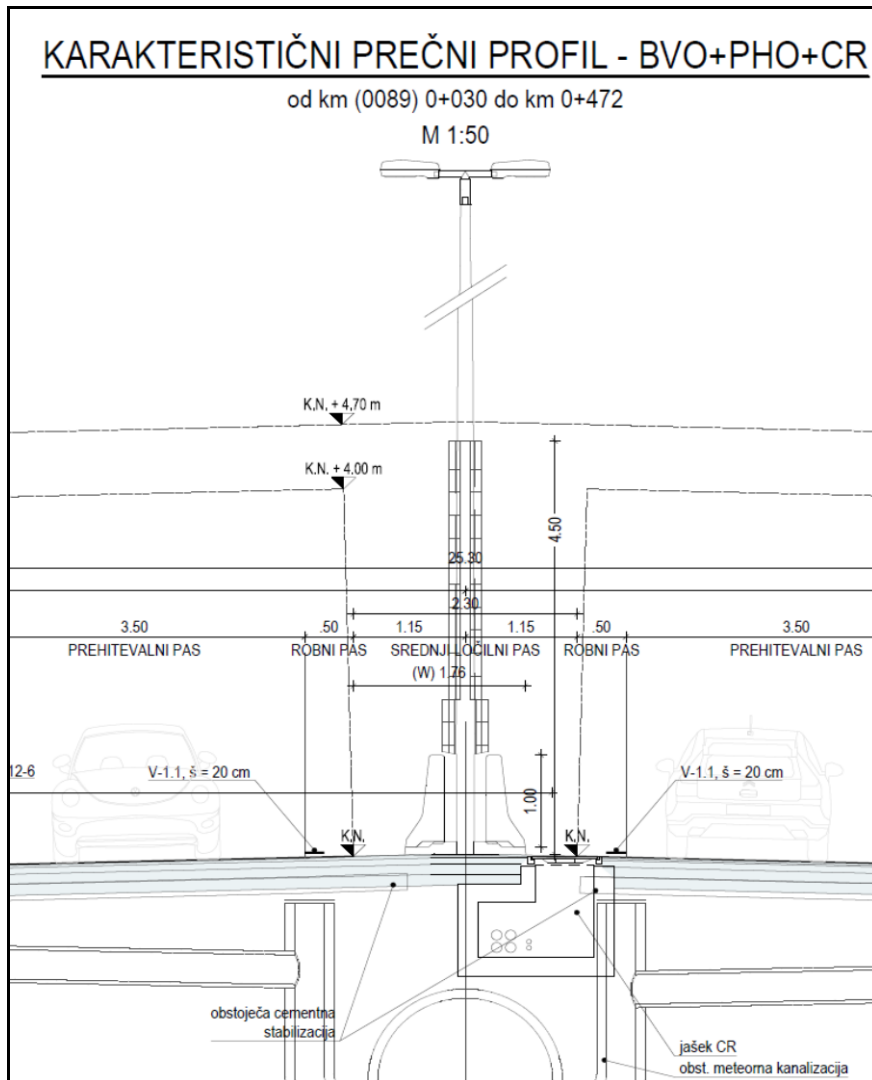
U mnogim zemljama su sistemi za zaštitu od buke svrstani u veoma rizičnu kategoriju jer su najčešće pozicionirani veoma blizu saobraćajnog toka. U ovom slučaju neophodno je da se ispred zida za zaštitu od buke postavi sistem za zadržavanje. Pomoću savremene kombinacije ograde za zaštitu od buke i sistema za zadržavanje vozila, Deltabloc je razvio kvalitetni proizvod koji može da kombinuje prednosti oba sistema. Rezultat je veoma efikasna zaštita od buke i istovremeno pouzdana zaštita sistem za zadržavanje vozila po najstrožem kriterijumu nivoa zadržavnaja vozila H4b.

Zbog navedenog pokazala se nužda i za sistem za zadržavanje i za sistem za zaštitu od buke tkz. integrirani sistem za zaštitu od buke i zadržavanje. Sistem u zavisnosti od izrade služi za obezbeđivanje srednje ili spoljne trake na autoputevima i istovremeno omogućuje visoku apsorpciju buke pomoću materijala za apsorpciju koji se nalazi na površini (drvo-cement absorberi, Phonobloc absorberi,...).

Delta Bloc ograda za zaštitu od buke postavlja se slobodno, bez pričvršćivanja na podlogu. Na njenom postolju postavlja se zatim sistem za zadržavanje vozila t.z. Nju Džersi ograda.



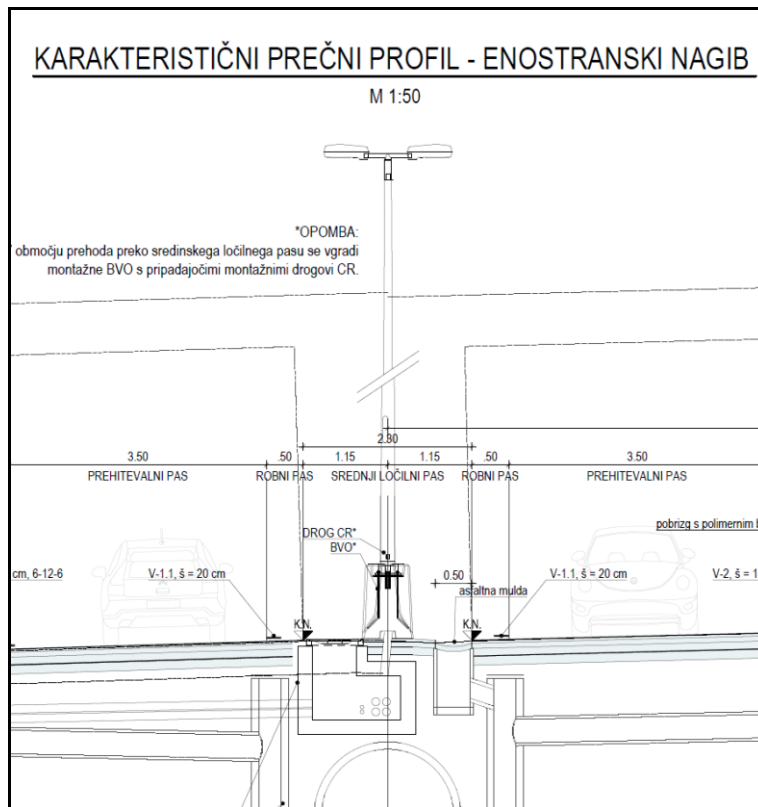
**Slika 8.** Zaštitna ograda H4b sa integrirano zaštitnom ogradom protiv buke  
 Obostrana ograda za srednju razdelnu traku H4b / W5 / ASI B  
 Izvor: Arhiva Deltabloc



**Slika 9.** NPP HC H3 Obvoznica Ljubljana Dunajska - Celovška  
 BZO DB 100 LSW-M H4b/W5/ASI B  
 Izvor: PZR DARS HC H3 Obvoznica Ljubljana

Zbog brze montaže i slobodno postavljenog sistema za zadržavanje i zaštitu od buke, sistem se pokazao kao najjeftinije rešenje, kako za bezbednost saobraćaja na najvećem stepenu H4b, tako i za zaštitu okoline od buke.

Pa se tako sa stajališta brzine montaže analizom došlo do impresivnih rezultata, da bi se dva gradilišta za izgradnju barijera za zaštitu od buke u Sloveniji (Celje - Dramlje i Vrhnika – Brezovica, svako po cca. 100.000m<sup>2</sup> barijera za zaštitu od buke), umesto izgradnje svakog gradilišta dve godine, navedno svako gradilište sa montažnim sistemom moglo izgraditi za oko 100 radnih dana. Dakle umesto 2 godine trajanja gradilišta, i sa tim nerovoze zbog zastoja pa naravno i troškova privrede zbog zastoja, čekanja,... za samo 100 dana, moglo se zmontirati ista količina barijera za zaštitu od buke sa montažnim sistemom Deltabloc novoa zadržavnja H4b, radne širine W5, i sa pogleda zvučne barijere zvučne absorpcije A3, ili A4 ovisno od absorbera i zvučne izolativnosti B4.



**Slika 10.** NPP HC H3 Obvoznica Ljubljana Dunajska - Celovška  
BZO DB 100S sa razsvjetom  
Izvor: PZR DARS HC H3 Obvoznica Ljubljana



**Slika 11:** Ograda za zaštitu od buke na srednjoj traci autoputa A1 – Maribor Slovenija DB 100 LSW-M / H4b W5 sa, visina zida za zaštitu od buke 400cm  
Investitor: DARS (Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji d.o.)  
Izvor: Arhiva Deltabloc

## ZAKLJUČAK

Evropski standard 1317 doneo je mnogo mogućnosti za izbor i implementaciju sa kreš testom sertifikovanih zaštitnih ograda, različitih vrsta, različitih materijala, različitih oblika i dimenzija, ali su obično nacionalni propisi, smernice, "Rihtlinije," ili kako kod se zvali u svakoj zemlji još više od bitnijeg značaja za bezbednost saobraćaja iz pogleda zaštitnih ograda, dok je standard 1317 samo jedno od sredstava za postizanje tih rezultata iz oblasti bezbednosti u saobraćaju.

Ipak najviše toga zavisi od svake zemlje u EU i izvan granica EU, gde i kad upotrebljavati ograde po standardu 1317. Pa tako DARS na autoputevima u Sloveniji sve više i više primenjuje najstroži kriteriom nivoa zadržavnja H4b i sa tog pogleda čak pretiče većinu EU zemalja.

Nekoliko primena dobre prakse upotrebe BZO nivoa zadržavanja H4b u Sloveniji:

- AC A4 Gruškoje - Draženci (Ptuj - Zagreb). Srednja razdelna traka. BZO DB 120S H4b/W5/ASI B
- HC H7 Lendava – Dolga vas – Madžarska. Srednja razdelna traka. BZO DB 100 H4b/W6/ASI B
- HC H3 Obilaznica Ljubljana. BZO DB 100S H3/W7/ASI A
- Mostovi i viadukti po autoputevima DARS-a po AC A1, AC A2 Sloveniji (Rabvarkomanda, Kokra, Tržiška Bistrica, Drava Maribor,...). BZO DB 100AS-R H4b/W5/ASI B.
- AC A1 Vrhnika - Ljubljana. H4b/W5/ASI B sa integriranom zvučnom barijerom na rubnoj traci.
- AC A1 Maribor – Celje. DB LSW-M H4b/W5/ASI B, sa integriranom zvučnom barijerom na srednjoj razdelnoj traci.

## LITERATURA

- [1] Evropski standard EN 1317
- [2] <http://www.bast.de/>
- [3] RPS 2009 (Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme )
- [4] RVS (Die Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen)
- [5] TSC 02.210 : 2008 VARNOSTNE OGRAJE POGOJI IN NAČIN POSTAVITVE
- [6] <http://www.deltabloc.com/>
- [7] <http://www.phonobloc.com/>
- [8] Arhiv DELTA BLOC International GmbH

# COMPARISON BETWEEN SERBIAN AND ITALIAN POLICIES REGARDING ROAD SAFETY

**Assistant Professor Sanja Fric<sup>1</sup>, phd**

<sup>1</sup> Faculty of Civil Engineering, Belgrade, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [sfric@grf.bg.ac.rs](mailto:sfric@grf.bg.ac.rs)

**Assistant Professor Francesca Russo, phd**

University Federico II, Naples, Italy, [francesca.russo2@unina.it](mailto:francesca.russo2@unina.it)

**Associate Professor Dejan Gavran, phd**

Faculty of Civil Engineering, Belgrade, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [gavran@eunet.rs](mailto:gavran@eunet.rs)

**Teaching Assistant Vladan Ilić, MSc**

Faculty of Civil Engineering, Belgrade, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [vilic@grf.bg.ac.rs](mailto:vilic@grf.bg.ac.rs)

**Teaching Assistant Filip Trpčevski, MSc**

Faculty of Civil Engineering, Belgrade, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [frpcevski@grf.bg.ac.rs](mailto:frpcevski@grf.bg.ac.rs)

**Teaching Assistant Stefan Vranjevac, MSc**

Faculty of Civil Engineering, Belgrade, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [svranjevac@grf.bg.ac.rs](mailto:svranjevac@grf.bg.ac.rs)

**Abstract:** *Due to a large number of casualties, the road safety has become one of the most important issues in a modern society. To achieve and keep ever descending traffic accident rates, the in depth study of driver – vehicle – environment inter relation is of at most importance. The key question is how to include the safety requirements in road planning and design process, in a way that would result in the improvement of road safety in broader sense. In this paper a comparison between Serbian and Italian policies on Road Safety is discussed. The authors hope that a two-way analyses of these policies could lead to the Road Safety enhancements in both countries.*

**Key words:** *road safety, casualties, improvement, policies*

## 1. INTRODUCTION

The large number of traffic accidents and, above all, the large number of casualties, makes the road safety one of the key issues in a modern society. In order to achieve and keep ever descending traffic accident rates, it is important to tackle the problem in several different ways, especially from the point of interaction between the driver, the vehicle and the environment .

In order to identify and manage high accident concentration sections within the European Community, the Directive 2008/96/EC [1] of the European Parliament and of the Council on Road infrastructure Safety Management pointed up the need to carry out safety impact assessments and road safety audits. In order to respect human limitations in information processing, the road is to be designed in accordance with driver's expectations: a road design that obeys the driver's limitations and respects his/her expectations increases the likelihood of proper responding to conditions on the road correctly and quickly. Consequently, when drivers are not provided with information in a timely fashion, when they are overloaded with information, or when their expectations are not met, inadequate responses and errors may occur [2].

---

<sup>1</sup> Sanja Fric: [sfric@grf.bg.ac.rs](mailto:sfric@grf.bg.ac.rs)

As one of the most disappointing results in terms of road traffic safety, 70789 accidents in total were recorded in 2007 in Serbia, out of which 968 resulted in casualties. By enforcing the new law on road traffic safety in 2009, such number of accidents has been dramatically decreased, meaning that in 2010 there were 47757 accidents in total, with 660 casualties.

Especially when considering decreased mobility of citizens, these statistical data should rather be considered as a relative than absolute parameter. In addition, fewer casualties are the consequence of decreased use of automobiles on Serbian road network and, as such, they are not entirely related to the enforcement of the new law. Unfortunately, total number of accidents has been decreased, whereas the number of casualties has been increased, meaning that in 2012, there were 37559 recorded traffic accidents with altogether 684 persons succumbing to injuries [14].

In Italy, during 2012 year, a total number of crashes was 141,715 on urban roads, including 191,521 injuries and 1,562 fatalities. On the freeways a total number of 9,398 crashes was registered, including 15,852 injured and 330 fatalities. On the rural roads, excluding motorways, there were 35,613 crashes, with a total number of 57,343 injuries and 1,761 fatalities.

The most dangerous crashes occurred on rural roads, where the fatality rate can reach a level of 4.94 fatalities in 100 crashes. On urban networks a fatality rate of 1.10 fatalities in 100 crashes was observed, while the fatality rate on freeways reaches 3.51. Compared to 2011, the fatality rate is increased on the rural roads and freeways, with the fatality rates 4.73 and 3.07 respectively. However, it remains constant on urban roads.

The study presented here is a part of wider research programme which has been under way from several years [3] and it's focused on the comparison between the operating speeds on horizontal circular curves located in Serbia and in Italy. Only curves on two-lane rural roads in low-traffic volume conditions without spiral transition curves were studied. Two driver behavior types were found: a) drivers that decelerate approaching the middle of the curve and then accelerating; b) drivers that decelerate trough out the whole length of circular curve. T-test was performed and no statistically significant differences were identified in terms of operating speed levels while approaching and leaving the curve, be it in Italy or Serbia.

The key question remains: how to incorporate safety requirements into the road planning and design process in a order to reduce the accident rate and enhance the road safety in general? The paper predominantly tackles the relation between the speed and the elements of the road as one of the key parameters which affects both – safety and comfort.

This paper presents comparison and different approaches regarding road safety in Serbian and Italian policies and gives recommendation for their improvement.

## **2. ROAD PLANNING AND DESIGN ISSUES**

It can be said with the certainty that the road planning and design process represents the process which has to provide a high level of quality (high safety and maximal flow) while minimizing the investments, running costs and environmental impact.

The prospects of producing the high quality road design decrease trough the design stage. In the early stages of the design (conceptual and preliminary design) there are much higher chances of producing appropriate design solutions, especially from the point of safety, as well from the point of reducing running costs, minimizing environmental impact etc. When it comes to the final design, the opportunities of such improvement are very limited, or even lost during the previous design stage.

Previous studies have shown that the most important information perceived by the driver is provided by the road itself. According to these studies, the utmost effect on the driver, when making a decision about how to drive, is based on the horizontal alignment of the road [11].

It is the Preliminary design stage, where the design process must be focused on the dynamic analysis (relating the driver, the vehicle and the road itself), thus producing the design solution that is appropriate from the point of road safety.



The concept of the context-sensitive solution (CSS) is a best practice for project development [4] that provides an outcome satisfying both transportation requirements and community needs and values.

Several studies have dealt with the evaluation of the road alignment consistency, verifying how an increase in the design consistency results in a significant reduction of accident rate [5]. Design consistency in particular, is defined as the compatibility of road geometry and operational features with drivers' expectations.

Geometrical design refers to the selection of roadway elements that include horizontal alignment, vertical alignment, cross section, and the roadside of a highway or street. In general terms, good geometrical design assumes providing the appropriate level of mobility and access for motorists, cyclists, and pedestrians, while maintaining a high level of safety. Roadway design must also be cost effective in today's fiscally constrained environment. The goal is to provide geometrical design that "looks and feels" fully in accordance with the intended road purpose. Such an approach produces geometrical conditions that should result in operating speed levels consistent with driver expectations and commensurate with the function of the road. It is envisioned that a complementary relationship would then exist between design speed, operating speed, and posted speed limits [6].

Operating speed profiles are one of the most important tools to assess the consistency of a road design. Criteria established by Lamm and Choueiri [7] suggest, for example, to assess the magnitude of reduction in speed between successive design elements, as well as between the operating speed and the design speed per each geometric element.

Many researchers have verified that the parameter that predominantly influence the safe driving is the speed. In the scientific literature some research have dealt with speed prediction models to analyze real driver behavior. Operating speed is defined as the speed at which drivers travel on a dry road in free flow conditions during daylight hours and is calculated using a specific percentile of speed distribution, typically the 85th. Numerous studies have shown how operating speed profiles observed on existing roads served as tools for checking design consistency and, consequently, were used to assess the impact of road improvement.

Dell'Acqua and Russo [8] studied driver speed behavior on two lane low-volume roads without spiral transition curves between tangents and circular curves. Operating speed profiles were plotted for both travel directions, by taking speed measurements in free flow conditions, in daylight hours, on dry surfaces and in good weather conditions. Transition segments and deceleration/acceleration rates for each curve were assessed. The study of transitions relied on a methodology based on the operating speed profiles. It appeared that the mean deceleration transition length ( $L_d$ ) was equal to 115 m and the mean acceleration transition length ( $L_a$ ) was equal to 130 m. Out of the total  $L_d$  span 60% falls on the approaching tangent while the remaining 40% falls on the arc (the curve itself). Similarly, 51% of  $L_a$  falls on the exiting tangent, while the 49% remains on the arc.

In conclusion, the use of operating speeds in lieu of, or in addition to, design speed has been suggested and implemented in many countries, when dealing with the design consistency. One of the ways in which operating speeds are used in ensuring the design consistency is through the use of speed profiles. Speed-profile models are used to detect speed inconsistencies along the road. Design inconsistencies are identified on the speed profiles, where are large differences in operating speed levels between successive alignments of the road [9].

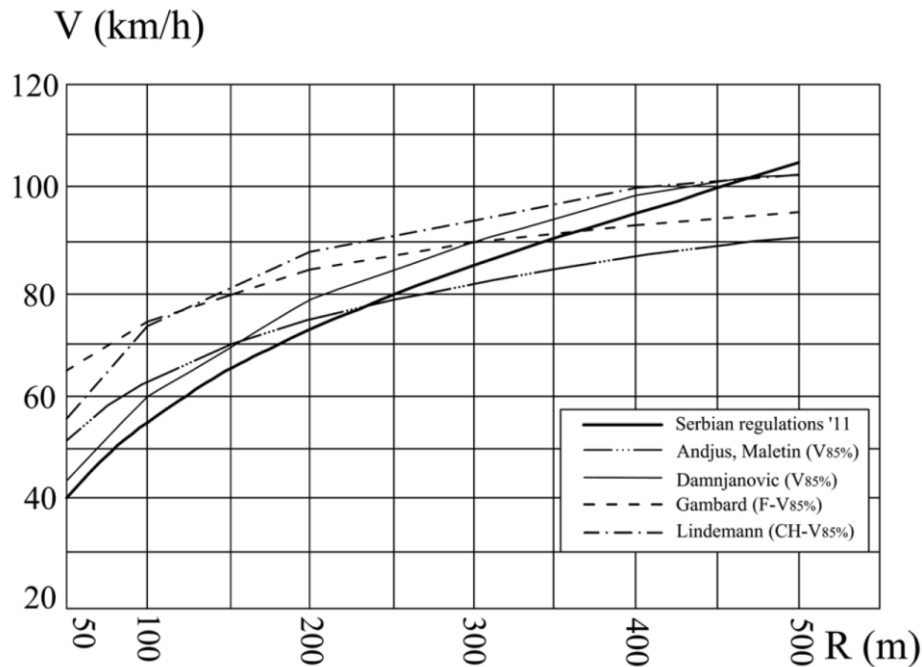
## **2.1. Standard speeds in road design process and their impact on the road traffic safety**

Certainly, the speed is one of the key parameters in contemporary road design process. Practically, all elements of the road are speed depended: be they in a cross section, in plan projection or in longitudinal profile.

The problem of speed levels within a road design process is resolved by using dynamic analysis, specific to the preliminary design stage. These analysis are of crucial significance when evaluating the quality of the proposed design solutions and are, in fact, the key parameters when assessing comfort and road safety.

Dynamic analyses are based on predicting fluctuation in speed levels along the road for the proposed design solutions.

When considering how the horizontal geometry of the road influence the speed levels, almost all researches relate the speed level to the applied radius of a horizontal curve (Fig.1).



**Figure 1.** Relation between radius of a horizontal curve and the speed level – research comparison  
Source: ([11])

In a radii of less than 250 m significant differences between the operating speeds and theoretically defined values (from the policies) can be observed. This is especially significant from the standpoint of road traffic safety, given that the small radii range is the one where traffic accidents occur the most [13].

### 2.1.1. Alternative approaches in determining the design (operating) speed

There are three concepts when it comes to discussing the design speed, both in Serbia and abroad (fig.2).

1. **The first concept** implies constant value of design speed which is established based on a road category and its role on the road network, by meeting all requirements in posed by terrain topography. This concept is prevailing in the USA.
2. **The second concept** implies a design speed which is constant, but related to average curvature  $K$ . According to this concept, the operating speed level is anticipated in relation to the average curvature of the section of the road. As a result, the design solutions are based on the anticipated operating speed levels which is more realistic than the constant design speed. At first, this concept is recommended by German policies back in 1973, and in 1981 in Serbian policies well. The drawback of incorporating foreign procedures with no adequate experimental verification has proved to be inappropriate both in terms of road safety and comfort. By blindly applying the statistical analyses of curvature, it might happen that two road alignments with totally different horizontal radii might produce similar average curvature. Consequently, the value of average curvature could in herit inappropriate information about the basic road geometry.
3. **The third concept** which is recommended by new Serbian policies implies variable values of operating (design) speed, which acts as a parameter in both, horizontal and longitudinal alignment. This concept is a significant improvement and as such it introduces a higher level of reality in design process. The concept more realistically reflects the conditions taking place in traffic, but remains the fact that these design speed levels cannot absolutely meet real speeds in free traffic flow.

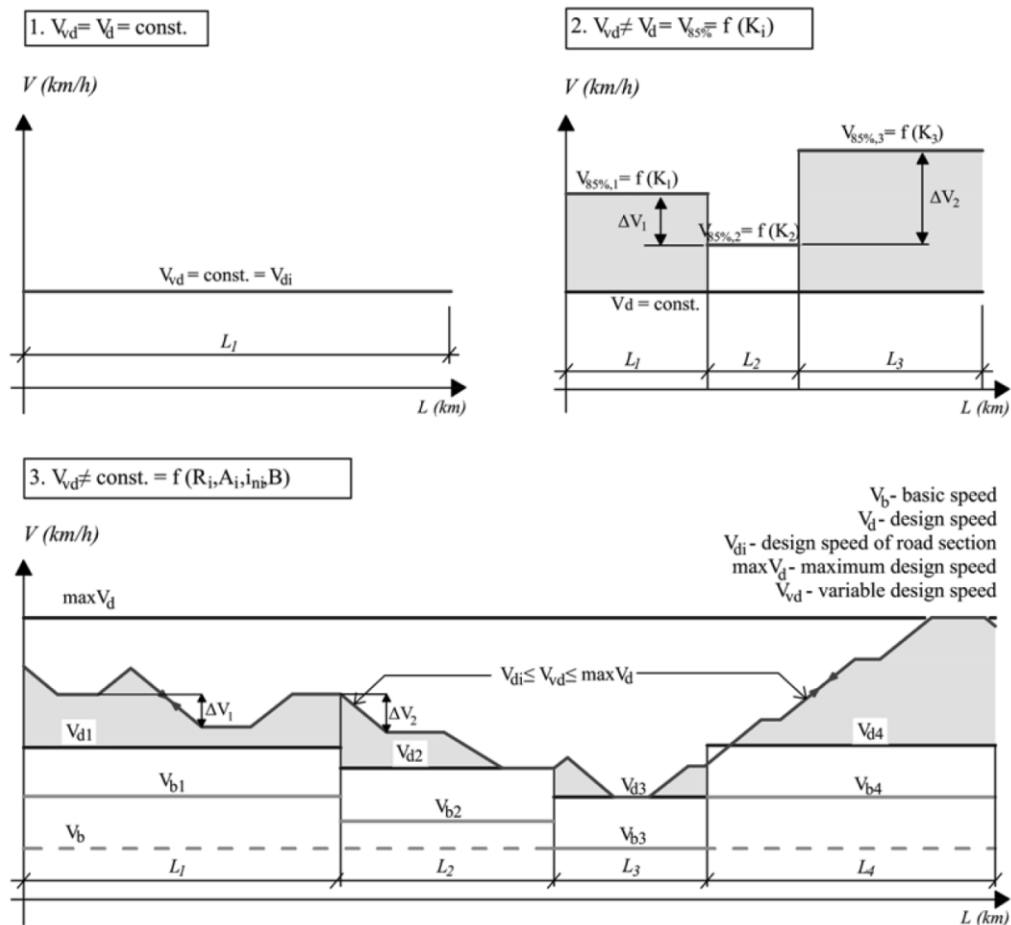
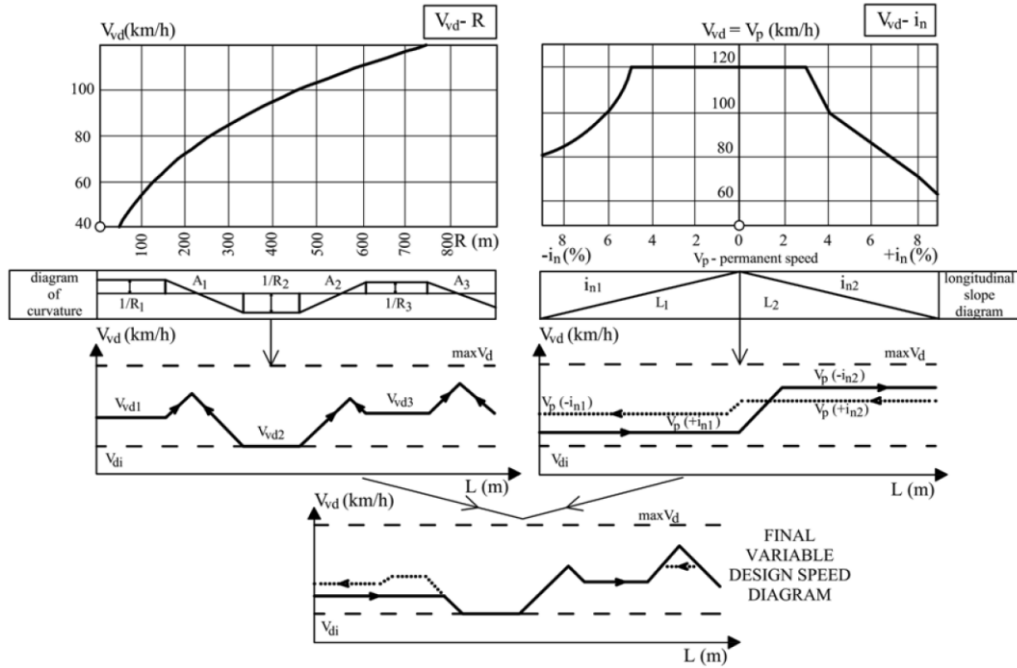


Figure 2. Review of various concepts of determining the design (operating) speed  
 Source: ([11])

### 2.1.2. The design speed calculation recommended by Serbian policies

In Serbian policies, the procedure of producing design (operating) speed levels at any point of the road is implemented at preliminary design stage and it implies drafting of variable design speed profiles, resulting for both horizontal and vertical alignment (Fig.3). The procedure assumes speed levels on circular curves as taking from Fig.1, with the driver decelerating before reaching the curve and accelerating after leaving the curve at the same acceleration/deceleration rates  $a=d= 0.8 \text{ m/sec}^2$  [12].



**Figure 3.** Producing the total variable design speed profile from horizontal and vertical alignment  
 Source: ([11])

### 2.1.3 The design speed calculation recommended by Italian policies

According to Italian Standards [10], the road alignment consistency can be tested by plotting the design speed for two travel directions, based on the assumption whose realism is doubtful, both acceleration and deceleration takes place entirely on preceding/exiting tangents: a constant running speed is maintained on entire circular curve and the speed level depends on the curve radius. Deceleration and acceleration rates are constant and equal to  $0.8 \text{ msec}^{-2}$ .

Transition segment length that can be used by drivers to decelerate while approaching the curve and accelerate after leaving the curve can cover a portion of the spiral (transition curve) or can cover the full length of the spiral curve and the portion of the adjoining tangent. Equation 1 produces the transition segment length:

$$D_T = \frac{\Delta V \cdot V_m}{12.96 \cdot a} \quad , \quad 1$$

where

- $D_T$  is the length of the transition segment, in m;
- $\Delta V$  is the reduction in design speed between two consecutive road elements (i.e. between the tangent and the circular curve or between two neighbouring circular curves), in km/h;
- $V_m$  is the mean design speed between two consecutive road elements, in km/h;
- $a$  is the acceleration/deceleration rate, in  $\text{msec}^{-2}$ .

The process of producing design speed profile starts with the curvature diagram. In the second step design speed levels are determined for all tangents and circular curves and, finally, accelerations and decelerations are imported in transition segments. Merging speed functions listed above produces final design speed profiles (see Figure 4).

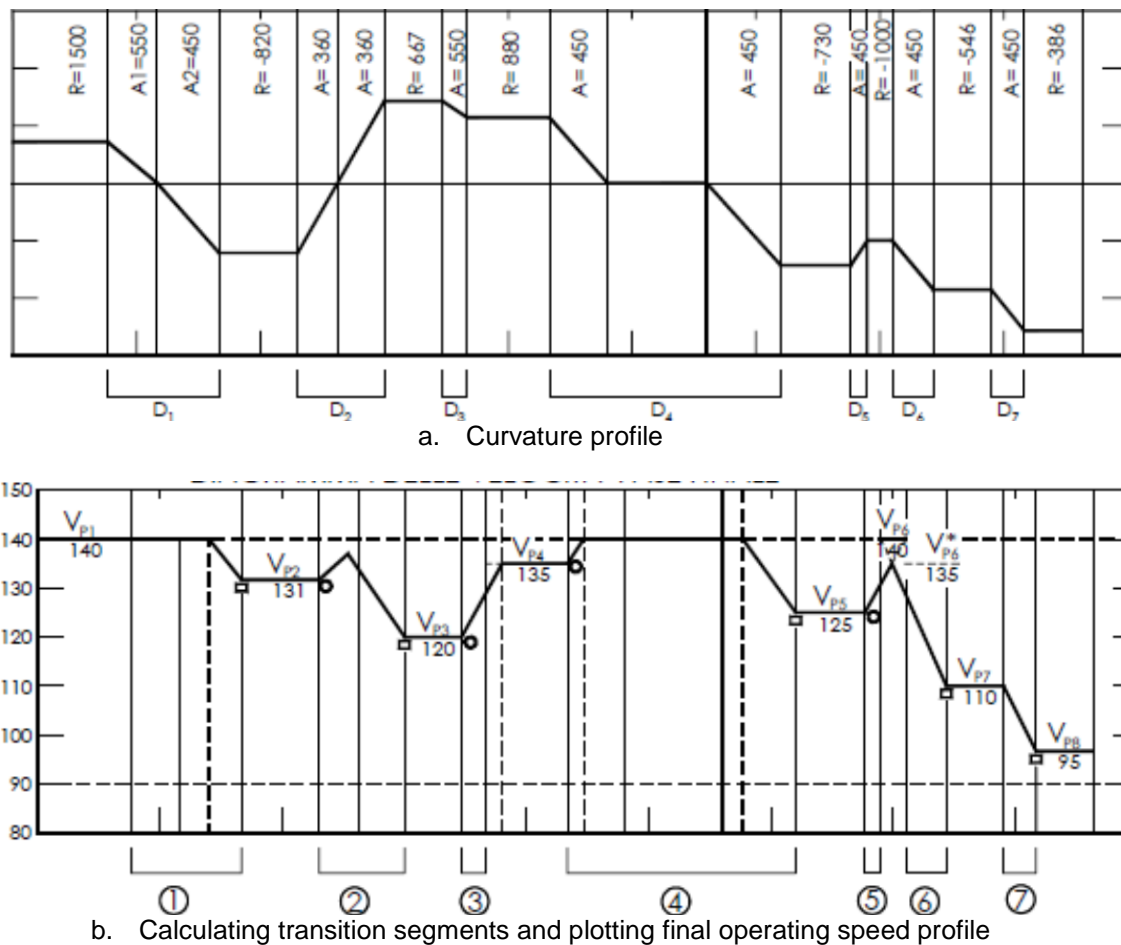


Figure 4. Design speed profile

Criteria to evaluate the consistency of a design established by Italian Standards [10] are based on the magnitude of reduction in speed levels between successive elements (tangents and horizontal curves). Relating the actual differences in speed to the limits specified in Table 1, it is possible to estimate the quality of the proposed design solution, from the point of safety (see Table 1).

$V_{pmax} \geq 100\text{km/h}$		$V_{pmax} < 80 \text{ km/h}$	
I Configuration: approaching circular curve	II Configuration: tangent-circular curve	I Configuration: approaching circular curve	II Configuration: tangent-circular curve
$ V_{p,i-1} - V_{p,i}  < 10 \text{ km/h}$	$ V_{p,i-1} - V_{p,i}  < 15 \text{ km/h}$	$ V_{p,i-1} - V_{p,i}  < 5 \text{ km/h}$	$ V_{p,i-1} - V_{p,i}  < 10 \text{ km/h}$

Table 1. Reduction in design speed according to Italian Standard on Road Geometric Design

### 3. POSSIBLE IMPROVEMENTS IN EXISTING STANDARDS AND POLICIES

Especially, when it comes to a newly design road, the road itself exists only on a paper. Therefore, measures taking place on drawing board are less costly than those related to the building site, especially when the building site is located on the heavily travelled existing road. Consequently, adequate design policies preventing safety issues as early as in the design stage are of at most importance for both road administration and road designers.

#### 3.1. Serbia

Producing the profiles of variable design speed represent the starting point for the dynamic analyses. Based upon these speed profiles, stopping sight diagrams are retrieved. Available sight distances at any point of the road are compared to stopping sight distances, thus providing for timely obstacle removal. In addition to

design speed analyses, procedures for determining the speeds and fuel consumption is recommended, as well as the procedures of locating crawl lines on steep longitudinal grades.

The following analyses are believed to be of a significant importance for the individual passenger car navigating under the free flow conditions:

1. defining the variable design speed profile
2. determining the length of stopping, available and passing sight distance
3. refining the pavement cross grade in horizontal curves -  $i_p$

Riding at the particular design (operating) speed, requires sufficient stopping sight distance. Based on the stopping sight distance, some significant construction measures might take place (displacing cut slopes in horizontal curves and alike). Stopping sight distance analyses might prove quite inadequate if based on the constant design speed. Therefore, sight distance analyses based on realistically anticipated operating speeds are of the at most importance in the design process.

The basic improvement in policies should tackle the relation between the speed and the radius of a horizontal curve. For the time being, this is relation between the radius and the theoretical speed  $V_{85\%}$  (fig.1). Instead of using theoretical relation, more realistic  $V_{85\%}$  speeds should be used. Some research has already been done, retrieving realistic speed levels in curves of a particular horizontal radii. The differences between the realistic  $V_{85\%}$  and theoretical  $V_{85\%}$  levels are significant in horizontal curves with small deflection angles. These curves allow the driver to negotiate the curve by covering the radius that is larger than the radius of the centerline, thus enabling the vehicle to reach the speed which is higher than the one prescribed in Figure 1 for the centerline radius. Even if radius/deflection angle relation is taking into account, some further refinement in speed levels might be necessary, as a result of neighboring elements of horizontal geometry. Therefore, the perfect picture of operating speed levels should be based on the simulated trajectory of the vehicle covering several elements of the road. For the time being, such a procedure is not realistic in design bureaus and companies not related to scientific research. But on the other hand, introducing radius/deflection angle relation in the operating speed concept (be it even by isolate elements) is within reach and requires only some in situ observations.

The key motive is to recognize and identify the possible problem before such a problem would even arise – to adopt the principle **prevention is better than cure** [11].

### 3.2. Italy

A model to predict the real deceleration and acceleration rate should be developed for reflecting real driver speed behavior while approaching the curve and after leaving the curve.

Italian Standards should introduce operating speed concept and road design consistency should be based on the operating speed profile.

Further research is necessary to investigate how geometric and no-geometric factors affect the drivers behavior. Explanatory variables of the models should be considered factors on which it's possible to work for estimating changing in the speeds and, consequently, in terms of the improvement of the design consistency and safety level during travel.

## 4. CONCLUSIONS

The most important parameter in road design process is by far the speed, upon which the most of the road elements depend, in all the three projections (cross section, vertical and horizontal alignment). The comparison presented here in shows a similarity between Serbian and Italian policies, especially when it comes to the design speed and safety analyses. Because of the importance of the speed and its influence on the accident rate, authors suggest that approach presented here in should also be implemented in road safety audit in both countries (for newly designed roads, the road rehabilitations and the road reconstruction). It is expected that the introduction of road safety audits in the design practice would help gathering further information concerning drivers' behavior. Enhancement and improvement of existing policies by including CSS and real drivers' behavior in speed analysis, would improve the road safety as early as in the preliminary design stage.

## References:

1. *Road infrastructure safety management*. Directive 2008/96/EC of the European Parliament and of the Council, 19 November 2008.
2. *Highway Safety Manual*. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington D.C., 2010.
3. Russo F., Fric S., Biancardo S.A., Gavran D., 2015. Driver Speed Behaviour on Circular Curves of Undivided Two-Lane Rural Roads: Serbian and Italian Case Studies. *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, 2472 (1): 117- 128.
4. Stamatiadis, N., and D. Hartman. Context-Sensitive Solutions Versus Practical Solutions. What Are the Differences?. In *Transportation Research Record* 2262, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2011, pp. 173-180.
5. Dell'Acqua, G., M. Busiello, and F. Russo. Safety Data Analysis To Evaluate Highway Alignment Consistency. In *Transportation Research Record* 2349, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2013, pp. 121-128.
6. Transportation Research Board of the National Academies of Science 2003. *Design Speed, Operating Speed and Posted Speed Practices*, NCHRP Report 504, 103 p.
7. Lamm, R., and E. M. Choueiri. Recommendations for Evaluating Horizontal Design Consistency Based on Investigations in the State of New York. In *Transportation Research Record* 1122, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1987, pp. 68-78.
8. tinTangents. In *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, Vol.5, No.2, 2010, pp. 89-97.
9. Federal Highway Administration, US Department of Transportation. 2000. *Speed Prediction for two-lane rural Highways*, Technical Report 99-171, 213 p.
10. Italian Standard on Road Geometric Design, Norme Funzionali e geometriche per la costruzione delle strade, Italian Ministry on road and transport infrastructures, 5 November 2011.
11. Fric, S. ; *Teorijsko i eksperimentalno istraživanje graničnih trajektorija vožnje u vangradskim putnim krivinama*, doktorska disertacija, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Srbija.
12. JP "Putevi Srbije". (2011). *Pravilnik o uslovima koje sa aspekta bezbednosti saobraćaja moraju da ispunjavaju putni objekti i drugi elementi javnog puta*. Službeni glasnik Republike Srbije br. 50/2011, Beograd, Srbija.
13. Andjus, V., Maletin, M. (1998) Speeds of cars on Horizontal Curves, *Transportation Research Record*, No 1612, pp. 42-47.
14. Agencija za bezbednost saobraćaja (2013). *Statistički izveštaj o stanju bezbednosti saobraćaja u Republici Srbiji u 2012. godini*, 17 p.

## KLIZAVOST HABAJUĆIH SLOJEVA PUTEVA OD KREČNJAČKOG AGREGATA

Olivera Đokić<sup>1</sup>, Suzana Stefanović<sup>2</sup>, Bratislav Milić<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institut za puteve ad Beograd, o.djokic@highway.rs

<sup>2</sup>Institut za puteve ad Beograd, suzana.stefanovic@highway.rs

<sup>3</sup>Institut za puteve ad Beograd, b.milic@highway.rs

**Rezime:** Otpornost prema klizanju kolovoza važan je faktor pri proceni ukupne bezbednosti saobraćaja. Agregati koji su deo asfaltnih mešavina takođe daju doprinos ovoj otpornosti. Za ispitivanje klizavosti kolovoza izabrana je deonica regionalnog puta II reda Topola 1 – Bućin Grob srednjeg saobraćajnog opterećenja, sa habajućim slojem koji je prvobitno bio izgrađen od karbonatnog agregata koji generalno, kod nas imaju niže vrednosti polirnosti. Ocenjeno je da je u pojedinim tačkama na deonici otpor prema klizanju varirao od dovoljno velikog do premalenog. Deonica je u celosti predviđena za rehabilitaciju u 2016. godini. Da bi se izvršila selekcija odgovarajućeg agregata za rehabilitaciju, prikazane su minimalno propisane vrednosti polirnosti agregata (PSV) u nekim evropskim zemljama i kod nas. Sugerisano je takođe, da se projektantima omogući da u projektima rehabilitacije propisuju vrednosti polirnosti agregata veće od PSV<sub>30</sub> i tako utiču na selekciju hrapavijih agregata za habajuće slojeve puteva.

**Ključne reči:** polirnost, rehabilitacije, bezbednost saobraćaja

## SKID RESISTANCE OF ROADS WITH LIMESTONE AGGREGATES

**Abstract:** Skid resistance is an important factor in assessing the overall traffic safety. Aggregates, as a part of asphalt mixes, also contribute to this resistance. Regional road of II order Topola 1 - Bućin Grob was selected for skid resistance tests. That road was originally built of carbonate aggregates that generally have lower polishing characteristics. It was found that certain points on the section have skid resistance that ranged from large enough to too small. The road is fully planned for rehabilitation in 2016. To carry out the selection of appropriate aggregates, minimum value polished stone (PSV) in some European countries and in our country are shown. It has been also suggested for rehabilitation projects, to enable designers to prescribe polished stone value more than PSV<sub>30</sub> and thus influence the selection of rougher aggregates for wearing courses.

**Key words:** polishing, rehabilitation, traffic safety

### 1. UVOD

Zadatak projekatnata puta je, između ostalog, da projektnim rešenjima obezbede zadovoljavajuću hrapavost puta i garantuju kvalitet habajućeg sloja. Izbor odgovarajućih agregata za ovu namenu je jedna od najbitnijih stvari za postizanje zahtevanih karakteristika habajućeg sloja. U Srbiji se za izradu habajućeg sloja puteva srednjeg saobraćajnog opterećenja koriste sedimentne i metamorfne stene čije srednje vrednosti polirnosti iznose 39 (krečnjaci), 37 (dolomiti), 46 (drobljeni šljunak) i 47 (dolomitski mermer), [1]. Ove stene delom su ugrađene u habajuće slojeve puteva II reda u Srbiji. Nakon određenog vremena eksploatacije, ovi putevi su potencijalno opasni sa aspekta klizavosti kolovoza naročito u mokrim uslovima. Projektom rehabilitacije puteva i unapređenja bezbednosti saobraćaja, trideset sedam kilometara puteva II reda (od ukupno 192 km državne putne mreže I i II reda) predviđeno je za rehabilitaciju u prvom ciklusu hitnih radova. Projekat obuhvata investiranje u radove rehabilitacije, proveru stanja bezbednosti i implementaciju mera za unapređenje bezbednosti, zatim sprovođenje kampanje za podizanje svesti o bezbednosti saobraćaja, kao i ocenu stanja celokupne nacionalne putne mreže [2]. U smislu ovoga, u narednom periodu svi učesnici u putnom inženjerstvu treba da daju doprinos unapređenju bezbednosti saobraćaja.

U ovom radu akcenat je stavljen na klizavost habajućeg sloja regionalnog puta II reda Topola 1 – Bućin Grob srednjeg saobraćajnog opterećenja, koja je u 2016. godini predviđena za rehabilitaciju [3]. Deonica je prvobitno imala habajući sloj od karbonatnog agregata. Ovi materijali kod nas generalno imaju niže vrednosti polirnosti. Rehabilitacija će se izvoditi i po Tehničkim specifikacijama – PKK (Plan kontrole kvaliteta za laboratorijska ispitivanja materijala i konstrukcija) [4]. Zbog izbora odgovarajućih agregata za rehabilitaciju, pregledno su prikazani tehnički uslovi za polirnost agregata u zemljama Evropske unije i u Srbiji. Na kraju su date sugestije projektantima kako da izborom hrapavijeg agregata povećaju ukupnu hrapavost površine kolovoza.



## 2. OTPORNOST PREMA KLIZANJU HABAJUĆEG SLOJA

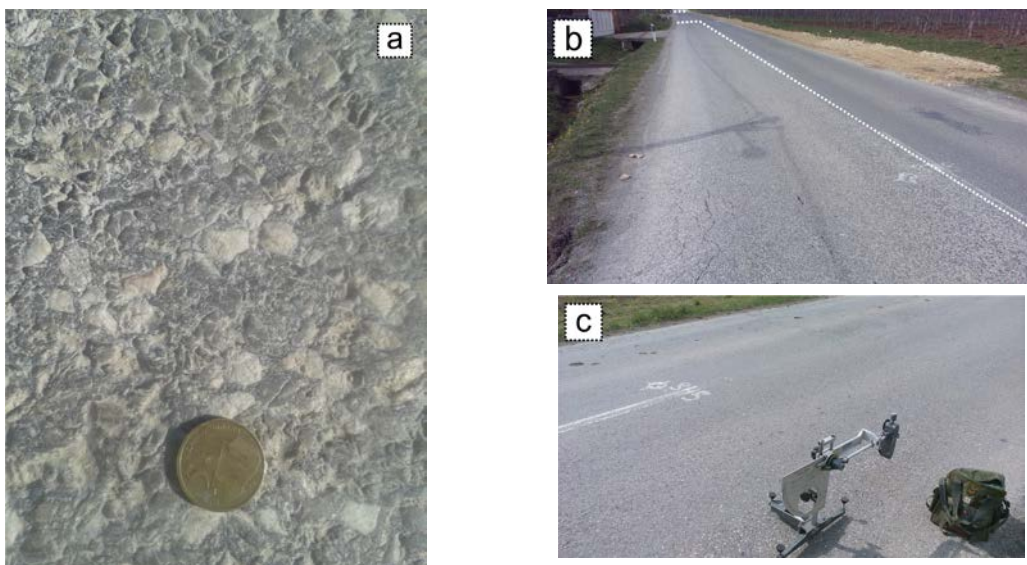
Otpornost prema klizanju habajućeg sloja predstavlja kombinaciju mnogobrojnih faktora: mikroteksture i makroteksture površine puta, brzine kretanja vozila, vlažnosti kolovoza, godišnjeg kolebanja temperatura, prisustva kolotruga, tipa upotrebene asfaltne mešavine, prisustva stranih čestica na površini kolovoza (pesak, prašina, ulje), oštećenosti površine kolovoza, tipa i dubine šare pneumatika koji naleže na površinu kolovoza, itd. Od pomenutih faktora, za otpornost prema klizanju najvažniji su mikrotekstura, makrotekstura i megatekstura površine puta. Mikrotekstura površine zrna agregata je dominantan faktor za otpor prema klizanju pri manjim brzinama koja doprinosi adheziji između pneumatika i površine puta. Makrotekstura puta obezbeđuje kanale za odvod vode i dominantan je faktor pri većim brzinama (> 65km/h). Megatekstura puta utiče na apsorpciju buke kao i na sposobnost površine puta da ukloni vodu iz kolotruga [5].

Mikrohrapavost površine zrna agregata meri se preko koeficijenta poliranja kamena – PSV (*Polished stone value*). Ovo je jedan od najvažnijih parametara kada je u pitanju izbor agregata za izgradnju habajućih slojeva puteva. Određuje se u laboratorijskim uslovima kada se zrna agregata prvo izlažu poliranju u mašini za ubrzano poliranje, a zatim se pomoću klatna meri vrednost otpornosti prema poliranju. Veće vrednosti koeficijenta ukazuju da je ovaj otpor veći, odnosno da je agregat hrapaviji. Isto klatno, samo po drugačijoj proceduri, koristi se za merenje klizavosti nakvašene površine habajućeg sloja puta. Osim klatna, koristi se i pesak za određivanje dubine teksture na datoj tački puta. Kombinacija merenja služi za ocenu stanja kolovoza.

## 3. KLIZAVOST HABAJUĆEG SLOJA PUTA TOPOLA 1 – BUĆIN GROB

Za ocenu stanja kolovoza izdvojena je deonica državnog puta IIA reda broj 152 Topola 1 - Bućin grob i to na potezu od km 5+000 do km 5+700. Deonica je prvobitno izgrađena sa habajućim slojem od karbonatnog agregata. Karbonatni agregat može da bude krečnjak ili dolomit, ali je bitno napomenuti da oba agregata imaju slične vrednosti polirnosti. Zbog jednostavnosti, u ovom radu korišćen je termin krečnjački agregat. Merenja su vršena u martu 2016. godine od strane Odeljenja za kolovozne konstrukcije Instituta za puteve ad Beograd.

Na slici slici 1a se vidi da su se zrna krečnjačkog agregata na habajućoj površini kolovoza uglašala tokom eksploatacije i da pokazuju slabu mikrohrapavost površine zrna. Slika 1b pokazuje svetlosivu boju prvobitne habajuće površine leve trake kolovoza. Takođe, vidljiva su i brojna oštećenja u vidu mreže prslina i pukotina kao i ulegnuća na tom delu kolovoza. Desna traka i deo leve trake (na vrhu slike) tamnije sive boje, pokazuju da su ove potezi kolovoza presvučeni u periodu nakon izgradnje. Merenja otpornosti na klizanje kolovoza SRT klatnom u kombinaciji sa peskarenjem, vršena su na više stacionaža gde je zastupljen isključivo habajući sloj sa krečnjačkim agregatom



**Slika 1.** Makrotekstura površine puta II reda Topola 1 – Bućin Grob (a),(b) svetlosiva boja prvobitne habajuće površine leve trake kolovoza (c) merenje otpornosti na klizanje kolovoza SRT klatnom na više tačaka na putnom pravcu pre rehabilitacije (Izvor: Institut za puteve ad Beograd, Odeljenje za kolovozne konstrukcije, mart 2016).

U tabeli 1 data je ocena stanja kolovoza prema izmerenim vrednostima otpornosti na klizanje klatnom i vrednostima dubine teksture kolovozne površine na istim stacionažama.

**Tabela 1.** Ocena stanja klizavosti kolovoza u odnosu na otpornost na klizanje i dubinu teksture kolovoza

Stacionaža regionalnog puta II reda Topola 1 – Bućin Grob	SRPS U.C4.019 [6] Ocena klizavosti kolovoza
km 5+068	Moraju se izvršiti dodatna merenja vučenim ukočenim točkom
km 5+207	Moraju se izvršiti dodatna merenja vučenim ukočenim točkom
km 5+548	Otpor klizanju dovoljno velik
km 5+638	Otpor klizanju je premalen

Izvor: Institut za puteve ad Beograd, Odeljenje za kolovozne konstrukcije, mart 2016

#### 4. POLIRNOST AGREGATA U ZEMLJAMA EVROPSKE UNIJE I KOD NAS

Kao što smo ranije istakli, polirnost agregata jedan je od najvažnijih parametara kada je u pitanju izbor agregata za izgradnju habajućih slojeva puteva. U tabeli 2 date su minimalno zahtevane vrednosti koeficijenta otpornosti na poliranje koje su propisane u Velikoj Britaniji [7-10], Austriji [11], Francuskoj [12] i Nemačkoj [13]. Tehnički uslovi su nacionalni, i svi su bazirani su na ispitivanjima agregata prema evropskom standardu EN 13043 [14]. Kao što se vidi, propisani su u zavisnosti od vrste asfaltne mešavine, kategorije puta i saobraćajnog opterećenja.

**Tabela 2.** Minimalno zahtevane vrednosti polirnosti u nekim zemljama Evrope u zavisnosti od vrste asfaltne mešavine, kategorije puta i saobraćajnog opterećenja

	Velika Britanija DMRB (2006), IAN 156/yy (2012), MCHW1&2 (2008, 2009)	Austrija - ÖNORM B 3130 (2009)	Francuska Sétra (2008)	Nemačka FGSV 613 E (2007)
primena	Putevi i mostovi; Autoputevi	Opšti	Opšti	Opšti
sloj	habajući	habajući	habajući	SMA za habajući
klase/vrsta agregata	-	CE znak	Kodovi Anc, Bnc, Cnc, Dnc	-
EN 1097-8 Otpornost na poliranje min	- mešavine posute kamenom strugotinom PSV <sub>44</sub> - mešavine koje nisu posute kamenom strugotinom PSV <sub>50</sub> do 68+, HFS	PSV <sub>50</sub> PSV <sub>44</sub> PSV <sub>propisano</sub>	Anc – PSV 56 Bnc - PSV 50 Cnc - PSV 50 PSV <sub>NR</sub>	PSV <sub>određeno</sub> (42) PSV <sub>određeno</sub> (48) PSV <sub>određeno</sub> (51)

Objašnjenje: SMA - Stone mastics asphalt (primer mešavine); HFS – površina visokog trenja; PSV<sub>NR</sub> – nije zahtevano.

Izvor: Nacionalni Tehnički uslovi zemalja Evropske unije

Prema datoj tabeli 2, vrednosti Otpornosti na poliranje se u Velikoj Britaniji propisuju od PSV<sub>50</sub> do PSV<sub>68+</sub>. Za izradu specijalizovanih površina visokog trenja (*High friction surfacing* - HFS) koristi se veštački agregat - kalcinirani boksit. Na autoputevima minimalno je propisana vrednost od PSV<sub>50</sub>. Ovo važi za mesta gde saobraćaj uglavnom slobodno teče po relativno pravoj liniji. Sa povećanjem saobraćajnog opterećenja povećavaju se zahtevi do vrednosti PSV<sub>65</sub>. U zoni približavanja pešačkim prelazima, kružnim tokovima i drugim mestima visokog rizika, zahtevi se povećavaju do PSV<sub>68+</sub> i HFS. Ukoliko se radi habajući sloj kao površina visokog trenja, minimalna dužina poteza gde se sloj radi mora biti 50 m. Izuzetak su habajući slojevi rulnih staza aerodroma i površinske obrade koje su posute kamenom strugotinom gde su vrednosti PSV<sub>44</sub>. U Francuskoj se zahtevaju vrednosti koeficijenta otpornosti na poliranje agregata u rasponu od PSV<sub>50</sub> do PSV<sub>56</sub>. U Nemačkoj i Austriji dozvoljene su i niže vrednosti, ali one nisu ispod PSV<sub>42</sub> i ne prekoračuju više od PSV<sub>51</sub>.

U tabeli 2 prikazane su minimalno zahtevane vrednosti koeficijenta otpornosti na poliranje kamena koji su propisani u Srbiji [15-17],[4].

**Tabela 3.** Minimalno zahtevane vrednosti polirnosti koji se primenjuju u Srbiji u zavisnosti od vrste asfaltne mešavine, kategorije puta i saobraćajnog opterećenja

	Srbija SRPS (JUS) U.E4.014 (1990)	Srbija - JP Putevi Srbije, Koridor 10 (2009)	Srbija JP Putevi Srbije, za građenje puteva u RS (2012)	Srbija JV Nievelt – CPL, TS PKK za rehabilitacije (2015)
primenljivost uslova	Standard	Autoput	Rehabilitacije	Rehabilitacije
sloj	habajući	SMA, AC za habajući	AC za habajući	AC <sup>6</sup> za habajući
klase/vrsta agregata	drobljeni silikatni i karbonatni, prirodni	drobljeni silikatni	Z1, Z2, Z3,	drobljeni silikatni i karbonatni
SRPS B.B8.120 SRPS EN 1097-8 Otpornost na poliranje min	autoput i vrlo teško – VPK <sub>48s</sub> teško – VPK <sub>48s</sub> <b>srednje – VPK<sub>48s,30k</sub></b> lako – VPK <sub>45s,30k</sub> , vrlolako – VPK <sub>NR</sub>	SMA – VPK <sub>48</sub>	- autoput Z1 – PSV <sub>50</sub> - vrlo teško i teško Z1/Z2 – PSV <sub>50</sub> <b>- srednje Z2 – PSV<sub>50</sub></b> - lako, v. lako Z2/Z3 PSV <sub>50</sub> /PSV <sub>30</sub>	- autoput, v.teško i teško PSV <sub>50</sub> <b>- srednje, lako, vrlo lako PSV<sub>NR</sub></b> određuje se

Objašnjenje: markirane su vrednosti za srednje saobraćajno opterećenje; <sub>48s</sub> - silikatna, <sub>30k</sub> - karbonatna, VPK - vrednost polirnosti po srpskom standardu (ekvivalent PSV), NR - nije zahtevano; AC - Asphalt concrete; E- eruptivno poreklo; S - sedimentno poreklo.

Izvor: Nacionalni Tehnički uslovi Srbije

U našim uslovima, u standardu SRPS (JUS) U.E4.014 [15], za karbonatni agregat minimalna propisana vrednost otpornosti na poliranje je VPK<sub>30k</sub>, a za silikatni VPK<sub>48s</sub>. Na primer, za izvođenje habajućih slojeva na autoputu (Koridori) koriste se krupnije frakcije silikatnog agregata pa su i vrednosti koeficijenta veće. Takođe, Uslovi za građenje i rehabilitaciju puteva u Republici Srbiji iz 2012. godine za srednje saobraćajno opterećenje propisuju PSV<sub>50</sub>, dok za rehabilitaciju puteva iste grupe saobraćajnog opterećenja Uslovi za građenje i rehabilitaciju puteva iz 2015. godine ne propisuju granične vrednosti, već se samo zahteva ispitivanje otpornosti na poliranje i rezultati se prilažu u dokumentaciji.

## 5. DISKUSIJA

Mreža državnih puteva II reda u Srbiji uglavnom je izgrađena pre pedesetak godina. U sastavu asfaltnih mešavina najčešće je korišćen krečnjački agregat kako za izradu nosećih tako i za izradu habajućih slojeva. Tokom perioda eksploatacije, vršene su razne opravke i presvalačenja kolovoza, što je prouzrokovalo da su na pojedinim deonicama zastupljeni habajući slojevi i sa karbonatnim (krečnjačkim) i sa silikatnim agregatom. U ovom radu za merenja klizavosti kolovoza izabrana je deonica sa prvobitnim krečnjačkim agregatom.

Poznato je da je mikrotekstura površine kolovoza dominantan faktor za otpor prema klizanju pri manjim brzinama (< 65km/h). Na našim putevima II reda, brzine su propisane ogranične na maksimalno 60 km/h zbog čega je kod ovih puteva dominantan uticaj je mikrotekture puta, odnosno mikrohrapavost agregata. Većina naše tehničke regulative dozvoljava upotrebu krečnjačkog agregata u habajućim slojevima puteva srednjeg saobraćajnog opterećenja. Kako ovi agregati imaju niske vrednosti koeficijenta otpornosti na poliranje, pa vremenom, putevi izgrađeni od krečnjačkog agregata usled glačanja agregata postaju opasni sa aspekta bezbednosti.

Sagledavanje i merenje otpornosti na klizanje površine kolovoza državnog puta IIA reda broj 152 Topola 1 - Bućin grob na potezu od km 5+000 do km 5+700 prikazano je na slici 1. U tabeli 1 data je ocena stanja kolovoza u odnosu na izmerene vrednosti otpornosti na klizanje klatnom i dubine teksture kolovoza. Na osnovu prikazanih rezultata ocene stanja kolovoza, možemo reći da je na posmatranom potezu otpor klizanju nehomogen. Na nekim mestima ocena otpornosti na klizanje kolovoza je zadovoljavajuća, na drugim su potrebna dodatna ispitivanja vučenim ukočenim točkom, dok je na pojedinim lokacijama otpornost na klizanje nezadovoljavajuća, što znači da je sa aspekta bezbednosti saobraćaja neophodna zamena habajućeg sloja. Ovo je samo primer jednog puta sa srednjim saobraćajnim opterećenjem od krečnjačkog agregata u habajućem sloju, a ove vrste habajućih slojeva su uglavnom zastupljeni na putevima II reda u našoj zemlji. Cela deonica (kao i posmatrani potez) je predviđena za rehabilitaciju u 2016. godini prema Glavnom projektu i Tehničkim specifikacijama – PKK (Plan kontrole kvaliteta za laboratorijska ispitivanja materijala i konstrukcija iz 2015. godine). U ovim Tehničkim specifikacijama za srednje saobraćajno opterećenje propisano je da se vrednost otpornosti na poliranje agregata određuje ispitivanjem i prikazuje u tehničkoj dokumentaciji. Međutim, ovde nije predviđena mogućnost da projektanti propisuju određenu kategoriju polirnosti agregata, čime bi garantovali kvalitet habajućeg sloja.

U evropskim zemljama velika pažnja se poklanja obezbeđivanju hrapavosti površine kolovoza, a samim tim i karakteristikama polirnosti agregata.

U Velikoj Britaniji za izradu većine habajućih slojeva koriste se agregati sa  $PSV_{50}$ . Izuzetak su zastori rulnih staza aerodroma i površinske obrade posute kamenom strugotinom sa  $PSV_{44}$  što su inače i najniži zahtevi otpornosti na poliranje u ovoj zemlji. Vrednosti sa povećanjem saobraćajnog opterećenja rastu do vrednosti  $PSV_{65}$ , a na prilazima pešačkim prelazima, kružnim tokovima i drugim mestima visokog rizika, gde su zastupljena kočenja i skretanja, zahtevi se povećavaju do  $PSV_{68+}$  i HFS. Pregledom graničnih vrednosti otpornosti na poliranje u tabeli 2 generalno se može zaključiti da Velika Britanija favorizuje bezbednost vožnje, pa samim tim akcenat stavlja na što bolje karakteristike otpornosti na poliranje agregata.

U drugim zemljama u Evropi široko su rasprostranjeni agregati čije su vrednosti otpornosti na poliranje od  $PSV_{50}$  do  $PSV_{60}$ . Studije pokazuju da je kod njih primenom agregata sa većim koeficijentom otpornosti na poliranje smanjena stopa saobraćajnih nezgoda usled proklizavanja po mokrim kolovozima [18]. Sa druge strane kod nas kao i u zemljama u okruženju postoji široka rasprostranjenost krečnjaka slabijih čvrstoća i manje otpornosti prema poliranju koji su već ugrađeni u habajuće slojeve. Gust saobraćaj i topla klima sa jedne strane, a asfalt betonske mešavine od krečnjačkog agregata sa druge strane, daju habajuće slojeve koji su ekstremno opasni kada su mokri [19].

Što se Srbije tiče, važi stara tehnička regulativa koja se bazira na srpskim standardima SRPS (JUS) U.E4.014 za habajući sloj od asfalt betona, a u opticaju je i novija regulativa koja se bazira na evropskim standardima. Naravno, moguće je i kombinovanje standarda i tehničkih uslova što se najbolje vidi iz regulative za Koridore. Vrednost otpornosti na poliranje agregata određena prema staroj verziji britanskog standarda sa klatnom obeležava se sa VPK što je ekvivalent  $PSV$  po novom standardu. Procedure se malo razlikuju, ali se obračun koeficijenta vrši po istoj formuli. Tehnički uslovi za građenje puteva u Republici Srbiji iz 2012. godine [17] izdvajaju tri kategorije mešavine zrna agregata za habajući sloj. Ove mešavine zrna imaju minimalne vrednosti polirnosti za Z1 i Z2 -  $PSV_{50}$  i za Z3  $PSV_{30}$ . Pri tome mešavina zrna Z2 za asfalt-betone može da se koristi za vrlo teško, teško, srednje, lako i vrlo lako opterećenje.

Novija Tehnička regulativa iz 2015. godine (tabela 3) prema kojima se vršiti rehabilitacije putne mreže u narednom periodu, za habajući sloj autoputa, vrlo teško i teško saobraćajno opterećenje propisuje kategoriju  $PSV_{50}$ . Za srednje, lako i vrlo lako saobraćajno opterećenje vrednosti polirnosti se određuju ispitivanjem -  $PSV_{NR}$ . Na taj način, projektantima je oduzeta mogućnost da utiču na propisivanje viših vrednosti otpornosti na poliranje agregata.

## 6. ZAKLJUČAK

Merenjem klizavosti habajućeg sloja na jednoj deonici sa srednjim saobraćajnim opterećenjem koja je prvobitno izgrađena od krečnjačkog agregata, utvrđeno je da je ona dosta neujednačena. Krečnjački agregati kod nas imaju slabije vrednosti polirnosti, pa samim tim doprinose većoj klizavosti habajućeg sloja. Osim toga pomenuta deonica je više puta presvlačena sa različitim agregatima. Rehabilitacija koja je u toku treba da doprinese poboljšanju kvaliteta habajućeg sloja, koji uključuje i izbor kvalitetnog agregata. U cilju sprovođenja kampanja za podizanje svesti o bezbednosti saobraćaja, smatramo da projektanti treba da imaju više uticaja na propisivanje kategorija polirnosti upotrebljenog agregata, kako bi izborom hrapavijih agregata doprineli povećanju ukupne hrapavost površine kolovoza.

## Literatura

- [1] Djokic, O.; Milicevic, V. 2013. Main technical characteristics of rocks used in road construction in Serbia, Bull. Eng. Geol. Environ. 72: 137–141.
- [2] JP Putevi Srbije (2015). Projekat rehabilitacije puteva i unapređenja bezbednosti saobraćaja (RRSP - Road Rehabilitation and Safety Project). available at:<http://www.putevi-srbije.rs/index.php/projekat-rehabilitacije-puteva-i-unapre%C4%91enja-bezbednosti-saobra%C4%87aja> (01.04.2016.).
- [3] CeSCOWI d.o.o. (2015). Glavni projekat urgentnog održavanja i otklanjanja oštećenja državnog puta IIA reda br. 152 Topola 1 - Bućin grob km 0+000 – km 27+280.
- [4] Joint Venture Nievelt – CPL. 2015. Tehničke specifikacije – PKK, Plan kontrole kvaliteta za laboratorijska ispitivanja materijala i konstrukcija, Rev No 01. JP Putevi Srbije, Srbija.
- [5] Woodside, A.; Woodward, D. 2002. Chapter 18 - *Wet skid resistance*. In: Highways (Fourth Edition),

Elsevier Ltd.pp. 479–499.

- [6] SRPS U.C4.019. 2013. Ispitivanje otpora klizanju habajućeg sloja kolovoznih konstrukcija - Tehnički zahtevi, Institut za standardizaciju Srbije.
- [7] Design manual for Roads and Bridges (DMRB). 2006. Volume 7: Pavement design and maintenance, Section 5: Pavement materials, Part 1, HD36/06: Surfacing materials for new and maintenance construction, UK.
- [8] MCHW1. 2008. Manual of contract documents for Highway works. Volume 1: Specification for Highway works (MCHW1), Series 900 Road Pavements – Bituminous Bound Materials, UK.
- [9] MCHW2. 2009. Manual of Contract Documents For Highway Works. Volume 2: Notes for guidance on the Specification for Highway works (MCHW2), Series NG 700 Road Pavements, UK.
- [10] Interim Advice Note 156/YY. 2012. Revision of Aggregate Specification for Pavement Surfacing.
- [11] Önorm B 3130:2009. Gesteinskörnungen für Asphalt. In: Ratgeber. pp. 40–43. Asamer, Transportbeton GmbH & Co KG, Österreich.
- [12] Sétra. 2008. The use of standards for hot mixes, Technical guide. The Technical Department for Transport, Roads and Bridges Engineering and Road Safety (Sétra), France.
- [13] FGSV 613 E. 2007. Technical Delivery Terms for Aggregates in Road Construction (TL Gestein-StB 04), Road and Transportation Research Association (FGSV).
- [14] SRPS EN 13043. 2007. Agregati za bitumenske mešavine i površinsku obradu kolovoza, aerodroma i drugih saobraćajnih površina, Institut za standardizaciju Srbije.
- [15] SRPS U.E4.014. 1990. Izrada habajućih slojeva od asfaltnih betona po vrućem postupku. Tehnički uslovi, Savezni zavod za standardizaciju.
- [16] JP Putevi Srbije. 2009. Tehnički uslovi za Koridor 10, Poglavlje 9: Asfaltni kolovozi, Verzija C-1. JP Putevi Srbije.
- [17] JP Putevi Srbije. 2012. Tehnički uslovi za građenje puteva u Republici Srbiji, 2 Posebni tehnički uslovi, 2.4. Kolovozne konstrukcije, JP Putevi Srbije, Srbija.
- [18] Jacobs Engineering. 2009. Code of Practice on Skid Resistance for Local Authority Roads. Project No 41, Jacobs Engineering UK Limited (“Jacobs”).
- [19] Woodward, D. 2000. Assessing aggregates for use in asphalts. In: Hunter, R.N. (ed.) *Asphalts in road construction*. Thomas Telford Publishing, London. pp. 1–44.

## PREDIKCIJA UTICAJA FAKTORA PUT NA NASTANAK SAOBRAĆAJNIH NEZGODA PRIMENOM MODELA DUBINSKIH ANALIZA

### PREDICTION OF ROAD FACTOR INFLUENCE ON OCCURRENCE OF TRAFFIC ACCIDENTS USING IN-DEPTH ANALYSIS MODEL

doc. dr Boris Antić<sup>1</sup>, Nenad Marković<sup>2</sup>

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet, [b.antic@sf.bg.ac.rs](mailto:b.antic@sf.bg.ac.rs)

<sup>3</sup>Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet, [n.markovic@sf.bg.ac.rs](mailto:n.markovic@sf.bg.ac.rs)

**Rezime:** Preventivno delovanje i upravljanje u bezbednosti saobraćaja zahteva prethodno kvalitetno uočavanje, prepoznavanje, definisanje i analizu uticajnih faktora na nastanak i posledice saobraćajnih nezgoda. Uticaj faktora put na nastanak i posledice saobraćajnih nezgoda, u R. Srbiji do sada nije u dovoljnoj meri prepoznat i istraživan, pa je neophodno razviti model za utvrđivanje uticaja puta. Za pouzdano utvrđivanje uticaja puta na saobraćajne nezgode neophodno je detaljno analizirati uticaj puta na svaku saobraćajnu nezgodu, kako bi se mogli prepoznati faktori puta koji je uzrokuju ili utiču na posledice. Za prepoznavanje i prikupljanje ovih podataka u svetu je razvijen i prihvaćen model dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda. U radu će biti prikazan model predikcije uticaja faktora put na nastanak i posledice saobraćajnih nezgoda.

**Ključne reči:** saobraćajna nezgoda, uticajni faktori, dubinska analiza, posledice

**Abstract:** Preventive actions and management in road safety requires previously quality spotting, recognition, defining and analysis of influential factors on occurrence and consequences of traffic accidents. Road factor influence on occurrence and consequences of traffic accidents in Republic of Serbia, until now, has not been sufficiently recognized and researched so it's necessary to develop a model for determining the influence of the road. For a reliable determination of road influence on traffic accidents it's necessary to analyze the influence of the road on every traffic accident in detail so the road factors that cause the accidents or affect the consequences can be identified. For identification and gathering of these data, the in-depth analysis model of traffic accidents has been developed and accepted all over the world. This paper presents road influence prediction model on occurrence and consequences of traffic accidents.

**Keywords:** traffic accident, influential factors, in-depth analysis, consequences

#### 1. UVOD

Saobraćajne nezgode, poslednjih godina imaju tendenciju da postanu jedan od vodećih svetskih zdravstvenih problema u pogledu smrtnog stradanja i povređivanja ljudi. Prema podacima (WHO, 2013), tokom 2010. godine broj smrtnog stradanja u saobraćajnim nezgodama je dostigao 1.23 miliona, a tendencija je daljeg povećanja broja stradalih, pa se procenjuje da bi 2030. smrtno stradanje u saobraćaju postao peti uzrok smrtnosti u svetu. Od svih štetnih posledica u društvu, najčešća nasilna smrt događa se u saobraćajnim nezgodama. Saobraćajne nezgode su prvi uzrok smrtnosti mladih starosti od 15 do 29 godina (WHO, 2013). Takođe, osim smrtnog stradanja ljudi u saobraćajnim nezgodama, nastaju i velike materijalne štete i povrede, a što sve zajedno stvara izuzetno velike socijalne troškove. Procenjuje se da jedna saobraćajna nezgoda u zavisnosti od nastalih posledica može predstavljati trošak od najmanje 3.082,00 eura (nezgoda sa lako povređenim) do 309.753,00 eura, Antic et al. (2012.) pa do čak 2.299.016,00 eura (Ministarstvo transporta Velike Britanije, 2013.).

Imajući u vidu posledice saobraćajnih nezgoda (materijalne i nematerijalne troškove) neophodno je sistemski delovati na smanjenje broja saobraćajnih nezgoda. Za sistemsko delovanje neophodno je prevashodno na kvalitetan način analizirati i istražiti saobraćajne nezgode u cilju prepoznavanja i definisanja faktora koji su imali uticaj na nastanak i posledice saobraćajnih nezgoda. Utvrđivanje uticajnih faktora i adekvatnog prepoznavanja njihovog uticaja nije jednostavan postupak, pa se iz tog razloga veoma često nedovoljno sagledaju svi uticaji. Nedovoljno sagledavanje uticaja pojedinih faktora može za posledicu imati preneglašavanje uticaja pojedinih prepoznatih faktora, a sa druge strane neprepoznavanje stvarnog uticaja ostalih faktora. Tek po kvalitetnom sagledavanju svih uticaja na nastanak i posledice saobraćajne nezgode moguće je pripremiti plan mera i aktivnosti usmerenih ka smanjenju broja saobraćajnih nezgoda i njihovih posledica.

Kvalitetno sagledavanje velikog broja potencijalnih uticaja svakog od faktora je izuzetno složeno i zahteva razvijanje određenih modela, na osnovu kojih se mogu sistematizovano prikupljati podaci o uticaju svakog od faktora u nastalim saobraćajnim nezgodama. Ovo zahteva razvoj i formiranje baze podataka o uticajima pojedinih faktora, kao i razvoj modela prikupljanja podataka o prepoznatim uticajima. Razvijeni model za prikupljanje podataka mora na sistematičan način da sagleda i prikuplja podatke o saobraćajnoj nezgodi i detaljno analizira uticaje faktora Čovek-Vozilo-Put-Okruženje. Ovaj proces bi, imajući u vidu da na saobraćajnu nezgodu može imati uticaja više hiljada različitih faktora, bio praktično neizvodljiv na većem broju saobraćajnih nezgoda, pa je neophodno razviti i definisati set uticajnih faktora koje je neophodno analizirati, a koji će na dovoljno kvalitetan i pouzdan način definisati uticaje na nastalu nezgodu.

## **2. UTICAJNI FAKTORI NA SAOBRAĆAJNE NEZGODE**

### **2.1. Definisane uticajnih faktora**

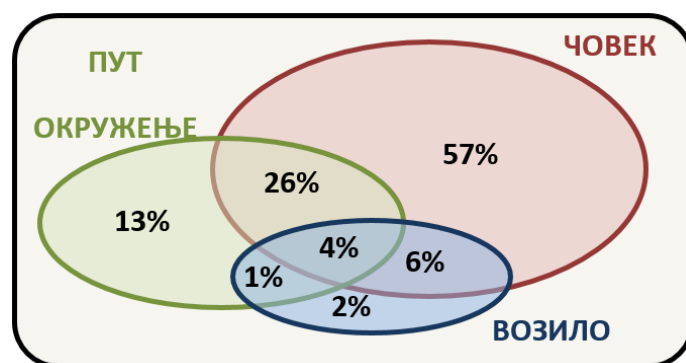
U naučnoj i stručnoj praksi analiza saobraćajnih nezgoda, poznate metodologije analiza se mogu podeliti u dve grupe, fenomenološke i etiološke analize. Fenomenološke analize saobraćajnih nezgoda imaju zadatak da utvrde globalne probleme bezbednosti saobraćaja i najčešće se sprovode korišćenjem tzv. zbirnih podataka o saobraćajnim nezgodama. Na ovaj način se dolazi do zaključaka gde i kada se najčešće događaju saobraćajne nezgode, koje su vrste učesnika saobraćajnih nezgoda, kakve su posledice nastale, koji su bili propusti učesnika itd. Za razliku od njih, etiološke analize se fokusiraju na konkretnoj nezgodi i detaljnije proučavaju svaku pojedinačnu nezgodu i omogućavaju da se utvrde stvarni uzroci i okolnosti nastanka saobraćajnih nezgoda, kao i potencijalni uticaji na posledice. Na ovaj način etiološkim analizama se prepoznaju i definišu uticajni faktori za svaku saobraćajnu nezgodu, što omogućava praćenje i analizu učestalosti pojave uticaja pojedinih faktora, a što može ukazivati na postojanje značajne zavisnosti uticaja prepoznatog faktora na saobraćajne nezgode.

Još davne 1980 godine Haddon je sistematizovao uticajne faktore na nastanak saobraćajne nezgode u četiri grupe faktora i to grupu Čovek, Vozilo, Put i Okruženje. Ovakvom podelom uticajnih faktora ukazano je da se uzroci i okolnosti nastanka saobraćajnih nezgoda moraju tražiti i u faktorima u vezi sa vozilom, putem i okruženjem, a ne samo u domenu faktora čovek, odnosno kako je ranije bilo definisano samo u uticaju faktora Vozač. Na ovaj način je jednoznačno ukazano da ne postoji apsolutni uticaj samo faktora vozač odnosno aktivnih učesnika u saobraćaju (faktora čovek) na nastanak saobraćajne nezgode, već i ostali pasivni učesnici (put, okruženje) mogu često uzrokovati saobraćajnu nezgodu, a u većini slučajeva utiču na posledice.

U praksi je i dalje najveći broj prepoznatih uticajnih faktora na saobraćajne nezgode najčešće u vezi sa faktorom čovek, što s jedne strane odgovara njegovoj zastupljenosti u stvarnom uticaju (preko 50%) na nastanak saobraćajnih nezgoda. Pogotovo ako posmatramo uticaj faktora čovek u sadejstvu sa ostalim uticajnim faktorima, kada je prisustvo faktora čovek daleko dominantnije i odnosu na ostale uticajne faktore sa preko 90% uticaja na nastanak saobraćajnih nezgoda. S druge strane često se usled značajne dominacije ovog faktora, uticaji preostalih faktora (put, vozilo, okruženje) nedovoljno prepoznaju i istražuju, pa se uticaj faktora čovek ističe kao gotovo jedini. Ovakve analize su svojstvene zemljama i regionima gde nije dovoljno razvijena svest o uticaju ostalih faktora, a što može biti posledica ranije prihvaćenih činjenica, da je vozač odgovoran za sve što se dogodi u saobraćaju, jer on upravlja opasnom stvari.

Prema podacima PIARC-a (2003) faktor čovek samostalno utiče sa 57% na nastanak saobraćajnih nezgoda, dok u sadejstvu sa ostalim faktorima taj uticaj doseže 93%, što svakako predstavlja dominantan uticaj ovog faktora u odnosu na druge. S druge strane i ostali faktori imaju značajan uticaj, tako da faktor put zajedno sa ostalim faktorima utiče sa 44%, a vozilo sa 13% na nastanak saobraćajnih nezgoda. Kada se analiziraju pojedinačni uticaji posebno se značajnom analizom može smatrati analiza uticaja faktora put na nastanak saobraćajnih nezgoda i posledica. Posebno je važno naglasiti da faktor put često može imati uticaj na izbegavanje ili smanjenje posledica u nastalim saobraćajnim nezgodama. Naime, kako je put pasivni učesnik saobraćajne nezgode njegov uticaj je gotovo uvek prisutan bez obzira na ostale učesnike, kao i na činjenicu da li će se nezgoda dogoditi usled tog uticaja ili ne. S druge strane put bi kao deo saobraćajne infrastrukture trebao da doprinosi povećanju bezbednosti saobraćaja, a ne da bude jedan od uzročnika nastanka saobraćajnih nezgoda, pa je i iz tog razloga neophodno kvalitetno sagledati njegov uticaj. Prema podacima PIARC-a faktor put kao samostalni uzročnik nastanka saobraćajnih nezgoda je prepoznat u 13% nezgoda, u 26% u sadejstvu sa uticajem faktora čovek, 1% u sadejstvu sa faktorom vozilo i u 4% u sadejstvu sva tri faktora.

## PREDIKCIJA UTICAJA FAKTORA PUT NA NASTANAK SAOBRAĆAJNIH NEZGODA PRIMENOM MODELA DUBINSKIH ANALIZA



Slika 1. Raspodela uticaja faktora na nastanak saobraćajne nezgode PIARC

Prema dostupnim podacima u Republici Srbiji ukupan uticaj ostalih faktora izuzev faktora čovek je prepoznat u manje od 1% saobraćajnih nezgoda, dok je uticaj faktora čovek u preko 99% saobraćajnih nezgoda. Imajući to u vidu ukupan uticaj faktora put na nastanak saobraćajnih nezgoda u Republici Srbiji je znatno manji od 1% (0,07%), dok je u Svetu 44%. Ovo jasno ukazuje na činjenicu da se u Republici Srbiji ne utvrđuju dovoljno uticaji ostalih faktora, osim faktora čovek na nastanak saobraćajnih nezgoda i posledica. Imajući u vidu stanje saobraćajne infrastrukture u razvijenim zemljama Sveta i republici Srbiji, uočena je potreba za detaljnijom analizom saobraćajnih nezgoda i realnim utvrđivanjem uticaja svakog od faktora, a posebno uticaja faktora put na nastanak saobraćajnih nezgoda i posledica.

### 2.2. Utvrđivanje uticajnih faktora

Za utvrđivanje i prepoznavanje uticajnih faktora nastanka saobraćajnih nezgoda su razvijene i primenjivane različite metode, među kojima su se ekspertize saobraćajnih nezgoda, studije slučaja i dubinske analize izdvoile kao posebno kvalitetni alati za pouzdano utvrđivanje uticaja. U Evropi je za utvrđivanje uzroka i okolnosti saobraćajnih nezgoda razvijen i usvojen program dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda od strane European Reintegration Support Organisations (ERSO), koji je detaljno razrađen u okviru poglavlja 5 projekta SafetyNet (Bjorkman et al. 2008). U Australiji je 2003. godine sprovedena prva Australijska nacionalna dubinska analiza saobraćajnih nezgoda u kojoj su analizirane saobraćajne nezgode iz dve države (Vikotrija i Novi južni Vels) za period 2000-2003. (Fildes et al. 2003). U Velikoj Britaniji je sprovedeno više dubinskih analiza različitih kategorija učesnika u saobraćaju, pod nazivom "On-The-Spot accident research" (Hill and Cuerden 2005.), (Mansfield and Bunting; Martens and van der Horst 2008), (Cuerden et al. 2008). Univerzitet u Adelaidi je 1975. godine započeo primenu dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda, što u nastavku i dalje razvija kroz veći broj sprovedenih dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda (McLean et al. 1979; Baldock et al. 2008; Wundersitz 2012). U okviru SUPREME projekta Evropske komisije jedna od celina bila je i izveštaj dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda (Europea Commission 2007).

Zadatak dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda je prepoznavanje i utvrđivanje faktora koji su uzrokovali nastanak saobraćajne nezgode, kao i ostalih faktora od uticaja na posledice saobraćajne nezgode. U svom radu su (Pesic et al. 2014) dali pregled najbolje Svetske prakse u vršenju dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda, kao i prikaz nekih od metodologija vršenja dubinskih analiza. U okviru projekta SafetyNet definisan je veliki broj varijabli koje je neophodno prikupiti u vezi sa nezgodom, a po principu istraživanja poznatog kao SafetyNet Accident Causation System (SNACS) (Reed and Morris, 2008). Po broju definisanih uticajnih faktora najdalje su otišli u Nemačkoj, gde je u okviru baze podataka o dubinskim analizama GIDAS definisano više hiljada uticajnih faktora.

Dubinske analize po metodoligiji bi trebalo da analiziraju sve uticajne faktore vezane za nastanak saobraćajne nezgode, i to faktore puta sa okolinom, vozila i čoveka. Imajući u vidu veliki broj definisanih i prepoznatih uticajnih faktora, sprovođenje ovakvih analiza iziskuje velike vremenske i materijalne troškove, pa se ove analize u praksi retko sprovode ili se sprovode na određenom ograničenom području (jednog grada), za ograničeni vremenski period. Kako bi se prevazišao ovaj ograničavajući faktor široj primeni dubinskih analiza u praksi pojedini autori su



vršili dubinske analize posmatrajući samo pojedine uticajne faktora, kao na primer Penumaka et al. (2014) koji su ispitivali isključivo uticaj faktora čovek na nastanak saobraćajne nezgode.

Rich et al. (2013) su pratili uticaj starosti vozila na težinu posledica saobraćajnih nezgoda u Danskoj, kako bi utvrdili uticaj faktora vozilo na posledice saobraćajnih nezgoda. Aidoo et al. (2013) su u okviru dubinskih analiza utvrđivali uticaj puta i putne okoline na odluke vozača da napuste mesto nezgode nakon sudara sa pešakom, a što je imalo za posledicu veći broj smrtnih slučajeva. Hakamies-Blomqvist, (1993a) su pokazali da postoji zavisnost vrste (tipa) sudara od starosti vozača, a u radu (Eberhard, 1996) je ukazano na neophodnost definisanja prediktora nebezbednog ponašanja vozača u zavisnosti od godina starosti.

Složenost faktora koji mogu uticati na nastanak saobraćajne nezgode i okolnosti pod kojim utiču, pokazao je i De Readt (2000), koji je u svom radu analizirao vezu između kognitivnih/neuropsiholoških faktora i sposobnosti vozača, a u cilju utvrđivanja povezanosti sa stvaranjem opasnosti u saobraćaju i saobraćajnim nezgodama.

Na ovaj način dokazana je povezanost različitih faktora osnovnog faktora čovek na nastanak saobraćajne nezgode, čime je dat značaj na sprovođenju detaljnih dubinskih analiza. Složenost i specifičnost uticajnih faktora na nastanak saobraćajne nezgode su dokazali i Odenheimer et al. (1994), koji su u svom radu napravili iskorak definišući indekse za uticaj puta na nastanak saobraćajne nezgode. Navedeni autori su ispitali i utvrdili pouzdanost faktora puta na nastanak saobraćajne nezgode na uzorku od 30 konkretnih studija slučajeva saobraćajnih nezgoda. U svom radu su Markovic et al. (2015). posebno ukazali na značaj vršenja dubinskih analiza za pravilno utvrđivanje i definisanje uticaja puta na nastanak i posledice saobraćajnih nezgoda. Gitelman et al. (2012) su između ostalog analizirali karakteristike lokacije saobraćajnih nezgoda sa pešacima i dovodili ih u vezu sa karakteristikama učesnika nezgoda.

Yanyong et al. (2015) su analizirali uticaj horizontalne signalizacije na bezbednost pešaka i brzine kretanja vozila u blizini obeleženih pešačkih prelaza i utvrdili značajan uticaj pravilno obeležene signalizacije na povećanje bezbednosti pešaka i smanjenje brzine kretanja vozila. Uticaj različite signalizacije i kombinacije različite opreme na mestima prelaska pešaka na brzine kretanja vozila na tim mestima su kroz simulacioni model istraživali Bella and Silvestri (2015). Utvrdili su da uklanjanje objekata pored puta, zabrana parkiranja i smanjenje širine kolovoza daju najbolje efekte na povećanje bezbednosti pešaka. Dommes et al. (2015) su se bavili utvrđivanjem uticaja puta i putne okoline na odluke pešaka da pređu kolovoz kada im je uključen crveni signal semafora, kao jednog od odlučujućih faktora za nastanak nezgoda sa učešćem pešaka. Utvrdili su da postoji značajan uticaj puta i putne okoline na donošenje ovakvih odluka i kao značajne faktore prepoznali vidljivost i preglednost na raskrsnici, širinu pešačkog prelaza (put koji pešak prelazi), širinu kolovoza, postojanje pešačkih ostrva i sl.

Kao što je prikazano u svetu su korišćeni mnogi različiti modeli kako bi se dokazao uticaj pojedinih faktora na nastanak i posledice saobraćajnih nezgoda. Ali do sada nije sistematizovan uticaj svih faktora niti je izvršena procena uticaja prepoznatih faktora, kako bi se izdvojio set faktora koje je neophodno analizirati prilikom vršenja dubinskih analiza. Za ovakvu sistematizaciju je prevashodno potrebno osmisliti metodologiju kojom će biti prikupljeni svi podaci o saobraćajnim nezgodama, kako bi kasnije bilo moguće vrednovati njihov uticaj i definisati optimalan set uticajnih faktora za sprovođenje dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda.

Jedan od modela dubinskih analiza na javnim putevima je datu radu Markovic et al. (2015b). Sprovođenje ovakvog prikupljanja podataka bi zahtevalo duži vremenski period, kako bi se prikupio dovoljno veliki i reprezentativan uzorak uticajnih faktora, na osnovu koga bi bilo moguće utvrditi stvarne uticaje. Imajući to u vidu razvijena je metodologija praćenja i prikupljanja uticaja pojedinih faktora nekom trenutno primenljivom metodologijom, pa su ekspertize saobraćajnih nezgoda prepoznate kao izuzetan izvor uticajnih faktora na nastanak i posledice saobraćajnih nezgoda. Prikupljanjem uticajnih faktora na osnovu ekspertiza saobraćajnih nezgoda mogu se dobiti osnovni uticajni faktori na nastanak i posledice saobraćajnih nezgoda, a u skladu sa metodologijom i rezultatima ekspertiza saobraćajnih nezgoda. Ovako dobijen set osnovnih faktora se svakako može dalje unapređivati, usavršavati i korigovati sa prepoznavanjem uticajnih faktora utvrđenih sprovedenim dubinskim analizama, na koji način će biti verifikovani najuticajniji faktori u vezi saobraćajnih nezgoda.

### 3. UTICAJ FAKTORA PUT NA SAOBRAĆAJNE NEZGODE

Kao što je već napomenuto od posebnog značaja za preventivno delovanje u bezbednosti saobraćaja je analiziranje uticaja faktora put na nastanak saobraćajnih nezgoda i posledica. Put kao neizostavni učesnik svake saobraćajne nezgode mora imati uticaja na saobraćajne nezgode. U nekim slučajevima taj uticaj može biti uzročni, ali u većini slučajeva uticaj puta je u vezi sa posledicama ili mogućnošću umanjavanja posledica nastalih saobraćajnih nezgoda. Kako se saobraćajne nezgode događaju na putu ili bar započinju na putu, to put neizostavno učestvuje u saobraćajnim nezgodama. S druge strane određeno stanje faktora put ili njegove karakteristike ne dovode uvek do nastanka saobraćajnih nezgoda, već u određenim okolnostima i zajedno sa još nekim faktorom doprinose nastanku saobraćajnih nezgoda i posledica. Imajući to u vidu neophodno je prepoznati uticaje faktora put na nastanak i posledice saobraćajnih nezgoda, kako bi se preventivno delovalo.

#### 3.1. Stanje kolovoza kao uticajni faktor puta

Put kao uzročnih saobraćajnih nezgoda se najčešće javlja u situacijama kada stanje kolovoza deluje kao iznenađujući faktor na vozače i/ili druge učesnike u saobraćaju. Najčešći slučaj takvog stanja kolovoza je iznenadna pojava leda na kolovozu, na samo jednoj deonici, pri čemu na ostalim delovima su normalni uslovi saobraćaja. U ovakvim okolnostima saobraćaja vozač biva iznenađen stanjem površine kolovoza i nema adekvatnu mogućnost da u takvoj situaciji prilagodi način vožnje novonastalim okolnostima. Takođe, sličan slučaj uzročne povezanosti stanja kolovoza i nastanka saobraćajnih nezgoda je pojava naslaga prljavštine na kolovozu, rizle i drugih rasutih materija i stvari. Pojedine od saobraćajnih nezgoda su uzrokovane smanjenim prianjanjem kolovoza usled rasutog ulja i drugih tečnosti ili pak drugih materija koje umanjuju prianjanje. Svi ovde pomenuti iznenadni uslovi saobraćaja se mogu podvesti pod jedinstven uticajni faktor kao što je stanje kolovoznog zastora. Najčešće se mogu razlikovati sledeća stanja kolovoznog zastora, kao što je oštećen, neoštećen, zaleđen, prekriven (sneg, led, rizla, i sl.), mokar i suv.

#### 3.2. Pružanje puta kao uticajni faktor

Pružanje puta na mestu nezgode se takođe često javlja kao uticajni faktor nastanka saobraćajnih nezgoda. Kad je reč o pružanju puta utvrđivanje ovog uticaja nije tako jednostavno kao kod prethodnog faktora. Naime, prilikom opredeljivanja uticaja ovog faktora najčešće se prve greške koje su svojstvene klasičnim analizama saobraćajnih nezgoda, gde se analizira samo mikrolokacija mesta saobraćajne nezgode. U analizi uticaja ovog faktora izuzetan doprinos daju dubinske analize saobraćajnih nezgoda, jer one sagledavaju put i putnu okolinu osim na mestu nezgode i neposredno ispred i nakon mesta nezgode. Kada govorimo o faktoru pružanje puta moguće je razlikovati veći broj stanja ovog faktora, kao što je put u pravcu, krivini konstantnog radijusa, krivini promenljivog radijusa, vertikalnoj krivini, vertikalnoj i horizontalnoj krivini i sl. postoje slučajevi kada se uticaj faktora pružanje puta iskazuje kroz više uticaja, kao na primer put sa izraženim i poprečnim i podužnim radijusom sa nepravilnim nagibom, tako da je neophodno detaljno analizirati moguće uticaje ovog faktora primenom dubinskih analiza.

Kako bi se praktično pokazao značaj detaljnog analiziranja ovog uticaja na konkretnu saobraćajnu nezgodu dat je primer dubinske analize uticaja puta u saobraćajnoj nezgodi u kojoj su učestvovala tri vozila, na pravom delu kolovoza, bez poprečnog i podužnog nagiba. Saobraćajna nezgoda se dogodila na delu kolovoza koji je središnjom neisprekidanom razdelnom linijom podeljen na dve saobraćajne trake, tako što je jedan od učesnika saobraćajne nezgode preticao drugog i čeonno se sudario sa trećim učesnikom saobraćajne nezgode, koji mu je dolazio u susret, nakon čega je u rotaciji došlo do udara i u preticano vozilo. Klasičnim analizama se kao jedini uticajni faktor ove saobraćajne nezgode prepoznaje faktor čovek, odnosno radnja vozača koji započinje preticanje vozila na mestu gde je prelazak na suprotnu stranu kolovoza zabranjen. S druge strane dubinskom analizom ove saobraćajne nezgode, a posebno analizom uticaja faktora put na nastanak nezgode utvrđeno je da se neposredno mesto sudara nalazi u pravcu i na delu kolovoza bez podužnog i poprečnog nagiba, ali se neposredno ispred i nakon mesta nezgode (na rastojanju do 50 m) put pruža u prevoju, sa kratkim zaravnjenjem na mestu nezgode. Takođe, se put sa obe strane

mesta nezgode na nešto većem rastojanju nalazi u krivini, tako da se mesto nezgode nalazi u pravcu, koji se nalazi na prelaznici između dve horizontalne krivine. Imajući sada u vidu sve navedene faktore pružanja puta na mestu nezgode, uočava se znatan uticaj faktora pružanja puta na ograničenu preglednost, jer zbog postojanja vertikalnog prevoja na mestu nezgode vozači nemaju mogućnost međusobnog uočavanja, pa se to ne može isključiti kao uticajni faktor nastanka ove saobraćajne nezgode.



**Slika 2.** Izgled pružanja puta na mestu nezgode

Takođe, na mestu nezgode kao i u neposrednoj blizini nema saobraćajne signalizacije i opreme koja bi na adekvatan način upozorila učesnike u saobraćaju na nailazak na deo puta sa vertikalnom krivinom i prevojem, odnosno sa smanjenom preglednošću, a što bi takođe bio uticajni faktor nastanka ove saobraćajne nezgode. Ovaj uticaj faktora put bi bio u vezi sa uticajem stanja saobraćajne signalizacije i opreme u zoni mesta nezgode. U prvom primeru bi Takođe, nepostojanje saobraćajne opreme koja bi na mestu gde nema zadovoljavajuće preglednosti upozoravala vozače na opasnost prelaska na suprotnu saobraćajnu traku, bi takođe bili uticaj puta na nastanak i posledice ove saobraćajne nezgode.

### 3.3. Uticaj puta i putne okoline

Značaj doslednog sprovođenja dubinskih analiza neposredno nakon nastanka saobraćajnih nezgoda može donekle biti objašnjen na sledećem primeru sprovedene dubinske analize. U ovom primeru saobraćajna nezgode se dogodila u noćnim uslovima vidljivosti na kolovozu sa izrazitim podužnim nagibom i u relativno oštroj krivini, gde vozač nije blagovremeno uočio pešaka i došlo je do sudara sa pešakom. Na mestu nezgode, neposredno ispred mesta nezgode se završava staza za pešake i na mestu nezgode ne postoje površine pogodne za kretanje pešaka osim kolovoza, jer se put na tom mestu nalazi na vijaduktu. Kao i u prethodnom slučaju klasičnim utvrđivanjem uzroka nastanka saobraćajne nezgode bio bi prepoznat isključivo uticaj faktora čovek na nastanak ove saobraćajne nezgode dok bi faktor put eventualno mogao biti prepoznat u delu nepostojanja površine pogodne za kretanje pešaka u nastavku pešačke staze. Sprovođenjem dubinske analize saobraćajne nezgode u dnevnim uslovima vidljivosti (pri čemu je nezgoda nastala u noćnim uslovima vidljivosti) utvrđen je uticaj puta u odnosu na nepostojanje pogodnih površina za kretanje pešaka u zoni mesta nezgode, a što bi imalo uticaja na nastanak ove saobraćajne nezgode. Detaljnom analizom mesta saobraćajne nezgode utvrđeno je da se mesto saobraćajne nezgode nalazi u vertikalnoj krivini (usponu) i horizontalnoj krivini, ali da se neposredno ispred mesta nezgode put pruža u pravcu i bez izraženog podužnog nagiba, a da se neposredno ispred mesta nezgode nalazi oštar prelaz na deo sa izraženim podužnim usponom. Imajući u vidu navedenu činjenicu izvršena je analiza i u noćnim uslovima vidljivosti (sličnim vremenu nastanka nezgode) kako bi se mogli sagledati svi potencijalni uticaji na konkretnu saobraćajnu nezgodu.

Sprovođenjem analize u noćnim uslovima vožnje utvrđeno je da zbog geometrije kolovoza neposredno ispred mesta saobraćajne nezgode (nagli prelaz kolovoza iz dela bez vertikalnog nagiba u deo sa izraženim vertikalnim nagibom) vozila ne osvetljavaju kolovoz u dovoljnoj dužini, kao na ravnom kolovozu ili kolovozu sa konstantnim nagibom, pa vozač na tom mestu nema mogućnost blagovremenog uočavanja prepreka na kolovozu, a usled geometrije puta. Ovaj uticaj puta je jedino mogao biti utvrđen sprovođenjem dubinske analize ove saobraćajne nezgode, jer prikupljanjem podataka na uviđaju saobraćajne nezgode, ovakva vrsta podataka se ne analizira i prikuplja. Ovaj uticaj puta se može svrstati u uticaj pružanja puta, jer usled geometrije puta dolazi do smanjenja mogućnosti uočavanja puta ispred vozila u noćnim uslovima vidljivosti.



**Slika 2.** Izgled pružanja puta na mestu nezgode

Detaljnijom analizom saobraćajne nezgode u noćnim uslovima vožnje utvrđeno je postojanje dodatnih smetnji vozačima za blagovremenijim uočavanjem prepreka na kolovozu i sagledavanju puta ispred vozila usled postojanja izvora svetlosti na okolnim objektima usmerenih ka kolovozu. Naime, u neposrednoj blizini kolovoza se nalazi više izvora svetlosti koji su usmereni ka kolovozu, što za posledicu ima ometanje vidljivosti vozačima koji se kreću u smeru ka izvoru svetlosti, što dodatno utiče na prethodno uočeno smanjenje mogućnosti uočavanja prepreka i puta ispred vozila. I ovaj uticaj se takođe može podvesti pod uticaj puta i putnog okruženja na nastanak saobraćajne nezgode.

### **3.4. Stanje saobraćajne signalizacije i opreme kao uticajni faktor puta**

Jedan od čestih uzročnih uticaja faktora put je i stanje saobraćajne signalizacije, jer često usled nedoslednog obaveštavanja učesnika u saobraćaju nastaju situacije u kojima vozači ne svojom greškom dolaze u konfliktnu situaciju. Najčešći slučaj uticaja faktora put na nastanak nezgode je ne postojanje saobraćajnih znakova o prvenstvu prolaza u raskrsnici ili češće dovođenje u zabludu učesnika u saobraćaju o prvenstvu prolaza u raskrsnici zbog nedosledne saobraćajne signalizacije na putu. Usled ne postojanja saobraćajnih znakova o prvenstvu prolaza, odnosno dovođenja vozača u situaciju da im je na različite načine saopšteno pravo prvenstva prolaza stvara se konfliktna situacija, koja za posledicu ima nastanak saobraćajne nezgode. U praksi najviše zastupljena situacija je kada je jednom od učesnika prvenstvo prolaza saopšteno ranije (na prethodnim raskrsnicama) postavljenim saobraćajnim znakom, a na mestu nezgode (u konkretnoj raskrsnici) nema saobraćajne signalizacije, pri čemu drugi učesnik ima prvenstvo prolaza u skladu sa pravilima saobraćaja. U ovakvim situacijama uticaj faktora put je jedini uzročnik nastanka saobraćajne nezgode u konkretnoj situaciji, a ostali faktori (čovjek i vozilo) mogu imati uticaja na doprinos nastanku i težini posledica. Utvrđivanje stvarnog prvenstva prolaza na konkretnoj raskrsnici nije moguće, bez detaljne analize šire okoline saobraćajne nezgode, a što nije svojstveno klasičnim analizama saobraćajnih nezgoda, iz tog razloga sprovođenje dubinske analize jednoznačno utvrđuje stvarne prioritete u raskrsnici.

Još jedan od čestih uticaja faktora put, ali češće vezan za posledice saobraćajne nezgode je i nedosledno postavljanje saobraćajnih znakova za ograničenje brzine. S jedne strane ovakva situacija često dovodi vozače u zabludu o stvarnom ograničenju brzine na nekom delu puta, a što često doprinosi nastanku saobraćajni nezgoda i posledica. S druge strane ovakvo stanje u saobraćajnog sistemu ima dalekosežnije posledice jer učesnici u saobraćaju gube poverenje u upravljača puta, a što za posledicu može imati smanjenje poštovanja saobraćajne signalizacije. Nedosledno postavljanje saobraćajnih znakova za ograničenje brzine i saobraćajnih znakova za početak naselja imaju za posledicu da vozači ne znaju na jasan način koje ograničenje brzine važi na pojedinim delovima puta, a što sve za posledicu ima potencijalni uticaj na njihovo ponašanje i mogućnost nastanka saobraćajne nezgode i težih posledica. Imajući u vidu veliki broj mogućih nedoslednosti u saobraćajnoj signalizaciji svakako se mora izdvojiti kao izuzetno važan uticaj faktora stanja saobraćajne signalizacije iz faktora put, kao dominantan faktor na nastanak i posledice saobraćajnih nezgoda.

Kada je reč o saobraćajnoj signalizaciji nije jedino vertikalna signalizacija ta koja je često nedosledna i dovodi učesnike u saobraćaju u opasne situacije. Takođe i horizontalna signalizacija i oprema mogu imati uticaja na nastanak i posledice saobraćajnih nezgoda. Nedefinisanje namene površina na jasan i jednoznačan način takođe može dovesti u zabludu učesnike u saobraćaju o pravilnom načinu kretanja na takvim područjima. Najčešći slučaj ovakvog stanja u saobraćaju je na različitim raskrsnicama, a najčešće

nepravilnog oblika, gde loše obeležena horizontalna signalizacija dodatno, utiče na uslozljavanje kretanja vozača i njihovo dodatno opterećivanje, što za posledicu može imati nastanak saobraćajne nezgode.

Na sledećem primeru izvršene dubinske analize saobraćajne nezgode koja se dogodila na trokrakoj raskrsnici, na kojoj je jedan vozač vršio skretanje levo ispred vozila koje mu je dolazilo u susret. Klasičnim analizama saobraćajnih nezgoda u opisanim okolnostima faktor čovek bi bio jedino prepoznati uticaj na nastanak ove saobraćajne nezgode, jer je vozač preduzeo radnju skretanja kada za to nije imao bezbedne uslove. Sprovedenom dubinskom analizom ove saobraćajne nezgode utvrđeno je da je trokraka raskrsnica na kojoj se dogodila saobraćajna nezgoda prethodno bila nepravilna četvorokraka raskrsnica pod ostrim uglom. Navedena četvorokraka raskrsnica je transformisana u dve trokrake raskrsnice, pod približno normalnim uglom ukljućivanja.

Prilikom transformacije navedene četvorokrake raskrsnice u dve trokrake raskrsnice nije dosledno sprovedena transformacija, na koji način bi bile napravljene dve pravilne trokrake raskrsnice, već je samo dodata i proširena površina kolovoza u zoni raskrsnice, tako da je stvorena velika površina ukrštanja na tom području. Na jednom od transformisanih krakova je horizontalnom signalizacijom koja je izbledela obeleženo pružanje saobraćajnih traka na tok kolovozu, na koji način je usmereno ukrštanje pod približno upravnim uglom. Drugi transformisani krak raskrsnice nije obeležen horizontalnom i vertikalnom signalizacijom što omogućava beskonačno veliki broj mogućih putanja kretanja vozila pri skretanju.

Na glavnom kolovozu je središnja isprekidana razdelna linija obeležena približno u visini sredina boćnih kolovoza, tako da su mesta za skretanje prostorno razdvojena i odgovaraju približno ukljućivanju na boćne kolovoze pod uglom od 90 stepeni.



**Slika 3.** Izgled pružanja puta na mestu nezgode

Prilikom vršenja dubinske analize snimani su tokovi vozila i praćeno ponašanje učesnika u saobraćaju na predmetnoj raskrsnici. Uočeno je da gotovo svi učesnici u saobraćaju koji vrše skretanje na oba transformisana kraka prethodne četvorokrake raskrsnice, a sada dve bliske trokrake raskrsnice, vrše skretanje ne poštujući horizontalnu signalizaciju. Takođe je uočeno da svi učesnici u saobraćaju koji su vršili skretanja na predmetnoj raskrsnici su se kretali približno putanjama koje bi odgovarale prethodno postojećim pravcem pružanja transformisanog kraka četvorokrake raskrsnice. Naime, gotovo svi vozaći koji su skretali

## PREDIKCIJA UTICAJA FAKTORA PUT NA NASTANAK SAOBRAĆAJNIH NEZGODA PRIMENOM MODELA DUBINSKIH ANALIZA

su skretali pod ostrim uglom na bočne kolovoze, a što ime je ostalo omogućeno postojanjem široke površine kolovoza na raskrsnici i prethodno postojećim krakovima kolovoza transformisane ulice.

Takođe, na ovom mestu ne postojanje saobraćajne opreme kojom bi na mestu rekonstruisane i transformisane raskrsnice, bila jasno i jednoznačno obeležena namena površina, a tokovi vođeni na pravilan način, bi stvaralo potencijalno opasnu situaciju u saobraćaju, a koja za posledicu može imati nastanak saobraćajne nezgode. Ovakvo stanje saobraćajne signalizacije bi bio uticaj faktora put na stvaranje opasnosti i nastanak saobraćajne nezgode.

Sprovođenjem dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda je definisan veliki broj potencijalnih uticaja puta na stvaranje opasnosti u saobraćaju i eventualno na nastanak saobraćajnih nezgoda, a što je delimično i prikazano u ovom radu. Faktor put kao što je prikazano, gotovo u svim saobraćajnim nezgodama ima uticaja kroz različite pojavne oblike, a što će u nastavku istraživanja biti prepoznato i sistematizovano, tako da predstoji obiman rad na definisanju najvažnijih uticaja faktora put na saobraćajne nezgode.

### 3. ZAKLJUČAK

Dubinske analize saobraćajnih nezgoda, kao što je i prikazano u ovom radu, mogu u velikoj meri pomoći u prepoznavanju i definisanju uticaja pojedinih faktora, osnovnih faktora Čovek-Vozilo-Put- Okruženje na nastanak i posledice saobraćajnih nezgoda. Ni jedna od do sada primenjivanih metoda analiza saobraćajnih nezgoda, zbog svoje specifičnosti rada ili ograničenih raspoloživih podataka, nema mogućnost da sveobuhvatno analizira svaku pojedinačnu saobraćajnu nezgodu, kao što to rade dubinske analize.

Dubinske analize na specifičan način posmatraju svaki od faktora i analiziraju mogući uticaj na konkretnu saobraćajnu nezgodu. Takođe, zbog multidisciplinarnosti radnog tima koji vrši dubinske analize je moguće kvalitetnije sagledavanje potencijalnih uticaja na nastanak i posledice saobraćajne nezgode, a što omogućava adekvatno prepoznavanje stvarnih uticaja u konkretnoj nezgodi.

Uticaj faktora put, kao jedinog faktora koji je permanentno prisutan na konkretnoj lokaciji, je veoma važno analizirati dubinskim analizama jer samo se na taj način mogu stvarno sagledati njegovi uticajni na nastana i posledice saobraćajnih nezgoda. Kao što je prikazano u ovom radu, na konkretnim primerima, uticaj faktora put nije uvek jasno prepoznatljiv i svim jasan, a što zahteva sprovođenje ovakvih analiza, kako bi se u potpunosti utvrdio njegov uticaj i u skladu sa prepoznatim uticajem preduzele adekvatne mere. Vršenje dubinskih analiza sa posebnim osvrtom na analizu uticaja faktora put je značajna ne samo za utvrđivanje uticajnih faktora na nastanak saobraćajnih nezgoda na nekom području, već je značajna i za preduzimanje mera na otklanjanju uočenih nedostataka puta na konkretnom mestu.

Kao što je već prikazano i navedeno u ovom radu, značaj sprovođenja dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda je posebno značajno za upravljače puta, jer na pouzdan način mogu dobiti podatke o stvarnom uticaju puta kojim upravljaju na bezbednost saobraćaja. Na ovaj način mogu prepoznati opasne deonice ili mesta na kojima je neophodno preduzeti određene aktivnosti kako bi se povećao nivo bezbednosti saobraćaja i izbeglo stvaranje opasnih situacija i saobraćajnih nezgoda. Za upravljače puta sprovođenje dubinskih analiza može imati dvojak značaj, prvo na konkretnom mestu gde se događaju saobraćajne nezgode se analizira uticaj puta, što za posledicu ima jasne pokazatelje upravljaču šta mora preduzeti na konkretnoj lokaciji. S druge strane značaj sprovođenja dubinskih analiza za upravljača puta je taj što prikupljanjem podataka o uticajima faktora put na nastanak nezgoda imaju mogućnost da prepoznaju druga potencijalno opasna mesta, na kojima se još uvek nisu dogodile saobraćajne nezgode, a koja karakteriše postojanje prepoznatih uticajnih faktora nastanka saobraćajnih nezgoda i posledica. To ima omogućava preventivno delovanje kako bi se smanjili prepoznati uticaji faktora put i preventivnim delovanjem izbeglo stvaranje potencijalno opasnih mesta i saobraćajnih nezgoda.

### Literatura

- [1] World Health Organization. 2013. Global status report on road safety: time for action: 2013.
- [2] Antic, B., Vujanic, M., Lipovac, K., Pesic, D., 2012. Estimation of the traffic accidents costs in Serbia by using dominant costs model. Transport. 26:4, 433-440.
- [3] Department for Transport – Great Britain 2013. Valuation of road accidents and casualties in Great Britain, Annual report
- [4] PIARC- Permanent International Association of Road Congresses, 2011. Road Safety Manual
- [5] European Road Safety Observatory, Project of SafetyNet, 2008. Deliverable 5.8: In-depth accident causation database and analysis report

- [6] Bjorkman, K., Fagerlind, H., Ljung-Aust, M., Lijegren, E., 2008. In-depth accident causation databases and analysis report. Deliverable 5.8 of the EU FP6 project SafetyNet, TREN-04-FP6TR-SI2.395465/506723
- [7] Pesic, D., Vujanic, M., Lipovac, K., Antic, B., 2014. In-depth analyses of road accidents, state-of-the-art and the possibilities for the implementation in the Republic of Serbia, Road Accidents prevention 2014, XII International Symposium
- [8] Reed, S., Morris, A., 2008. Glossary of Data Variables for Fatal and Accident causation databases. Deliverable 5.5 of the EU FP6 project SafetyNet, TREN-04-FP6TRSI2.395465/506723
- [9] Penumaka, P.A., Savino, G., Baldanzini, N., Pierini, M., 2014. In-depth investigation of PTW-car accidents caused by human errors. *Safety Sci.* 68, 212-221.
- [10] Rich, J., Prato, C.G., Hels, T., Lyckegaard, A., Kristensen, N.B., 2013. Analyzing the relationship between car generation and severity of motor-vehicle crashes in Denmark. *Accid. Anal. Prev.* 54, 81-89.
- [11] Aidoo, E.N., Amoh-Gyimah, R., Ackaah, W., 2013. The effect of road and environmental characteristics on pedestrian hit-and-run accidents in Ghana. *Accid. Anal. Prev.* 52, 23-27.
- [12] Hakamies-Blomqvist, L.E., 1993. Fatal accidents of older drivers. *Accid. Anal. Prev.* 25, 19-27.
- [13] Eberhard, J.W., 1996. Safe mobility for senior citizens. *IATSS Reas.* 20, 29-37.
- [14] De Raedt, R., 2000. Cognitive/neuropsychological functioning and compensation related to car driving performance in older adult. Doctoral dissertation, Vrije Universiteit Brussel, Brussel.
- [15] Odenheimer, G.L., Beaudet, M., Jette, A.M., Albert, M.S., Grande, L., Minaker, K.L., 1994. Performance-based driving evaluation of the elderly driver: safety, reliability and validity. *Journal of Gerontology: Medical Sciences.* 49, 153-159.
- [16] Markovic, N., Pesic, D., Selmic, M., Macura, D. 2015. Značaj vršenja dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda za pravilno utvrđivanje uticaja puta na nastanak saobraćajne nezgode, XIV Simpozijum "Veštačenje saobraćajnih nezgoda i prevare u osiguranju"
- [17] Markovic, N., Pesic, D., Macura, D., Selmic, M. 2015. Независне оцене саобраћајних незгода са погинулим на јавним путевима, 10. Међународна Конференција "Безбедност саобраћаја у локалној заједници", Србија, Крагујевац, Хотел Крагујевац, 22 – 25. април 2015.
- [18] Gitelman, V., Balasha D., Carmel, R., C., Hendel L., Pesahov F., 2012. Characterization of pedestrian accidents and an examination of infrastructure measures to improve pedestrian safety in Israel, *Accident Analysis and Prevention*, 44, 63-73.

## PREGLED EFIKASNIH INFRASTRUKTURNIH MERA ZA UNAPREĐENJE BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA NA RASKRSNICAMA VANGRADSKIH PUTEVA

**Vladan Tubić**

Redovni profesor, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, [vladan@sf.bg.ac.rs](mailto:vladan@sf.bg.ac.rs)

**Krsto Lipovac**

Redovni profesor, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, [k.lipovac@sf.bg.ac.rs](mailto:k.lipovac@sf.bg.ac.rs)

**Nemanja Stepanović<sup>1</sup>**

Student doktorskih studija, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, [nemanja.stepanovic92@gmail.com](mailto:nemanja.stepanovic92@gmail.com)

**Rezime:** U 2014. godini je u Evropskoj uniji zabeležen veliki broj saobraćajnih nezgoda, u kojima je pogunulo 26.000 ljudi, a preko 200.000 je teško povređeno. Skoro 60% saobraćajnih nezgoda sa smrtno stradalima se događa na vangradskim putevima. Raskrsnice su posebno rizična mesta. Kako bi poboljšali bezbednost ovih elemenata saobraćajne infrastrukture, neophodno je implementirati niz inženjerskih mera, čiji je cilj unapređenje bezbednosti saobraćaja. Sa druge strane, sve su oskudniji izvori za finansiranje ovih mera pa je neophodno vršiti stručnu optimizaciju ulaganja. Cilj ovog rada je pregled infrastrukturnih mera za unapređenje bezbednosti saobraćaja na raskrsnicama vangradskih puteva. Na osnovu literarnog pregleda, izvršena je klasifikacija kontramera, sa aspekta njihove cene i uticaja na smanjivanje rizika stradanja. Posebno su analizirane jeftine mere i mere koje imaju dobar odnos troškova i koristi, odnosno troškova i efikasnosti. Pokazano je da pojedine mere, za čiju racionalizaciju nisu neophodna velika ulaganja (u odnosu na veličinu PGDS-a), mogu značajno smanjiti broj i posledice saobraćajnih nezgoda, odnosno imati dobar odnos troškova i koristi. Analizirani su i uticaji na efikasnost saobraćajnog toka, ekologiju itd.

**Ključne reči:** bezbednost saobraćaja, jeftine mere, cost/benefit analiza, vangradске raskrsnice

### 1. UVOD

Bezbednost saobraćaja se, od početka XXI veka značajno poboljšala. Sa 55.000 u 2001. godini, broj smrtno nastradalih lica u saobraćajnim nezgodama u zemljama Evropske unije je smanjen na oko 30.000 u 2011. godini. Tada je Evropska komisija usvojila strategiju bezbednosti saobraćaja, koja ima za cilj da prepolovi ovaj broj do 2020. godine. [European Commission – Mobility and Transport] Međutim, uprkos značajnom poboljšanju, broj od 26.000 poginulih lica i oko 200.000 teško povređenih lica u 2014. godini je i dalje previsok. [Road Safety in the European Union, EC 2015.] U ostalim zemljama sveta situacija je daleko lošija, pa tako u celom svetu godišnje strada oko 1,25 miliona ljudi. [World Health Organization]

Analize brojnih saobraćajnih nezgoda su pokazale da, iako se procenutalno nešto veći broj dogodi u gradskim odnosno urbanim sredinama, nezgode u ruralnim područjima odnosno na vangradskim putevima nose daleko veći rizik nastanka teških povreda i smrtnih slučajeva. Tako je analiza bezbednosti saobraćaja u zemljama OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*) pokazala da je skoro 60% smrtno stradalih lica u saobraćajnim nezgodama izgubilo život na vangradskim putevima, odnosno da je rizik stradanja veći na vangradskim nego u gradskim sredinama. [Oxley J. et al. 2004]

Veliki broj nezgoda sa nastradalim licima, kako u urbanim, tako i u vangradskim sredinama se događa na raskrsnicama. Raskrsnice predstavljaju mesta ukrštanja saobraćajnih tokova i najčešće su (osim na autoputevima) izvedene u nivou. To dovodi do velikog broja konfliktnih tačaka i nastanka opasnih tipova sudara, koji pri visokim brzinama prisutnim na vangradskim putevima, često rezultuju velikim posledicama i stvaranju novih crnih tačaka. Zbog velikog broja ukrštaja sa putevima sa niskim PGDS-om (prosečan godišnji dneveni saobraćaj) i velike razuđenosti raskrsnica na vangradskim putevima, mere koje daju najbolje rezultate za poboljšanje bezbednosti saobraćaja su infrastrukturne mere. Infrastrukturne mere se odnose na inženjerske mere unapređenja geometrijskih karakteristika raskrsnica, poprečnog i podužnog profila, sredstva za regulisanje saobraćajnih tokova itd. Veće infrastrukturne mere su po pravilu skupe za implementaciju ali donose značajno smanjenje rizika nastanka i posledica saobraćajnih nezgoda, dok manje mere imaju niže cene ali i manje efekte. Zbog sve manjih budžetskih sredstava za unapređenje bezbednosti saobraćaja u mnogim zemljama, prouzrokovano ekonomskim poteškoćama, visina investicionih troškova je veoma važna stavka. Kako bi se ocenila efikasnost svake mere, danas se sve češće sprovode *cost/benefit* analize. Time se vrednuju sva rešenja

---

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: [nemanja.stepanovic92@gmail.com](mailto:nemanja.stepanovic92@gmail.com)



i predložene mere čime se omogućava donosiocima odluka da izaberu onu meru koja ima optimalan odnos uloženi sredstava i pozitivnih efekata po pitanju bezbednosti saobraćaja.

Cilj rada je literarni pregled infrastrukturnih mera unapređenja bezbednosti saobraćaja na raskrscima vangradskih puteva, sa posebnom analizom rešenja sa najvećom efikasnošću. Pored bezbednosnih aspekata, zbog primarne funkcije vangradskih puteva u vidu obezbeđivanja efikasnog transporta ljudi i dobara, analizirani su i efekti predstavljenih mera na mobilnost (uticaj na kapacitet, vreme putovanja itd.), izduvne gasove, buku itd. Na kraju je dat sumarni prikaz i zaključci u vidu najefikasnijih mera po pitanju bezbednosti i efikasnosti.

## 2. COST/BENEFIT ANALIZE

### 2.1 CBA i CEA analize

Glavni cilj CBA (*cost benefit analysis*) u bezbednosti saobraćaja je da odgovori na pitanje da li efekti predloženih mera prevazilaze troškove, odnosno da li se može očekivati pozitivan ekonomski povraćaj investicije. Rezultat CBA se prikazuje u novčanim jedinicama, pa je zbog toga potrebno izvršiti pretvaranje svih troškova i koristi u novčane jedinice (koristeći razne metode), kako bi se izračunali razni ekonomski efekti mera. CBA analize se sprovode kako bi se donela odluka između nekoliko predloženih mera (projektnih varijanti), kako bi se odredile prioritete mere, i u razne druge svrhe, koristeći proste ili složenije metode u zavisnosti od količine detalja koji se ocenjuje. [SWOV, 2011]

Odnos troškova i koristi – CBR (*cost benefit ratio*) određene mere za poboljšanje bezbednosti saobraćaja se računa kao odnos sadašnje vrednosti svih koristi posmatrane mere i sadašnje vrednosti troškova implementiranja mere, odnosno kao (definisano u projektu ROSEBUD, 2005.). Pored CBR analiza, koriste se i CEA (*cost effective analysis*), koje su ponekad dovoljne za ocenu mera bezbednosti saobraćaja. Ove analize isključivo uzimaju u obzir efekte na bezbednost saobraćaja i troškove implementiranja određene mere. CEA su zbog toga primenljive isključivo ukoliko ostali efekti mera nisu bitni i ne učestvuju u analizi. Odnos troškova i efektivnosti – CER (*cost-effectiveness ratio*) određene mere za povećanje bezbednosti saobraćaja se računa kao odnos broja sprečenih saobraćajnih nezgoda, kao rezultat primenjene mere i jedinične cene implementiranja mere, odnosno kao (definisano u projektu ROSEBUD, 2005.) [Yannis G., 2008]

### 2.2 Sprovođenje CBA

Sprovođenje cost/benefit analize podrazumeva sledeće korake [SWOV, 2011]:

#### *Poređenje alternativa*

Kako bi se ocenila efikasnost odnosno korist određene mere, sprovođenje analize troškova i koristi podrazumeva pređenje stanja nakon implementirane mere (projektna alternativa) sa situacijom koja bi se razvila bez primene te mere odnosno bez ulaganja (nulta alternativa).

#### *Troškovi i koristi*

Prilikom sprovođenja cost/benefit analiza mera za poboljšanje bezbednosti saobraćaja, mogu se grubo izdvojiti tri kategorije koristi: koristi za bezbednost, mobilnost i životnu sredinu. Bezbednosni efekti obuhvataju smanjenje materijalne štete, medicinskih troškova, gubitka radno sposobnog stanovništva, troškova zagušenja nastalih usled saobraćajnih nezgoda itd. Koristi koje se tiču mobilnosti se sastoje od promene vremena putovanja i eksploatacionih (putnih) troškova. Efekti na životnu sredinu se ogledaju kroz razliku u emisiji izduvanih gasova i nivou buke, pre i posle primenjenih mera. Efekti koje se mogu postići primenom određene mere za poboljšanje bezbednosti saobraćaja se porede sa troškovima, koji se dele na troškove implementacije i operativne troškove. Troškovi implementacije obuhvataju troškove koji nastaju izvođenjem rekonstrukcije ili gradnje novog elementa saobraćajne infrastrukture, dok operativni troškovi obuhvataju troškove održavanja i prisile. U slučaju primene više mera odjednom (seta mera), uzimaju se u obzir uštede odnosno smanjenje troškova u odnosu na primenu više pojedinačnih mera.

#### *Izražavanje koristi u novčanim jedinicama*

Da bi se CBA metoda uspešno primenila, odnosno kako bi se omogućilo detektovanje ušteda svake primenjene mere, neophodno je što više koristi izraziti u novčanim jedinicama. Za neke koristi se to može učiniti jednostavnim korišćenjem tržišnih cena, kao što je slučaj kod troškova vremena putovanja poslovnih korisnika

## PREGLED EFIKASNIH INFRASTRUKTURNIH MERA ZA UNAPREĐENJE BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA NA RASKRSNICAMA VANGRADSKIH PUTEVA

(prosečna cena radnog sata) ili kod medicinskih troškova (troškovi lečenja, bolničke nege itd.). Međutim, za određivanje koristi koje se nemaju određenu novčanu tržišnu cenu, razvijeno je nekoliko metoda, kao što su Metod uslovnog vrednovanja (*Contigent Valuation Method – CVM*), Metod kombinovane analize (*Conjoint analysis - CA*) ili Metod cene okruženja (*Hedonic Pricing Method - HPM*). Metod uslovnog vrednovanja i Metod kombinovane analize koriste istraživanja da odrede novčanu vrednost cene ljudskog života u saobraćajnim nezgodama. Metod cene okruženja (HPM) najčešće koristi tržište nekretnina kako bi odredio vrednost koristi određene mere. Npr, cena količine buke se može odediti razlikom u ceni sličnih kuća u mirnom i bučnom kraju.

### *Uticaj vremena na efikasnost mere*

Projektne alternative se porede sa nultom alternativom tokom određenog perioda vremena, najčešće 10 ili 20 godina, u zavisnosti od konkretnih mera. Troškovi i koristi se diskontuju na prvu godinu eksploatacije. Ovo omogućava da se mere čije se koristi kasnije iskazuju, imaju manju vrednost od mera čije se koristi odmah ostvaruju. Zahvaljujući diskontovanju se može proračunati Neto sadašnja vrednost troškova i koristi, a moguće je upoređivati i mere sa različitim planiranim periodom eksploatacije.

### *Proračun efekata mera*

Kada su svi troškovi i efekti pretvoreni u novčane jedinice, za konkretni vremenski period, određeni, prelazi se na proračun efikasnosti mere odnosno društveno - ekonomskog povraćaja uložених sredstava. Najčešće se prikazuju kroz odnos diskontovanih vrednosti koristi i troškova (*Cost - Benefit Ratio*). Na osnovu ovog odnosa se mogu porediti efekti raznih mera za povećanje bezbednosti saobraćaja. Ovakav proračun je koristan jer takođe omogućuje sprovođenje testa osetljivosti.

## **3. VANGRADSKI PUTEVI**

Tačna definicija vangradskih puteva ne postoji nigde u svetu. Vangradski putevi se u najširem obliku mogu definisati kao putevi koji se nalaze van oblasti sa velikim brojem stanovnika, i visokom gustinom naseljenosti, odnosno van urbanizovanih centara, što je i uzeto kao formulacija za potrebe ovog rada.

Kako se u radu daje pregled troškovno efikasnih i jeftinih mera za povećanje bezbednosti saobraćaja, autoputevi nisu analizirani ovom prilikom. Naime, autoputski sistemi omogućavaju visoke brzine za savladavanje velikih udaljenosti, zbog čega imaju visoke projektne standarde. To su putevi sa razdvojenim kolovzima sa po dve ili više saobraćajnih traka, ali što je najbitnije, sa potpunom kontrolom prisutpa odnosno denivelisanim raskrsnicama. Ovaj tip raskrsnica, sa trakama za ulivanje i izlivanje predstavlja dosta bezbednije rešenje u odnosu na raskrsnice u nivou jer smanjuje broj konfliktnih tačaka i poboljšava preglednost. Međutim, da bi ovaj tip raskrsnica primenili na bilo kom drugom putu, ogromni troškovi gradnje ne bi doprineli povoljnom *cost/benefit* odnosu (CBR), zbog dosta niže baze PGDS-a u odnosu na autoput (na većini autoputeva se PGDS kreće od oko 20.000 voz/dan). Zbog toga autoputevi, ili neka rešenja koja se mogu pronaći u ovom tipu infrastrukture nisu razmatrani u ovom radu, gde je pažnja posvećena pre svega merama na vangradskim dvotračnim putevima.

### **3.1 Bezbednost vangradskih puteva**

Rizik nastanka saobraćajne nezgode i rizik stradanja odnosno povreda se znatno razlikuju na vangradskim u odnosu na saobraćajnicama u urbanim područjima. Dok je broj saobraćajnih nezgoda generalno veći na ulicama gradova i naselja (zbog većeg broja raskrsnica, protoka vozila itd.), posledice saobraćajnih nezgoda su veće na vangradskim putevima. Veliki broj a pre svega posledice saobraćajnih nezgoda na putevima van urbanizovanih centara se mogu pripisati visokim brzinama kao i velikom odstupanju odnosno nehomogenizovanim brzinama, strukturi toka, različitosti putnih i uslova okoline, manjem zastupljenosti policije itd.

Izveštaji o saobraćajnim nezgodama brojnih zemalja su pokazali slične rezultate. Istraživanja sprovedena u Evropskoj Uniji su pokazala da se veliki procenat nezgoda sa smrtno stradalim licima (oko 40%) dogodio na vangradskim putevima van urbanizovanih područja, od čega se većina dogodila na putevima sa jednom kolovoznom trakom (najčešće na dvotračnim putevima) na kojima je važeće ograničenje brzine od 80 km/h ili više. U Engleskoj je, na primer, uočeno da se od svih smrtnih ishoda na putevima van urbanizovanih područja, 9% dogodilo na autoputevima, 19% na putevima sa dve kolovozne trake (višetračni putevi), 38% na dvotračnim putevima prvog i drugog ranga i 34% na ostalim dvotračnim putevima. U Danskoj se, od ukupnog broja svih saobraćajnih nezgoda sa stradalim (povređenim i poginulim) licima, 44% dogodi na vangradskoj mreži, dok je

ovaj odnos još nepovoljniji u slučaju smrtno stradalih lica, i iznosi 64%. Putna mreže Danske se uglavnom sastoji od dvotračnih puteva sa ograničenjem brzine od 80 km/h, tako da je ova kategorija puteva najpogođenija saobraćajnim nezgodama. Podaci iz Australije takođe pokazuju slična učešća, pa je tako Henderson (1995. god.) sproveo istraživanje problema bezbednosti saobraćaja na vangradskim putevima, koje je pokazalo da se skoro polovina svih nezgoda sa stradalima dogodila na vangradskim putevima van urbanizovanih područja, dok se dodatnih 14% dogodila na mestima prolaska ovih puteva u blizini i kroz manja naselja. Kao i u slučaju zemalja EU i Australije, istraživanja na vangradskim putevima SAD, uključujući pre svega puteve sa nižim vrednostima PGDS-a (uglavnom dvotračne puteve), su pokazala slične rezultate: na vangradskim putevima se dogodi skoro 40% više saobraćajnih nezgoda sa smrtnim ishodom u odnosu na urbana područja, uprkos manjem transportnom radu. Takođe, nezgode na vangradskim putevima sa više smrtno stradalih lica se tri puta češće događaju u odnosu na puteve u urbanim sredinama (Tessmer 1996. god.)

Literatura je identifikovala nekoliko vrsta saobraćajnih nezgoda na vangradskim putevima. Naročito opasna mesta predstavljaju raskrsnice jer se na dvotračnim vangradskim putevima, u najvećem broju slučajeva, ukrštanje saobraćajnih tokova obavlja u nivou (četvorokrake i trokrake raskrsnice). Pojedina istraživanja (Transportation Reserch Board – Leonard, Blise & Recker 1994.) prikazuju da se skoro jedna trećina svih nezgoda na vangradskim putevima događaju na raskrsnicama. Najčešći tipovi nezgoda proizilaze iz levog skretanja pri kome dolazi do izloženosti vozila konfliktnom toku iz suprotnog smera. Ovo je jedan od najkompleksnijih manevara a naročito je opasan u slučajevima kada je pristupa loša preglednost ili veliki protok vozila. Zbog toga se najčešće događaju bočni i čeon sudari, kao i naletanje na vozila koje čeka da skrene od pozadi. [Oxley J. et al. 2004]

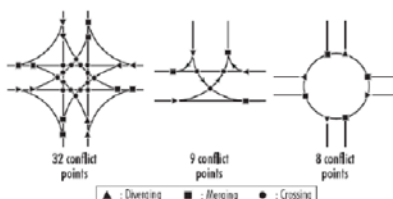
Primena infrastrukturnih mera fizički primorava vozače na poštovanje istih, te je njihov efekat jako visok. Takođe, ove mere imaju veliku trajnost (u zavisnosti od mere od nekoliko pa do 20 i više god) čime je obezbeđeno dugoročno rešenje unapređenja bezbednosti. U nastavku rada je dat prikaz efikasnih infrastrukturnih mera povećanja bezbednosti saobraćaja na raskrsnicama vangradskih puteva, koje imaju efekte koji višestruko prevazilaze troškove ulaganja.

#### 4. INFRASTRUKTURNE MERE POVEĆANJA BEZBEDNOSTI NA RASKRSNICAMA VANGRADSKIH PUTEVA

Fokus ovog rada je na infrastrukturnim merama na raskrsnicama vangradskih puteva, kao jednom od najrizičnijih elemenata infrastrukture. Postoji veliki broj mera unapređenja bezbednosti saobraćaja na raskrsnicama, kao što su gradnja kružnih raskrsnica, rekonstrukcija geometrijskih karakteristika raskrsnice (kanalisanje raskrsnice, dekompozicija itd.), regulisanje saobraćaja (horizontalna i vertikalna signalizacija), poboljšanje preglednosti itd.

##### 4.1 Kružne raskrsnice

Kružna raskrsnica predstavlja površinsku raskrsnicu u kojoj se vozila kreću kružno oko centralnog ostrva, u suprotnom smeru u odnosu na kretanje kazaljki na satu (u zemljama u kojima važi režim kretanja desnom stranom). Najčešće su ovakve raskrsnice regulisane na način da vozila koja žele da se uključe moraju da daju prioritet vozilima koja se već nalaze u raskrsnici (kružni tok) [Elvik and Vaa 2004]. Rekonstrukcijom trokrakih i četvorokrakih raskrsnica u kružne se može povećati kapacitet i bezbednost, što se postiže smanjenjem brzina (posledica geometrije raskrsnice), eliminisanjem manevara levog skretanja ali i smanjenjem broja konfliktnih tačaka koje se obično javljaju kod raskrsnicama čiji se kraci ukrštaju pod uglom (slika 1). Poboljšanju bezbednosti enormno doprinosi i to što vozači na prilazima traže prihvatljivi interval sleđenja posmatrajući isključivo saobraćaj koji dolazi iz jednog smera.



Slika 1. – Konfliktne tačke različitih tipova raskrsnica  
Izvor: (Yannis G., 2008)

## PREGLED EFIKASNIH INFRASTRUKTURNIH MERA ZA UNAPREĐENJE BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA NA RASKRSNICAMA VANGRADSKIH PUTEVA

### Uticaji na bezbednost:

Sprovedene su brojne studije o uticaju kružnih raskrsnica na bezbednost saobraćaja. Utvrđeno je smanjenje broja nezgoda sa povređenima od 10 do 40%, u zavisnosti od broja krakova raskrsnice i prethodnog načina regulisanja saobraćaja na istoj. Broj saobraćajnih nezgoda jačeg intenziteta pre svega sa teško povređenim i smrtno stradalim licima, su postigle još značajnije smanjenje, koje se kreće od 70 do 90%. Pojedine studije su utvrdile negativan efekat kružne raskrsnice na saobraćajne nezogde sa manjom materijalnom štetom, čiji se broj povećao (od 32 do čak 73%). [Elvik and Vaa 2004] Hughes (1994) je u svojoj studiji pokazao da kružne raskrsnice imaju najniži indeks nezgoda (*crash severity index*) od svih tipova raskrsnica od 0,13. Corben et al. (1990) su istraživali mere otklanjanja 116 crnih tačaka na raskrsnicama u Australiji, i došli su do zaključka da su nove kružne raskrsnice najefikasnija mera, sa smanjenjem broja nezgoda sa povređenima od 81%. Novija istraživanja Newstead-a i Corben-a iz 2001. su pokazala da je izvođenje novih kružnih raskrsnicama najefikasnija mera na raskrsnicama vandgradskih puteva, sa smanjenjem nezgoda sa nastradalima za 73% odnosno smanjenjem troškova nezgoda za 87%. [Oxley J. et al. 2004]

Postoje, međutim, određena ograničenja kod konstrukcije kružnih raskrsnica. Persaud et al. (2001) su uočili da se kružne raskrsnice ne mogu primeniti na malom prostoru, odnosno da je neophodan prečnik od bar 30m. Ono što je još značajnije je da su određene studije pokazale da postoji potencijal porasta saobraćajnih nezgoda za druge kategorije korisnika, kao što su motociklisti, biciklisti i pešaci. Međutim, ovo je zaključak samo manjeg broja studija, dok nekoliko njih pokazuju suprotne rezultate odnosno blago smanjenje nezgoda ovih grupa korisnika. [Oxley J. et al. 2004]

### Uticaji na efikasnost saobraćajnog toka:

Kružne raskrsnice imaju veći kapacitet od ostalih tipova površinskih raskrsnica. Razlog većem kapacitetu se može pronaći u činjenici da su manveri ukrštanja saobraćajnih tokova i levog skretanja otklonjeni. Takođe je uočeno da korisnici generalno prihvataju manje intervale sleđenja prilikom uključivanja u raskrsnicu nego kod ostalih geometrijskih tipova. Uprkos nižim brzinama, vreme putovanja u potrebno za savladavanje raskrsnice je niže nego kod ostalih tipova, u zavisnosti od veličine saobraćaja, vremenskih neravnomernosti itd. Pojedine studije iz Nemačke (Brilon and Stuwe 1991) su pokazale da se uštede kreću i do 15 s/voz u poređenju sa raskrsnicom regulisanom svetlosnim signalima. Studija iz Švedske (Varhelyi 1993) da vozila sa glavnog pravca imaju prosečne gubtike od 2,3s dok vozila sa sporednog puta imaju dobitke od 4,4s/voz. [Elvik and Vaa 2004]

### Uticaj na životnu sredinu:

Rezultati jedne danske studije (Bendtsen 1992.) su pokazali da su emisije ugljovodonika (HC), ugljen monoksida (CO) i azot monoksida (NOx) niže od 5 do 10% po vozilu kod kružne u odnosu na raskrsnicu regulisanu svetlosnim signalima. Studija iz Švedske (Varhelyi 1993) je pokazala uštede u emisiji ugljen monoksida od 29% i azotnih oksida od 21% nakon što je jedna svetlosno signalisana raskrsnica pretvorena u kružnu. Međutim, proces pretvaranja raskrsnica regulisanih horizontalnom i vertikalnom signalizacijom u kružne (što je mnogo češći slučaj na vanguardskim putevima) je pokazao negativne rezultate – povećanje ugljen monoksida od 6% i azotnih oksida od 4% (Varhelyi 1993). [Elvik and Vaa 2004]

### Troškovi implementacije:

Troškovi implementacije kružnih raskrsnica variraju od slučaja do slučaja, ali se cene uglavnom kreću od oko 450.000 do 1.300.000 evra. Prema rezultatima rekonstrukcije klasičnih raskrsnica u kružne, u Norveškoj su dobijene sledeće srednje vrednosti cena: rekonstrukcija trokrake raskrsnice iznosi oko 650.000 evra, dok četvorokrake iznosi oko 450.000 evra. [Yannis G., 2008]

### Odnos troškova i koristi:

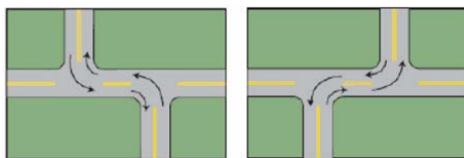
Elvik and Vaa (2004) su ispitivali rekonstrukciju trokrake i četvorokrake raskrsnice u Norveškoj. Za tokraku raskrsnicu (sa PGDS-om od 9.094 voz/dan) su rezultati pokazali da su benefiti iznosili 9.15 miliona NOK (Norveških kurna), za 25 godina u 5% diskontne stope, dok su troškovi iznosili oko 5,15 miliona NOK, čime se dobije B/C (Benefit/cost) odnos od 1,80:1. Za četvorokraku raskrsnicu (PGDS: 10.432 voz/dan) su koristi iznosile 9.20 miliona NOK dok su troškovi dostigli visinu od 4,16 miliona NOK, čime je dobijen B/C odnos od 2,20:1. [Elvik and Vaa 2004] Prilikom kreiranja izveštaja Konferencije ministara transporta CEDR 07, Irska je prijavila B/C odnos rekonstrukcije postojećih raskrsnica u kružne od 2.95:1. [Yannis G., 2008] Corben et al. (1990) su došli do odnosa od 7,5:1, dok su u kasnijem istraživanju, Newstead and Corben došli do odnosa od 5,0:1. [Oxley J. et al. 2004]

## 4.2 Rekonstrukcija geometrijskih karakteristika raskrsnica

Pod merama rekonstrukcije geometrijskih elemenata raskrsnice se mogu svrstati razni načini geometrijskog uređenja raskrsnice, a neki od najčešćih, čiji će uticaj biti analiziran u ovom radu, su: dekompozicija, kanalisanje, izgradnja razdelnog pojasa, poboljšanje preglednosti itd. Neki od pomenutih mera zahtevaju veće a neke manje troškove, a glavni cilj je da se ispita njihova efikasnost odnosno utvrdi odnos troškova i koristi.

### 4.2.1 Dekompozicija

Dekompozicija predstavlja razlaganje nekog, po pravilu, složenog (najčešće kružne raskrsnice) saobraćajnog čvora na više jednostavnijih. Ovo se primenjuje kako bi se poboljšala efikasnost saobraćajnog toka (protok, vreme putovanja itd.) ali i bezbednost, naročito na vangradskim putevima. Po pitanju bezbednosti je posebno interesantno pretvaranje jedne četvorokrake raskrsnice u dve trokrake, čime se broj konfliktnih tačaka u jednom čvoru smanjuje sa 32 na 9, što u velikoj meri doprinosi rasterećenju vozača i smanjenju rizika od nastanka nezgoda. Dekompozicija četvorokrake raskrsnice se može izvesti na dva načina: kreiranjem dve trokrake raskrsnice gde će se gornji krak prvo nalaziti sa leve (deljenje "levo-desno") ili gde će se gornji krak prvo nalaziti sa desne strane (deljenje "desno-levo"), što je prikazano na slici 2.



**Slika 2.** – Dekompozicija četvorokrake raskrsnice; levo: "levo-desno", desno: "desno-levo"  
Izvor: (Yannis G., 2008)

#### Uticaji na bezbednost:

Rezultati nekoliko studija su utvrdili značajnu korelaciju između saobraćajnog opterećenja sporednih puteva i efekata dekompozicije na bezbednost saobraćaja. Ako je protok sporednih pravaca mali, nisu uočeni pozitivni efekti u pogledu smanjenja saobraćajnih nezgoda, dok veće opterećenje (od oko 30% protoka na glavnom pravcu) može smanjiti broj saobraćajnih nezgoda sa povređenim licima i do 33%. Efekat na smanjenje nezgoda sa materijalnom štetom je manji, i kreće se do 10%. Samo jedna studija (Briide and Larsson 1987) je uporedila uticaje dva načina dekompozicije na bezbednost saobraćaja, i došli su do zaključka da je deljenje levo-desno povoljnije (smanjenje nezgoda za 4% prema povećanju od 7%). [Elvik and Vaa 2004]

#### Uticaji na efikasnost saobraćajnog toka:

Mahalel, Craus i Polus (1986) su ispitivali pokazatelje saobraćajnog toka na raskrsnicama na kojima je primenjena dekompozicija (četvorokrake u dve T raskrsnice), a upoređivali su dva moguća načina izvođenja. Ustanovili su da je prosečno vreme čekanja po vozilu manje i do 15s kada je primenjena podela desno-levo u odnosu na levo-desno, sa prosečnim satnim protokom od 1000 vozila. Razlog tome su pronašli u činjenici da saobraćaj sa sporednog puta mora da ustupi prvenstvo prolaza samo jednom toku prilikom skretanja desno na glavni put. Takođe je uočeno da konfiguracija desno-levo izaziva veće poremećaje u glavnom toku jer vozači sa sporednog puta prihvataju manje intervale sleđenja prilikom skretanja desno. [Elvik and Vaa 2004] Studija Bared i Kaiser-a (2001) je utvrdila da se u slučajevima raskrsnica sa većim saobraćajnim opterećenjem (od 2300 voz/h), uštede u vremenskim gubicima vozila u konfiguraciji desno-levo u odnosu na levo-desno, povećavaju i do 20s. [Yannis G., 2008]

#### Troškovi implementacije:

Ne postoje studije koje su se eksplicitno bavile procenom troškova dekompozicije raskrsnica ali je za primnu ove mere neophodno konstruisati makar jednu novu raskrsnicu, sa cenama koje se u Norveškoj kreću od 130.000 do 1.300.000 evra. [Elvik and Vaa 2004]

#### Odnos troškova i koristi:

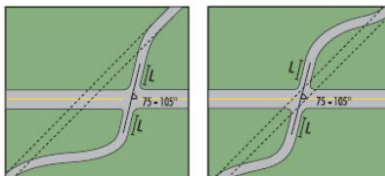
Ne postoji konkretna studija koje prikazuje odnos troškova i koristi dekompozicije, ali je mera ispitana na primeru. Rezultati su pokazali da će investicija biti opravdana ako su troškovi implementacije manji od 650.000 evra. [Elvik and Vaa 2004] Kako je ovo samo hipotetički primer, koji je uzeo visoke vrednosti protoka vozila na

## PREGLED EFIKASNIH INFRASTRUKTURNIH MERA ZA UNAPREĐENJE BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA NA RASKRŠNICAMA VANGRADSKIH PUTEVA

bočnim prilazima, može se zaključiti da ova mera ima jako nizak ili čak i negativan odnos troškova i koristi, čime se ne može svrstati u set mera koje su cilj ovog rada.

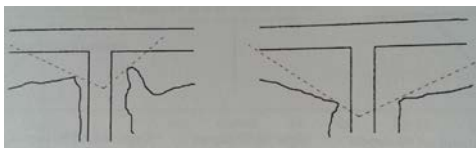
### 4.2.2 Promena ugla ukrštanja saobraćajnica i preglednosti

Jedan od veoma prisutnih problema starih raskršnica jeste nepravilan ugao ukrštanja saobraćajnica, kao i neadekvatna preglednost na raskršnicama. Upravo je uzrok vezan za probleme međusobnog uočavanja korisnika jedan od osnovnih uzroka nastanka nezgoda na raskršnicama vangradskih puteva, pa je rekonstrukcija nepravilnih uglova ukrštanja i elemenata okruženja koja remete preglednost veoma važna. Na slici 3 su prikazani neki načini rekonstrukcije ugla ukrštanja saobraćajnica, dok je na slici 4 prikazan trougao preglednosti pre i nakon moguće rekonstrukcije.



Slika 3. – Promena ugla ukrštanja krakova raskrsnice  
Izvor: (Yannis G., 2008)

Postoji nekoliko studija koje su se bavile ispitivanjem uticaja promene ulga ukrštanja saobraćajnica na bezbednost saobraćaja. Prema rezultatima ovih istraživanja, raskršnice kod kojih se saobraćajnice ukrštaju pod uglom manjim od 90 stepeni imaju najmanji broj saobraćajnih nezgoda. Dovođenjem ovog ugla na 90 stepeni se povećava broj saobraćajnih nezgoda za 80%, dok dalji porast ugla ponovo smanjuje broj nezgoda za 50%. [Elvik and Vaa 2004] Ovakav zaključak je prilično čudan, s obzirom da se ukrštanjem saobraćajnica pod pravim uglom postiže bolja preglednost (obezbeđuje se tzv. trougao preglednosti), a moguće ga je pripisati većom pažnjom vozača na raskršnicama nepravilne geometrije.



Slika 4. – Trougao preglednosti; levo: pre rekonstrukcije, desno: posle rekonstrukcije  
Izvor: (R. Elvik, T.Vaa; The Handbook of Road Safety Measures, 2004)

Trougao preglednosti koji nije ugrožen objektima i ostalim elementima pored puta pomaže vozačima da pravilno procene brzinu i udaljenost dolazećeg vozila i da lakše izaberu prihvatljiv interval sleđenja za ulazak u raskršnicu. Ograničena preglednost je poseban problem na saobraćajnicama koje su namenjene kretanju visokim brzinama, što je slučaj kod vangradskih puteva. Trenutne preporuke za dimenzionisanje trougla preglednosti na vangradskim putevima u SAD, Australiji itd. se kreću od 2 do 2,5s, dok se u pojedinim radovima može naći i preporuka od 5s. [Oxley J. et al. 2004] Rezultati nekoliko studija pokazuju da poboljšanje vidljivosti na raskršnicama doprinosi određenom smanjenju broja nezgoda, koje ipak nije statistički značajno, jer se smanjenje kreće do 15%. Jedan od razloga ovako malom smanjenju broja nezgoda je činjenica da korisnici prilagođavaju svoje ponašanje uslojima preglednosti. [Elvik and Vaa 2004]

Nema studija koje su se bavile ispitivanjem uticaja promene ugla ukrštanja niti poboljšanjem preglednosti na efikasnost saobraćajnog toka ili životnu sredinu. Međutim, može se zaključiti da poboljšanje preglednost olakšava vozačima vožnju u zonama raskršnica, odnsono ima pozitivne uticaje na efikasnost saobraćajnog toka.

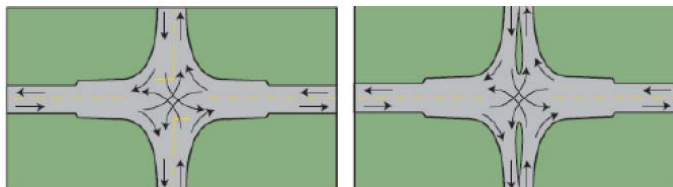
### Troškovi implementacije i odnos troškova i koristi:

Troškovi rekonstrukcije raskrsnice variraju u zavisnosti od terenskih uslova, obima radova itd. Prosečna cena rekonstrukcije raskrsnice u Norveškoj se kreće oko 750.000 evra (cene iz 1995. godine), dok unapređenje tzv. trougla preglednosti iznosi oko 6.800 evra (cene iz 1980.god.) po raskršnici. Procenjeno je da bi rekonstrukcija raskrsnice bila opravdana ukoliko su troškovi niži od 70.000 evra, što pokazuje da mere obimne rekonstrukcije

ne bi bile finansijski opravdane. [Elvik and Vaa 2004] Međutim, delimična rekonstrukcija, naročito unaprađenje preglednosti može biti mera koja će unaprediti bezbednost uz povoljnu cenu.

### 4.3 Kanalisanje raskrsnica

Kanalisanje raskrsnica je mera koja ima za cilj da razdvajajući saobraćajne tokove, smanji površinu na kojoj je moguće ostvariti konfliktne tačke tokova koji se seku, obezbedi ukrštanje saobraćajnica pod uglom koji omogućuje maksimalnu preglednost i da vozačima sugerise koji je put nižeg a koji višeg ranga. To je fizička mera koja razdvaja saobraćajne tokove izvođenjem fizičkih ili bojenih ostrva. Obuhvata gradnju ostrva (fizičkih ili bojenih) na sporednom i glavnom pravcu, izvođenje posebnih traka za levo i desno skretanje itd. Primer kanalisanja četvorokrake raskrsnice je prikazan na slici 5.



Slika 5. – Kanalisanje raskrsnica  
Izvor: (Yannis G., 2008)

#### Uticaji na bezbednost:

Brojne studije su istraživale uticaj kanalisanja raskrsnica na bezbednost saobraćaja, a prve su objavljene još 60' godina prošlog veka. Mera kanalisanja raskrsnica ima većeg efekta u redukovanju saobraćajnih nezgoda kod četvorokrakih u odnosu na trokrake raskrsnice, bez obzira na tip kanalisanja (fizička ili bojena ostrva, otvaranje traka za skretanje itd.). Uočeno je takođe i da složenost izvođenja kanalisanja utiče na smanjenje broja nezgoda, pa se tako npr. broj nezgoda sa povređenima na četvorokrakoj raskrsnici smanjuje za 17% kod fizičkog kanalisanja sporednog puta, za 4% kod izgradnje trake za levo skretanje, za 13% kod obezbeđivanja posebne trake za desno skretanje i do 57% kod izvođenja potpunog kanalisanja (bojena ostrva na svim kracima). Kod trokrakih raskrsnica je uočeno smanjenje broja nezgoda sa povređenima od 22 do 27% u slučaju izvođenja posebne trake za levo skretanje, dok sa druge strane, izvođenje punog kanalisanja fizičkim komponentama povećava broj nezgoda za 16%. [Elvik and Vaa 2004] Pojedina istraživanja su dala doslednije i pozitivnije rezultate. Tako je studija autora Harwood et al. (2002), koja se bavila ispitivanjem uticaja kanalisanja na vangradskim putevima pokazala da otvaranje bojene trake za leva skretanja na regulisanoj trokrakoj raskrsnici smanjuje broj nezgoda i do 44%, dok se procenat smanjenja nezgoda smanjuje na četvorokrakoj raskrsnici na 28%. [Yannis G., 2008] Istraživanja u Australiji (Transport Accident Commission, 2001) su došla do rezultata da je kanalisanje raskrsnica dosta efikasna mera u smanjenju nezgoda jer je uočeno smanjenje nezgoda sa nastradalim od 36%, dok su se troškovi takvih nezgoda smanjili za 55%. [Oxley J. et al. 2004]

#### Uticaji na efikasnost saobraćajnog toka:

Kod puteva nižeg ranga, koji se ukrštaju sa putem višeg ranga, su vremenski gubici vozila uslovljeni protokom saobraćaja na glavnom pravcu, dok elementi kanalisanja nemaju uticaj. Izvođenje posebnih traka za levo skretanje poboljšava efikasnost toka jer smanjuje vremenske gubitke vozila koja bi čekala da se izvrši manevar levog skretanja kada posebna traka ne bi postojala. Uštede u vremenskim gubicima vozila na kanalisanoj raskrsnici zavise pre svega od protoka vozila i procenta vozila u skretanju, a što je veće opterećenje, veće su i uštede. [Elvik and Vaa 2004] Uticaji kanalisana raskrsnica na životnu sredinu nisu ispitani u dosadašnjim studijama.

#### Troškovi implementacije:

Na osnovu brojnih studija koje su sprovedene, dobijene su sledeće vrednosti troškova: izvođenje posebne trake za levo skretanje na trokrakoj raskrsnici: 65.000 evra; izvođenje posebne trake za levo skretanje na četvorokrakoj raskrsnici: 100.000 evra; izvođenje potpunog kanalisanja trokrake raskrsnice: 1.300.000 evra; izvođenje potpunog kanalisanja četvorokrake raskrsnice: 1.650.000 evra. Potrebno je napomenuti da se odstupanja u visini troškova od mesta do mesta kreću oko 50%. [Yannis G., 2008]

#### Odnos troškova i koristi:

## PREGLED EFIKASNIH INFRASTRUKTURNIH MERA ZA UNAPREĐENJE BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA NA RASKRSNICAMA VANGRADSKIH PUTEVA

Teško je predstaviti konkretan odnos troškova i koristi jer efekat kanaliziranja raskrsnica zavisi od mnogo faktora (tipa kanaliziranja, saobraćajnog opterećenja itd.). Na osnovu ispitanih primera su dobijeni B/C odnosi od 2,7:1, za delimično kanaliziranje četvorokrake raskrsnice, odnosno 1,1:1 za potpuno kanaliziranje istog tipa raskrsnica. [Elvik and Vaa 2004]

### 4.4 Regulisanje saobraćajnih tokova na raskrsnicama vangradskih puteva

Pod pojmom regulisanje saobraćajnih tokova na raskrsnicama se podrazumeva definisanje pravila ponašanja vozača na ovim elementima saobraćajne infrastrukture, postavljanjem horizontalne i vertikalne saobraćajne signalizacije. Posebnu ulogu u smanjenju broja saobraćajnih nezgoda ima saobraćajni znak "ukrštanje sa putem sa prvenstvom prolaza", i znak "obavezno zaustavljanje", poznatiji kao "znak STOP".

Na raskrsnicama na kojima ne postoje nikakvi elementi saobraćajne signalizacije važi pravilo desne strane. Ovakav način regulisanja prioriteta saobraćajnih tokova ne daje uvek dobre rezultate, pa je tako npr. utvrđeno da na putevima sa velikim saobraćajnim opterećenjem, preko 40% korisnika ne poštuje ovo pravilo, što pogoršava bezbednost i efikasnost saobraćajnog toka. Jedan od najčešćih uzroka saobraćajnih nezgoda na raskrsnicama je neuspeh vozača da, na vreme ili uopšte, uoče jedan drugog, što je rezultat geometrije raskrsnice, preglednosti, saobraćajnog opterećenja. Zabeleženo je i da sumnja odnosno nesigurnost u to ko ima prednost na ne regulisanoj raskrsnici može dovesti do nezgode. [Elvik and Vaa 2004]

#### Uticaji na bezbednost:

Nekoliko studija se bavilo ispitivanjem uticaja postavljanja znaka ukrštanja sa putem sa prvenstvom prolaza na neregulisanim raskrsnicama. Rezultati su pokazali da postavljanje ovih znakova nema statističkog uticaja na smanjenje saobraćajnih nezgoda, iako je utvrđen blagi pad u broju nezgoda od 3%. Jedan od razloga za blago smanjenje je moguće pronaći u tome da se brzina na glavnom pravcu povećava, ali je uočeno veće poštovanje od strane korisnika sporednog pravca u odnosu na pravilo desne strane.

Nasuprot znaku ukrštanja sa putem sa prvenstvom prolaza, još veći broj studija koje su ispitivale uticaj znaka obaveznog zaustavljanja su pokazale značajnije rezultate. Postavljanje STOP znaka smanjuje broj nezgoda sa povređenim licima za oko 20% na trokrakim i za oko 35% na četvorokrakim raskrsnicama. Promena u broju nezgoda sa materijalnom štetom se ne može proceniti jer se dobijaju statistički nepodobni rezultati. Takođe je uočeno da u slučaju zamene znaka STOP sa znakom ukrštanja sa putem sa prvenstvom prolaza, raste broj nezgoda sa povređenima do 40%, a broj nezgoda sa materijalnom štetom oko 15%. Broj nezgoda na raskrsnicama koje na svakom prilaznom kraku imaju znak obaveznog zaustavljanja (*four way stop*) se smanjuje oko 45%. [Elvik and Vaa 2004]

#### Uticaji na efikasnost saobraćajnog toka:

Nekoliko studija (Johannessen 1984,1985, Stigre 1991, 1993) su pokazale da znak ukrštanja sa putem sa prvenstvom prolaza doprinosi povećanju brzine na glavnom putu za 1 do 4 km/h, čime se povećava efikasnost saobraćajnog toka, dok je na sporednom putu zabeležen pada brzina u blizini raskrsnice za 2-3 km/h. Znak obaveznog zaustavljanja obično izaziva blagi porast vremenskih gubitaka vozila. Prema istraživanju koje je vršeno u Švedskoj (Henriksson 1992), medijana vremenskih gubitaka vozila na sporednom putu je iznosila 7s po vozilu, dok je na raskrsnicama na kojima su svi prilazi regulisani znakom obaveznog zaustavljanja (*four way stop*), gubici iznosili 11s. [Elvik and Vaa 2004]

#### Uticaji na životnu sredinu:

Već pomenuta studija iz Švedske (Henriksson 1992) je, između ostalog, ispitala uticaj na emisiju HC, CO, CCh i NOx. Rezultati su pokazali da postavljanje STOP znaka na svakom prilazu (*four way stop*) izaziva povećanje zagađivača za 10-20% u odnosu na raskrsnicu sa znakom STOP na sporednim prilazima. Ovo se može logično objasniti činjenicom da vozila pri zaustavljanju i kretanju iz mesta emituju više štetnih gasova u odnosu na režim vožnje konstantnom brzinom. [Elvik and Vaa 2004]

#### Troškovi implementacije:

Troškovi postavljanja saobraćajnih znakova su relativno niski, i kreću se od 250 do 700 evra po raskrsnici. Na ovu cenu je potrebno dodati određenu sumu neophodnu za izradu projekta postavljanja signalizacije, ali ukupno posmatrano, ova mera prilično jeftina.



### **Odnos troškova i koristi:**

Ekonomska isplativost mere postavljanja znaka ukrštanja sa putem sa prvenstvom prolaza je ispitana na interesantnom primeru. Uzeto je u razmatranje da neće biti promene u saobraćajnim nezgodama, već da se postižu uštede u vremenu putovanja na glavnom pravcu (1s po vozilu) dok se istovremeno uzrokuju gubici od 3s po vozilu na sporednom pravcu. Ukupne neto uštede u vremenu putovanja (NSV za 10 godina) iznose oko 8750 evra , čime se dobija odnos B/C od 5,83:1. Uprkos dobrom odnosu, potrebno je istaći da je ovaj iznos jako mali i zavisi od brojnih faktora (pre svega od saobraćajnog opterećenja), pa nije pouzdan. Što se tiče uvođenja znaka obaveznog zaustavljanja, pokazano je da on postiže značajnije smanjenje nezgoda, pa se očekuje i povoljan B/C odnos. Istraživanja su pokazala da je ova mera efikasna pre svega na vangradskim putevima sa nižim PGDS-om. Dobijeni rezultat od 6,8:1 pokazuje da je ova mera dosta efikasna u poređenju sa troškovima za sprovođenje iste. [Elvik and Vaa 2004]

### **4.5 Vibrirajuće trake**

Vibrirajuće (zvučne) trake (*rumble strips, audible lines* itd.) su elementi horizontalne signalizacije koji imaju za cilj da upozore vozača na moguću promenu uslova vožnje na putu. Sastoje se od elemenata horizontalne signalizacije koji su naizmenično izdignuti i spuštenu u odnosu na površinu kolovoza, sa drugačijom teksturom koja generiše zvuk i blage vibracije prilikom prelaska pneumatika preko njih. Na vangradskim putevima se najčešće postavljaju u blizini raskrsnica, opasnih horizontalnih krivina, blizu stanica za naplatu putarine, u zonama radova, tunelima sa dvosmernim saobraćajem, na ivičnim linijama itd. [Gomes S.]

### **Uticaji na bezbednost:**

Brojne studije su utvrdile da se događa veliki broj nezgoda sa teškim posledicama nastale tako što vozači koji nailaze na raskrsnicu ne primele znak za obavezno zasutavljanje ili ga kasno primele. Tako je studija rađena u Ajovi, SAD, (Iowa Department of Transportation, 1991) pokazala da se u periodu od 1986-1990 godine dogodilo 297 nezgoda u kojima je poginulo 352 ljudi, isključivo kao posledica nepoštovanja (neuočavanje znaka, kasno uočavanje, ignorisanje itd.) znaka obaveznog zaustavljanja. [Oxley J. et al. 2004] Sprovedeno je nekoliko studija koje su se bavile ispitivanjem uticaja vibrirajućih traka na broj nezgoda na raskrsnicama vangradskih puteva. Studija koja je sprovedena u SAD (Srinivasan, R., Baek, J., and Council, F.M, 2010) je obuhvatila ispitivanje raskrsnica na kojima su postavljene vibrirajuće trake, i to 134 raskrsnice u Ajovi (u periodu od 1992 do 2005) i 20 raskrsnica u Minesoti (u periodu 1999-2000.). Rezultati ove studije su pokazali da upotreba vibrirajućih traka smanjuje broj nezgoda sa nastradalima i teško povređenima od 14 do skoro 23%, što se može pripisati smanjenju brzine koje izazivaju ovakve trake. Međutim, utvrđeno je da je došlo do povećanja broja nezgoda sa materijalnom štetom za 37%, a razlog ovome nije utvrđen. [Srinivasan R. et al. 2010] Istraživanje koje je sproveo *U.S Department of Transportation – Federal Highway Administration*, je došlo do rezultata da vibrirajuće trake imaju potencijal da redukuju broj nezgoda (*crash modification factor*) do 15 do 28%. [Federal Highway Administration, 2014]

### **Uticaji na efikasnost saobraćajnog toka i životnu sredinu:**

Uticaji na efikasnost saobraćajnog toka nisu ispitivani u dosadašnjim studijama. Međutim, uticaji vibrirajućih traka na životnu sredinu su značajni. Tu se ne misli na povećanje emisije štetnih gasova, čijim se ispitivanjem istraživanja nisu bavila, već na povećanje nivoa buke koje stvaraju vibracije prilikom prelaska pneumatika. Zbog toga se ova mera primenjuje na lokacijama u kojima nema stambenih objekata u blizini, ili se izvodi na takav način da se nivo buke svede na minimum.

### **Troškovi implementacije i odnos troškova i koristi:**

Implementacija vibrirajućih traka, kao sastavnog dela horizontalne signalizacije na prilazima vangradskih raskrsnica je dosta jeftina mera. U zavisnosti od tipa raskrsnice (trokraka, četvorokraka), tipa vibrirajućih traka (puna dužina, delimična), vrste materijala itd, cene se kreću od oko 3.000\$ do 10.000\$ po raskrsnici. [Federal Highway Administration, 2014]

Na osnovu analize broja nezgoda pre i nakon postavljanja ovih traka, broja nezgoda koji se očekuje u budućnosti i važećih troškova nezgode u trenutku istraživanja (troškovi nezgode sa materijalnom štetom: 7.800 \$, sa lako povređenim: 49.549\$, sa teško povređenima: 353,359\$ i sa nastradalima: 662.817\$), istraživači su zaključili da se uštede u smanjenju nezgoda kreću od 6.683 do 8.168\$ po raskrsnici godišnje. [Srinivasan R. et

**PREGLED EFIKASNIH INFRASTRUKTURNIH MERA ZA UNAPREĐENJE BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA NA RASKRŠNICAMA VANGRADSKIH PUTEVA**

al. 2010] Potrebno je napomenuti da trajnost ovih elemenata horizontalne signalizacije iznosi oko 5 godina, pa se na osnovu poređenja cene uvođenja ove mere i procenjenih troškova uštede, dolazi do B/C odnosa u rasponu od 3,34:1 do preko 12:1. Ovo treba uzeti sa rezervom jer je reč o rezultatima jedne studije, ali kako se radi o jeftinoj a dosta efikasnoj meri, jasno je da bi B/C odnos bio izrazito povoljan i u drugim slučajevima.

**5. SUMIRANJE REZULTATA I ZAKLJUČCI**

Strategije i mere za povećanje bezbednosti saobraćaja se iz godine u godinu izučavaju i primenjuju sve više, što rezultuje smanjenjem broja poginulih i povređenih u saobraćajnim nezgodama iz godine u godinu. Zbog smanjenja budžetskih sredstava, cost/benefit analize mera poboljšanja bezbednosti saobraćaja postaju obavezne u brojnim zemljama, što u prvi plan postavlja mere koje sa relativno malim troškovima ulaganja postižu velike efekte. Kako se na vangradskim putevima, a naročito na raskršnicama, dogodi veliki broj saobraćajnih nezgoda sa teško povređenim i poginulim licima, cilj ovog rada je bio pregled i izdvajanje najefikasnijih infrastrukturnih mera za smanjenje broja i posledica nezgoda. Nakon detaljnijeg pregleda literature o uticajima nekoliko različitih infrastrukturnih mera unapređenja raskrsnica vangradskih puteva, analizom troškova i koristi je moguće izvršiti sumarno poređenje istih. Analizirane mere, troškovi implementacije i rezultati cost/benefit analize su prikazane u tabeli 1.

**Tabela 1. – Sumarni rezultati efikasnosti mera za unapređenje bezbednosti saobraćaja na raskršnicama vangradskih puteva**

R. broj mere	Vrsta mere	Promena broja saobraćajnih nezgoda	Ostali uticaji	Troškovi implementacije	Odnos troškova i koristi ( <i>Benefit/cost ratio</i> )
1	<b>Kružne raskrsnice</b>	od -70% do -90% sa nastradalima od -10% do -40% sa povređenima od +32% do +73 sa m. štetom	veći kapacitet raskrsnice	450.000 € - 1.300.000 €	<b>1,80:1 – 2,95:1</b> pojedina istraživanja do 5,0:1
2	<b>Dekompozicija</b>	do -33% sa povređenima do -10% sa materijalnom štetom	moгуće uštede u vremenskim gubicima od 15 do 20s/voz	130.000 € - 1.300.000 €	nije utvrđen odnos, mera može biti isplativa ako su troškovi manji od 650.000 € (primer)
3	<b>Promena ugla ukštanja saobraćajnica</b>	< 90° : najmanje s.n, 90° : +80% > 90° : -50%	nisu utvrđeni	rekonstrukcija raskrsnice: 750.000 €	mera može biti isplativa ako su troškovi manji od 70.000 evra (primer)
4	<b>Preglednost</b>	do - 15%	nisu utvrđeni	6.800 €	nije utvrđen odnos
5	<b>Kanalisanje</b>	od - 4% do -57% sa povređenima	izdvajanje trake za levo skretanje smanjuje v. gubitke	65.000 € - 1.650.000 €	<b>1,1:1</b> (potpuno kanalisanje 4-krake r.) – <b>2,7:1</b> (delimično kanalisanje 4-k.r.)
6	<b>Regulisanje s. tokova na raskršnicama</b>	od - 3% ("o. trougao") do - 35% ("STOP") do - 45% (4 way STOP)	povećanje brzine na glavnom i v. gubitaka na sporednom putu; povećanje emisije 10-20%	250 € - 700 €	<b>5,83:1</b> ("o. trougao"); <b>6,83:1</b> (STOP)
7	<b>Vibrirajuće trake</b>	od -14% do -28% sa nastradalim i teško povređenima + 37% sa materijalnom štetom	povećan nivo buke	3.000 \$ - 10.000\$	<b>od 3,34:1 do &gt;12:1</b>

Kao što se očekivalo, pregled brojnih studija i istraživanja u literaturi je pokazao da su najefikasnije jeftine mere, koje smanjuje određeni broj nezgoda na raskršnicama uz niske troškove implementacije. Tu se pre svega izdvajaju mere regulisanja saobraćajnih tokova odnosno postavljanje saobraćajne signalizacije na neregulisanim raskršnicama, koje ostvaruju smanjenje broja nezgoda od 3 do 35% uz odnos B/C koji se kreće od 5,8:1 do 6,8:1. Takođe se izdvaja mera postavljanja vibrirajućih traka, koje generisanjem vibracije i zvuka upozoravaju

vozače ne blizinu raskrsnice. Uz mala ulaganja (od 3.000\$ do 10.000\$ po raskrsnici) se mogu postići smanjenja nezgoda sa smrtno stradalim i povređenim licima od 14 do 28%, što uprkos povećanju broja nezgoda sa materijalnom štetom, doprinosi uštedama koje su od 3,41 do preko 12 puta veće od troškova. Za pojedine mere, kao što je poboljšanje preglednosti, nije proračunat tačan odnos troškova i koristi, ali se na osnovu analize troškova ulaganja i smanjenja broja nezgoda može zaključiti da bi bile efikasne.

Uočene su i mere, koje uz nešto veće troškove implementacije mogu značajno redukovati posledice saobraćajnih nezgoda. Ove mere postižu dobru efikasnost na putevima sa nešto većim vrednostima PGDS-a, na kojima značajne uštede u troškovima saobraćajnih nezgoda dopuštaju veće troškove izvođenja. Primeri takvih mera se mogu pronaći u kanalisanju (pre svega delimičnom) raskrsnica, a naročito u izgradnji kružnih raskrsnica. Troškovi izvođenja kružnih raskrsnica se najčešće kreću od 450.000 € do 650.000 € ali kada se uzme u obzir da se smanjuje broj nezgoda na nastradalima od 70 do 90%, jasno je da je infrastrukturna mera jedna od najefikasnijih za čuvanje ljudskih života. Uprkos porastu broja nezgoda sa materijalnom štetom (32% do 73%), smanjenje broja nezgoda sa povređenim (od 10% do 40%) i smrtno stradalim licima, doprinosi B/C odnosu koji se najčešće kreće od 1,80:1 do 2,95:1. Potrebno je napomenuti i da izgradnja kružnih raskrsnica ima svoja ograničenja: ne može se izvoditi na vangradskim putevima visoke kategorije, koji generišu veliki transportni rad koji se ne sme ugroziti padom brzina, zauzimaju dosta prostora itd. Kada se sve uzme u obzir, dobro mesto primene ove mere su rizične raskrsnice vangradskih puteva, na mestima gde ovi putevi ulaze u naselja i gde vozače treba upozoriti na promenu putnih i saobraćajnih uslova.

Kako bi dobili precizne pokazatelje efikasnosti ovih mera u našim uslovima, dalja istraživanja bi trebala da idu u pravcu analize stanja pre/posle na elementima saobraćajne infrastrukture na kojima su primenjene neke od prikazanih mera. Na taj način bi, uzevši u obzir PGDS, troškove saobraćajnih nezgoda u Srbiji, strukturu i promenu broja saobraćajnih nezgoda i načina i troškova izvođenja mere na terenu, mogli da dobijemo precizne rezultate cost/benefit analize koje bi važile u našoj zemlji. Na osnovu toga bi mogli da izvršimo selekciju raznih infrastrukturnih mera, i da povećamo broj izvedenih jeftinih a efikasnih mera, čime bi se trend unapređenja bezbednosti saobraćaja nastavio.

## LITERATURA

- [1] Cost-benefit analysis of road safety measures (2011), SWOV Institute for Road Safety Research, Holandija, dostupno na:  
[https://www.swov.nl/rapport/Factsheets/UK/FS\\_CBA.pdf](https://www.swov.nl/rapport/Factsheets/UK/FS_CBA.pdf)
- [2] European Commission for Transport, statistics – accident data, (on-line) dostupno na:  
[http://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/specialist/statistics/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/statistics/index_en.htm)
- [3] Elvik R., Vaa T. (2004), *The Handbook of Road Safety Measures*, Elsevier, 2004.
- [4] Low-Cost Safety Improvements for Rural Intersections, U.S Department of Transportation – Federal Highway Administration, Washington DC., 2014, (on-line) dostupno na:  
<http://www.txltap.org/media/Bfing/Low%20Cost%20Safety%20Improvements%2010.2014.pdf>
- [5] Oxley J. et al. (2004), Cost-Effective Infrastructure Measures on Rural Roads, Monash University Accident Research Centre, Report No. 217, (on-line) dostupno na:  
[http://www.monash.edu/\\_data/assets/pdf\\_file/0008/217097/muarc217.pdf](http://www.monash.edu/_data/assets/pdf_file/0008/217097/muarc217.pdf)
- [6] Road safety in the European Union (2015), European Commission for Transport, (on-line) dostupno na:  
[http://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/pdf/vademecum\\_2015.pdf](http://ec.europa.eu/transport/road_safety/pdf/vademecum_2015.pdf)
- [7] Srinivasan, R., Baek, J., and Council, F.M. (2010). Safety Evaluation of Transverse Rumble Strips on Approaches to Stop-Controlled Intersections in Rural Areas, 2010 Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC.
- [8] Viera S., Low-cost engineering measures for casualty reduction. Application on the national road network, (on-line) dostupno na:  
<http://www.ectri.org/YRS05/Papiers/Session-2bis/vieira.pdf>
- [9] World Health Organization (2015), Road Traffic Injuries, Fact Sheet No. 358, (on-line) dostupno na:  
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs358/en/>
- [10] Yannis G. et al., and National Technical University of Athens (2008), Best Practice for Cost-Effective Road Safety Infrastructure Investments, Conference of European Directors of Road – CEDR, (on-line) dostupno na:  
[http://www.cedr.fr/home/fileadmin/user\\_upload/en/Thematic\\_Domains/Strat\\_plan\\_1\\_2005-2009/3\\_TD\\_Operation/1\\_TG\\_Road\\_Safety/6\\_Dublin\\_06\\_07-03-08/Minutes/10a\\_FinalRep\\_0308.pdf](http://www.cedr.fr/home/fileadmin/user_upload/en/Thematic_Domains/Strat_plan_1_2005-2009/3_TD_Operation/1_TG_Road_Safety/6_Dublin_06_07-03-08/Minutes/10a_FinalRep_0308.pdf)

# ANALIZA EVROPSKIH ISKUSTAVA PRIMENE DVOTRAČNOG PROFILA PUTA "2+1" SA ASPEKTA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA

## ANALIZA EVROPSKIH ISKUSTAVA PRIMENE DVOTRAČNOG PROFILA PUTA "2+1" SA ASPEKTA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA

**Vladan Tubić**

Redovni profesor, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, [vladan@sf.bg.ac.rs](mailto:vladan@sf.bg.ac.rs)

**Krsto Lipovac**

Redovni profesor, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, [k.lipovac@sf.bg.ac.rs](mailto:k.lipovac@sf.bg.ac.rs)

**Nemanja Dobrota<sup>1</sup>**

Student doktorskih studija, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, [nemanjadobrota@yahoo.com](mailto:nemanjadobrota@yahoo.com)

**Rezime:** Dvotračni putevi za dvosmerni saobraćaj predstavljaju jedan od najznačajnijih funkcionalnih delova putne mreže. Ovi putevi su značajni zbog svog visokog procentualnog učešća u ukupnoj putnoj mreži kao i zbog veličine transportnog rada koji se na njima realizuje. Neke zemlje u Evropi su krajem osamdesetih i početkom devedesetih godina prošlog veka zbog racionalnosti u izgradnji i održavanju putne mreže, posebnu pažnju usmerile na povećanje efikasnosti i bezbednosti na ovim putevima. Sa porastom protoka saobraćaja, a posebno pri velikim disperzijama brzina vozila u toku, rastu potrebe za preticanjem, a smanjuju se mogućnosti preticanja. Zato raste broj nezgoda pri preticanju sa najtežim posledicama. Međutim, veličina saobraćaja ne opravdava izgradnju autoputa. Za određeni opseg PGDSa, "2+1" profil puta može biti optimalno rešenje, jer povećava mogućnosti preticanja, kapacitet puteva i nivo usluge. Ovaj profil čine dve vozne trake za svaki od smerova vožnje i jedne trake za preticanje koja se naizmenično koristi. Cilj rada je da sagleda najbolju praksu u odabranim evropskim zemljama (Švedska, Nemačka, Engleska, Danska, Finska, Poljska, Irska) i da ukaže na mogućnosti unapređenja mreže dvotračnih puteva.

**Ključne reči:** Bezbednost saobraćaja, „2+1“, trake za preticanje, saobraćajni tok, PGDS

### 1. UVOD

Primarna putna mreža predstavlja okosnicu celokupne putne mreže jedne zemlje. Primarnu putnu mrežu u Republici Srbiji (državni putevi prvog reda), čine 4 560 kilometara od kojih 54 kilometra (1,2% primarne mreže) predstavljaju deonice koje prolaze kroz gradsku zonu grada Beograda (tzv. C - putevi) na kojima dominantno učestvuju gradski i prigradski tokovi. Primarnu A mrežu u dužini od 1 316 kilometara (28.85% od ukupne dužine primarne mreže) čine auto-putevi (453 kilometra) i dvotračni putevi za dvosmeran saobraćaj (853 kilometra). Primarnu B mrežu čine dvotračni putevi za dvosmeran saobraćaj u dužini od 3,190 kilometara (69.95% od ukupne dužine primarne mreže) (Maletin M., Tubić V., 2015). Analizirajući učešće dvotračnih puteva u primarnoj mreži dolazi se do zaključka da čak 88,66% primarne putne mreže Republike Srbije čine dvotračni putevi za dvosmeran saobraćaj. Broj nastradalih lica u saobraćajnim nezgodama na vangradskoj putnoj mreži figuriše sa 38% (247 lica od ukupno 650) od ukupnog broja nastradalih u Republici Srbiji u 2014. godini. (OECD/ITF, 2015) U sveobuhvatnoj studiji sprovedenoj u periodu od 2005. do 2007. godine (Ripcord - iSEREST, 2008) navodi se da čak polovina svih saobraćajnih nezgoda u Evropi dogodi upravo na dvotračnim putevima. Saobraćajne nezgode koje nastaju na ovim putevima u vezi su sa vožnjom pri velikim brzinama, nepažnjom vozača, opasnim manevrima preticanja, ograničenom preglednosti kao i okolinom puta. Najčešći tip nezogda koji se na ovim putevima događaju su čeon sudari usled loše procene vozača prilikom izvođenja manevra preticanja kao i sletanje sa puta.

OECD-ov izveštaj iz 1999. godine ukazuje na dominantno učešće čeonih sudara vozila kao i izletanja sa puta u ukupnom broju saobraćajnih nezgoda u mnogim zemljama. (OECD / RTR, 1999) Ova dva najčešća tipa nezgoda uzrokovala su 61% broja nastradalih u Francuskoj, 67% u Švajcarskoj, 54% u Mađarskoj, 51% u Danskoj i 64% na profilu polu-autoputa u Finskoj. U 2006. godini u Nemačkoj, 71% nastradalih u saobraćajnim nezgodama na ruralnim putevima posledica je ova dva tipa nezgoda. (Ripcord - iSEREST, 2008).

Kao jedna od efikasnih mera u sprečavanju nastanka saobraćajnih nezoga (čeon sudar) koje za posledicu najčešće imaju stradanje lica, neke od evropskih zemalja rešile su u manjoj ili većoj meri, uvođenjem profila tzv. "2+1". Ovaj profil puta predstavlja put sa tri saobraćajne trake od kojih se naizmenično smenjuju dve za posmatrani smer i jedna za suprotan smer. Na ovaj način eliminiše se neizvesnost vozača kada da pristupi u realizaciju manevra preticanja sagledavajući uslove u toku kao i geometrijska ograničenja jer se sukcesivno smenjuju deonice u kojima se dozvoljava (dve trake po smeru) odnosno zabranjuje (jedna traka po smeru) realizacija manevra preticanja.

U radu je dat prikaz evropske prakse u primeni ovog profila puta. U sklopu rada podrazumeva se analiza sledećeg, opseg vrednosti PGDS-a kada se primenjuje ovo rešenje, organizacija poprečnog profila sa

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: [nemanjadobrota@yahoo.com](mailto:nemanjadobrota@yahoo.com)

dimenzijama pripadajućih elemenata, koristi koje nastaju od primene rešenja sa aspekta bezbednosti kao i motiv implementacije ovog profila.

## 2. EVROPSKA ISKUSTVA U PRIMENI PROFILA DVOTRAČNOG PUTA "2+1"

U proteklih dvadeset godina na mreži evropskih puteva izgrađeno je nekoliko hiljada kilometara puteva u profilu "2+1". Ako se isključivo razmatra organizacija poprečnog profila puta, jasno je da se ovo rešenje već decenijama unazad primenjuje ali samo u specifičnim terenskim uslovima (trake za spora vozila na usponu/padu). Kada je reč o konceptu „2+1“ ne razmatraju se dodatne trake na usponima/padovima već otvaranje ovih traka na terenu manjeg uzdužnog nagiba od apsolutnog kritičnog. Dakle koncept dodatnih traka na usponima/padovima se za ovaj slučaj „prenosi“ na ravničarsko/brdski tip terena gde se uz sukcesivno otvaranje trake za preticanje, bržim vozilima u toku omogućava da realizuju manevar preticanja sporijih vozila. Sukcesivnim otvaranjem i zatvaranjem ovih traka omogućava se ravnopravan tretman i zadovoljenje zahteva za oba smeru vožnje. Na ovaj način u poprečnom profilu se uvek nalaze tri saobraćajne trake od kojih je središnja traka naizmenično rezervisana za svaki smer vožnje.

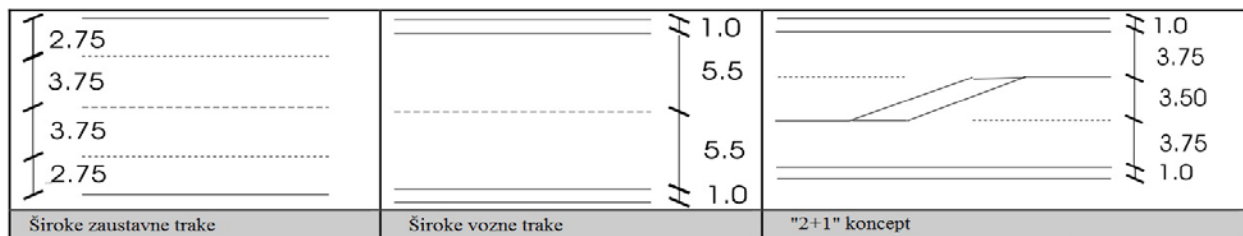
Uz pomoć saobraćajne signalizacije i opreme vrši se informisanje korisnika o tome kada je dozvoljeno realizovati manevar preticanja. Pod dozvoljenim preticanjem podrazumeva se odsek koji u posmatranom smeru ima dve saobraćajne trake, tada suprotni smer ima izričitu zabranu preticanja. Scenarijo u kome vozilo iz smera sa jednom saobraćajnom trakom vrši preticanje tako što koristi traku za preticanje dodeljenu suprotnom smeru može dovesti do nastanka saobraćajnih nezgoda sa najtežim posledicama. Iz prethodno izloženog jasno se dolazi do zaključka da je ključni zadatak na ovim putevima adekvatno informisati korisnike o nameni traka. Način informisanja korisnika ali i „odvajanje“ smerova vožnje izrodila su dve škole koje se bave ovom problematikom a to su Švedska i Nemačka škola. Kao dve najstarije škole koje su različito tretirale ovaj problem, uslovile su ostale zemlje da pribegnu jednom od ova dva koncepta. Ove dve škole se razlikuju u tome što se razdvajanje smerova vožnje realizuje ili uz pomoć zaštitne ograde koje su izvedene uz pomoć čeličnih užadi (engl. wire rope barrier ili cable rope barrier) ili putm horizontalne signalizacije. Prvo rešenje se primenjuje u Švedskoj dok drugo u Nemačkoj.

Profil puta „2+1“ prvi put je primenjivan devedesetih godina u nekim evropskim zemljama (Švedska, Nemačka, Finska, Danska). Neke zemlje poučene dobrom praksom pribegli su primeni ovih rešenja sa nekoliko godina zakašnjenja (Engleska, Irska, Poljska). Naravno i druge zemlje van evropskog kontinenta su razmatrale primenu ovih rešenja kao primere dobre prakse. U narednim poglavljima biće navedena iskustva pomenutih evropskih zemalja kao i uporedna analiza uslova primene, načina primene kao i ostvarenih benefita sa aspekta bezbednosti saobraćaja.

### 2.1 Švedska

Putnu mrežu jedne zemlje najčešće čine dvotračni putevi i auto putevi. Između ove dve funkcionalne kategorije puteva, postoji značajna razlika u kapacitetu, bezbednosti, troškovima izgradnje i održavanja, prostornog zahvata i uticaja na životnu sredinu. U Švedskoj ovaj jaz je premošćen takozvanim "13m" putevima. U poprečnom preseku ovi putevi imaju dve vozne trake širine 3,75 m i dve zaustavne trake širine 2,75 m, ukupno 13,0 m.

Alternativna varijanta "13m" profila predstavljena je 90tih godina prošlog veka sa ciljem povećanja bezbednosti saobraćaja. Tada su deonice puteva bile organizovane delom kao put sa dve vozne trake širine 5,5 m i dve zaustavne trake, širine 1,0m ili kao "2+1" profil sa promenom usmerenja trake na svakih 1,0 - 2,5 km. Razdvajanje smerova bilo je izvođeno putem horizontalne signalizacije upotrebom bojila i markera. Ovo je ilustrovano na slici 1.



**Slika 1.** -Organizacija poprečnog profila puta širine 13m  
 Izvor: (2+1-Roads with Cable Barriers – A Swedish Success Story, 2005)

## ANALIZA EVROPSKIH ISKUSTAVA PRIMENE DVOTRAČNOG PROFILA PUTA "2+1" SA ASPEKTA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA

Sa aspekta bezbednosti saobraćaja uočeno je da putevi u ovoj konfiguraciji ostvaruju 10% poboljšanja po pitanju broja povređenih u odnosu na klasične dvotračne puteve (širina poprečnog profila iznosi 9,0 metara) dok iznenađujuće ostvaruju pogoršanja kada se analizira broj poginulih na milion vozila kilometara, stoga dinamički rizik iznosi 0,013 nasuprot 0,009 za klasični profil dvotračnog puta (Bergh T., 2005). Široke saobraćajne trake se nisu pokazale kao efikasna mera za povećanje bezbednosti saobraćaja (Brude U. and Larsson J., 1996).

Švedska putna administracija<sup>2</sup> od 1998. godine otpočela je program koji je imao za cilj poboljšanje nivoa bezbednosti saobraćaja na "13m" putevima. Naziv programa je promenjen od 2002. godine u "putevi bez nezgoda" (engl. collision-free roads). (Carlsson A., 2009) U okviru ovog programa, glavna mera koja je promovisana je upotreba zaštitne ograde koje su izvedene uz pomoć čeličnih užadi sa ciljem fizičkog razdvajanja smerova na postojećim "2+1" putevima. Takođe, promovisana je i varijanta proširivanja "13m" puta u "uski četvorotračni put" (engl. narrow 4-lane road) ukupne širine profila 15,75 metara, sa istim načinom razdvajanja smerova, primarno radi poboljšanja brzina na putu, smanjenja rizika od nastanka SN i lakšeg održavanja (Bergh T., 2005).

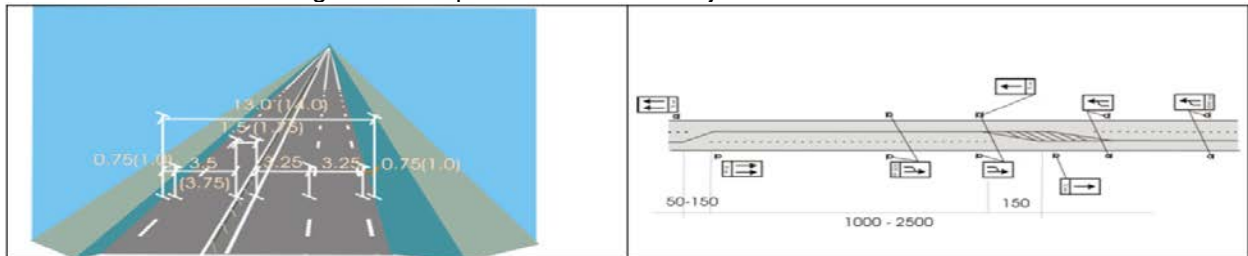
Nedostaci ovog koncepta odnosili su se na sledeće:

- odseci sa jednom trakom po smeru usled fizičkog razdvajanja smerova dvodili su do pitanja funkcionisanja ovog puta u slučaju kvara vozila u saobraćajnoj traci
- prolazak vozila urgentnih službi kao i vangabaritnih vozila
- zone zatvaranja trake za preticanje
- zimsko održavanje puteva
- nizak nivo usluge za ranjive učesnike u toku

Do prvog januara 2008. godine, u eksploataciju je pušteno 1800 km "puteva bez nezgoda" od kojih je 120 km izvedeno kao "2+2". (Carlsson A., 2009)

Preporuke koje se nalaze u švedskom uputstvu za projektovanje ovog profila puta su sledeće:

- dužina trake za preticanje se kreće od 1,0 do 2,5 km. Dužine zavise od trase puta, lokacija raskrsnica i td. Procenat odseka sa trakom za preticanje treba najmanje da bude 35 - 40% po smeru
- širina poprečnog profila treba da bude u funkciji projektnog zadatka ali se vrši odabir između 13 ili 14 metara. Na slici 2, date je prikaz poprečnog profila sa svojim pripadajućim elementima. U zagradama se nalaze dimenzije za profil širine 14m.
- prelazna zona zatvaranja trake za preticanje (iz 2 u 1) ima dužinu 150m, ukupno 300m za oba smera.
- permanentni otvori u slučaju nezgode treba da budu locirani na svaka 3 do 5 kilometara kako bi vozila hitnih službi bila u mogućnosti da promene smer kretanja



Slika 2. - Elementi poprečnog profila "2+1" i oblikovanje prelazne zone

Izvor: (2+1-Roads with Cable Barriers – A Swedish Success Story, 2005)

### 2.1.1. Bezbednost saobraćaja

Za 1200 km puteva u profilu 2+1, 30 km puteva u profilu 2+2 i 75 km puteva u profilu „uskih“ četvorotračnih, praćeno je stanje broja SN sa materijalnom štetom, sa povređenim i nastradalim. U okviru puteva u profilu 2+1 analizirani su i one deonice u okviru kojih je podela smerova izvedena horizontalnom signalizacijom. Zaključci su sledeći:

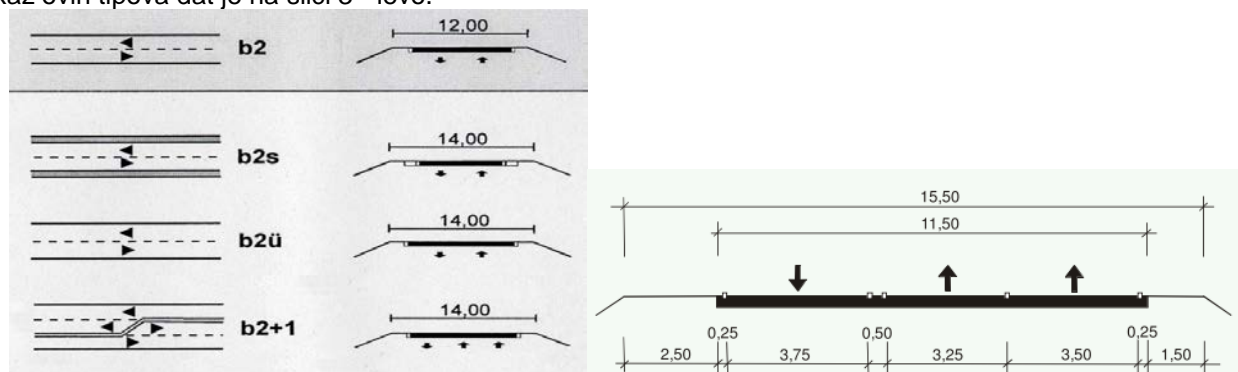
- Ukupan broj nastradalih u saobraćajnim nezgodama na "2+1" putevima iznosi 54, ako se iz razmatranja isključe nezgode na raskrsnicama onda je broj nastradalih lica u nezgodama na odsecima 43
- U slučaju da nije sprovedena rekonstrukcija "13m" puteva broj nastradalih bi iznosio 288, i redukcija broja nezgoda rezultirana ovim vrednostima iznosi 76%. U zoni likova broj nastradalih bi iznosio 208 što rezultira smanjenjem od 79%

<sup>2</sup> SNRA - Swedish national road administration

- Za "2+1" puteve sa razdelnim pojasom izvedenim putem horizontalne signalizacije (bojenim ostrvom) u poređenju sa "13m" putevima uočen je smanjenje broja nastradalih u opsegu od 30 do 40%. (Carlsson A., 2009)

## 2.2. Nemačka

Povećanje bezbednosti saobraćaja i nivoa usluge na dvotračnim putevima posebno na odsecima sa 2+1 trakom u poprečnom profilu u poslednjih 10 godina je sve popularnije u Nemačkoj. (Weber R., 2005). U Nemačkoj devedesetih godina prošlog veka u pravilniku za projektovanje puteva postojale su 4 tipa dvotračnih puteva. Prikaz ovih tipova dat je na slici 3 - levo.



**Slika 3.** - Tipovi dvotračnih puteva u Nemačkoj (levo) i organizacija poprečnog profila b2+1 (desno)

Izvor: (BAST, 1992, RAS-Q 1996)

Prvi tip u oznaci b2, predstavljao je dvotračni put najnižeg standarda, tip puta u oznaci b2s predstavljao je dvotračni put sa zaustavnim trakama širine 1,50 metara, tip puta u oznaci b2ü predstavljao je dvotračni put za voznim trakama širine 5,0 metara, dok tip puta b2+1 predstavljao je profil sa tri saobraćajne trake od kojih se središnja traka naizmenično koristila za preticanje za svaki od smerova. Rezultati analize u kojoj su se razmatrali troškovi saobraćajnih nezgoda na ova 4 tipa dvotračnih puteva ukazali su na značaj b2+1 profila koji se pokazao najbezbedniji. Stoga 1996. godine u novom priručniku za projektovanje puteva (RAS-Q, 1996), detaljnije je razmatran ovaj profil. Prikaz organizacije poprečnog profila dat u priručniku (RAS-Q, 1996) dat je na slici 3 - desno.

Ono što je specifično za ove puteve jeste odsustvo zaštitnih ograda koje fizički odvajaju smerove kretanja. Razdelni pojas širine 0,50 metara izvodi se uz pomoć bojila. U sklopu Nemačke putne mreže nalazi se 48 deonica b2+1 (tipa puta) ukupne dužine 356 kilometara (Aprila 2001. godine). Od ovih 48 deonica, 35 deonica su motoputevi dok preostalih 13 deonica predstavljaju puteve na kojima je saobraćaj dozvoljen i za ostale kategorije vozila u ukupnoj dužini od 87 kilometara.

### 2.2.1. Bezbednost saobraćaja

Kako bi se dobio odgovor na pitanje uticaja na bezbednost saobraćaja ili na efikasnost saobraćajnog toka primenom ovih rešenja, izvršena je analiza na sedam deonica ukupne dužine 58,8 km sa 25 raskrsnica (u nivou i denivelisanih). Prosečan dnevni saobraćaj varira od 10000 do 16500 voz/dan. Analiza uslova u saobraćajnom toku postignuta je analiziranjem neuslovljene vožnje pojedinačnog vozila (vožnja u slobodnom saobraćajnom toku). Analiza bezbednosti saobraćaja je bazirana na osnovu saobraćajnih nezgoda prijavljenih policiji na posmatranim deonicama u periodu od 1999. do 2001. godine.

Pristup analizi saobraćajnih nezgoda ogledao se u analzi nezgoda posebno na odsecima (između dve raskrsnice) a posebno na raskrsnicama. Takođe izvršena je tipizacija saobraćajnih nezgoda koje su direktno u vezi sa profilom "2+1" ali i drugi tipovi nezgoda, utvrđivana se okolnosti nastanka, takođe izvršena je i analiza troškova saobraćajnih nezgoda. Rezultati ovog istraživanja mogu se naći u radu (Weber R., 2005) dok neki od rezultata značajnih za ovaj rad biće navedeni.

Ukupno je detektovano 401 nezgoda od kojih je 118 nezgoda sa povređenim licima (29,4%), od toga 11 negoda sa nastradalim licima, 38 nezgoda sa teškim telesnim povredama i 69 nezgoda sa lakšim telesnim povredama. Saobraćajne nezgode koje se dovode direktno u vezu sa profilom "2+1" su nezgode koje nastaju prilikom nedozvoljenog koršćenja trake za preticanje, prilikom preticanja u smeru sa dve trake na celoj dužini trake za preticanje kao i neposredno pre ili na kritičnoj prelaznoj zoni.

## **ANALIZA EVROPSKIH ISKUSTAVA PRIMENE DVOTRAČNOG PROFILA PUTA "2+1" SA ASPEKTA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA**

Detektovano je 52 (13% od ukupnog broja) saobraćajne nezgode koje se dovode u vezu sa profilom "2+1". Od toga 14 nezgoda sa povređenim licima i oni predstavljaju 12% od ukupnog broja povređenih lica na analiziranim deonicama. Od detektovanih 52, čak 42 nezgode se dovode u vezu sa nedozvoljenim korišćenjem trake za preticanje od kojih je 12 saobraćajnih nezgoda sa povređenim licima. Na smeru sa jednom saobraćajnom trakom detektovane su 3 saobraćajne nezgode od koji su nastale povrede 2 lica.

U zaključku studije ukazano je na visok nivo bezbednosti na ovim putevima. Uticaj sporih vozila u saobraćajnom toku nije doveden u vezu sa pogoršanjem nivoa bezbednosti saobraćaja. Na kratkim trakama za preticanje nastaje veći broj saobraćajnih nezgoda. Nisu uočene specifične vremenske ili sezonske okolnosti kada na ovim putevima dolazi do povećanja broja nezgoda. Predloženo je da minimalna dužina trake za preticanje ne sme biti kraća od 1000 metara. Redukcija broja poginulih i povređenih na ovim putevima u odnosu na profil dvotračnog puta kreće se oko 36% a ako se analizira ukupan broj svih nezgoda onda je ovaj odnos 26%. (Derr B., 2003)

### **2.3. Danska**

Prva primena ovog profila puta zabeležena u Danskoj 1993. godine, na tri test deonice. Motiv za izvođenje ovog profila u Danskoj vezuje se za dobru praksu ostvarenu u nekim evropskim zemljama. U periodu od 1993. do 1995. godine vršena je analiza uticaja ovog profila na brzine i preticanje dok je 1999. godine analiziran uticaj na bezbednost saobraćaja.

Nakon odabira test deonica izvršeno je presvlačenje kolovoza i definisanje namena traka. Ukupna dužini sve tri test deonice iznosila je oko 25 kilometara. Dužine traka za preticanje varirale su za svaku od tri test deonice sa minimalnom dužinom od 350 m do maksimalne dužine trake za preticanje 1550 metara. Vrednosti PGDS-a koje su detektovane na ovim deonicama kreću se od 7000 do 15300 voz/dan, učešće teretnih vozila u saobraćajnom toku kretao se od 6 do 12%. (Herrstedt L., 2001)

Razdvajanje smerova vožnje vrši putem horizontalne signalizacije i to sa udvojenom neisprekidanom linijom. U smeru sa dve trake, širine traka iznose 3,25 m, dok u suprotnom smeru širina trake iznosi 3,5 m.

#### **2.3.1. Bezbednost saobraćaja**

Za analizirane tri test deonice sprovedene su dve provere bezbednosti saobraćaja. Prva 1996. godine i druga 1999. godine. Zaključak prve studije bio je taj da primenjeni profil može dovesti do poboljšanja bezbednosti saobraćaja ili u najgorem slučaju zadržati isti nivo bezbednosti na ovim putevima.

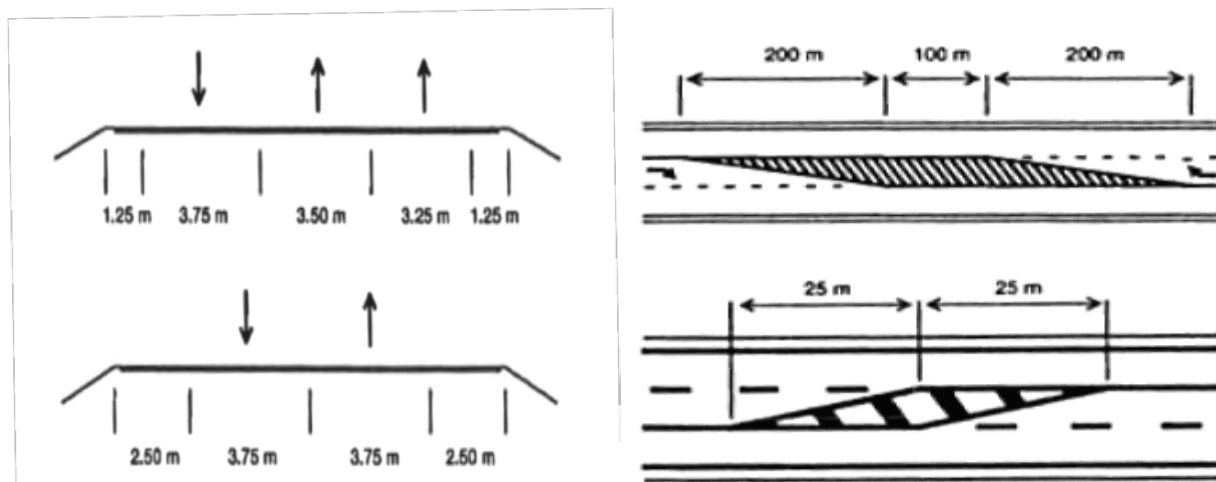
Usled ograničenosti zbog kvaliteta prikupljenih podataka, osnovni zaključak i u drugoj studiji jeste taj da je nivo bezbednosti ostao nepogoršan ali utvrđena je tendencija smanjenja broja nezgoda sa poginulim licima. Na osnovu studije pokazno je da se profil "2+1" može koristiti kao alternativa dvotračnim putevima ali registrovani efekti ne dovode do tolikog poboljšanja da bi ovo rešenje bilo preporuka isključivo radi poboljšanja bezbednosti saobraćaja.

### **2.4. Finska**

Primena profila "2+1" u Finskoj, vezuje se za potrebu iznalaženja onog rešenja koje će premostiti jaz između dvotračnih i auto puteva. Jedna od varijanti koja se koristi u Nemačkoj, Švedskoj i Danskoj sa dobrim rezultatima je put sa tri trake. Ova varijanta je značajna jer može da odloži građenje autoputa. Ovaj profil zahteva manje prostora i troškovi građenja u poređenju sa auto putem su značajno manji. Prva deonica puta u Finskoj u ovom profilu otvorena je 1991. godine u severnom delu zemlje ukupne dužine oko 20 kilometara. Dužine traka za preticanje variraju od 1,05 do 1,70 km. (Enberg Å., 1997)

Deonica je prvobitno bila izvedena u profilu komfornog dvotračnog puta širine kolovoza od 12,5 metara. Rekonstrukcijom deonice kolovoz je proširen na 13,0 metara i nova signalizacija je izvedena duž deonice. Razdvajanje smerova izvedeno je putem horizontalne signalizacije. Konverovanje dvotračnog puta u "2+1" prikazano je na slici 4 - levo dok dužine prelaznih zona prikazane su na slici 4 - desno.



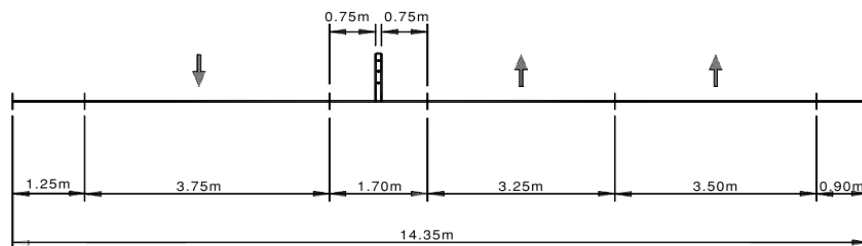


**Slika 4.** - Postupak konvertovanja dvotračnog u "2+1" profil puta (levo) i oblikovanje prelaznih zona na "2+1" (desno)

Izvor: (*Traffic flow characteristics on a three-lane rural highway in Finland: Results from empirical studies and simulations, 1997*)

U Finskoj je trenutno izgrađeno 48 km puteva u konfiguraciji 2+1. Postojeći 2+1 putevi su izvedeni rekonstrukcijom postojećih komfornih dvotračnih puteva dok je u planu izvođenje novih deonica u ovom profilu. Finska trenutno ima dve putne deonice koje su izgrađene u profilu 2+1. Prvu deonicu čini 9 traka za preticanje dok drugu 14. Vrednosti PGDS-a na ovim putevima se kreću do 14000 voz/dan dok su vrednosti PGDS-a vikendom od 20000 - 25000 voz/dan. (Derr B., 2003)

Razmatrani način projektovanja profila 2+1 sa zaštitnom ogradom. Obe deonice su izvedene tako da je vitoperenje kolovoza izvedeno samo uz ivice kolovoza što nije slučaj u nekim zemljama. Razdvajanje smerova je putem horizontalne signalizacije dok je tendencija stručne javnosti da se uvedu švedski model, s tim u vezi preporučena organizacija poprečnog profila prikazana je na slici 5.



**Slika 5.** - Preporučena organizacija poprečnog profila u Finskoj

Izvor: (*Application of European 2 + 1 roadway designs, 2003*)

Sve raskrsnice na ove dve deonice su izvedene kao rampe (denivelacije) i svi pristupni putevi se vode do bližih petlji. Na budućim - novoprojektovanim deonicama ograničen broj raskrsnica i pristupnih puteva će biti unapred definisan. Specifičan oblik novih raskrsnica nije razmatran.

#### 2.4.1. Bezbednost saobraćaja

Sa aspekta bezbednosti procenjeno je da "2+1" putevi imaju nižu stopu saobraćajnih nezgoda za 22-46 % u odnosu na konvencionalne dvotračne puteve. Putevi se izvede bez zaštitne ograde ali postoji tendencija da se na ovim putevima implementiraju zaštitne ograde kako bi se fizički razdvojili smerovi što očekivano dovodi do poboljšanja nivoa bezbednosti saobraćaja. (Derr B., 2003)

Na postojeće dve deonice koje su izvedene u profilu "2+1" nivo bezbednosti nije ujednačen. Na jednoj lokalni stručnjaci navode da je nivo bezbednosti zadovoljavajući dok na drugoj deonici uočen je veći broj nezgoda u toku zimskih meseci.

## ANALIZA EVROPSKIH ISKUSTAVA PRIMENE DVOTRAČNOG PROFILA PUTA "2+1" SA ASPEKTA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA

Tabela 1. - **Stope saobraćajnih nezgoda za period od 1996. do 2000. godine**

*Izvor: (Application of European 2 + 1 roadway designs, 2003)*

Tip puta	Dužina (km)	Stope nezgoda sa povređenim licima (nezgoda/10 <sup>8</sup> voz*km)	Stope nezgoda sa nastradalim licma (nezgoda/10 <sup>8</sup> voz*km)
Autoput	356	4,3	0,3
Polu-autoput	152	6,2	1,5
Dvotračni put	10,339	8,7	1,3
Dvotračni put sa širokim saobraćajnim trakama (polu-autoput)			
• Deonica A	6	5,9	5,9
• Deonica B	16	4,3	0,8
• Deonica C	13	5,3	3,5
"2+1" put			
• Deonica D	26	5,5	0,8
• Deonica E	22	8,9	3,1
Dvotračni put sa izvedenim trakama za preticanje	277	8,8	1,1

Stope SN za period od 1996. do 2000. godine za različite tipove puteva prikazane su u tabeli. Nisu prikazane nezgode za 2+1 sa razdelnim zaštitnim ogradama jer nisu implementirane u tom periodu. Jedna deonica u profilu 2+1 je pokazala značajno manju stopu nezgoda u odnosu na ostale profile ali na drugoj deonici (E) su uočene značajno veće vrednosti. Velike stope SN na drugoj deonici pripisuju se zimskim mesecima. Konvertovanjem dvotračnog profila puta u profil 2+1 unapređeni su uslovi u saobraćajnom toku ali značajno unapređenje nivoa bezbednosti nije uočeno. Finski stručnjaci veruju da će uvođenje zaštitnih ograda redukovati broj čeonih sudara za 80 procenata.

Na osnovu analize uslova u toku i ponašanja vozača uočeno je da dve postojeće deonice u Finskoj imaju povećanu operativnu efikasnost i popularni su kod motociklista. Rezultati ankete upućuju na to da 80% motociklista više preferira profil 2+1 u poređenju sa konvencionalnim dvotračnim putevima. Policija je takođe zadovoljna ovim profilom a vozači su prihvatili ovaj profil relativno brzo.

### 2.5 Ujedinjeno Kraljevstvo

Agencija za puteve (engl. The Highway agency) je 1995. godine započela istraživački projekat kako bi se utvrdile mogućnosti za povećanu upotrebu dvotračnih puteva na primarnoj putnoj mreži Engleske. U sklopu ovog projekta na bazi Nemačkih i Francuskih iskustava upotrebe profila "2+1" razmatrane su mogućnosti implementacije ovog profila. (Sandle I., 2005)

Prve dve test deonice izvedene su u periodu 2002. - 2003. godine. Ukupna dužina ovih deonica iznosila je 12,5 kilometara. Rekonstrukcijom komfornog dvotračnog puta deonice su konvertovane u "2+1" profil. Širine traka na prvoj i drugoj deonici bile su identične, po 3,4 m vozne i 3,2 m trake.

Vozne traka širine 3,4 m, trake za preticanje širine 3,2 m bile su identične na obe deonice, međutim na prvoj deonici je koršičen razdelni pojas širine 1,0 metra za razdvajanje smerova dok na drugoj deonici ovo nije bio slučaj, razdvajanje je izvedeno putem udvojene neisprekidane linije.

Vrednosti PDS-a za prvu deonicu iznosi 8500 voz/dan dok je na drugoj deonici u letnjim mesecima detektovano čak 28500 voz/dan, učešće teretnih vozila u toku od 7 do 13%.

Prema priručniku za projektovanje "2+1" puteva u Ujedinjenom Kraljevstvu, koji je proistekao iz istraživanja na ove dve deonice, preporučuje se upotreba ovog profila za vrednosti PGDS-a do 25000 voz/dan. Preporučene minimalne dužine traka za preticanje se kreću od 800 do 1500 metara, širine saobraćajnih traka moraju da iznose 3,5 metara dok razdelni pojas mora da ispunjava širinu minimalnih 1,0 metara. (THA, 2008)

#### 2.5.1. Bezbednost saobraćaja

Prilikom ispitivanja bezbednosti saobraćaja na ovim deonicama pored analize broja saobraćajnih nezgoda sprovedena je analiza konflikata koji su direktno vezani za ovaj tip puta. Na taj način analizirane su konfliktne situacije koje se isključivo mogu dovesti u vezu sa primenjenim rešenjem. Pokazano je da primena ovog rešenja dovodi do manjeg broja konflikata u poređenju sa komfornim dvotračnim putem i takođe da je verovatnoća nastanka nezgoda manja, s druge strane potrebno je napomenuti da se u smeru sa jednom saobraćajnom trakom kada uslovi u toku to dozvoljavaju, vozači mogu opredeliti za nedozvoljeni manevar preticanja jer

udvojena neisprekidana linija nema dovoljno jak efekat zabrane na vozače, međutim ova situacija nije detektovana. Takođe spora vozila u smeru sa jednom trakom mogu uzrokovati nastanak nezakonitog preticanja. Što se tiče broja saobraćajnih nezgoda sa povređenim licima na prvoj deonici, u trogodišnjem periodu eksploatacije detektovane su 2 saobraćajne nezgode i nijedna se ne može dovesti u vezu sa profilom "2+1". Na drugoj deonici u jednogodišnjem periodu eksploatacije detektovano je 5 saobraćajnih nezgoda sa povređenim licima, a taj broj je približno isti kao i u prethodnim godinama. Podaci o saobraćajnim nezgodama za trogodišnji period eksploatacije je neophodan kako bi mogli da se izvuku zaključci. (Sandle I., 2005)

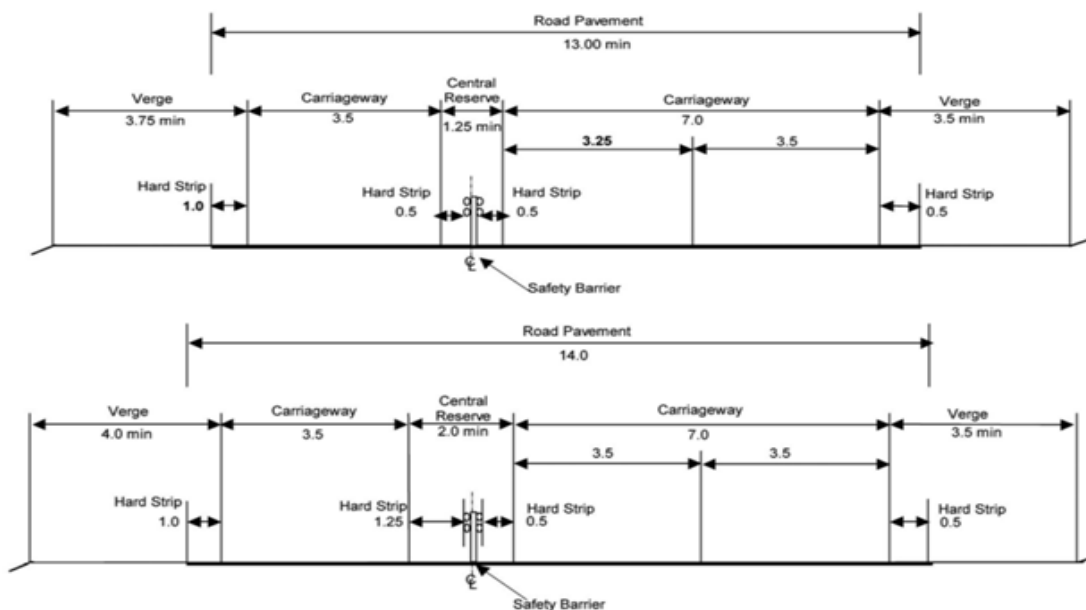
## 2.6. Irska

Prva primena profila puta "2+1" u Irskoj vezuje se za 2002. godinu, kada je u okviru pilot programa predstavljen kao mera za povećanje bezbednosti saobraćaja na vangradskoj mreži dvotračnih puteva. Ovaj program je ažuriran i 2004. godine u okviru ažuriranog pilot programa definišu se deonice, dinamika izvođenja radova kao i procenjeni benefiti od izvođenja ovog rešenja.

U Irskoj čeonim sudarima predstavljaju 20% nezgoda na dvotračnim putevima i 37% nezgoda sa poginulim. Nezgode sa pojedinačnim vozilom (engl. single vehicle accidents) čine 24% nezgoda na dvotračnim putevima i 30% nezgoda sa poginulim. Pilot program 2004. godine izveden je kako bi se vrednovale performanse 2+1 puteva. Svrha ovog pilot programa bila je da se ispitaju benefiti po pitanju bezbednosti ovog profila puta kao i efikasnost ovih puteva, sa ciljem zamene postojećih široko rasprostranjenih komfornih dvotračnih puteva, kao bezbednijom alternativom. U okviru pilot programa sprovedeno je izvođenje 34 km deonice u profilu "2+1". (NRA, 2004)

Veliki deo mreže dvotračnih puteva predstavljao je komforne dvotračne puteve čije prevođenje u "2+1" nije iziskivalo značajnije zahtevate u putnom pojasu. Kako je Irska od perioda 1996. godine postavila jasne ciljeve u obalsti bezbednosti saobraćaja, izvođenje ovih deonica puta i razdvajanje smerova podrazumevano je korišćenjem zaštitnih ograda po uzoru na švedski model.

Nakon izvođenja ovog profila, 2006. godine usledio je priručnik za projektovanje "2+1" puteva. U priručniku je dat prikaz dve moguće varijante izvođenja ovih puteva sa širinama kolovoza od 13 ili 14 metara. Na slici 6, dat je prikaz organizacije poprečnog profila za varijantu sa 13 i 14 metara. (NRA, 2006)



Slika 6. - Organizacija poprečnog profila

Izvor: (NRA, 2006)

Predložene preporučene vrednosti PGDS-a za koje se "2+1" može primenjivati kreću se od 11600 do 14000 voz/dan. Preporučene dužine traka za preticanje se kreću od 1000 do 2000 metara. (NRA, 2007)

### 2.6.1. Bezbednost saobraćaja

Godinu dana nakon otvaranja ove deonice nije zabeležen nijedan čeon sudar i smanjen je broj nezgoda prilikom preticanja. Procenat nezgoda sa nastradalim i teško povređenim licima smanjen je za 50 do 60%, nezgode u

## ANALIZA EVROPSKIH ISKUSTAVA PRIMENE DVOTRAČNOG PROFILA PUTA "2+1" SA ASPEKTA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA

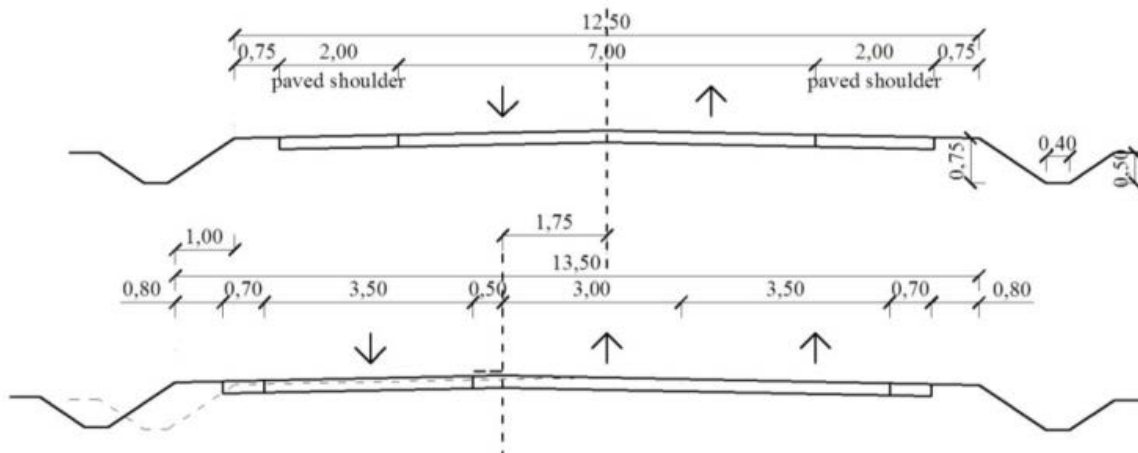
vezi sa preticanjem su smanjene za 40 do 70%, i broj nezgoda koje su u vezi sa sletanjem sa puta su smanjene od 12 do 67%.

Pitanje prihvatanja ovog rešenja od strane javnosti u Irskoj šest meseci nakon otvaranja jedne od deonica u profilu "2+1" ukazuju na to da 73% intervjuisanih vozača smatra da je "2+1" profil puta bolji u odnosu na konvencijalni dvotračni put. (Gazzini E., 2008)

### 2.7. Poljska

Rekonstrukcija mreže dvotračnih puteva u Poljskoj sprovedena je sa ciljem poboljšanja uslova u toku kao i povećanja bezbednosti saobraćaja na ovim putevima 2006. godine. Jedna od mera sprovedenih odnosila se na implementaciju "2+1" profila puta. Uzevši u obzir to da prethodne studije koje su sprovedene u različitim zemljama (Nemačka, SAD, Južna Koreja) nisu razmatrale uticaj specifičnosti načina projektovanja (geometrijski elementi, tipovi ukrštaja) pa je jasna procena uticaja na efikasnost izostala, sprovedena je studija kako bi se ispitao uticaj na bezbednost saobraćaja i uslove u saobraćajnom toku. (Cafiso S., 2015)

U analizi je korišćena deonica "2+1" u ukupnoj dužini od 12,9km. Organizacija poprečnog profila kao i prikaz konvertovanja poprečnog profila dvotračnog puta u "2+1" put dat je na slici 7. Treba naznačiti da se razdvajanje smerova izvodi putem horizontalne signalizacije i da je razdelni pojas širine 0,5 metara.



**Slika 7.** - Postupak konvertovanja komfornog dvotračnog puta u "2+1"

Izvor: (Investigating the influence on safety and traffic performance of 2+1 road sections in Poland, 2015)

Rekonstrukcija deonice obavljena je 2009. godine, vrednosti PGDS-a na ovoj deonici kreću se od 7500 do 18000 voz/dan, dužine traka za preticanje kreću se od 550 do 1000 metara.

#### 2.7.1. Bezbednost saobraćaja

Period analize obuhvata osam godina, od 2005 do 2013, isključujući 2009. godinu u kojoj je sprovedeno prevođenje profila komfornog dvotračnog u profil 2+1. U okviru analize razmatra se period pre i posle rekonstrukcije. Prilikom analize nivoa bezbednosti saobraćaja, analizirane su saobraćajne nezgode sa nastradalim, teško povređenim i lako povređenim licima, dok nezgode sa materijalnom štetom su isključene iz analize zbog neposredovanja dovoljno kvalitetnih podataka o ovom tipu nezgode.

Na osnovu sprovedene analize, utvrđena je značajan uticaj na povećanje bezbednosti saobraćaja na 2+1 pitevima po pitanju broja poginulih i povređenih. Prema radu, broj poginulih je redukovao za 47% i povređenih za 49%. (Cafiso S., 2015)

### 3. UPOREDNA ANALIZA EVROPSKIH ISKUSTAVA

Na osnovu prethodno prikazanih evropskih iskustava primene profila puta "2+1" sprovedena je uporedna analiza. Analizirani su uslovi i načini primene ovog profila puta, ostvarena poboljšanja sa aspekta bezbednosti saobraćaja kao i motiv implementacije ovog profila.

U tabeli 2 dat je uporedni prikaz evropskih iskustava primene "2+1" profila puta. U poslednjem redu tabele dat je okvirni prikaz opsega u kojima se javljaju pojedine numeričke vrednosti značajne za izvođenje ovog profila.

**Tabela 2.** - Uporedni prikaz evropskih iskustava primene "2+1" profila puta

Zemlja	PGDS (voz/dan)	Dužina trake za preticanje (m)	Širina trake za preticanje (a, b, c) <sup>3</sup>	Dužina kritične prelazne zone (m)	Tip razdelnog pojasa	Redukcija broja poginulih	Motiv implementacije
Švedska	4 000 - 20 000	1 000 - 2 000	3,5; 3,25; 3,25	300	Zaštitna ograda	76%	Bezbednost
Nemačka	5 000 - 25 000	min 1 000	3,75; 3,25; 3,5	180	Bojeno ostrvo	36%	Bezbednost + Efikasnost
Danska	7 000 - 15 300	350 - 1 550	3,5; 3,25; 3,25	300	-	Nema promena	Efikasnost
Finska	14 000 - 25 000 (vikedom)	1 050 - 1 700	3,75; 3,5; 3,25	500	-	22 - 46%	Efikasnost
UK	< 25 000	800 - 1 300	3,4; 3,2; 3,4 3,5; 3,5; 3,5	300	Bojeno ostrvo <sup>4</sup>	Nema promene	Efikasnost + Bezbednost
Irska	11 600 - 14 000	1 000 - 2 000	3,5; 3,25; 3,5	300	Zaštitna ograda	50 - 60%	Bezbednost
Poljska	7 500 - 18 000	550 - 1 000	3,5; 3,0; 3,5	-	Bojeno ostrvo	47%	Efikasnost + Bezbednost
opseg	<b>4 000 - 25 000</b>	<b>350 - 2 000</b>	<b>3,5-3,75; 3,0-3,5; 3,25-3,5</b>	<b>180-500</b>	<b>/</b>	<b>22% - 76%</b>	<b>/</b>

Iz tabele se mogu uočiti velika odstupanja vrednosti PGDS-a koje se javljaju na ovim putevima razlog ovome može leži u odabiru projektantskih elemenata deonica kao i funkcije puta na mreži. Takođe različiti tipovi raskrsnica se koriste na ovim putevima, od raskrsnica u nivou do denivelisanih petlji, sve ovo ima uticaj na kapacitet ovih deonica. Nemački standard za projektovanje vangradskih puteva iz 2012. godine (RAL, 2012) nudi dva različita tipa "2+1" puteva koji su u funkciji ograničenja brzina (110 km/h i 100 km/h).

Dužina trake za preticanja odnosno dužina odseka sa dve trake u posmatranom smeru (od kojih je jedna za preticanje) varira od 350 do 2000 metara, generalno na osnovu preporuka zemalja koje su primenom "2+1" uspele da ostvare povećanje nivoa bezbednosti saobraćaja (Švedska, Nemačka, Irska) na preporučuje se dužina manja od 1000 metara.

Širine traka za preticanje kao i dužine kritičnih prelaznih zona prvenstveno zavise od računске brzine koja se koristi za proračun projektantskih elemenata, stoga ova variranja vrednosti se mogu objasniti upravo različitim vrednostima računskih brzina.

Jedno od najznačajnijih pitanja prilikom implementacije profila "2+1" odnosi se na definisanje tipa razdelnog ostrva odnosno načina razdvajanja smerova kretanja. Pregledom literature dolazi se do zaključka da se ovo može izvesti na tri načina, primenom fizičkih barijera u vidu zaštitnih ograda koje su izvedene uz pomoć čeličnih užadi (engl. wire rope barrier ili cable rope barrier) zatim primenom bojila radi označavanja bojenog ostrva ili primenom horizontalne signalizacije - udvojenom neisprekidanom linijom. Svako od rešenja ima svoje prednosti i nedostatke, ali švedski model fizičkog razdvajanja smerova daje neosporivo najbolje rezultate sa aspekta bezbednosti. Uočen je povećan broj nezgoda sa materijalnom štetom jer usled greške vozača prilikom manevra preticanja vozilo završava kretanje u zaštitnoj ogradi ali broj nastradalih osoba na ovim putevima u odnosu na komforni dvotračni put je za oko 76% manji. (Carlsson A., 2009)

<sup>3</sup> a- Širina vozne trake u smeru sa jednom saobraćajnom trakom, b- širina trake za preticanje, c- širina vozne trake u smeru sa dve saobraćajne trake

<sup>4</sup> Predloženo u standardu, na test deonicama drugačiji pristup

## ANALIZA EVROPSKIH ISKUSTAVA PRIMENE DVOTRAČNOG PROFILA PUTA "2+1" SA ASPEKTA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA

U koloni redukcija broja saobraćajnih nezgoda, dat je prikaz procentualnog smanjenja broja saobraćajnih nezgoda sa nastradalim licima. Najbolji efekti su uočeni na švedskim putevima i to upravo zbog fizičkog razdvajanja smerova takođe Irska je ostvarila znatna poboljšanja stanja bezbednosti na ovim putevima sledeći švedski model. Dostupni podaci za Nemačku koji su navedeni u tabeli 2, odnose se na smanjenje broja saobraćajnih nezgoda sa poginulim i povređenim licima u odnosu na konvencijalni profil dvotračnog puta. Redukcija broja poginulih za Finsku predstavlja procenu lokalnih eksperata iako je prema radu (Derr, B., 2003) u planu prelazak na švedski model. Poljska je najmlađa zemlja koja je uvela ovaj profil puta na putnu mrežu, i na osnovu analize pre i posle pokazalo se da su ovim profilom puta ostvarili smanjenje broja nastradalih za 47%. Ujedinjeno Kraljevstvo i Danska predstavljaju zemlje u kojima poboljšanja nisu postignuta, veoma je značajno reći da je "2+1" profil puta primenjen uz najskromnije projektatske elemente, a kao ključni razlog može se navesti tretman razdelnog pojasa koji je izveden udvojenom neisprekidanim linijom. Motiv implementacije ovog rešenja izdvojen je u poslednjoj koloni tabele i ukazuje na mogućnost primene ovog rešenja kako u slučaju nezadovoljavajućih uslova u saobraćajnom toku na postojećim deonicama puteva tako u slučaju nezadovoljavajućeg nivoa bezbednosti na ovim putevima. Većina zemalja navodi oba motiva kao povod za implementaciju ovog rešenja.

### 4. ZAKLJUČAK

Vangradska putna mreža u kojoj najveće procenutalno učešće ostvaruju dvotračni putevi osamdesetih i devedesetih godina u nekim razvijenim zemljama kao što su Nemačka i Švedska, predstavljala je veliki problem kako sa aspekta bezbednosti saobraćaja tako i sa aspekta efikasnosti putne mreže. Porast vrednosti PGDS-a u navedenim evropskim zemljama kao i porast broja saobraćajnih nezgoda sa najtežim posledicama naterali su stručne krugove da sistematski pristupe ovom problemu. Prva rešenja koja su se pojavila krajem osamdesetih i početkom devedesetih godina odnosila su se na proširenje profila dvotračnog puta u tzv. komforni dvotračni put, koji je podrazumevao široke vozne trake (3,75m) i zaustavne trake (2,5m) ili asfaltirane bankine. Ovi putevi su se u prvom periodu eksploatacije pokazali dobro kako sa aspekta kapaciteta tako i sa aspekta bezbednosti saobraćaja, međutim broj saobraćajnih nezgoda koje su uzrokovane greškom vozača prilikom preduzimanja manevra preticanja (čeonni sudar) rastao je sve više. Ovo je primoralo stručnjake iz Nemačke i Švedske da razviju profil puta koji će u granicama širine kolovoza komfornog dvotračnog puta ostvariti bolje performanse kako sa aspekta bezbednosti tako i sa aspekta efikasnosti. Kao rešenje predložen je model puta u oznaci "2+1". Uz ne tako zahtevne intervencije u putnom pojasu na postojećim deonicama komfornih dvotračnih puteva, veliki broj evropskih zemalja pribegao je implementaciji ovog rešenja.

Ovaj profil puta predstavlja put sa tri saobraćajne trake od kojih se naizmenično smenjuju dve za posmatrani smer i jedna za suprotan smer. Na ovaj način eliminiše se neizvesnost vozača kada da pristupi u realizaciju manevra preticanja sagledavajući uslove u toku kao i geometrijska ograničenja jer se sukcesivno smenjuju deonice u kojima se dozvoljava (dve trake po smeru) odnosno zabranjuje (jedna traka po smeru) realizacija manevra preticanja. Pored brojnih projektantskih izazova prilikom implementacije ovog rešenja posebnu pažnju treba posvetiti načinu razdvajanja smerova kretanja. Ovo se u praksi izvodi ili zaštitnom ogradom - švedski model ili putem horizontalne signalizacije - nemački model, kada je reč o nemačkom modelu treba razlikovati pionirske pokušaje razdvajanja smerova zabeležene u Ujedinjenom Kraljevstvu kao i u Danskoj koji su se pokazali neefikasni sa aspekta bezbednosti saobraćaja. Može se konstatovati da tretman razdvajanja smerova kretanja u velikoj meri utiče na dostizanje željenog nivoa u oblasti bezbednosti saobraćaja.

Radom je načinjen pokušaj objedinjavanja savremenih evropskih iskustava i saznanja koja se odnose na primenu profila puta "2+1". Sa aspekta bezbednosti saobraćaja pokazano je da primena ovog rešenja može doprineti poboljšanju nivoa bezbednosti saobraćaja na dvotračnim putevima. Ostvareni rezultati u vidu smanjenja broja poginulih na "2+1" putevima u odnosu na dvotračne puteve grupišu analizirane zemlje u tri grupe:

1. Zemlje u kojima nisu uočena poboljšanja u nivou bezbednosti saobraćaja (Danska, Ujedinjeno Kraljevstvo)
2. Zemlje u kojima su uočena značajna poboljšanja u vidu smanjenja broja poginulih od 22% do 47% (Nemačka, Finska, Poljska)
3. Zemlje u kojima su uočena drastična poboljšanja u vidu smanjenja broja poginulih od 50% do 76% (Švedska i Irska)

Može se izvući generalni zaključak da zemlje koje izvode ovaj profil puta sa zaštitnom ogradom u cilju razdvajanja smerova ostvaruju najveće koristi sa aspekta bezbednosti saobraćaja, gde se broj nastradalih u poređenju sa komfornim dvotračnim putevima smanjuje od 50% do 76%. Takođe zemlje koje izvode ovaj profil

puta bez zaštitnih ograda sa ciljem kanalisanja tokova takođe ostvaruju značajna poboljšanja nivoa bezbednosti saobraćaja od 22% do 47%.

Kako bi se dobio odgovor koji koncept primeniti neophodno je izvršiti analizu troškova i koristi, gde se pod troškovima razmatraju troškovi izgradnje (rekonstrukcije), troškovi redovnog održavanja (znatni kod švedskog modela zbog čestih nezgoda sa zaštitnom ogradom u razdelnom pojasu), troškovi zimskog održavanja (uočen veći broj prolaza vozila službi za zimsko održavanje), gde se pod korisitma razmatraju koristi sa aspekta bezbednosti saobraćaja, smanjenje broja saobraćajnih nezgoda sa najtežim posedicama kao i koristi sa aspekta poboljšanja uslova u saobraćajnom toku. Takođe pitanje prihvatanja rešenja od strane korisnika ne sme biti zanemareno.

## LITERATURA:

- [1] Bergh, T., Carlsson, A. and Moberg, J., (2005), 2+ 1 Roads with Cable Barriers - A Swedish Success Story. In *3rd International Symposium on Highway Geometric Design*.
- [2] BRÜDE, U. and LARSSON, J. (1996), Wide lanes - safety effects (in Swedish). VTI Meddelande 807.
- [3] Cafiso, S., D'Agostino, C. and Kiec, M., 2015. Investigating the influence on safety and traffic performance of 2+ 1 road sections in Poland 2.
- [4] Carlsson, A. (2009), Evaluation of 2+1 roads with cable barrier. VTI rapport 636A
- [5] Derr, B., 2003. Application of European 2 + 1 roadway designs. *NCHRP Research Results Digest*.
- [6] Eenink, R. (2008), Road Infrastructure Safety Management, Results From The RiPCORD-iSEREST PROJECT. *Ripcord Iserest*.  
dostupno na:  
[http://ec.europa.eu/transport/roadsafety\\_library/publications/ripcord\\_infrastructure\\_safety\\_management\\_brochure.pdf](http://ec.europa.eu/transport/roadsafety_library/publications/ripcord_infrastructure_safety_management_brochure.pdf)
- [7] Enberg, Å. and Pursula, M., 1997. Traffic flow characteristics on a three-lane rural highway in Finland: Results from empirical studies and simulations. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1572), pp.33-42.
- [8] Gazzini, E., 2008, August. The implementation of a 2+ 1 road scheme in Ireland: a case for Australia. In *2nd Local road safety and traffic engineering conference, Queensland, Australia*.
- [9] Maletin, M., Tubić, V. and Vidas, M., (2015), FUNCTIONAL CLASSIFICATION OF RURAL ROADS IN SERBIA. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 5(2).
- [10] National Roads Authority, 2004, Pilot program for 2+1 roads, NRA, Ireland.  
dostupno na: <http://www.nra.ie/Publications/DownloadableDocumentation/GeneralPublications/file,3509,en.PDF>
- [11] National Roads Authority, 2006, Design Manual for Roads and Bridges Interim Advice Note, NRA, Ireland.  
dostupno na:  
[http://nrastandards.nra.ie/road-design-construction-standards/functional/download/175/chk3f2bf2af1c800c491e3444ec94d40939/no\\_html1](http://nrastandards.nra.ie/road-design-construction-standards/functional/download/175/chk3f2bf2af1c800c491e3444ec94d40939/no_html1)
- [12] National Roads Authority, 2007, Road Link Design for Type 2 and Type 3 Dual Carriageways, NRA, Ireland.  
dostupno na:  
[http://www.tii.ie/tii-library/Standards\\_Related\\_Materials/14-NRA-New-Divided-Road-Types-December-2007.pdf](http://www.tii.ie/tii-library/Standards_Related_Materials/14-NRA-New-Divided-Road-Types-December-2007.pdf)
- [10] OECD/ITF (2015), "Serbia", in Road Safety Annual Report 2015, OECD Publishing, Paris  
dostupno na:  
<http://www.oecd-ilibrary.org/docserver/download/7515011ec037.pdf?expires=1459450763&id=id&accname=guest&checksum=9700C88907323C6110ED5293249CAEFC>
- [11] OECD (1999), *Safety Strategies for Rural Roads*, Road and Intermodal Transport Research Series, OECD, Paris.
- [11] Sandle, I., Aspinall, B., Hasen, D. and Smart, J., 2005. Wide Single 2+ 1 Carriageways in the UK. In *3rd International Symposium on Highway Geometric Design*.
- [12] The Highways Agency, 2008, Design of Wide Single 2+1 roads, Part 4, TD 70/08, United Kingdom.  
dostupno na:  
<http://www.standardsforhighways.co.uk/dmrb/vol6/section1/td7008.pdf>

## АНАЛИЗА САОБРАЋАЈНИХ НЕЗГОДА КОЈЕ СУ СЕ ДОГОДИЛЕ У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ ПРЕМА КАРАКТЕРИСТИКАМА ПУТА И УТИЦАЈНОМ ФАКТОРУ АЛКОХОЛ

### Крсто Липовац

Редовни професор и шеф Катедре за безбедност саобраћаја и дрumsка возила, Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду, [k.lipovac@sf.bg.ac.rs](mailto:k.lipovac@sf.bg.ac.rs)

### Далибор Пешић

Доцент, Катедра за безбедност саобраћаја и дрumsка возила, Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду, [d.pesic@sf.bg.ac.rs](mailto:d.pesic@sf.bg.ac.rs)

### Јелена Ранковић<sup>1</sup>

Студент докторских студија, Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду, [j.rankovic@outlook.com](mailto:j.rankovic@outlook.com)

**Резиме:** Возачи који возе под утицајем алкохола имају много већи ризик учешћа у саобраћајним незгодама, него остали возачи (Elvik, 2009). Наиме, алкохол утиче негативно како на вид и рефлексе возача, тако и на погрешне процене саобраћајних ситуација. Повећање нивоа алкохола у крви је, такође, повезано са повећањем тежина последица у саобраћајним незгодама. Ово се нарочито односи на ризик од смртног страдања: возачи под дејством алкохола имају 17 пута већи ризик да учествују у саобраћајној незгоди са смртним последицама, него остали возачи (WHO, 2004). Имајући у виду негативан утицај алкохола на безбедност у саобраћају, односно, на допринос алакохола настанку саобраћајних незгода и тежини последица, спроведена је анализа саобраћајних незгода које су се догодиле на територији града Београда у 2014. години, са циљем да се испита у којој мери је алкохол био утицајни фактор за настанак анализираних саобраћајних незгода. Поред тога, у раду су приказани резултати испитивања повезаности алкохола и карактеристика пута на којима су се догодиле саобраћајне незгоде, односно, алкохола и саобраћајних незгода које су се догодиле у раскрсници, у кривини и на правцу. Наиме, циљ анализе је био да се утврди да ли је негативан утицај алкохола више изражен у одређеним карактеристикама пута. Поред тога, у раду су приказани резултати испитивања разлике у врстама саобраћајних незгода у којима је алкохол препознат као фактор ризика и осталих саобраћајних незгода.

**Кључне речи:** саобраћајне незгоде, алкохол, карактеристике пута, врсте саобраћајних незгода, безбедност саобраћаја

**Abstract:** Drivers who have been drinking have a much higher risk of involvement in crashes than those with no alcohol in their blood (Elvik, 2009). In fact, alcohol affects negatively both the vision and reflexes driver and the erroneous assessment of the traffic situation. Increasing blood alcohol levels are also associated with an increase in the severity of injury incurred in a road crash. This is particularly true for the risk of death: an alcohol-impaired driver has 17 times the risk of being involved in a fatal crash than an unimpaired driver (WHO, 2004). Having in mind the negative impact of alcohol on traffic safety, ie, the contribution of alcohol occurrence of accidents and the severity of consequences, conducted the analysis of traffic accidents that occurred on the territory of Belgrade in 2014, in order to examine to what extent the alcohol was an influential factor for the occurrence of traffic accidents analyzed. In addition, the paper presents the results of correlation alcohol and characteristics of the road on which the accident occurred, ie, correlation alcohol and traffic accidents that occurred at the junction, in the direction of the curve. Namely, objective of the analysis was to determine whether the negative effects of alcohol is more expressed in certain characteristics of the road. In addition, the paper presents the results of differences in the types of accidents in which alcohol has been recognized as a risk factor and other accidents.

**Keywords:** traffic accidents, alcohol, characteristics of the road, types of accidents, road safety

### 1. УВОД

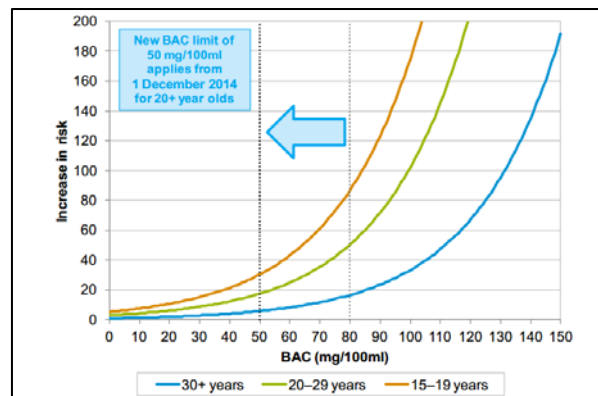
Саобраћајне незгоде су резултат комбинације фактора повезаних са компонентама система који укључује пут, околину, возила, кориснике путева, и начин на који они међусобно функционишу. Неки фактори доприносе настанку саобраћајне незгоде и могу бити део узрока настанка саобраћајне незгоде, док неки фактори не доприносе настанку, али доприносе тежини последица саобраћајне незгоде (WHO, 2009).

<sup>1</sup> Аутор задужен за кореспонденцију: [j.rankovic@outlook.com](mailto:j.rankovic@outlook.com)



У извештају Светске здравствене организације (WHO, 2013) о стању на путевима возња под утицајем алкохола је препознат као један од пет кључних фактора ризика, а поред алкохола препознати су још брзина, некоришћење кацига, сигурносних појасева и дечјих седишта.

Када се посматра алкохол као утицајни фактор, истраживања су показала да возачи који имају концентрацију алкохола у крви између 0,2 до 0,5 mg/ml имају три пута већи ризик да погину у саобраћајним незгодама, него остали возачи. Овај ризик се повећава на најмање шест пута уколико је концентрација алкохола у крви између 0,5 и 0,8 mg/ml, а чак једанаест пута уколико је концентрација алкохола у крви између 0,8 и 1,0 mg/ml. Наиме, истраживања су показала да ризик од настанка саобраћајне незгоде расте експоненцијално са повећањем количине алкохола у крви (Killoran at all, 2010). Поред тога, истраживања су показала да ризик од учешћа у саобраћајним незгодама са погинулим лицима зависи како од нивоа алкохола у крви, тако и од старости возача (Слика 1). Наиме, негативан утицај алкохола је израженији код младих возача, него код старијих возача (Ministry of Transport, 2015).



**Слика 1.** Релативни ризик од учешћа у саобраћајним незгодама са погинулим лицима у зависности од алкохола у крви и старости возача  
Извор: (Ministry of Transport, 2015)

Алкохол утиче на централни нервни систем и делује као општа анестезија, што доводи до тога да је примање и обрада информација спорија и мање ефикасна. Из наведених разлога, возачу се смањују возачке вештине, а што за последицу има да се сложенији задаци, као што су управљање и кочење, много теже спроводе без грешке. Алкохол, осим што утиче на возачке вештине, утиче и на емоције и ставове, што додатно утиче на повећања ризика од настанка саобраћајне незгоде (<http://jama.jamanetwork.com/article.aspx?articleid=402698> приступљено: 21.3.2016. године). Осим тога, возња под дејством алкохола је повезана и са другим ризичним понашањем у саобраћају, као што је прекорачење брзине или некоришћење сигурносних појасева (WHO, 2015). Истраживање које је спроведено на Новом Зеланду, показало је да у периоду од 2012. до 2014. године, сигурносни појас није користило 41% погинулих возача аутомобила и комбија, док 12% осталих возача није користило (Ministry of Transport, 2015). Возачи који возе под дејством алкохола, повећавају ризик страдања и осталих учесника у саобраћају. Истраживање је показало да на сваких 100 погинулих возача у саобраћајним незгодама који су под утицајем алкохола и дроге, погине још 58 путника из возила којим су управљали, и још 26 осталих учесника у саобраћају који нису под дејством алкохола (Ministry of Transport, 2015).

Идентификовање фактора ризика који доприносе настанку и последицама саобраћаних незгода је важно због идентификовања интервенција које могу смањити ризике везане за утицајне факторе (WHO, 2009). Са тим у вези, како би се примениле одговарајуће мере за смањење ризика повезаних са утицајним фактором алкохол, неопходно је, како познавати дејство алкохола на психофизичко стање возача, тако и специфичности и друге околности настанка саобраћајних незгода у којима је алкохол препознат као фактор ризика. Наиме, Светска здравствена организација (WHO, 2010) препоручује да стратегије за смањење последица саобраћајних незгода које су повезане са возњом под утицајем алкохола треба да обухвате мере које имају за циљ да смање вероватноћу да ће особа да вози под дејством алкохола, као и мере које ће да створе сигурније окружење за возњу, како би се смањила вероватноћа настанка и тежина последица саобраћајних незгода у којима је неко од учесника био под дејством алкохола (WHO, 2010).

Осим тога, мерење доприноса војње под утицајем алкохола настанку саобраћајне незгоде помаже државама да процене напор који је неопходно да уложи како би се такво понашање спречило. Иако је мерење од изузетног значаја, само 95 држава имају било какве податке о доприносу алкохола на настанак саобраћајних незгода са погинулим лицима. У неким државама тестирају се сви возачи који су учествовали у саобраћајним незгодама са погинулим лицима. Иако се ово сматра добром праксом, тестирање свих возача који су учествовали у саобраћајним незгодама са погинулим лицима се спроводи у 53 државе (WHO, 2015).

У Републици Србији, у 2014. години, као кључни „узроци“ настанка саобраћајне незгоде издвојили су се неприлагођена или непрописна брзине кретања возила, затим укључивање или непрописне радње возилом у саобраћају, психофизичко стање возача и неуступање првенства пролаза. У саобраћајним незгодама са погинулим лицима, које су се догодиле у 2014. години у Републици Србији, алкохол као утицајни фактор препознат је у 9% саобраћајних незгода. Због психофизичког стања возача, у Републици Србији, у периоду од 2010. до 2014. године погинуло је 286 лица, што чини 8,8% од укупног броја погинулих лица (АБС, 2016).

У раду су приказани најважнији резултати анализе саобраћајних незгода, чији је циљ био да се испита утицај алкохола на учесталост настанка саобраћајних незгода на територији града Београда у различитим карактеристикама пута, као и испитивање специфичности типова саобраћајних незгода у којима је препознат алкохол као фактор ризика.

## 2. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

За анализу саобраћајних незгода које су се догодиле на територији града Београда, коришћена је посебна база података о саобраћајним незгодама формирана на Саобраћајном факултету. База је формирана у програму Microsoft Excel, на основу дневних полицијских извештаја, и садржи податке о саобраћајним незгодама које су се догодиле у 2014. години на територији Београда. У бази се налазе подаци о саобраћајним незгодама са погинулим лицима, тешким телесним повредама и лаким телесним повредама. За сваку саобраћајну незгоду за коју су били доступни подаци о локацији, извршено је геопозиционирање, и дефинисане карактеристике пута, односно, дефинисано је да ли се саобраћајна незгода догодила на правцу, кривини или на раскрсници.

Из анализе саобраћајних незгода искључене су саобраћајне незгоде у којима је дошло до повређивања путника у јавном превозу, односно, искључено је 212 саобраћајних незгода са повређивањем путника у јавном превозу. Наиме, за те незгоде је специфично да се углавном повређени путници јављају накнадно, па не постоје потпуни подаци ни о месту настанка саобраћајне незгоде, ни подаци о возачу, а што значи да недостају подаци о утицају алкохола за настанак саобраћајне незгоде и подаци о карактеристикама пута на месту догађања саобраћајне незгоде. Поред тога, из анализе је искључено још 7 саобраћајних незгода са повређеним лицима, из разлога што за наведене незгоде нису доступни ни подаци о алкотестирању возача, ни подаци о карактеристикама пута, ни о виду саобраћајне незгоде.

Једно од главних ограничења рада је то да подаци о возачима који су погинули на лицу места нису доступни подаци о нивоу алкохола у крви у тренутку догађања саобраћајне незгоде, који се добијају тек након обдукције возача, као ни подаци о лицима који због степена повреде нису могли да буду алкотестирани, па им је тек накнадно узета крв на анализу. Постоји могућност да би резултати истраживања били другачији уколико би били доступни и ти подаци о новоу алкохола у крви. Поред тога, за одређени број возача нису доступни подаци о алкотестирању из разлога што су возачи напустили лице места саобраћајне незгоде пре вршења увиђаја, или што за одређени број саобраћајних незгода није вршен увиђај, нпр. када непосредно после незгоде нико од учесника није имао повреде, већ су повреде код учесника накнадно константоване.

### 2.1 Обрада података

За процену значајности разлике коришћен је Pearson-ov  $\chi^2$  test nezavisnosti. Јачина веза између две променљиве, мерена је преко коефицијента корелације  $f_i$  (за табеле  $2 \times 2$ ), односно, Cramer's V (за табеле  $3 \times 2$ ). Постављена је нулта хипотеза ( $H_0$ ): „Не постоји статистички значајна разлика између група“ и радна хипотеза ( $H_a$ ): „Постоји статистички значајна разлика између група.“ Праг статистичке значајности ( $\alpha$ ) постављен је на 5%. Уколико је  $p \leq 0,05$ , одбацује се нулта хипотеза и прихвата радна хипотеза. Уколико је  $p > 0,05$  прихвата се нулта хипотеза.

### 3. РЕЗУЛТАТИ АНАЛИЗЕ САОБРАЋАЈНИХ НЕЗГОДА

#### 3.1 Утицајни фактор алкохол и врсте саобраћајних незгода

Анализирана база података обухвата податке о 2938 саобраћајних незгода са повређеним лицима, од чега су 84 саобраћајне незгоде са погинулим лицима, 480 са тешким телесним повредама и 2374 саобраћајне незгоде са лаким телесним повредама (Табела 1).

Резултати истраживања су показали да од укупног броја анализираних саобраћајних незгода у 226 (7,7%) саобраћајне незгоде је алкохол био један од утицајних фактора, а код 2121 (72,2%) саобраћајне незгоде ниједан од учесника није био под дејством алкохола, док за 591 (20,1%) саобраћајну незгоду нису доступни подаци о алкотестирању.

За више од половине (53,6%) саобраћајних незгода са погинулим лицима недостају подаци о алкотестирању, што је последица тога што нису доступни подаци који се добијају након обдукције возача или када се алкотестирање врши преко узорка крви.

Табела 1. Подаци о анализираним саобраћајним незгодама

ВРСТА СН <sup>2</sup> / АЛКОХОЛ	СН ПОГ <sup>3</sup>	СН ТТП <sup>4</sup>	СН ЛТП <sup>5</sup>	УКУПНО
ДА	11 (13,1%)	30 (6,3%)	185 (7,8%)	<b>226 (7,7%)</b>
НЕ	28 (33,3%)	290 (60,4%)	1803 (75,9%)	2121 (72,2%)
НЕПОЗНАТО	<b>45 (53,6%)</b>	160 (33,3%)	386 (16,3%)	591(20,1%)
УКУПНО	84 (100%)	480 (100%)	2374 (100%)	2938 (100%)

У даљој анализи саобраћајних незгода са повређеним лицима искључене су саобраћајне незгоде у којима недостају подаци о алкотестирању возача.

Када се анализирају само саобраћајне незгоде у којима постоје подаци о алкотестирању, може се уочити да је у чак 28,2% саобраћајних незгода са погинулим лицима алкохол био утицајни фактор (Табела 2). *Pearson-ов  $\chi^2$  test nezavisnosti* **показао је** значајну разлику у возњи под утицајем алкохола и врсти саобраћајне незгоде, односно, највећа вероватноћа да је возач био под дејством алкохола је у саобраћајној незгоди са погинулим лицима,  $\chi^2(2, n=2347)=15,727$ ,  $p=0,000$ , Cramer's  $V=0,082$ .

Табела 2. Подаци о саобраћајним незгодама према врсти и утицајном фактору алкохол

ВРСТА СН / АЛКОХОЛ	СН ПОГ	СН ТТП	СН ЛТП	УКУПНО
ДА	<b>11 (28,2%)</b>	30 (9,4%)	185 (9,3%)	226 (9,6%)
НЕ	28 (71,8%)	290 (90,6%)	1803 (90,7%)	2121 (90,4%)
УКУПНО	39 (100%)	320 (100%)	2347 (100%)	2347 (100%)

#### 3.2. Утицајни фактор алкохол и карактеристике пута

Највећи проценат саобраћајних незгода са настрадалим лицима се догодио на раскрсници (50,3%), а затим на правцу (47,2%), док се најмањи број анализираних саобраћајних незгода догодио у кривини (2,5%). Са друге стране, када се анализирају саобраћајне незгоде према карактеристикама пута и врсти саобраћајне незгоде, може се уочити да се код саобраћајних незгода са погинулим лицима и тешким телесним повредама највећи број саобраћајних незгода догодио на правцу, респективно 57,9% и 48,8% (Табела 3).

<sup>2</sup> Саобраћајна незгода

<sup>3</sup> Саобраћајна незгода са погинулим лицима

<sup>4</sup> Саобраћајна незгода са тешко телесно повређеним лицима

<sup>5</sup> Саобраћајна незгода са лако телесно повређеним лицима

Табела 3. Подаци према врсти СН и карактеристикама пута

ВРСТА СН / КАРАКТЕРИСТИКЕ ПУТА	СН ПОГ	СН ТТП	СН ЛТП	УКУПНО
ПРАВАЦ	22 (57,9%)	156 (48,8%)	926 (46,7%)	1104 (47,2%)
РАСКРСНИЦА	13 (34,2%)	152 (47,5%)	1013 (51,1%)	1178 (50,3%)
КРИВИНА	3 (7,9%)	12 (3,8%)	44 (2,2%)	59 (2,5%)
УКУПНО	38 (100%)	320 (100%)	1983 (100%)	2341 (100%)

Када се посматрају саобраћајне незгоде према карактеристикама пута и алкохолу, може се уочити да у саобраћајним незгодама које су се догодиле у кривинама у чак 27,1% алкохол био утицајни фактор, док је на правцу био у 9,2%, а у раскрсницама 9,1% (Табела 4). *Pearson-ов  $\chi^2$  test nezavisnosti* **показао је** значајну везу између утицајног фактора алкохол и карактеристика пута на којима се догађају саобраћајне незгоде (правац, раскрсница и кривина),  $\chi^2(2, n=2341)=21,370, p=0,00, Cramer's V=0,096$ .

Табела 4. Подаци о алкохолу и карактеристикама пута за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима

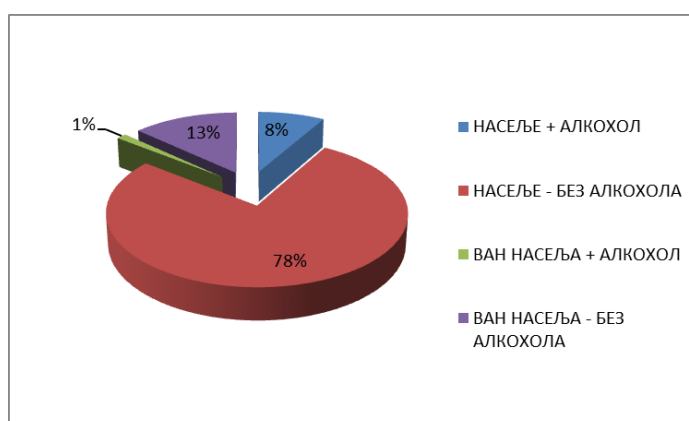
КАРАКТЕРИСТИКЕ ПУТА / АЛКОХОЛ	ПРАВАЦ	РАСКРСНИЦА	КРИВИНА	УКУПНО
ДА	102 (9,2%)	107 (9,1%)	16 (27,1%)	225 (9,6%)
НЕ	1002 (90,8%)	1071 (90,9%)	43 (72,9%)	2116 (90,4%)
УКУПНО	1104 (100%)	1178 (100%)	59 (100%)	2341 (100%)

### 3.3. Место догађања саобраћајне незгоде и утицајни фактор алкохол

На територији града Београда, у 2014. години, у насељу се догодило 1963 саобраћајне незгоде са настрадалим лицима, док се ван насеља догодило 330 саобраћајних незгода. Од укупног броја саобраћајних незгода са повређеним лицима у насељу се догодило 8% саобраћајних незгода у којима је био алкохол утицајни фактор, а ван насеља 1% (Слика 4. и Табела 5). *Pearson-ов  $\chi^2$  test nezavisnosti* (уз корекцију према Јејтсу) **није показао** значајну везу између утицајног фактора алкохол и места догађања саобраћајне незгоде са настрадалим лицима (насеље или ван насеља),  $\chi^2(1, n=2293)=0,17, p=0,68, fi=-0,011$ .

Табела 5. Место догађања СН са настрадалим лицима и утицајни фактор алкохол

НАСЕЉЕ / АЛКОХОЛ	НАСЕЉЕ	ВАН НАСЕЉА
ДА	190 (9,7%)	29 (8,8%)
НЕ	1773 (90,3%)	301 (91,2%)
УКУПНО	1963 (100%)	330 (100%)



Слика 4. Место догађања СН са настрадалим лицима и утицајни фактор алкохол

### 3.3. Утицајни фактор алкохол, вид саобраћајне незгоде и место догађања саобраћајне незгоде

Највећи број саобраћајних незгода са настрадалим лицима су саобраћајне незгоде са обарањем или гажењем пешака (26,6%), а затим судари при вожњи у истом смеру (29,9%). Када се анализирају видови саобраћајних незгоде са повређеним лицима, може се уочити да се издваја вид „судари при вожњи у истом смеру“, који чине половину саобраћајних незгода које се догоде ван насеља. У насељу се издвајају видови „обарање или гажење пешака“ (30,1%), затим „судари при вожњи у истом смеру“ (26,6%), и „бочни судари“ (25,6%) (Табела 6. и Слика 5).

Табела 6. Подаци о видовима СН са настрадалим лицима према месту догађања

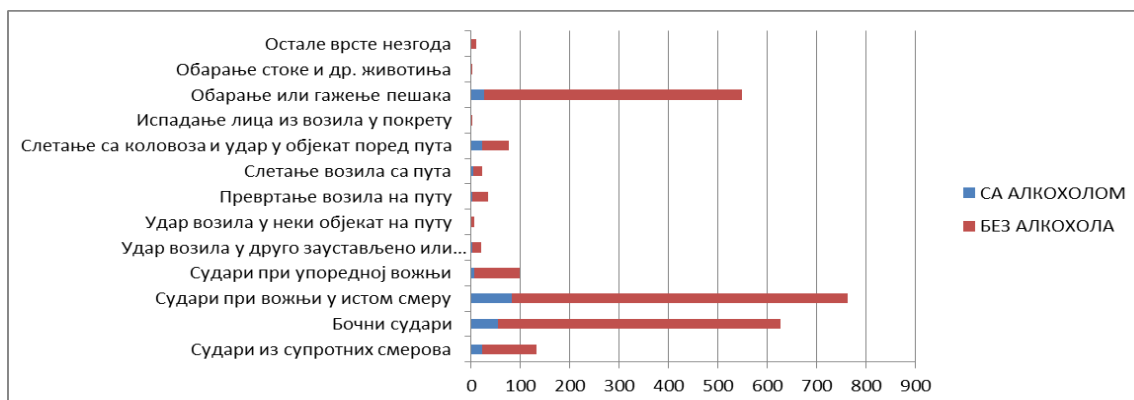
НАСЕЉЕ / ВИД СН	НАСЕЉЕ	ВАН НАСЕЉА	УКУПНО
Судари из супротних смерова	129 (5,3%)	37 (9,0%)	176 (6,0%)
Бочни судари	627 (25,6%)	40 (9,8%)	678 (23,1%)
Судари при вожњи у истом смеру	650 (26,6%)	<b>205 (50,0%)</b>	<b>877 (29,9%)</b>
Судари при упоредној вожњи	90 (3,7%)	28 (6,8%)	122 (4,2%)
Удар возила у друго заустављено или паркирано возило	23 (0,9%)	4 (1,0%)	28 (1,0%)
Удар возила у неки објект на путу	3 (0,1%)	3 (0,7%)	7 (0,2%)
Превртање возила на путу	60 (2,5%)	11 (2,7%)	76 (2,6%)
Слетање возила са пута	21 (0,9%)	14 (3,4%)	38 (1,3%)
Слетање са коловоза и удар у објект поред пута	87 (3,6%)	38 (9,3%)	131 (4,5%)
Испадање лица из возила у покрету	6 (0,2%)	-	6 (0,2%)
Обарање или гажење пешака	<b>736 (30,1%)</b>	27 (6,6%)	<b>782 (26,6%)</b>
Обарање стоке и др. животиња	2 (0,1%)	2 (0,5%)	4 (0,1%)
Остале врсте незгода	12 (0,5%)	1 (0,2%)	13 (0,4%)



Слика 5. Подаци о видовима СН са настрадалим лицима према месту догађања

Највећи удео саобраћајних незгода са настрадалим лицима у којима је препознат утицајни фактор алкохол имају „судари при вожњи у истом смеру“, „бочни судари“, „судари из супротних смерова“ и „слетање са коловоза и удар у објект поред пута“ (Слика 6 и Табела 7).

АНАЛИЗА САОБРАЋАЈНИХ НЕЗГОДА КОЈЕ СУ СЕ ДОГОДИЛЕ У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ ПРЕМА КАРАКТЕРИСТИКАМА ПУТА И УТИЦАЈНОМ ФАКТОРУ АЛКОХОЛ



Слика 6. Утицајни фактор алкохол према видовима СН са настрадалим лицима

Табела 7. Подаци о видовима саобраћајних неозгоде настрадалих лица у зависности од утицајног фактора алкохол

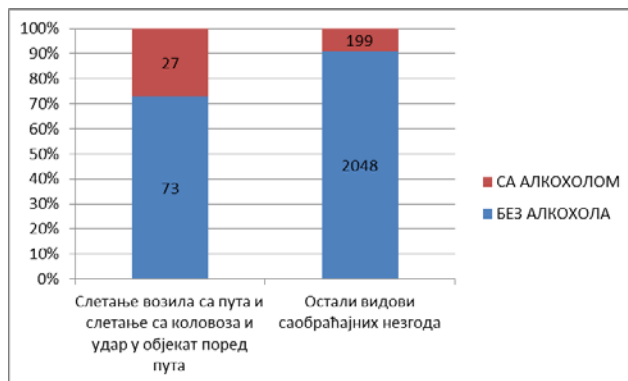
АЛКОХОЛ / ВИД СН	ДА	НЕ
Судари из супротних смерова	<b>23 (10,2%)</b>	<b>110 (5,2%)</b>
Бочни судари	55 (24,3%)	572 (27,0%)
Судари при возњи у истом смеру	83 (36,7%)	680 (32,1%)
Судари при упоредној возњи	7 (3,1%)	92 (4,3%)
Удар возила у друго заустављено или паркирано возило	3 (1,3%)	17 (0,8%)
Удар возила у неки објекат на путу	-	7 (0,3%)
Превртање возила на путу	2 (0,9%)	33 (1,6%)
Слетање возила са пута	<b>4 (1,8%)</b>	<b>19 (0,9%)</b>
Слетање са коловоза и удар у објекат поред пута	<b>23 (10,2%)</b>	<b>54 (2,5%)</b>
Испадање лица из возила у покрету		1 (0,0%)
Обарање или гажење пешака	26 (11,5%)	523 (24,7%)
Обарање стоке и др. животиња	-	3 (0,1%)
Остале врсте неозгоде	-	10 (0,5%)

На слици 7. приказан је утицај фактора алкохол у саобраћајним неозгодама „судари из супротних смерова“ у односу на све остале саобраћајне неозгоде са повређеним лицима. Pearson-ов  $\chi^2$  test nezavisnosti (уз корекцију према Јејтсу) **показао је** значајну везу између утицајног фактора алкохол и саобраћајних неозгоде са настрадалим лицима у судару из супротних смерова,  $\chi^2(1, n=2347)=8,606$ ,  $p=0,003$ ,  $f_i=-0,064$ . Ово указује да је већа вероватноћа да ће возач под дејством алкохола да учествује у судару из супротних смерова, него возачи који не возе под утицајем алкохола.



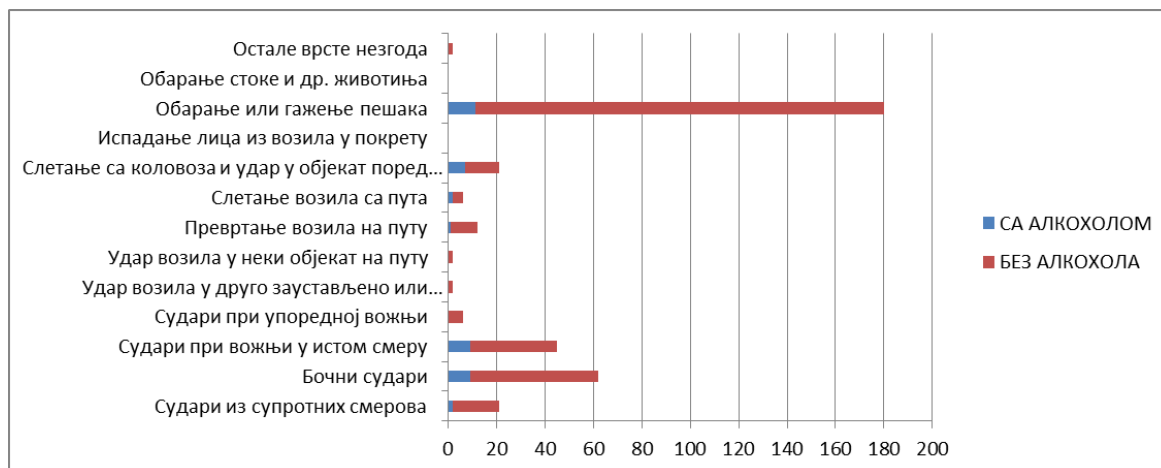
Слика 7. Утицајни фактор алкохол у саобраћајним неозгодама са повређеним лицима у „сударима из супротних смерова“

На слици 8. приказан је утицај фактора алкохол у саобраћајним незгодама „слетању возила са пута“ и „слетање са коловоза и удар у објект поред коловоза“ у односу на све остале саобраћајне незгоде са повређеним лицима. Pearson-ов  $\chi^2$  test nezavisnosti (уз корекцију према Јејтсу) **показао је** значајну везу између утицајног фактора алкохол и саобраћајних незгода са настрадалим лицима при слетању возила са коловоза,  $\chi^2(1, n=2347)=34,163, p=0,000, fi=-0,124$ . Ово указује да је већа вероватноћа да ће возач под дејством алкохола да учествује у саобраћајним незгодама при слетању са коловоза, него возачи који не возе под утицајем алкохола.



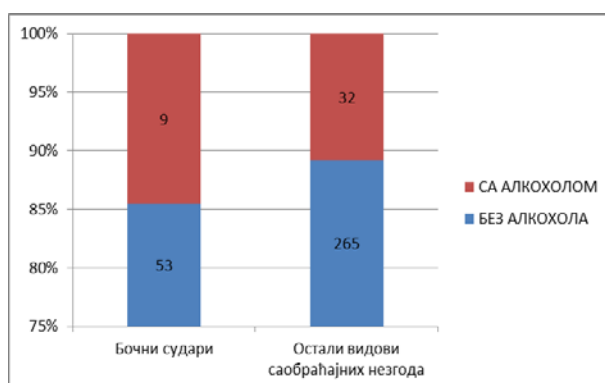
**Слика 8.** Утицајни фактор алкохол у саобраћајним незгодама са повређеним лицима у „слетању возила са пута“ и „слетање са коловоза и удар у објект поред коловоза“

Највећи број саобраћајних незгода са погинулим и тешко повређеним лицима у којима је препознат утицајни фактор алкохол су саобраћајне незгоде „бочни судари“ и „слетање са коловоза и удар у објект поред пута“ (Слика 9).



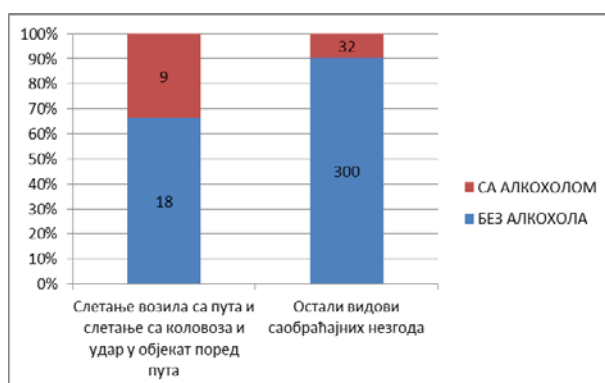
**Слика 9.** Подаци о видовима саобраћајних незгода са погинулим и тешко повређеним лицима у зависности од утицајног фактора алкохол

На слици 10. приказан је утицај фактора алкохол у саобраћајним незгодама „бочни судари“ у односу на све остале саобраћајне незгоде са погинулим лицима и тешким телесним повредама. Pearson-ов  $\chi^2$  test nezavisnosti (уз корекцију према Јејтсу) **није показао** значајну везу између утицајног фактора алкохол и бочних судара са погинулим и тешким телесним повредама,  $\chi^2(1, n=359)=0,388, p=0,399, fi=-0,044$ .



Слика 10. Утицајни фактор алкохол у саобраћајним незгодама са погинулим лицима и тешким телесним повредама у „бочним сударима“

На слици 11. приказан је утицај фактора алкохол у саобраћајним незгодама „слетању возила са пута“ и „слетање са коловоза и удар у објекат поред коловоза“ у односу на све остале саобраћајне незгоде са погинулим лицима и тешким телесним повредама. Pearson-ов  $\chi^2$  test nezavisnosti (уз корекцију према Јејтсу) **показао је** значајну везу између утицајног фактора алкохол и саобраћајних незгода погинулим лицима и тешким телесним повредама са излетањем возила,  $\chi^2(1, n=359)=11,614, p=0,001, fi=-0,196$ .



Слика 11. Утицајни фактор алкохол у саобраћајним незгодама са погинулим лицима и тешким телесним повредама у „слетању возила са пута“ и „слетање са коловоза и удар у објекат поред коловоза“

#### 4. ЗАКЉУЧАК

У раду су приказани резултати истраживања анализе саобраћајних незгода које су се догодиле на територији града Београда у 2014. години, односно, резултати о томе у којој мери је алкохол био утицајни фактор у анализираним саобраћајним незгодама, затим резултати испитивања повезаности алкохола и карактеристика пута на којима су се догодиле саобраћајне незгоде, као и резултати испитивања повезаности алкохола и места настанка саобраћајних незгода (насеље и ван насеља), и алкохола и вида саобраћајних незгода.

Истраживање је показало да је у Београду највећа вероватноћа да возач буде под дејством алкохола у саобраћајној незгоди са погинулим лицима. Поред тога, резултати истраживања показали су да постоји значајна веза између карактеристика пута и места догађања саобраћајне незгоде. Наиме, алкохол више утиче на настанак саобраћајних незгода на кривинама, него на раскрсницама и правцу. Поред тога, утврђено је да постоји значајан утицај алкохола у саобраћајним незгодама „слетање возила са пута“ и „слетање са коловоза и удар у објекат поред коловоза“, који се управо у највећем броју случајева догађа на кривинама. Ово се може објаснити тиме, да је возачима под дејством алкохола потребно дуже време за препознавање, благовремено схватање, доношења одлуке и адекватно реаговање, при проласку кроз кривину, него осталим возачима. С обзиром на то, смањење ризика повезаних са утицаним фактором алкохол и настанка саобраћајних незгода при кретању у кривини могло би да се постигне уколико би се примениле мере које ће да омогуће благовремено уочавања карактеристика кривина, тако да возачи под дејством алкохола имају времена да адекватно реагују.



Истраживање је показало да је у циљу повећања безбедности саобраћаја на територији града Београда неопходно деловати на смањење ризика везаних за утицајни фактор алкохол, и да се повећање безбедности саобраћаја може постићи како деловањем на смањење вероватноће да возач управља под дејством алкохола, тако и пројектовањем самообјашњавајућих путева, који ће да створе безбедније окружење за вожњу, и смање вероватноћу настанка саобраћајних незгода.

## Литература

- [1] Агенција за безбедност саобраћаја Републике Србије, АБС. 2015. *Статистички извештај о стању безбедности саобраћаја у Републици Србији за 2014. годину*. Београд. 13-28.
- [2] Killoran, A., Canning, U., Doyle, N., Sheppard, L., (2010). *Review of effectiveness of laws limiting blood alcohol concentration levels to reduce alcohol-related road injuries and deaths*. Centre for Public Health Excellence NICE: p3.
- [3] Ministry of Transport, 2015. *Alcohol and drugs*. 4-7.
- [4] National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA. 2009. *Factors Related to Fatal Single-Vehicle Run-Off-Road Crashes*: p19.
- [5] The Journal of the American Medical Association, JAMA. 1986. *Alcohol and the Driver*. доступно на: <http://jama.jamanetwork.com/article.aspx?articleid=402698> (21.3.2016)
- [6] World Health Organization, WHO. 2009. *Global Status Report On Road Safety: Supporting A Decade Of Action*. Geneva: p13.
- [7] World Health Organization, WHO. 2015. *Ten Strategies For Keeping Children Safe On The Road*: p33.
- [8] World Health Organization, WHO. 2013. *Global status report on road safety*, Geneva.
- [9] World Health Organization, WHO. 2004. *World report on road traffic injury prevention*. Geneva.

## СПЕЦИФИЧНЕ ПРОВЕРЕ БЕЗБЕДНОСТИ ПЕШАЧКЕ ИНФРАСТРУКТУРЕ

### SPECIFIC SAFETY INSPECTIONS OF PEDESTRIAN INFRASTRUCTURE

проф. др Милан Вујанић

<sup>1</sup> Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет, [m.vujanic@sf.bg.ac.rs](mailto:m.vujanic@sf.bg.ac.rs)

проф. др Крсто Липовац

<sup>2</sup> Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет, [k.lipovac@gmail.com](mailto:k.lipovac@gmail.com)

Драгана Нојковић<sup>1</sup>, студент докторских студија

<sup>3</sup> Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет, [dragananojkovic@gmail.com](mailto:dragananojkovic@gmail.com)

**Резиме:** Провера безбедности саобраћаја је проактиван алат који омогућује идентификацију потенцијалних проблема безбедности на постојећим путевима, који могу утицати на могућност настанка и тежину последица саобраћајних незгода. Имајући у виду угроженост рањивих учесника у саобраћају, постоји потреба да се провере безбедности саобраћаја спроводе и са специфичним циљевима, нпр. како би се идентификовали проблеми који се односе на пешаке или бициклисте. Међутим, овакве процедуре нису још увек дефинисане и усаглашене. У овом раду извршена је анализа саобраћајних незгода са учешћем пешака, на основу које су идентификоване најчешће околности страдања пешака у саобраћају. Поред тога, на основу литерарног прегледа у вези пута и околине пута као фактора безбедности саобраћаја, препознати су елементи инфраструктуре који доприносе страдању пешака. Такође, у раду су анализирана светска искуства у погледу спровођења провере безбедности саобраћаја, на начин да су идентификовани специфични елементи контролних листа који се односе на безбедност пешака у саобраћају. На основу спроведених анализа и узимајући у обзир специфичне потребе пешака, у овом раду указано је на потребу спровођења посебних провера безбедности пешачке инфраструктуре, и дат је предлог контролне листе за спровођење таквих специфичних провера.

**Кључне речи:** провера безбедности саобраћаја, контролна листа, безбедност пешака у саобраћају, тротоари, пешачки прелази.

**Abstract:** Road safety inspection is a pro-active tool that enables the identification of potential road safety problems on existing roads, which may affect the possibility of occurrence and severity of road accidents. Bearing in mind the endangerment of vulnerable road users, there is a need to carry out a road safety inspections with the specific objectives, for example, to identify problems related to pedestrians or cyclists. However, these procedures have not yet been defined and harmonized. In this paper, an analysis of road accidents involving pedestrians was performed, which identified the most common circumstances of pedestrian suffering in traffic. In addition, based on a literary review regarding road and road environment as a road safety factor, the infrastructure elements that contribute to the suffering of pedestrians were recognized. Also, the paper analyzes the world experiences in terms of implementation of road safety inspection, in such a way that specific elements of checklists relating to pedestrian safety in traffic were identified. Based on the conducted analyses and taking into account the specific needs of pedestrians, this paper pointed out the need of implementation of special safety inspections of pedestrian infrastructure, and gave a proposal of the checklist for the implementation of such specific inspections.

**Key words:** road safety inspection, checklist, pedestrian safety, sidewalks, pedestrian crossings.

#### 1. УВОД

С обзиром на чињеницу да су пешаци подложнији тешким повредама, у односу на друге учеснике у саобраћају, њихове потребе захтевају посебну пажњу у стратешким плановима безбедности саобраћаја. Ризик код пешака се повећава када пројектно решење пута и планирање коришћења земљишта не успеју да обезбеде услове као што су тротоари или одговарајуће разматрање приступа пешака на раскрсницама (WHO, 2013). Вероватноћа да ће се догодити саобраћајна незгода типа „возило – пешак“ је 1,5 до 2 пута већа на путевима без тротоара. Неке неразвијене и средње развијене земље се суочавају са проблемом када се насеља развијају дуж државних путева. Многа од ових насеља и путева не поседују тротоаре и друге мере за заштиту пешака. Шире саобраћајне траке и коловоз, као и већа пројектна брзина, повећавају брзину кретања моторних возила, што повећава ризик код пешака (WHO, 2013). Пешачке стазе или тротоари су у неким државама у целости заузеле продавницама, тезгама, гаражама, ресторанима, грађевинским материјалима или паркираним возилима, тако да су пешаци приморани да се крећу по коловозу.

<sup>1</sup> Аутор задужен за кореспонденцију: [dragananojkovic@gmail.com](mailto:dragananojkovic@gmail.com)

Приликом процене утицаја пута на безбедност пешака у саобраћају неопходно је размотрити различите пројектне карактеристике пута, попут категорије пута, пројектне брзине, ограничења брзине, броја и ширине саобраћајних трака, постојања пешачког острва, уређаја за регулисање саобраћаја, пешачких прелаза, упуштених ивичњака, саобраћајних знакова и светлосних сигнала за усмеравање кретања пешака, постојања уличног осветљења, бициклических трака, паркираних возила дуж саобраћајне траке, као и других опасности за безбедно пешачење (WHO, 2013).

## 1. МЕТОД

У овом раду извршена је анализа базе података о саобраћајним незгодама са настрадалим пешацима, које су се догодиле на територији града Београда у 2014. години, формиране на основу доступних дневних извештаја о саобраћајним незгодама. На основу анализе саобраћајних незгода са учешћем пешака у 2014. години, идентификовани су најчешћи типови саобраћајних незгода у којима страдају пешаци, као и најчешћи маневри пешака у појединим типовима саобраћајних незгода. Поред тога, у раду је анализиран и литерарни преглед у погледу пута и околине пута као фактора безбедности пешака у саобраћају. У овом делу идентификовани су елементи пута и околине пута који имају утицаја на могућност настанка и тежину последица саобраћајних незгода у којима учествују пешаци. Након тога, у раду је дат појам провере безбедности саобраћаја (ПБС), као и светска искуства у погледу спровођења провере безбедности саобраћаја. У овом делу посебно су анализирани елементи контролних листа који третирају безбедност пешака у саобраћају. Коначно, дат је предлог контролне листе коју је потребно користити приликом спровођења посебних провера безбедности пешачке инфраструктуре.

## 2. АНАЛИЗА САОБРАЋАЈНИХ НЕЗГОДА СА УЧЕШЋЕМ ПЕШАКА

На основу података Светске здравствене организације, сваке године више од 270.000 пешака погине на путевима широм света. Од укупног броја смртно страдалих лица у саобраћајним незгодама у свету, 22% чине пешаци (WHO, 2013). Према подацима Агенције за безбедност саобраћаја, у Србији у 2014. години нешто мање од једне четвртине (23,9%) смртно страдалих лица у саобраћајним незгодама чине пешаци, и заузимају друго место у структури погинулих лица према категорији учешћа у саобраћајним незгодама, након возача моторних возила (43,1%).

У табели бр. 1 приказана је анализа саобраћајних незгода са настрадалим пешацима, које су се догодиле на територији града Београда у 2014. години, према типовима саобраћајних незгода, а на основу доступних дневних извештаја о саобраћајним незгодама. Саобраћајне незгоде у којима је дошло до обарања или гажења пешака чине 24,2% од укупног броја саобраћајних незгода са настрадалим лицима које су се догодиле на територији Београда у 2014. години, а за које су били доступни дневни извештаји. Посматрано према типовима саобраћајних незгода, пешаци најчешће страдају приликом преласка преко коловоза (72%), и то у раскрсници у 28,3% случајева, а ван раскрснице у 43,7% случајева. Други најчешћи тип саобраћајних незгода у којима страдају пешаци подразумева кретање пешака дуж коловоза (9,5%). Саобраћајне незгоде у којима је пешак оборен на тротоару чине 6,6% од укупног броја саобраћајних незгода са настрадалим пешацима.

**Табела 1.** Типови саобраћајних незгода са настрадалим пешацима које су се догодиле на територији града Београда у 2014. години

ТИП СН*	Број СН (%)
Пешак се креће дуж коловоза	76 (9,5%)
Пешак стоји на коловозу	36 (4,5%)
Пешак на тротоару	53 (6,6%)
Прелазак пешака у раскрсници	226 (28,3%)
преко коловоза ван раскрснице	349 (43,7%)
Остало	59 (7,4%)
Укупно	799 (100%)

\* СН – саобраћајна незгода

Уколико се посматра маневар пешака у саобраћајним незгодама које су се догодиле приликом преласка преко коловоза, више од половине пешака је вршило прелазак преко коловоза на обележеном пешачком прелазу (52,5%), док је 45,0% пешака то чинило на местима на којима не постоји обележени пешачки прелаз. У саобраћајним незгодама у којима су пешаци настрадали

приликом кретања дуж коловоза, чак 56,6% пешака се том приликом кретало дуж десне ивице, односно, на страни пута на којој се возила крећу у истом смеру. Са друге стране, дуж леве ивице, на страни пута на којој се возила крећу у супротном смеру, кретало се 22,4% настрадалих пешака.

## 2. ПУТ И ОКОЛИНА ПУТА КАО ФАКТОР БЕЗБЕДНОСТИ ПЕШАКА У САОБРАЋАЈУ

У раду Rankavat и Tiwari (2016) истраживана је перцепција ризика учешћа у саобраћајним незгодама приликом пешачења и улога фактора окружења који утичу на перцепцију ризика. Анализа перцепције пешака у вези са факторима окружења на подручјима објективно високог ризика показала је да 69% пешака максимални ризик перцепира у вези са недостатком осветљења. На другом месту налази се брзина саобраћајног тока, која је перцепирана као максимално ризичан фактор од стране 39% пешака. На локацијама у близини места становања, око 50% пешака перцепира максималан ризик у вези са паркираним возилима. Када су у питању карактеристике тротоара, пешаци перцепирају највећи ризик у вези са ширином и континуитетом тротоара. Ризик који се перцепира у вези са одвајањем тротоара од саобраћаја је веома променљив, што подразумева да зависи од локација са различитим обимом саобраћаја. Пешаци перцепирају већи ризик на локацијама у близини становања са повећањем обима саобраћаја. Непостојање обележених пешачких прелаза је у позитивној вези са перцепираним ризиком на локацијама у близини места становања испитаника, па већи број обележених пешачких прелаза може смањити ризик од учешћа у саобраћајној незгоди перцепиран од стране пешака.

Резултати истраживања које су спровели Paradimitriou et al (2016) показали су да понашање пешака приликом преласка коловоза значајно зависи од врсте пута, протока саобраћаја, начина регулисања саобраћаја и карактеристика пешака. Такође, истраживање Cambon de Lavalette et al (2009) је имало за циљ да утврди улогу фактора окружења у кршењу саобраћајних прописа од стране пешака приликом преласка коловоза, и да успостави хијерархију између тих фактора. У овом истраживању закључено је да окружење треба тумачити нарочито у погледу топографских карактеристика (нпр. број саобраћајних трака), инфраструктуре (нпр. постојање централног пешачког острва), саобраћајне сигнализације (нпр. семафори за возила и пешаке), али такође и у смислу основне сврхе пешачења (одлазак у школу, куповину, итд.).

Santillo et al (2015) су оцењивали понашање пешака приликом опредељивања да ли да изврше директан прелазак коловоза, уз ризик који такав прелазак подразумева, или да изврше безбеднији прелазак коришћењем семафоризованог пешачког прелаза или надземног пешачког пролаза, али уз додатно предузимање кретања. Анализа је показала да већа раздаљина смањује вероватноћу да ће појединац изабрати безбедније алтернативе. У истраживању је уочено да је овај ефекат релевантнији код надземног пешачког пролаза, у односу на семафоризовани пешачки прелаз, што се може објаснити додатним напором који укључује пењање уз степенице.

У истраживању које су спровели Lipovac et al (2013) показано је да бројач за одбројавање времена до укључивања зеленог/црвеног светла значајно смањује број пешака који прелазе коловоз на црвено светло семафора, без обзира на локацију и проток саобраћаја. Утицај бројача је посебно доминантан на пешачким прелазима ван центра града, са мањим протоком саобраћаја. Деца пешаци се не понашају у складу са бројачем у случају смањеног протока саобраћаја на обележеним пешачким прелазима у споредним улицама.

## 2. ПРОВЕРА БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА (ПБС) – ПОЈАМ И СТРАНА ИСКУСТВА

Провера безбедности саобраћаја (ПБС) је систематска оцена безбедности постојећих путева, која се спроводи на лицу места од стране експерата безбедности саобраћаја. Провера безбедности саобраћаја представља превентиван алат чијом се применом делује на смањење броја и последица саобраћајних незгода кроз идентификацију недостатака пута и околине. Спроводи се на методичан начин, и то од стране независног лица или тима са искуством у раду у безбедности саобраћаја, саобраћајном инжењерству, понашању учесника у саобраћају и/или пројектовању путева, који су независни у односу на одржавање пута или деонице пута.

Независан, стручан тим који спроводи проверу безбедности саобраћаја има задатак да сагледа све утицајне елементе пута (пружање трасе пута, промену радијуса кривина, ширину коловоза, стање коловоза, прегледност, итд.) који могу бити директни или индиректни узрочници саобраћајних незгода и последица саобраћајних незгода. Такође, приликом спровођења провере безбедности саобраћаја

мора се узети у обзир време спровођења (дневни и ноћни услови, свитање и сумрак), сезонске промене (јако сунце, снег, киша, лед, магла) и посебне околности (близина школе, супермаркета, итд.). Приликом вршења провере безбедности саобраћаја тим користи контролне листе (checklists) које служе као подсетници за евидентирање проблема који су уочени током обиласка деонице.

У Србији је Законом о безбедности саобраћаја на путевима дефинисана законска обавеза реализације савремених процедура за унапређење безбедности путева. Према Закону, „управљач јавног пута мора обезбедити независне пројекте провере безбедности саобраћаја на путу и то: периодичне провере у периоду од пет година за све деонице државних путева, циљане провере за најугроженије деонице државних путева и циљане провере за остале путеве према могућностима, односно потребама“ (члан 156, став 4).

Традиционално, проблеми безбедности саобраћаја су идентификовани на основу података о саобраћајним незгодама, а мере унапређења безбедности саобраћаја су предузимане само након настанка саобраћајних незгода. Међутим, овакав приступ није довољан за потпуно разумевање и ефикасно решавање проблема безбедности пешака у саобраћају. Провера безбедности саобраћаја није просто оцењивање и критика правилне примене одговарајућих стандарда за постојеће путеве, већ представља свеобухватно сагледавање стања и потенцијалних проблема на путу посматрањем из перспективе различитих учесника у саобраћају. На тај начин се предлажу одговарајућа решења за отклањање или умањивање проблема безбедности саобраћаја, која уважавају потребе различитих учесника у саобраћају (пешака, бициклиста, моторизованих двоточкаша, итд.).

Истраживање Руне Елвика показало је очекивано значајно смањење у броју саобраћајних незгода као резултат провере безбедности саобраћаја и пратећих корективних мера (PIARC, 2012). На пример, смањење броја саобраћајних незгода постигнуто је корекцијом неисправне сигнализације (5 - 10%), постављањем заштитних ограда дуж насипа (40 - 50%), уклањањем фиксних објеката како би се обезбедила прегледна зона за повратак контроле над возилом (10 - 40%), или уклањањем објеката који смањују прегледност (0 - 5%). Поред тога, Елвик је 2006. године предложио смернице за добру праксу спровођења провере безбедности саобраћаја, а једна од смерница подразумева да контролна листа за ПБС треба да садржи следеће важне елементе: квалитет саобраћајних знакова, узимајући у обзир и то да ли су неопходни и да ли су правилно постављени или добро читљиви ноћу; квалитет хоризонталне сигнализације, нарочито, да ли је уочљива или да ли је у складу са вертикалном сигнализацијом; квалитет карактеристика коловоза, посебно у односу на трење (макро и микро текстура) и глаткоћу; одговарајућа прегледност и одсуство сталних или привремених препрека које онемогућавају благовремено уочавање пута или других учесника у саобраћају; присуство опасности поред пута, у близини коловоза, попут дрвећа, стена, одводних канала, стрмих насипа, итд.; карактеристике одвијања саобраћаја, нарочито, да ли брзина возила одговара локалним условима и функцији пута, подобност пута функцији, као и да ли пут и околина пута одговарају тренутном протоку саобраћаја и раздвајању моторизованог саобраћаја од рањивих учесника у саобраћају.

Пешаци и бициклисти су најрањивији учесници у саобраћају и њихове потребе захтевају посебну пажњу током истраживања на терену. Потенцијалне саобраћајне незгоде које су последица интеракције путничких аутомобила и теретних возила са рањивим учесницима у саобраћају су честе у многим државама. Провера треба да размотри бројне могуће контрамере, почев од мера за успоравање саобраћаја до инфраструктурних мера, попут одвајања путем бициклистичке траке поред пута или пешачке стазе или одвајањем теретног саобраћаја ван главног пута. Такође, треба узети у обзир и потребе пешака и бициклиста за преласком коловоза.

Најбоља пракса у спровођењу провере безбедности саобраћаја обухвата смернице у вези најважнијих техничких питања, као што су функција пута, попречни профил пута, траса пута, раскрснице, потребе рањивих учесника у саобраћају, као и површине и објекти поред пута. Технички одбор за безбедност саобраћаја Светске асоцијације за путеве (PIARC) формирао је Упутство за провере безбедности саобраћаја (Guideline on Road Safety Inspections), у коме су наведене карактеристике пута које је потребно анализирати: функција пута, попречни профил, пружање трасе пута, укрштања, јавни и приватни објекти и сервиси, рањиви учесници у саобраћају, саобраћајни знакови, ознаке на коловозу и осветљење, као и околина поред пута и елементи пасивне безбедности пута. У оквиру упутства предложене су контролне листе за ауто-путеве, контролне листе за међуградске путеве и контролне листе за градске путеве, као и образац за евидентирање недостатака. У деловима контролних листа које се односе на потребе рањивих учесника у саобраћају обухваћене су карактеристике стајалишта јавног градског превоза путника, друге потребе пешака и

бициклиста, као и потребе мотоциклиста. У табели бр. 2 приказана су питања безбедности пешака и бициклиста која су обухваћена у контролним листама Светске асоцијације за путеве.

**Табела 2. Потребе рањивих учесника у саобраћају (пешака и бициклиста) у оквиру контролних листа предложених од стране Светске асоцијације за путеве (PIARC)**

Питање	Да / Не	Напомена
1. Да ли су стајалишта лако доступна и безбедна за пешаке и да ли се пешачки прелази налазе иза аутобуског стајалишта?		
2. Да ли су аутобуска стајалишта означена и уочљива? Да ли је обезбеђена усаглашеност?		
3. Да ли се аутобуска стајалишта налазе ван коловоза на местима где је прикладно?		
4. Да ли су површине за чекање довољно велике?		
5. Да ли је прегледност ометена, на пример, заштитним оградама, опремом пута, саобраћајним знаковима, зеленилом, зградама?		
6. Да ли су руте за бициклисте безбедно пројектоване у близини стајалишта јавног градског превоза?		
7. Да ли је осветљење неопходно? Уколико јесте, да ли је адекватно пројектовано?		
8. Да ли се пешачки прелази налазе на местима где су највише потребни у односу на кретање пешака?		
9. Да ли су пешачки прелази тако означени да их сви користе и да се коловоз неће прелазити на другим местима?		
10. Да ли постоји ризик да се подземни и надземни пешачки пролази заобилазе? Да ли су примењене одговарајуће мере?		
11. Да ли су потребна додатна помоћна средства при преласку?		
12. Да ли су површине за пешаке и бициклисте који чекају довољне?		
13. Да ли су пешачка острва довољно дугачка и широка да се пешаци и бициклисти који прелазе коловоз зауставе и сачекају?		
14. Да ли су прелази преко железничких пруга безбедно пројектовани?		
15. Да ли је обезбеђен двосмерни визуелни контакт између пешака и возача моторних возила?		
16. Да ли су узете у обзир потребе бициклиста (нпр. прелазак преко централних острва, уских грла)?		
17. Да ли је првенство дато бициклистима у односу на остали саобраћај где је то потребно?		
18. Да ли се бициклисти који се крећу уз ивицу коловоза могу уочити од стране возача моторних возила?		
19. Да ли паркирана возила ометају уочљивост бициклиста?		
20. Да ли су на местима где бициклисти прелазе коловоз упуштени ивичњаци?		
21. Да ли су пешачке стазе физички одвојене ивичњацима, оградама или зеленилом?		
22. Да ли постоји ограничење брзине? Да ли возачи прекорачују ограничење брзине?		
23. Да ли постоје саобраћајна острва на улазима?		
24. Да ли су пешачки прелази означени и уочљиви возачима?		
25. Да ли су острва јасно уочљива и правилно постављена?		
26. Да ли постоји осветљење на местима где је потребно?		

Извор: World Road Association (PIARC)

У раду Montella и Mauriello (2010) предложена је процедура спровођења провера безбедности пешачких прелаза. Како би се оценила безбедност пешачких прелаза у различитим оперативним условима, провере је потребно спроводити у различитим условима видљивости (дан и ноћ), условима саобраћаја (мањи и већи обим саобраћаја), и метеоролошким условима (ведро и кишовито). За свако питање безбедности дефинисан је тежински фактор који представља меру процењеног релативног утицаја проблема на настанак саобраћајних незгода. За потребе оцењивања, формиране су контролне листе, са циљем да тим који спроводи проверу не превиди значајне проблеме

безбедности. Контролна листа се састоји од шест делова: локација, приступачност, прегледност, хоризонтална и вертикална сигнализација, осветљење и саобраћај.

У делу контролне листе који се односи на локацију обухваћене су траса пута, доследност између ширине пута и врсте пешачког прелаза, интеракција са паркираним возилима, координација са аутобуским стајалиштима, координација са жељеним пешачким рутама, координација са тротоарима, удаљеност од других пешачких прелаза, удаљеност од зауставне линије, удаљеност од раскрсница, и удаљеност од семафора. У поглављу које се односи на прегледност садржана су следећа питања безбедности: уочљивост одраслих пешака, уочљивост деце и особа у инвалидским колицима, прописно или непрописно паркирана возила која ометају прегледност, и привремене препреке које ометају прегледност. Трећи део обухвата питања приступачности, попут постојања упуштених ивичњака, нагиба рампи, висине тротоара, ширине тротоара, тактилних уређаја за слепе, прописно и непрописно паркираних возила која ометају прегледност, трајних препрека које блокирају приступ, или прекида пешачког острва.

У делу контролне листе који се односи на хоризонталну и вертикалну сигнализацију издвојена су следећа питања: дневна уочљивост обележених пешачких прелаза, ноћна уочљивост обележених пешачких прелаза, контраст између означеног пешачког прелаза и коловоза, дужина, размак и правац ознака пешачког прелаза, постојање и дужина непрекидне разделне линије пре пешачког прелаза, уочљивост саобраћајних знакова који означавају обележени пешачки прелаз, уочљивост семафора, трајање светлосног сигнала за пешаке, координација између пешачких прелаза и локације семафора, и уочљивост зауставне линије. Пето поглавље контролне листе односи се на осветљење и обухвата питања видљивости пешака ноћу и видљивости пешака у свитање и сумрак. Део који се односи на карактеристике саобраћаја обухвата брзину, велики проценат теретних возила и велики проценат моторизованих двоточкаша.

### **3. СПЕЦИФИЧНЕ ПРОВЕРЕ БЕЗБЕДНОСТИ ПЕШАЧКЕ ИНФРАСТРУКТУРЕ**

На основу приказане анализе саобраћајних незгода са настрадалим пешацима, као и литерарног прегледа у погледу карактеристика пута и околине пута као фактора безбедности пешака у саобраћају, и анализе светских искустава у погледу елемената контролних листи који се односе на безбедност пешака у саобраћају, у овом раду предложена је контролна листа за спровођење специфичних провера безбедности пешачке инфраструктуре. Предложена контролна листа састоји се од шест делова, и то: локација, тротоари и пешачке стазе, пешачки прелази, саобраћајна сигнализација, окружење и аутобуска стајалишта.

Први део контролне листе састоји се од општих питања која ближе описују локацију на којој се спроводи провера. Провера безбедности пешачке инфраструктуре се може спроводити за улицу, пут, део улице или деоницу пута, али и за раскрснице, поједине пешачке прелазе или тротоаре. Први део контролне листе обухвата следећа питања:

- Да ли је улица/пут у насељу или ван насеља?
- Назив улице/пута
- Да ли је пут државни?
- Колико саобраћајних трака по смеру има улица/пут?
- Колика је ширина коловозних трака и укупна ширина коловоза?
- Да ли између коловозних трака постоји разделно острво и колика је ширина острва?
- Каква је структура саобраћајног тока (теретна возила, аутобуси, моторизовани двоточкаши, бициклисти)?
- Колики је проток саобраћаја (ПГДС)?
- Да ли је присутна већа концентрација учесника у саобраћају који не спадају у категорију моторних возила (пешаци, бициклисти, радне машине, запрежна возила, итд.)?
- Колико је ограничење брзине у улици / на путу и на који начин је регулисано?

Други део контролне листе садржи питања која се односе на постојање тротоара или пешачких стаза и њихове карактеристике, те су у овом делу предложена следећа питања:

- Да ли постоји тротоар или пешачка стаза са десне стране улице/пута у смеру кретања?
- Колика је ширина тротоара / пешачке стазе са десне стране улице/пута у смеру кретања?
- Да ли постоји тротоар или пешачка стаза са леве стране улице/пута у смеру кретања?
- Колика је ширина тротоара / пешачке стазе са леве стране улице/пута у смеру кретања?

- Да ли је ширина тротоара довољна како би се обезбедило кретање пешака без силаска на коловоз?
- Да ли је тротоар / пешачка стаза одвојена од коловоза?
- Да ли се између тротоара и коловоза налази заштитна ограда?
- Да ли се ограда пружа у континуитету (није оштећена)?
- Да ли се на тротоару налазе паркирана возила која ометају безбедно кретање пешака дуж тротоара?
- Да ли се на тротоару налазе контејнери, тезге за продају робе или неки други објекти, растиње, предмети који ометају безбедно кретање пешака дуж тротоара?
- Да ли постоје канали и одводни системи који ометају безбедно кретање пешака?
- Да ли је пружање тротоара / пешачке стазе континуално (нема прекида тротоара, угажених путева, стаза обраслих растињем, итд.)?
- Да ли је површина тротоара / пешачке стазе одговарајућа?
- Да ли су тротоари / пешачке стазе прилагођени особама са посебним потребама? Да ли се на тротоарима / пешачким стазама налазе тактилне стазе за слепе и слабовиде особе?
- Да ли постоји осветљење дуж тротоара / пешачких стаза?
- Да ли задржавање воде на коловозу утиче на ометање кретања пешака - прскање пешака?
- Да ли задржавање воде на тротоарима утиче на ометање кретања пешака?
- Да ли је у зимским условима тротоар чист и проходан (очишћен снег)?
- Да ли су бицикличке стазе одвојене од тротоара?
- Да ли су бицикличке стазе намењене и за кретање пешака?

Следећи део контролне листе има за циљ да сагледа оне елементе пута који имају утицаја приликом преласка коловоза на обележеним пешачким прелазима. Како део контролне листе који се односи на тротоаре и пешачке стазе, тако и део који се односи на пешачке прелазе, разматра питања приступачности за особе са посебним потребама. Овим делом обухваћена су следећа питања:

- Да ли су пешачки прелази правилно димензионисани?
- Да ли су пешачки прелази јасно уочљиви дању?
- Да ли су пешачки прелази јасно уочљиви ноћу?
- Да ли пешаци могу лако да виде долазећи саобраћај?
- Да ли су одрасли пешаци лако уочљиви на пешачким прелазима?
- Да ли су деца и особе у инвалидским колицима лако уочљиви на пешачким прелазима?
- У каквом окружењу се налазе обележени пешачки прелази (близина школе, пијаце, тржног центра, супермаркета, итд.)?
- Да ли су пешачки прелази постављени на путањама којима се крећу пешаци?
- Да ли су пешачки прелази постављени тако да не подстичу прелазак коловоза на другим местима?
- Да ли су пешачки прелази усклађени са пешачким стазама?
- Да ли је тип пешачког прелаза у складу са ширином коловоза?
- Да ли је коловоз ужи на месту где се налази обележен пешачки прелаз? Колика је ширина коловоза на месту где се налази пешачки прелаз?
- Да ли је дозвољена брзина усклађена са типом пешачког прелаза?
- Да ли су пешачки прелази издигнути у односу на коловоз (нпр. платформа)?
- Да ли су испред пешачког прелаза постављени елементи за успоравање саобраћаја (нпр. „лежећи полицајци“)?
- Да ли су „лежећи полицајци“ правилно постављени и јасно обележени?
- Да ли су потребне додатне мере за успоравање саобраћаја које би утицале на смањење брзине пре пешачког прелаза?
- Да ли је довољно велика површина за број пешака који чекају да пређу коловоз на пешачком прелазу?
- Да ли постоји пешачко острво које омогућује пешацима да прелазак коловоза заврше у фазама?
- Да ли је пешачко острво довољно дугачко и широко да омогући пешацима и бициклистима да се зауставе и сачекају?
- Да ли је пешачко острво прилагођено особама са посебним потребама? Да ли постоје рампе на пешачком острву за особе са посебним потребама?



- Да ли је могућност уочавања пешака који желе да пређу коловоз ометена прописно или непрописно паркираним возилима?
- Да ли у близини пешачких прелаза постоји зеленило које омета прегледност или које би у одређеном годишњем добу могло да омета прегледност?
- Да ли је прегледност и могућност уочавања пешака који желе да пређу коловоз ометена зградама или неким другим објектима / визуелним препрекама?
- Да ли постоје усмеривачи за кретање слепих особа?
- Да ли постоје рампе дуж тротоара / пешачких стаза за особе са посебним потребама?
- Да ли постоји заштитна ограда испред пешачког прелаза која усмерава кретање пешака, онемогућава директан излазак на коловоз и усмерава им поглед ка надолазећем саобраћају?
- Да ли се ограда пружа у континуитету (није оштећена)?
- Да ли постоји јавно осветљење на месту где се налази обележен пешачки прелаз? Да ли осветљење исправно функционише?
- Да ли осветљење смањује уочљивост семафора и осталих саобраћајних знакова?
- Да ли постоје подземни или надземни пешачки пролази?
- Да ли у улици / на путу постоје пружни прелази за пешаке?
- Да ли у улици / на путу постоје пружни прелази за возила?
- Да ли су пружни прелази довољно квалитетно осветљени?

Посебан део контролне листе садржи питања која се односе на саобраћајну сигнализацију:

- Да ли је пешачки прелаз семафорисан?
- Да ли је рад семафора потребан и прихватљив за пешаке?
- Да ли је дужина трајања црвеног светла прихватљива за пешаке?
- Да ли су синхронизовани рад семафора и пешачки ход, тако да омогуће прелазак коловоза без стајања на пешачким острвима? Да ли пешаци морају да се неколико пута заустављају на пешачким острвима?
- Да ли је дужина трајања заштитног времена за пешаке довољна?
- Да ли је добро искоришћено време у циклусу? Да ли има непотребних стајања и задржавања пешака, када им је пролаз слободан и безбедан?
- Да ли на бочним скретањима на раскрсницама постоје семафори?
- Да ли су семафори на бочним скретањима потребни и прихватљиви за пешаке?
- Да ли је дужина трајања црвеног светла на бочним скретањима прихватљива за пешаке? Да ли има непотребних стајања и задржавања пешака, када им је пролаз слободан и безбедан?
- Да ли на светлосним сигналима за пешаке постоји посебан бројач за одбројавање времена до укључивања зеленог/црвеног светла?
- Да ли је трајање зеленог светла довољно како би старије особе и особе са посебним потребама могле безбедно да пређу коловоз?
- Да ли постоје звучни семафори за прелазак слепих и слабовидих особа преко коловоза?
- Да ли су саобраћајни знакови којима се означава пешачки прелаз правилно постављени? Да ли су јасно уочљиви и неоштећени (одговарајућа ретрорефлексија, итд.)?
- Да ли су остали саобраћајни знакови правилно постављени? Да ли су јасно уочљиви и неоштећени (одговарајућа ретрорефлексија, итд.)?
- Да ли је постављена вертикална сигнализација у складу са хоризонталном сигнализацијом?
- Да ли су ознаке на коловозу јасно уочљиве и неоштећене?
- Да ли су пружни прелази правилно обезбеђени (браници, полубраници, светлосна саобраћајна сигнализација)?
- Да ли у близини пешачких прелаза постоје дисплеји за приказивање тренутне брзине возила возачима или други уређаји?

Пето поглавље контролне листе садржи питања у вези са окружењем улице, односно, пута за који се спроводи специфична провера безбедности пешачке инфраструктуре:

- Да ли се уз улицу/пут налази школа?
- Да ли су границе зоне школе правилно обележене вертикалном и хоризонталном саобраћајном сигнализацијом?
- Да ли се уз улицу/пут налази пијаца или тржни центар?
- Да ли се уз улицу/пут налазе други објекти велике атракције који генеришу велики број пешачких кретања (продавнице, пекарне, фабрике, итд.)?

- Да ли је пешацима на путевима до ових објеката обезбеђено безбедно кретање?

Шесто поглавље контролне листе садржи питања која се односе на безбедно позиционирање аутобуских стајалишта дуж улице/пута. У овом делу предложена су следећа питања:

- Да ли постоје аутобуска стајалишта дуж улице/пута?
- Да ли су аутобуска стајалишта лако доступна и безбедна за пешаке?
- Да ли су аутобуска стајалишта правилно и јасно обележена?
- Да ли су аутобуска стајалишта издвојена у посебно изграђеним нишама?
- Да ли се испред аутобуског стајалишта налази обележени пешачки прелаз?
- Да ли се иза аутобуског стајалишта налази обележени пешачки прелаз?
- Да ли су аутобуска стајалишта функционално повезана са тротоарима / пешачким стазама?

### 3. ЗАКЉУЧЦИ И ДИСКУСИЈА

Унапређење безбедности саобраћаја може се постићи прилагођавањем учесника у саобраћају саобраћајном окружењу, али и прилагођавањем саобраћајног окружења учесницима у саобраћају. Управљачи путева морају обезбедити одговарајући ниво безбедности саобраћаја на постојећим путевима за све категорије учесника у саобраћају. Да би се постигао овај циљ, успешно управљање безбедношћу саобраћаја узима у обзир не само традиционалне корективне мере које су резултат анализа високоризичних локација, већ и цео животни циклус пута. Ниво безбедности постојећих путева се може унапредити кроз неколико врста процедура, као што су управљање црним тачкама, управљање безбедношћу путне мреже и провере безбедности саобраћаја.

Светска искуства у примени провере безбедности саобраћаја показала су значајно смањење броја саобраћајних незгода након примене корективних мера за уочене недостатке пута или околине пута. С обзиром на структуру учесника у саобраћају, у овом раду указано је на потребу спровођења провера безбедности саобраћаја са специфичним циљевима, како би се идентификовали проблеми из перспективе појединих учесника у саобраћају. Имајући у виду да су пешаци најрањивији учесници у саобраћају, у односу на остале учеснике, неопходно је унапредити безбедност ове категорије учесника у саобраћају, не само деловањем на фактор човек, већ и унапређењем осталих фактора – возила, и пута и околине пута. Због тога се провера безбедности саобраћаја издвојила као превентиван алат чијом се применом могу сагледати сви утицајни елементи пута и околине пута који могу утицати на могућност настанка и тежину последица саобраћајних незгода у којима учествују пешаци. Детаљном анализом елемената пешачке инфраструктуре могу се идентификовати проблеми пешака и предложити мере за унапређење безбедности ове категорије учесника у саобраћају.

Предложена контролна листа за спровођење специфичних провера безбедности пешачке инфраструктуре служи као подсетник за евидентирање проблема који су уочени приликом обиласка улице/пута и сагледавања елемената пута и околине пута који имају утицаја на безбедност пешака у саобраћају. Оне нису замена за знање и искуство стручњака за безбедност саобраћаја, који су битан фактор за процену важности уочених проблема и одабир мера које ће дати највеће ефекте у односу на уложена средства. Овакве специфичне провере безбедности пешачке инфраструктуре имају за циљ да, узимајући у обзир специфичне карактеристике пешака, унапреде знање о проблемима безбедности пешака у саобраћају.

### Литература

- [1] Rankavat, S.; Tiwari, G. 2016. Pedestrians risk perception of traffic crash and built environment features – Delhi, India. *Safety Science* 87 (2016) 1–7.
- [2] Papadimitriou, E.; Lassarre, S.; Yannis, G. 2016. Introducing human factors in pedestrian crossing behavior models. *Transportation Research Part F* 36 (2016) 69–82.
- [3] Cambon de Lavalette, B.; Tijus, C.; Poitrenaud, S.; Leproux, C.; Bergeron, J.; Thouez, J-P. 2009. Pedestrian crossing decision-making: A situational and behavioral approach. *Safety Science* 47 (2009) 1248–1253.
- [4] Cantillo, V.; Arellana, J.; Rolong, M. 2015. Modelling pedestrian crossing behaviour in urban roads: A latent variable approach. *Transportation Research Part F* 32 (2015) 56–67.
- [5] World Health Organization (WHO). 2013. Pedestrian safety: a road safety manual for decision-makers and practitioners. p. 37, 46, 47, 48.

- [6] Агенција за безбедност саобраћаја. 2015. Статистички извештај о стању безбедности саобраћаја у Републици Србији у 2014. години. стр. 30.
- [7] World Road Association (PIARC). 2012. Road safety inspection guidelines for safety checks of existing roads. p. 8.
- [8] Cardoso, J. L.; Stefan, C.; Elvik, R.; Sørensen, M. 2007. RIPCORDER-ISEREST Deliverable D5. Road Safety Inspections: best practice and implementation plan. p. 5, 12, 19.
- [9] Lipovac, K.; Vujanić, M.; Marić, B.; Nešić, M. 2013. The influence of a pedestrian countdown display on pedestrian behavior at signalized pedestrian crossings. Transportation Research Part F 20 (2013) 121–134.

# BEZBEDNOST NA CESTOVNO-ŽELEZNIČKIM PRELAZIMA U NIVOU I MOGUĆA REŠENJA ZA OSIGURANJE VEĆE BEZBEDNOSTI U REPUBLICI SLOVENIJI

**Stanko Laković<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo,  
prometno inženirstvo in arhitekturo,  
stanko.lakovic@um.si

**Rezime:** Bezbednosti cestovnog prometa na prelazima u nivou ceste preko železničke pruge u Republici Sloveniji prije svega povezana je sa nevažavanjem saobraćajnih pravila i u nekim slučajevima sa niskom kulturom i neodgovornosti sudionika u cestovnom prometu. U članku su prikazani statistički podaci o broju nezgoda i bezbednosti na cestovno-železničkim prelazima u nivou u Republici Sloveniji (2004-2014), kao i moguća rešenja za osiguranje veće bezbednosti i dostizanje krajnjeg cilja odnosno „Vizije 0“.

**Ključne reči:** cestovno-železnički prelaz u nivou, sigurnost u železničkom prometu

## SAFETY ON HIGHWAY-RAILWAY CROSSINGS AND POSSIBLE SOLUTIONS TO ENSURE GREATER SAFETY IN REPUBLIC OF SLOVENIA

**Abstract:** Safety of road traffic in levelled road crossings over railways in Republic of Slovenia is mainly related to failure to comply with traffic regulations and in certain cases to the low rate of culture along with irresponsibility of participants in road traffic. The article presents statistical data on the number of accidents and safety on levelled highway-railway crossings in Republic of Slovenia (2004-2014), as well as possible solutions to secure and reach the ultimate objective "vision 0".

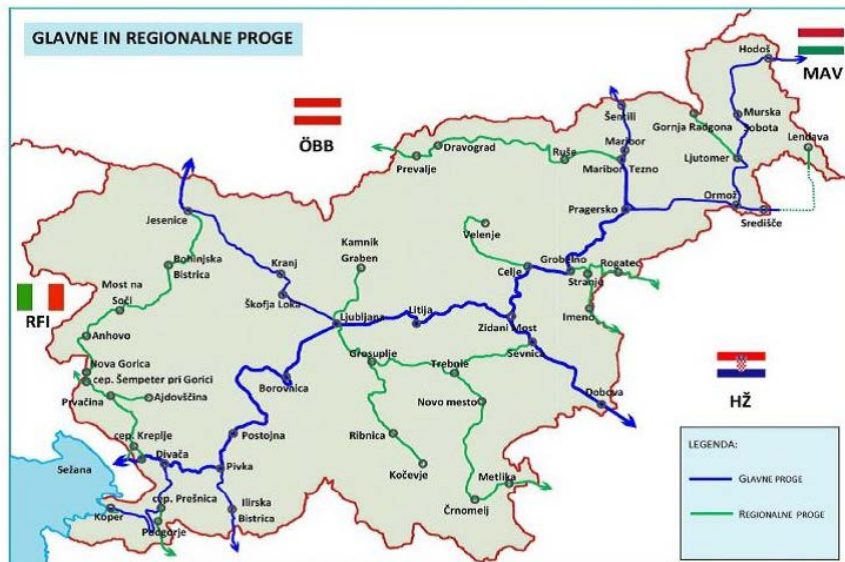
**Key words:** levelled highway-railway crossing, railway safety

---

<sup>1</sup> Stanko Laković: [stanko.lakovic@um.si](mailto:stanko.lakovic@um.si)

## 1. UVOD

Jedan od najsigurnijih načina putovanja još uvek je železnički promet, kako u Sloveniji tako i u Evropi. Javna železnička infrastruktura u Republici Sloveniji prikazana je na slici 1 gde su prikazane magistralne i regionalne pruge u sklopu V i X evropskog koridora. Ukupna dužina pruga je u RS je 1.207.701 km, a dužina dvokolosečnih pruga je 333.539 km.



**Slika 1. Javna železnička infrastruktura u Republici Sloveniji**

Izvor: <http://www.slo-zeleznice.si/sl/infrastruktura/javna-zelezniska-infrastruktura/zelezniske-proge>

Zbog potrebe poboljšanja bezbednosti na prelazima u nivou je napravljena ova analiza, namenjena pa je zainteresirani javnosti i struci. U članku su prikazani statistički podaci o broju i bezbednosti na cestovno-železničkim prelazima u Republici Sloveniji, kao i moguća rešenja za osiguranje veće bezbednosti i postizanje krajnjeg cilja, odnosno „Vizije 0“.

## 2. ANALIZA BEZBEDNOSTI NA CESTOVNO ŽELEZNIČKIM PRELAZIMA U NIVOU U RS

Prelaz u nivou uređuje se i ukida sukladno sa propisanim uslovima u važećim propisima Republike Slovenije zajedno sa upravljačima puteva. Uređenje odnosno ukidanje proverava komisija za NPr imenovana od strane Ministarstva za infrastrukturu, a koje su članovi i upravljači puteva i JŽI, lokalna zajednica, predstavnici Ministarstva za unutrašnje poslove i agencija za sigurnost. Trenutno je broj pojedinačnih prelaza u nivou prikazan u tabeli 1.

**Tabela 1. Opremljenost prelaza u nivou**

Opremljenost prelaza u nivou - kod ukrštanja železničke infrastrukture i puta u nivou (Prn)	
Svi Prn	787
Prn osigurani automatskom bezbednosnom napravom i rampama	284
Prn osigurani automatskom svetlosnom putnom signalizacijom	21
PRn osigurani mehaničkom napravom i zvučnom te svetlosnom signalizacijom	23
Prn pasivno osigurani putnom signalizacijom – Andrejin krst	451<

Izvor: <http://www.slo-zeleznice.si/>

Broj Prn u Sloveniji moramo ograničiti na najniži mogući za osiguranje bolje bezbednosti, što ćemo postići prije svega:

- ukidanjem Prn,
- uređenjem puteva za povezivanje između Prn i preusmeravanjem putnog saobraćaja na zajednički Prn, što pruža veću bezbednost prilikom prelaženja;
- ograničavanjem izgradnje novih Prn;
- prostornim planiranjem;
- izgradnjom prelaza izvan nivoa (nadvožnjaci - podvožnjaci).

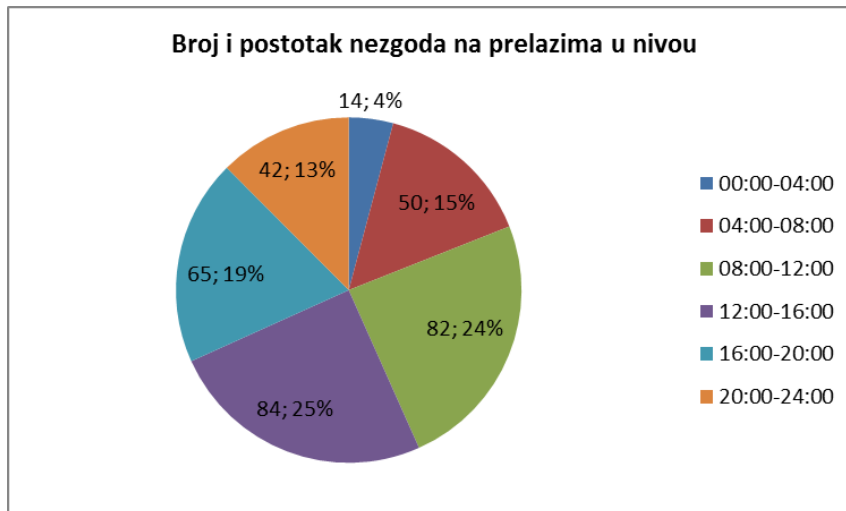
Taj trend smanjivanja broja prelaza u nivou je prikazan u tablici 2 iz koje je vidljivo, da smo imali u Sloveniji 2004. ukupno 974 prelaza u nivou, da bi godine 2014. došli na 787 prelaza u nivou. Istovremeno se je smanjio i postotak pasivno (nezaštićeni) osiguranih prelaza u nivou iz 70,23 % godine 2004. na 57,31 % godine 2014.

**Tabela 2. Broj prelaza u nivou (pasivno osiguranih) od 2004. – 2014. godine**

<b>Godina</b>	<b>Broj osiguranih Prn</b>	<b>Broj pasivno osiguranih Prn</b>	<b>Ukupno Prn</b>	<b>Postotak pasivno osiguranih Prn</b>
2004.	290	684	974	70,23%
2005.	334	638	972	65,64%
2006.	329	637	966	65,94%
2007.	334	610	944	64,62%
2008.	333	599	932	64,27%
2009.	340	573	913	62,76%
2010.	338	550	888	61,94%
2011.	335	505	840	60,12%
2012.	335	503	838	60,02%
2013.	340	492	832	59,13%
2014.	336	451	787	57,31%

Izvor: <http://www.azp.si>

Broj i postotak nezgoda na prelazima u nivou gledano po časovnim intervalima je prikazan na slici 2. Prikazana je statistika od 2004. godine do 2014. godine iz koje je vidljivo, da najviše nezgoda nastaje između 12 i 16 sati a na drugom mestu je između 8 i 12 sati.

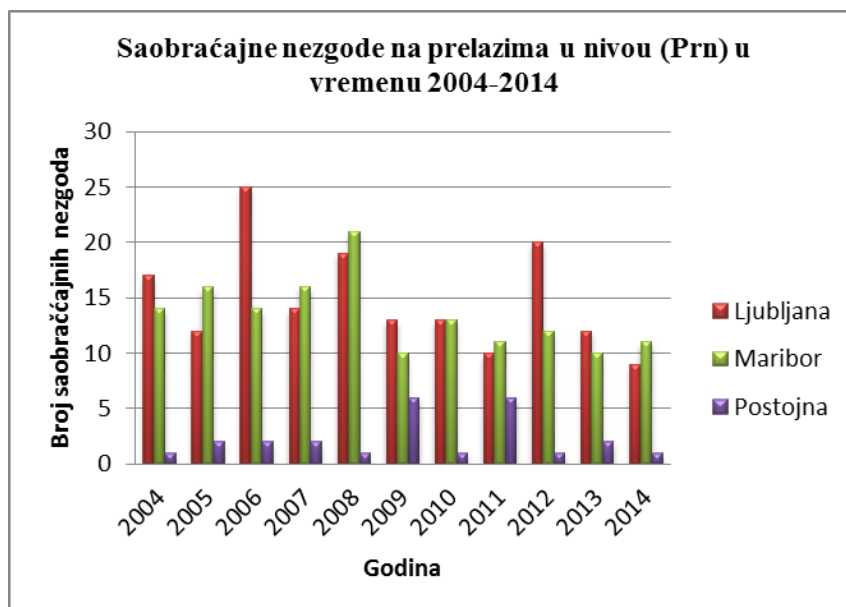


**Slika 2.** Broj i postotak nezgoda po intervalu časa

Izvor: <http://www.azp.si>

Saobraćajne nezgode na prelazima u nivou po godinama i po središtima u RS su vidne na slici 3. Najviše je saobraćajnih nezgoda bilo 2006. i 2008. godine po 41, a najmanje 2013. godine (24) i 2014. godine kad je bila samo 21 saobraćajna nezgoda.

U analiziranom vremenu je najviše saobraćajnih nezgoda zabeleženo u području, koje pokriva jedinica Ljubljana i to 164 (48,7 %), na drugom mestu je Maribor sa 148 saobraćajnih nezgoda, najmanje je zabeleženo na teritoriji koju pokriva jedinica iz Postojne samo 25 saobraćajnih nezgoda.



**Slika 3.** Saobraćajne nezgode na prelazima u nivou za Sloveniju

Izvor: <http://www.azp.si>

Iz tabele 3 je vidljivo da se na prelazima u nivou događa jako malo nezgoda u kojima nije učestvovalo železničko vozilo, u analiziranom razdoblju bilo ih je samo 18. U većini slučajeva kod nezgode na prelazima u nivou je učestvovao putnički voz (182) i teretni voz (113). Vidimo, da se zadnjih godina poboljšava bezbednost na prelazima u nivou.

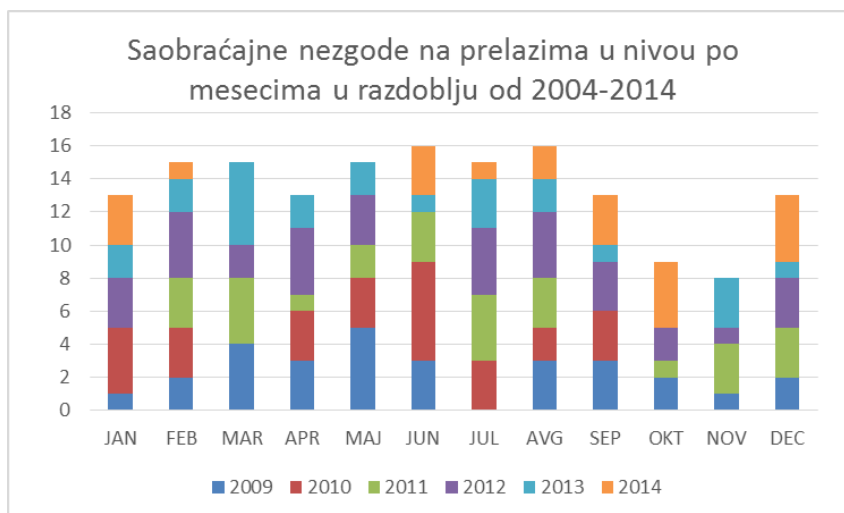
**Tabela 3.** Vrsta voza koja je učestvovala u saobraćajnoj nezgodi od 2004. – 2014. godine

Godina	Bez voza	Putnički voz	Teretni voz	Radni voz
2004.	4	16	11	1
2005.	0	16	12	2
2006.	3	24	10	4
2007.	1	15	13	3
2008.	2	22	14	3
2009.	3	16	9	1
2010.	0	13	13	1
2011.	4	15	7	1
2012.	0	21	9	3
2013.	1	9	9	5
2014.	0	15	6	0
Ukupno	18	182	113	24

Izvor: <http://www.azp.si>

Najviše je nezgoda na prelazima u nivou (slika 4), kumulativno bilo u juniju i avgustu (po 16) a najmanje oktobra (9) i novembra (8).

Najčešća je temperatura bila u trenutku nezgode od 10 do 20 °C. Ispod 0 °C su nezgode retke a ispod -10 °C su zabeležene samo 3.



**Slika 4.** Saobraćajne nezgode na prelazima u nivou po mesecima u razdoblju od 2004. – 2014.

Izvor: <http://www.azp.si>

### 3. ANALIZA SAOBRAĆAJNIH NESREĆ

#### Primjer 1

Na slici 5 vidimo tipičnu nezgodu na cestovno-železničkim raskrižjima u istoj razini i ako za tu nezgodu pogledamo novinarski opis nezgode: "Polu-rampe su bile spuštene, što je bilo nesporno. Zašto se vozač nije zaustavio te se je odvezao na prelaz nije poznato. Istraga će pokazati što se je događalo, izjavila je policija."

Prema do sada prikupljenim podacima sve signalno-sigurnosne naprave u vreme izvanrednog događaja su pravilno delovale. Isto tako do sada nisu bile utvrđene nepravilnosti koje se odnose na upravljanje strojovođe ili na samoj lokomotivi, koja je imala priključen teretni voz", izjavili su na železnici.

Ako pogledamo izjave meštana:



Obližnji meštani znali su reći da su bile na prelazima gde se je dogodila tragična nezgoda više puta spuštene polu-rampe, a da voz nije prošao, isto tako se ponekad rampe prilikom nailaska voza nisu niti spustile. Dobijemo opis nezgode koji je osnova za analizu pojedine nezgode zajedno sa ostalim tehničkim podacima.



**Slika 5. Saobraćajna nezgode na prelazu u nivou**  
Izvor: <http://www.slovenskenovice.si>

#### Primjer 2

U petak kasno navečer u Notarnji Gorici dogodila se je teška prometna nezgoda u kojoj su dva lica izgubila život. Kao što izveštava uprava za zaštitu i rešavanje, voz je udario u putničko vozilo. Odmah su delovali vatrogasci GB Ljubljana, PGD Brezovica i Gorice te hitna pomoć i policija, koji unatoč brznoj intervenciji nisu mogli spasiti ljudske živote. Do nezgode je došlo kada je 25-godišnji vozač iz Ljubljane vozio putničko vozilo po Podpečkoj cesti (iz pravca Brezovice prema Podpeči) te vozilo zaustavio ispred prelaza preko železničke pruge, gde su izmehično trepereća svetla na semaforu i spuštene polu-rampe upozoravale da se prelazu približava voz. Tokom čekanja na prelaz sa njegove desne strane je naišao voz, koji se je kretao iz pravca Borovnice. Nakon što je voz napustio prelaz u nivou preko železničke pruge, vozač je krenuo na železnički prelaz i tom prilikom vozio mimo spuštene polu-rampe, zatim je na sredini prelaza krenuo na tračnice, unatoč tome da su polu-rampe bile spuštene i da su na semaforu izmehično treperila crvena svetla. U tom trenutku je iz pravca Borovnice, odnosno s njegove leve strane naišao voz za prevoz putnika, koji je sa srednjim obijačem udario u bok putničko vozilo i gurao ga je približno 550 metara ispred sebe. Pri sudaru u putničkom vozilu umro je vozač i 21 godišnja suvozačica iz okolice Ljubljane.



**Slika 6. Saobraćajna nezgode na prelazu u nivou**  
Izvor: <http://www.slovenskenovice.si>

### Primer 3

Saobraćajna nezgoda na prelazu u nivou u mestu Vonarje dogodila se je 16. 9. 2013. u 6.17 časova u pravcu prema Cmerški Gorci. Slovenski časopisi su izveštavali da je do nezgode došlo zato jer se 63. godišnja vozačica putničkog vozila nije proverila sigurnost prelaza te je oduzela prednost vozu. Voz je u tom momentu vozio iz pravca Pristava prema Podčetrtku. Neizbežan sudar između voza i putničkog vozila bio je tako jak da su vozačica i 66 godišnji suvozač u vozilu umrli na mestu nezgode.

**Zaključak:** U velikoj većini slučajeva krivica za saobraćajnu nezgodu leti na ostale učesnike u saobraćaju i ne na železničko osoblje što i dokazujemo statistikom u tabeli 4. Uzimajući u obzir i tehničke mogućnosti voza i ostalih vozila, kao i pešaka.

U tablici 4 prikazan je broj umrlih putnika, železničkog osoblja i ostalih korisnika Prn iz kojeg vidimo, da umiru uglavnom ostali korisnici Prn. Iz toga bi mogli zaključiti da je potrebno puno više pažnje obratiti na rad sa ostalim korisnicima Prn (sudionici cestovnog prometa), kako bi se osigurala potrebna bezbednost.

**Tabela 4.** Broj umrlih u saobraćajnim nezgodama na prelazima u nivou (Prn) u periodu od 2004. do 2014.

Godina	Umrli putnici	Umrli železničari	Umrli ostali korisnici na Prn
2004.	0	0	4
2005.	0	0	3
2006.	0	0	9
2007.	0	0	10
2008.	0	0	4
2009.	0	0	7
2010.	0	0	10
2011.	0	0	2
2012.	0	0	4
2013.	1	0	4
2014.	0	0	3

Izvor: <http://www.azp.si>

## 4. PREVENTIVNE AKCIJE

Za poboljšanje stanja planirane su i izvedene različite preventivne akcije u kojima su korišteni različiti slogani, kao na primer u preventivnoj akciji u 2012. godini: „Zaustavite se. Voz se ne može“. Cilj preventivnih akcija je bilo da se deluje na ponašanje vozača i ostalih sudionika u cestovnom prometu te posebno smanjuje broj saobraćajnih nezgoda i njihovih posledica na prelazima u nivou. Svakako je potrebno savesno i dosljedno uvažavanje prometne signalizacije, kao ključne i najdelotvornije mere pojedinaca u cestovnom prometu prilikom prelaza u nivou ceste preko železničke pruge. Potrebno je nastaviti sa akcijama i upoznavanjem svih sudionika u prometu sa opasnostima na prelazima u nivou.

## 5. ZAKLJUČAK

Obzirom na to da u većini slučajeva stradaju sudionici cestovnog prometa, potrebno je više pažnje nameniti obrazovanju i osveščivanju vozača, kao i ostalih sudionika u cestovnom prometu, a posebno informiranju o prelazima u nivou.

Sami rezultati statističke analize su prikazani uz objavljene rezultate.

Na nekoliko prelaza u nivou u Sloveniji ne postoji odgovarajuća preglednost, potrebno ju je odmah osigurati u interesu bezbednosti na cestovno-železničkim križanjima u nivou, a isto tako potrebno je modificirati važeće pravilnike i zakone radi osiguranja bezbednosti.

Što možemo učiniti:

- novi zakoni na nivou EU i država (homogenizacija i poboljšavanje)
- uticaj na korisnike (učenje od vrtića i dalje, sigurnosna kultura, akcije, kontrola, nadzor i kazne, korišćenje medija, internet ...)
- smanjenje broja prelaza u nivou (ukidanje ili izgradnja nadvožnjaka/podvožnjaka),
- poboljšavanje bezbednosti na prelazima u nivou (osigurati preglednost, odgovarajuća oprema prelaza u nivou, odgovarajuće održavanje, dodatna sigurnosna oprema za nadzor, definiranje najmanje udaljenosti),
- popravljavanje i nabave novih železničkih vozila i sustava (kraći put kočenja, brzo opažanje opasnosti, nadzor nad delovanjem sustava),
- sudelovanje stručnjaka različitih sustava i struka (novi pristupi, tehničke inovacije, projekti, standardi, modeli rizika),
- sudelovanje stručnjaka za ceste i železnice (zajedničko rešavanje problematike, zajedničke inspekcije),
- sudelovanje sa lokalnim zajednicama, gde su locirani cestovno-železnički prelazi u nivou (posebno pri osiguravanju preglednosti i ukidanje prelaza, promena prostornog planiranja, itd).
- informisanje korisnika cestovnog prometa o vremenu čekanja,
- merenja uspeha i publikacije (ocenjivanje, objava na internetu, radiju, TV...).

Svesni smo toga da potpune bezbednosti nema, ipak je potrebno učiniti sve da osiguramo optimalnu sigurnost svim sudionicima i da sprečimo smrtne slučajeve kao i teške ozlede na cestovno-železničkim prelazima u nivou. Nikako ne smemo čekati na prometnu nezgodu sa 30 ili više umrlih ili ozleđenih, da bi nakon toga počeli ozbiljno uvoditi program za osiguranje veće bezbednosti sudionika na cestovno-železničkim prelazima u nivou (tehnologija „nagrobne ploče“).

## Literatura

- [1] Slovenske železnice, dostupno na: <http://www.slo-zeleznica.si>
- [2] Godišnje izveštaj o bezbednosti, AŽP – Javna agencija za železnički promet RS, 2004-2014.
- [3] Javna agencija za železnički promet RS, dostupno na: <http://www.azp.si>.
- [4] Pravilnik o prelazima u nivou, Službeni list RS, br. 85/2008, dostupno na: <https://www.uradni-list.si/1/content?id=88268>.

## STANJE SAOBRAĆAJNE BEZBEDNOSTI NA AUTOPUTNOJ MREŽI REPUBLIKE SLOVENIJE U SVETLU POSLEDNJIH VEĆIH SAOBRAĆAJNIH NEZGODA

**Stanko Laković<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo,  
prometno inženirstvo in arhitekturo  
stanko.lakovic@um.si

**Rezime:** Razloge za dugoročno smanjivanje broja saobraćajnih nezgoda u Sloveniji bilo bi potrebno potražiti u brojnim faktorima, koji su uticali na ukupno popravljavanje saobraćajne bezbednosti. U povezanosti sa auto-putevima i brzim putevima važna su dva faktora i to ubrzana izgradnja i predaja u Saobraćaj brojnih deonica autoputa. U članku su predstavljeni statistički pokazatelji i problemi kod osiguranja bezbednosti na autoputnoj mreži u Republici Sloveniji kao i moguća rešenja.

**Ključne reči:** saobraćajna nezgoda, autoput, bezbednost u drumskom saobraćaju

## CONDITION OF ROAD SAFETY ON THE HIGHWAY NETWORK IN REPUBLIC OF SLOVENIA CONSIDERING THE LATEST LARGER TRAFFIC ACCIDENTS

**Abstract:** The reasons for long-term decreasing of the number of traffic accidents in Slovenia should be searched for in various grounds that have affected the entire improvement process of road safety. In connection to highways this article presents statistical data and problems, as well as solutions to assure road safety on highway network in Republic of Slovenia.

*Key words:* traffic accidents, highway, road safety

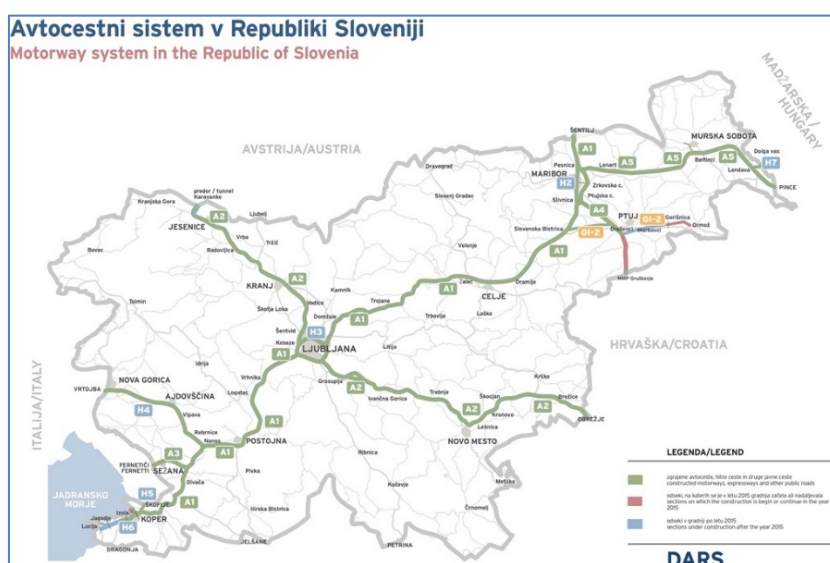
---

<sup>1</sup> Stanko Laković: [stanko.lakovic@um.si](mailto:stanko.lakovic@um.si)

## 1. UVOD

Gradnja auto-puteva razvijala se u skladu sa Nacionalnim programom za izgradnju auto-puteva. Glavni strateški cilj Republike Slovenije predstavljao je izgradnju auto-puteva uzduž V. i X. panevropskog koridora transevropske saobraćajne mreže. Analiza saobraćaja na pojedinim deonicama auto-puteva pokazala je da u Sloveniji ne raste samo mreža auto-puteva, nego da također raste i saobraćaj na auto-putevima.

S izgradnjom auto-puteva u Sloveniji počelo se 1970. godine. Tada je bio donet zakon o "dugoročnom programu za gradnju, rekonstrukciju i održavanje magistralnih i regionalnih puteva SR Slovenije u razdoblju 1971. – 1985., počelo se je s gradnjom prve deonice auto-puta između Vrhnike i Postojne. Do 1994. godine bilo je izgrađeno 139,3 km četvertračnih auto-puteva i brzih cesta te 59,1 km dvotračnih auto-puteva. Od početka usvajanja Nacionalnog programa izgradnje auto-puteva u Republici Sloveniji (NPIA), koji je stupio na snagu 1994. godine do danas u Sloveniji je izgrađeno 610 km auto-puteva, brzih puteva i drugih javnih puteva. DARS d.d. bio je osnovan skladno sa zakonom o Društvu za autoput u Republici Sloveniji 1993, poslovati je počeo 1. januara 1994. DARS d.d. trenutno upravlja sa ukupno 610 km autoputeva i brzih cesta, 163 km priključaka i delova, 27 km odmarališta na cesti i 7 km drugih cesta (slika 1).



Slika 1: Mreža auto-puteva u Republici Sloveniji

Izvor: <https://www.dars.si/>

Analiza saobraćajnih opterećenja govori da se je saobraćaj u zadnjim godinama znatno povećao na svim deonicama slovenskih auto-puteva. Značajno se je povećao saobraćaj teških teretnih vozila od kad je Slovenija postala punopravna članica Evropske Unije (godišnje i do 29 %). Veći porast saobraćaja sa sopstvenim vozilima možemo povezati s uvođenjem vinjetnog sistema naplate putarina u 2008. godini.

## 2. STATISTIČKA ANALIZA SAOBRAĆAJNIH NESREČA U RS

Saobraćajne nezgode u Sloveniji za 2014. i 2015. godinu prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1. Saobraćajne nezgode

Godina	Broj saobraćajnih nezgoda	Broj saobraćajnih nezgoda s poginulim licima	Broj saobraćajnih nezgoda s nastradalim licima	Broj saobraćajnih nezgoda s materijalnom štetom	Poginule lica	Teško ozleđene lica	Lakše ozleđene lica
2014	18.314	97	6.229	11.988	108	835	7.477
2015	17.943	112	6.473	11.358	120	932	7.778
15/14	- 2 %	+ 15 %	+ 4 %	- 5 %	+ 11 %	+ 12 %	+ 4 %

Izvor: <http://www.policija.si/>

U 2014. godini je udeo poginulih u nastradalim licima 1,3 posto, a teško ozleđenih 9,9 posto. U 2014. godini strukturu saobraćajnih nezgoda činile su 0,53 posto nezgode sa poginulima; 33,8 posto nezgode sa ozleđenima i 65,7 posto nezgode sa materijalnom štetom.

Osim broja poginulih lica na sto hiljada stanovnika, bitan pokazatelj sigurnosti drumskog saobraćaja je i broj poginulih lica na sto hiljada vozila te na sto hiljada vozača.

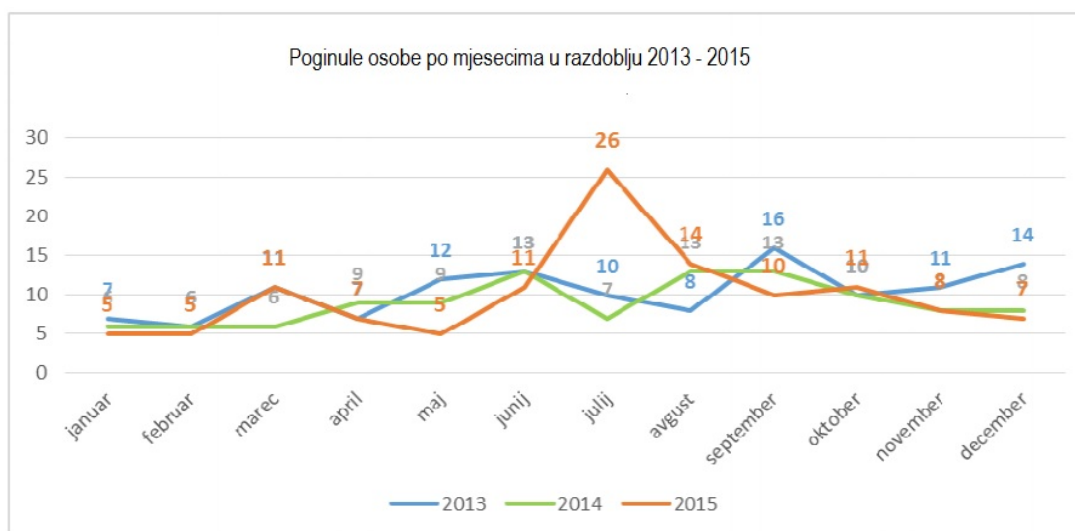
Najčešći uzroci saobraćajnih nezgoda u kojima su umrli učesnici su: neprilagođena brzina – na žalost u Sloveniji nemamo odvojenu statistiku za nepropisnu brzinu i brzinu neprilagođenu uslovima (34), nepravilnu stranu odnosno smer vožnje (41), ignorisanje prednosti prolaza (10), nepropisno preticanje (4).

Nažalost je u 2015. godini došlo do povećanja broja poginulih, teško ozleđenih lica kao i lakše ozleđenih lica, tako je trend pada broja poginulih, teško ozleđenih lica kao i lakše ozleđenih lica zaustavljen što je razlog za zabrinutost.

Veliki porast saobraćajnih nezgoda s poginulim licima je u 2015. nastao najviše u mesecu julu (slika 2).

Godina 2015. u pogledu broja saobraćajnih nezgoda bila je najuspešnja do sada. Upoređujući zadnje dve godine pokazuje se smanjenje broja saobraćajnih nezgoda, u 2015. godini se je desilo 17.943 saobraćajnih nezgoda ili 2 % manje nego u 2014. godini. Broj saobraćajnih nezgoda sa telesnim povredama se u poređenju sa 2014. godinom povećao za 5 %.

Kritičan broj umrlih koji je bio određen za 2015. godinu (na osnovu Rezolucije nacionalnoga programa bezbednosti drumskog saobraćaja za period 2013. – 2022.) – 115 umrlih, bilo je premašeno za 5 smrtnih slučajeva. Uprkos povećanom broju smrtnih slučajeva je 2015. godina druga najuspešnija godina po broju smrtnih slučajeva u periodu više od pedeset godina.



Slika 2: Poginula lica po mesecima u razdoblju 2013.-2015.

Izvor: <https://www.avp-rs.si/wp-content/uploads/2012/02/Analiza-in-pregled-stanja-varnosti-cestnega-saobraćaja-v-letu-20151.pdf>

Najčešći uzrok za nastanak saobraćajnih nezgoda u 2015. godini je nepravilno pomicanje sa vozilom – zbog spomenutog uzroka dogodile su se 4.317 saobraćajne nezgode odnosno 24% od ukupnih nezgoda. Zatim sledi uzrok neprilagođena brzina – 3.139 prometnih nezgoda odnosno 17% te nepravilna strana odnosno smer vožnje – 3.012 saobraćajnih nezgoda odnosno 17%.

Najčešći uzroci za nastanak prometnih nezgoda sa smrtnim posledicama u 2015. godini su:

- neprilagođena brzina – 42 saobraćajne nezgode sa smrtnim posledicama (49 umrlih lica),
- nepravilna strana odnosno smer vožnje – 31 prometna nezgoda sa smrtnim posledicama (31 umrlo lice),
- nepoštovanje pravila o prednosti – 19 prometnih nezgoda sa smrtnim posledicama (20 umrlih lica).

Zbog spomenutih uzroka za nastanak prometnih nezgoda sa smrtnim posledicama je 2015. godine umrlo 100 sudionika odnosno 83% od ukupnih umrlih.

### 3. STATISTIČKA ANALIZA SAOBRAĆAJNIH NEZGODA NA AUTOPUTU

V Sloveniji je skoro 39.000 kilometra javne mreže puteva.

Direkcija RS za infrastrukturu upravlja sa glavnim i regionalnim putevima te biciklističkim stazama, a sa ostalim putevima upravljaju drugi upravljači puteva (tabela 2).

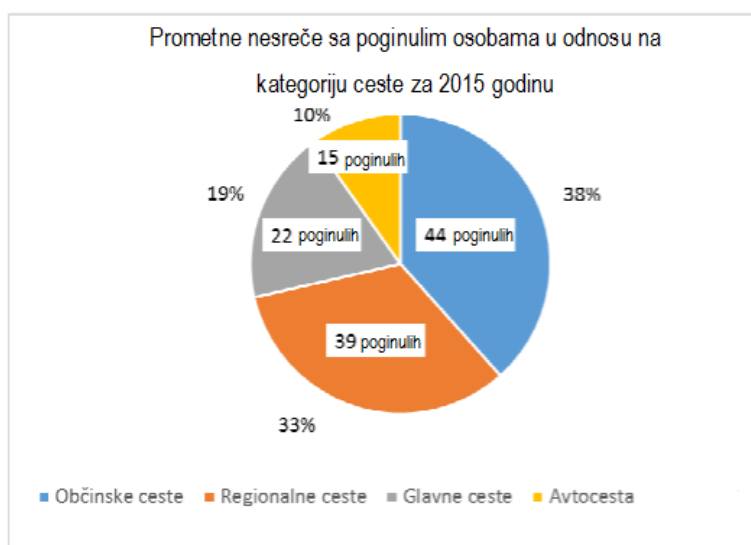
**Tabela 2. Kategorija ceste i upravitelji**

Kategorija puta	Dužina u km	Putevi u upravljanju
Autoputa i brzog puta	746	DARS d.d.
Glavni putevi	819	DRSI
Regionalni putevi	5.117	DRSI
Lokalni putevi	13.598	Lokalne zajednice
Javni put	18.626	Lokalne zajednice

Izvor: <http://www.di.gov.si/>

Godine 2003. na auto-putevima se je dogodilo 2.009 nezgoda ili 5% od ukupnog broja svih nezgoda, a 2014. godine se je na auto-putevima dogodilo 1.820 nezgoda ili 10% od ukupnog broja nezgoda. Jednak odnos se prenosi i na udeo sudionika u nezgodama na auto-putevima: godine 2003. bilo je 5% (3.828 sudionika) od ukupnog broja, godine 2014. bilo je 10% (3.406 sudionika) od ukupnog broja.

Najviše saobraćajnih nezgoda u 2015. godini se je dogodilo u naselju sa uličnim sistemom naime 8.783 saobraćajnih nezgoda ili 49 %. Sledi mu naselje bez uličnog sistema sa 2.636 saobraćajnim nezgodama ili 15 % učešćem i autoput – 1.748 saobraćajnih nezgoda ili 10 % od ukupnih nezgoda (slika 3). Na svim regionalnim putevima zajedno dogodilo se je 2.576 saobraćajnih nezgoda ili 14 %, na glavnim putevima zajedno 1.341 ili 7 %.

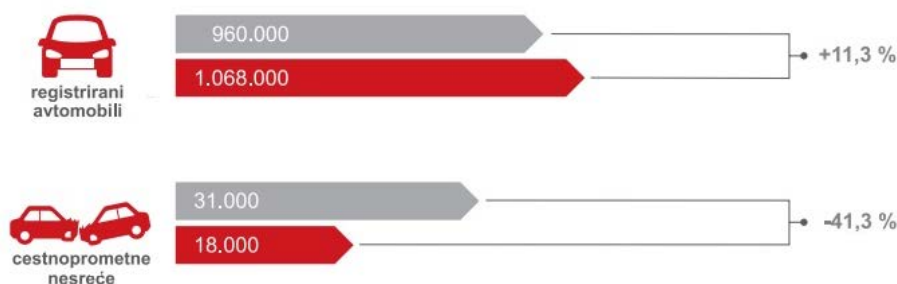


**Slika 3: Poginula lica prema kategoriji puta**

Izvor: <https://www.avp-rs.si/wp-content/uploads/2012/02/Analiza-in-pregled-stanja-varnosti-cestnega-saobračaja-v-letu-20151.pdf>

U 2014. godini u Sloveniji je bila prosečna starost putničkih vozila 9,4 godine. Od 2005. do 2014. porasla je za 1,9 godinu što se negativno reflektuje na bezbednost saobraćaja i mogućnost daljeg smanjenja saobraćajnih nezgoda i njihovih posledica.

Slika 4 prikazuje kako je rastao broj registrovanih putničkih vozila od 2005. godine do 2014. godine, kao i kako se je smanjivao broj saobraćajnih nezgoda. Vidimo, da je porastao broj registrovanih putničkih vozila za 11,3 % istovremeno ja pao broj saobraćajnih nezgoda za 41,3 % zahvaljujući politici upravljanja bezbednosti u drumskom saobraćaju.



**Slika 4:** Broj registrovanih vozila i nezgode 2005/2014 u RS

Izvor: <http://www.stat.si/StatWeb/Common/PrikaziDokument.ashx?IdDatoteke=8732>

Razloge za smanjivanje broja saobraćajnih nezgoda u Sloveniji potrebno je bilo potražiti u brojnim faktorima, koji su uticali na celokupno popravljivanje saobraćajne bezbednosti (tabela 3).

**Tabela 3.** Broj poginulih po godinama na auto-putnoj mreži u RS

Godina	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Dužina - km	303	307	336	417	471	489	521	657	726	761	763	773	773	773
Poginuli	20	22	23	24	26	30	33	11	22	18	19	18	16	16

Izvor: <https://www.avp-rs.si>

U

povezanosti sa auto-putevima i brzim putevima važna su dva faktora i to ubrzana izgradnja i predaja u saobraćaj brojnih auto-putnih deonica, od kojih su najviše doprinosili u celosti završeni autoputni krakovi u Pomurju i na Dolenjskom. Posredno na popravak saobraćajne bezbednosti imao je velik uticaj uvođenje načina plaćanja cestarine sa vinjetama i to za vozila do najveće dozvoljene mase 3,5 tona. Posledica načina plaćanja koja vredi od sredine 2008. godine bila je veliko preusmeravanje saobraćaja, prvenstveno putničkih vozila, sa regionalnih puteva na auto-puteve i brze puteve. Auto-putevi su još uvek najbezbedniji, po nekim izračunima su sedam do devet puta bezbedniji od ostalih puteva niže kategorije.

Na auto-putevima i brzim putevima, koje zauzimaju nešto više od 9 % dužine celokupne državne putne mreže, realizovano je 49 % saobraćaja, dok je na glavnim putevima koje zauzimaju nešto više od 12 % dužine celokupne državne putne mreže, realizovano nešto više od 17 posto saobraćaja, a na preostalim državnim putevima približno 34 % saobraćaja.

Godine 2014. u tunelima duljim od 500 m bilo je ukupno 51 nezgoda i incidenata u kojima je bilo potrebno intervenisanje hitnih službi i privremeno obustavljanje celokupnog saobraćaja u tunelu ili u njegovom delu. Najviše puta je bio primarni uzorak događaja saobraćajna nezgoda I. ili II. kategorije (33%), zatim slede kvar na vozilu (27%) i vožnja vozila u suprotnom pravcu (20 %). U vezi sa vožnjom u suprotnom pravcu potrebno je upozoriti na činjenicu da je bila evidentirana u više tunela vožnja u suprotnom pravcu, iako se je radilo o istom događaju (Trojanski tuneli 11. 1. 2014). U dva slučaja vožnja u suprotnom pravcu je završila sa lakšom saobraćajnom nezgodom i materijalnom štetom. Došlo je i do dva naleta vozila u strukturu – proširenje za zaustavljanje u tunelu, i nažalost završila je sa smrću oba sudionika te u jednom slučaju sa smrću suvozača, nažalost u oba slučaja se je radilo o neprimerenoj vožnji. U jednom od ova dva slučaja došlo je i do požara na vozilu, što je bio i jedini slučaj požara u tunelima 2014. godine. U težim saobraćajnim nezgodama bilo je pet teško ozleđenih sudionika, a jedan teško ozleđen sudionik je bio vozač, koji je sa vozilom zbog neprimerene vožnje naletao na betonski završetak proširenja za zaustavljanje u tunelu, koji je bio opremljen sa naletnim ublaživačem. Zabeleženi su i pojedinačni događaji, kao što je bio pešak u tunelu, smanjenja vidljivost, pad tereta iz vozila. Utvrđujemo:

- da je broj događaja još uvek mali i na nivou broja događaja zadnjih godina;
- da su bili događaji posledica ponašanja korisnika;
- da učestalost događaja nije bila utvrđena, kod čega je potrebno upozoriti na dejstvo da je nameštanje naletnih ublaživača u proširenje za zaustavljanje u tunelu u jednom slučaju već sprečila smrt sudionika i verovatno sprečila više namernih naleta sa težim posledicama, kao što smo ih zabeležili 2010. godine.

U tabeli 4 prikazani su podaci o posledicama saobraćajnih nezgoda za period od 2012. do 2014. godine.

**Tabela 4.** Broj poginulih po godinama na autoputu u RS



Godina	Kategorija puta	Bez nastradalih	Lakše ozleđene lica	Teško ozleđene lica	Poginuli
2014	AC	1.817	548	51	16
	HC	235	61	6	0
2013	AC	2.038	564	44	16
	HC	233	80	0	0
2012	AC	3.048	631	59	18
	HC	371	66	7	0

Izvor: <https://www.avp-rs.si>

#### 4. POSLEDNJE VEĆE SAOBRAĆAJNE NEZGODE

V nastavku sledi opis nekoliko većih saobraćajnih nezgoda na autoputu u RS.

##### Primer 1

Na primorskom autoputu između Kopra i Ljubljane na deonici od Senožeč prema Razdrtom, dana 30. 1. 2016. oko 14. sati dogodila se je teška saobraćajna nezgoda (lančani sudar). U njoj je sudelovalo 71 vozilo (slika 5) i 128 ljudi. Pri pomoći je sudelovalo 118 vatrogasaca. Prema službenim podacima umrla su četiri lica, a oko 30 sudionika bilo je ozleđenih. Prema prvim pokazateljima osnovni uzrok bila je magla – slaba vidljivost (vidljivost oko 50 m), neprilagođena brzina, premali bezbednosni razmak između vozila, kao i problemi kod zatvaranja autoputa (prema sadašnjim podacima jedan krak po kojem su dolazila vozila bio je fizički zatvoren tek 1 h i 35 min nakon što se je dogodila nezgoda).

U samoj saobraćajnoj nezgodi bilo je 8 saobraćajnih nezgoda u kojima je učestvovalo više vozila. Do prvog sudara je došlo između kamiona i kombi vozila stranih registarskih tablica, a i prvo putničko vozilo koji je u nastavku naletelo imalo je strane registarske tablice.

Kod prethodnih nezgoda na autoputu bio je zaključak, da su vozači i putnici najbezbedniji ako ostanu u vozilu jer ih vozilo štiti. Naime, nekoliko je vozača i putnika poginulo jer su izašli iz vozila poslije saobraćajne nezgode zato se je dogodilo da je kao na pešake na autoputu na njih naletelo vozilo. U ovom slučaju je to bila loša odluka jer su poginula lica koja su bila u zaustavljenim vozilima i na koje je s velikom brzinom naletelo teretno vozilo.



**Slika 5.** Saobraćajna nezgoda

Izvor: <http://www.delo.si/novice/kronika/na-primorski-avtocesti-verizno-trcenje.html>

##### Primer 2

Nesreću kod Postojne dana 28. 12. 2014. prouzrokovao je kamion koji se je prevrnuo i u kojega je pri slaboj vidljivosti udarilo više vozila. Umro je 25. godišnji državljanin Švicarske, ozleđenih je bilo 39 sudionika, među njima i troje teže. Zajedno je u nesreći sudelovalo 51 vozilo i približno 120 ljudi.

##### Primer 3

Na autoputu između Višnje Gore i Grosuplja je dana 28. 11. 2011. godine, zbog guste magle i neprilagođene brzine lančano se je sudarilo 38 vozila, u kojima je bilo 51 lice. Troje ih je umrlo.

#### *Primer 4*

Vožnja po nepravilnoj strani autoputa zbog velikih brzina u većini slučajeva se završava sa teškim posledicama. U biti više-manje se radi o teškim pogreškama vozača. Oni jednostavno ne uvažavaju saobraćajnu signalizaciju ili ne vide saobraćajnu signalizaciju te voze u suprotnom pravcu. Zbog vožnje u suprotnom pravcu na auto-putevima i brzim putevima 2014. godine prema podacima policije su umrla tri lica, 2013. u celoj godini jedno lica. Sustavi DARS-a inače 2014. godine su do 10. meseca na slovenačkim auto-putevima zabeležili 50 vožnji u nepravilnom pravcu, 2013. u cijeloj godini 54 vozila. Podaci DARS-a za autoputeve navode da je bilo u 2011. i 2012. godini nepravilnih vožnji (u suprotnom pravcu) više od 70, a 2010. godine bilo ih je 59. Razlozi, zašto je došlo do toga su različiti, ponekad nažalost radi se i o okladama ili samoubojstvima.

Vozač Fiat punta vozio je u suprotnom smeru po autoputu prema Grosuplju, tom prilikom je udario u vozilo koje pravilno vozi po svojoj strani, vozilo je bio švicarskih registarskih tablica. Počinio je na kraju nezgode umro, a pri sudaru ozledili su se putnici u terenskom vozilu. Zbog nezgode je do sudara došlo i između četiri vozila, koja su izbegavala posledice prve saobraćajne nezgode.

Nešto prije 18. sati došlo je do nezgode u tunelu Jasovnik u pravcu Celja. »Na osnovu sada prikupljenih obavesti poznato je da je vozač putničkog vozila udario u zid proširenja za zaustavljanje u tunelu. U nezgodi je vozač zadobio teške telesne ozlede te je na mestu nezgode i umro« javili su iz PU Ljubljana.

U tunelu Kastelec dogodila se je saobraćajna nezgoda. Vozač se je u pravcu prema Kopru sa automobilom zaletio u zaključak proširenja za zaustavljanje u tunelu i umro. Vozilo je nakon sudara izgorelo i isto tako su morali intervenisati vatrogasci.

## **5. ZAKLJUČAK**

Dinamičan razvoj saobraćajnih sredstava, pravila kao i novih infrastrukturnih mera, zahtevaju stalno dopunjavanje znanja, spretnosti i načina sudelovanja u saobraćaju. Za bezbedno sudelovanje u saobraćaju nužno je doživotno učenje i održavanje vozačkih spretnosti.

Zdravstvena zaštita ozleđenih u saobraćaju kompleksna je i multidisciplinarna, jer obuhvata tehničke i zdravstvene aspekte rešavanja te koordinaciju celokupnih mera. Rešavanje na mestu nezgode i zdravstvenu zaštitu tokom transporta ozleđenih treba u celosti poboljšati.

Putna mreža iz godine u godinu je starija i potrebno ju je planski obnavljati i slediti najnovija rešenja u svetu. Bezbednost na autoputu u Sloveniji u odnosu na neke pokazatelje se smanjuje, sve je veći postotak sudionika i poginulih u nezgodama na autoputu. Saobraćaj se povećava, kao i saobraćaj teških teretnih vozila (luka Kopar).

Potrebno je onemogućiti vožnju u suprotnom pravcu na autoputu, kao i poboljšati obaveštavanje sudionika o događanjima na autoputu (magla, sneg, vožnja u suprotnom pravcu, vetar ...). Potrebno je i sa kontrolisanjem sankcionisati vozače koji „divljaju“ na autoputu (uvesti autoputnu policiju) kao i preventivno delovati.

Izuzetno negativno je i stanje putničkih vozila, koja su prestara te imaju veoma malo zaštite za vozače kao i ugrađene pomoći za vozače. U tom delu bila bi nužna pomoć države sa merama stimulanja kupovanja novih vozila, kao i definisanje minimalne opreme, koja mora biti ugrađena u vozilo za prodaju u Sloveniji (obavezno – sva oprema koja osigurava i poboljšava bezbednost u putnom saobraćaju).

Zbog povećanja saobraćaja teških teretnih vozila kao i uticaja na saobraćaj na autoputu uopšte, potrebno je bitno povećati kontrolu tehničkog stanja vozila, stanja vozača kao i osovinskog opterećenja (koja su ponekad bitno premašena – što negativno utiče na ishod saobraćajnih nezgoda kao i na stanje kolovoza).

Svedoci smo i bitnog povećanja upotrebe telefona med vožnjom, to bi bilo potrebno možda i tehničkim merama sprečiti u celosti.

Potrebno je definisati procedure u slučaju saobraćajne nezgode kako za DARS, tako i za sudionike saobraćajne nezgode.

## Literatura

- [1] Rezolucija o nacionalnem programu bezbednosti saobraćaja za razdoblje 2013-2022 (zajedno za veću bezbednost), dostupno na: [http://www.avp-rs.si/images/dokumenti/SARK/nacionalni\\_program/nacionalni\\_program\\_2013\\_2022.pdf](http://www.avp-rs.si/images/dokumenti/SARK/nacionalni_program/nacionalni_program_2013_2022.pdf) (11.03.2016).
- [2] Ministarstvo za infrastrukturu RS, dostupno na: <http://www.mzi.gov.si> (11.03.2016).
- [3] Statistički ured RS, dostupno na: <http://www.stat.si/statweb/> (11.03.2016).
- [4] Ministarstvo za unutrašnje poslove – policija - statistika, dostupno na: <http://www.policija.si> (11.03.2016).
- [5] Javna agencija RS za bezbednost saobraćaja, dostupno na: <http://www.avp-rs.si/> (11.03.2016).
- [6] Društvo za autoput u Republici Sloveniji, <http://www.dars.si/> (11.03.2016).
- [7] Novine Delo, dostupno na: <http://www.delo.si/> (11.03.2016).
- [8] Direkcija Republike Slovenije za infrastrukturu, dostupno na: <http://www.di.gov.si/> (11.03.2016).

# SCENARIO PLANNING FOR CLIMATE CHANGE ADAPTATION IN SLOVENIA: THE CASE OF SETTLEMENTS AND TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE IN THE GORENJSKA REGION

**MSc Andrej Gulič**

Urban Planning Institute of the Republic of Slovenia (UIRS), Trnovski pristan 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenia, <http://www.urs.si/en/Home/Aboutus.aspx>, [andrej.gulic@urs.si](mailto:andrej.gulic@urs.si)

**Abstract:** *The vulnerability of settlements and transportation infrastructure in the Gorenjska region to climate change is estimated as high. The estimation reflects the relatively high sensitivity to extreme weather events which trigger processes that have adverse impacts on settlements and transportation infrastructure. A relatively high proportion of them are located on exposed areas. In the project C3-Alps in which the Urban Planning Institute RS was involved as a partner three scenarios of adapting the settlement system and transportation infrastructure to climate change impacts were developed: scenario of spontaneous adaptation, scenario of withdrawal and scenario of enhanced protection. By applying the scenario planning method to the topic of adapting to climate change we were able to: effectively investigate the possible future responses to climate change impacts, achieve a more active participation of, as well as a greater motivation and awareness among, the stakeholders and encourage the preparation of expert studies for spatial development measures which will serve as a basis for effective adaptation to the impacts of climate change.*

**Key words:** *Climate changes, adaptation, adaptation scenarios, vision, concept, strategy, C3-Alps, UIRS.*

## 1. INTRODUCTION

The policy field of climate change adaptation in Slovenia is characterized by inconstancy. In 2008, the Strategy for adaptation of the Slovenian agriculture and forestry to climate change was adopted. It was followed by preparation of action plans for the years 2010 and 2011. In 2009, the Slovenian National Assembly adopted a declaration on the active role of Slovenia in the creation of a new global policy on climate change and established climate change as a priority. In 2010, the Government Office of Climate Change started to draft the Climate Change Act and to prepare the long-term low-carbon strategy of Slovenia to determine the national policy of climate change mitigation and adaptation till 2060. The draft Climate Change Act and the national long-term low-carbon strategy have been subject to extensive public debate and were expected to be adopted by the National Assembly in 2012. After the parliamentary elections in 2012 the situation changed to almost total neglect of the climate change topic. The Government Office of Climate Change was abolished. The adoption of the law and the strategy was withdrawn from the parliamentary procedure. The field of climate change was shifted to the Ministry of agriculture and the environment. The climate change adaptation policy in Slovenia has, in the past years, been challenged by the political instability in the country, as well as by the progressing economic and financial crisis. Nowadays the crisis is being successfully managed, but the climate change adaptation policy is still an open question.

Within the broader context described above the Urban Planning Institute of the Republic of Slovenia (in the following UIRS) participated as a partner in the project C3-Alps - Capitalizing Climate Change Knowledge for Adaptation in the Alpine Space. The main aim of the C3-Alps project was, on the one hand, to synthesize, transfer and implement in policy and practice the results of the previous Alpine Space projects dealing with climate change adaptation. On the other hand, the aim of the project was to contribute to implementation of the national adaptation policies on the regional and municipal levels and to the advancement of the national adaptation strategies.

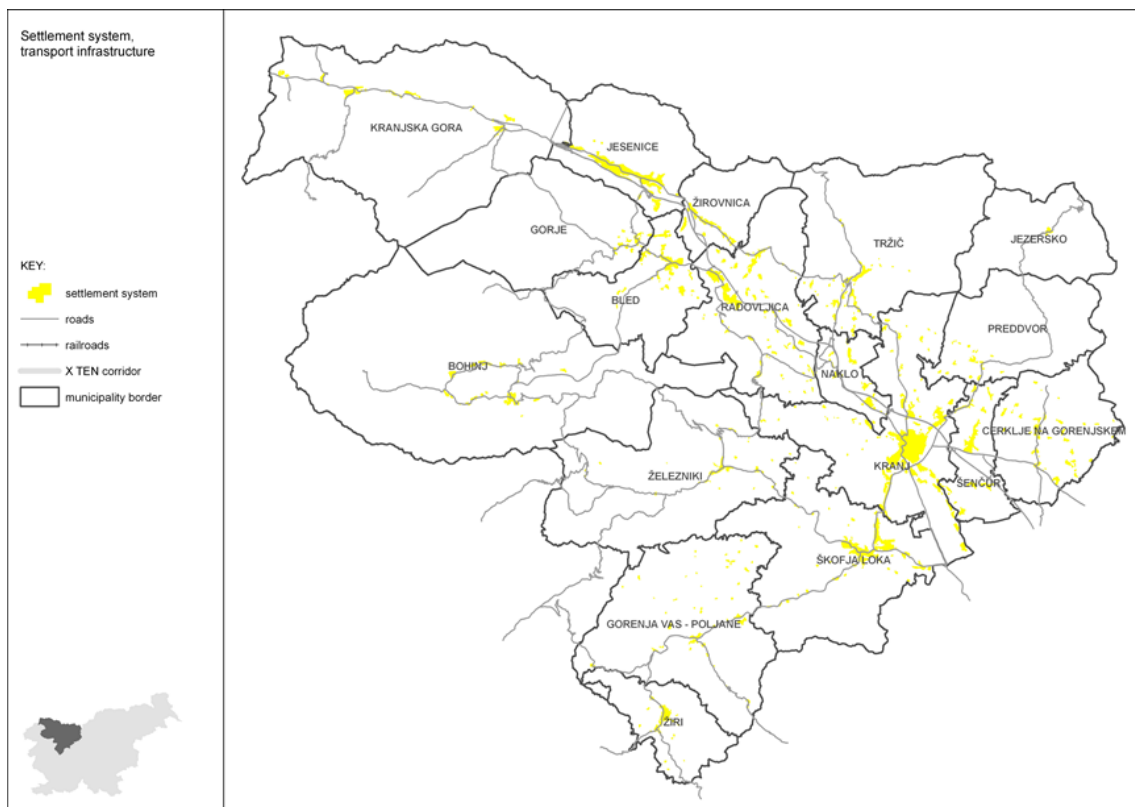
In the frame of the C3-Alps project two pilot activities were implemented in Slovenia in two statistical regions, namely Gorenjska and Koroška. This paper describes the results of the activities that took place in the Gorenjska region.

The Gorenjska region lies in the northwest of Slovenia. 70% of the region is of mountainous character while 30% lie in the depressed part of the central Slovenia. Gorenjska is an Alpine and sub-Alpine region with relatively large differences in altitude between valleys and mountain tops. Approximately 40% of the region is more than 1.000 m above sea level. The undulating relief is characteristic for the region; there are hills of contrasting relief with wider valleys in between and flat valley bottoms, created by the river deposits. The distinctive feature of landscape in the Gorenjska region is forest: 77 % of the land is covered with forests, 13,3 % is agricultural land and 9,4 % infertile land. Areas reverting to natural vegetation are increasing. A large part of the Gorenjska region is protected as the Triglav national park. Almost 45 % of the territory is

designated as a NATURA 2000 area. Compact settlements are found in wider flat areas at the bottom of the valleys. Scattered settlements and solitary homesteads are characteristic of the mountainous and hilly parts of the region. The region consists of 18 municipalities with 204.170 inhabitants, density of population is 95 inh./km<sup>2</sup>. The dominant sectors are services (57%), industry (41%) and agriculture (2%). GDP per capita in purchasing power standards of the region was 14.958 EUR in 2013. The position of the Gorenjska region in Slovenia and its settlements and transportation systems are illustrated in Figure 1.

Considering the already mentioned absence of legal and strategic documents dealing with climate change issues and adaptation / mitigation solutions at the state, regional and local level, the UIRS team decided to carry out workshops in the pilot area with the aim to improve information, awareness raising and involvement of various stakeholders. Climate change adaptation scenarios, a vision, concept, strategy, action plan and a decision support system were prepared. The action plan and decision support system proposals included, in addition to the regional and local levels, also the state level. In this way, a very clear signal of the need for urgent activation in the field of climate change adaptation (and mitigation too) was given to the responsible state authorities.

We have assumed that by applying the scenario planning method to the topic of adapting to climate change we would be able to: effectively investigate the possible future responses to climate change impacts, achieve a more active participation of, as well as a greater motivation and awareness among, the stakeholders and encourage the preparation of expert studies for spatial development measures which will make possible effective adaptation to the impacts of climate change.

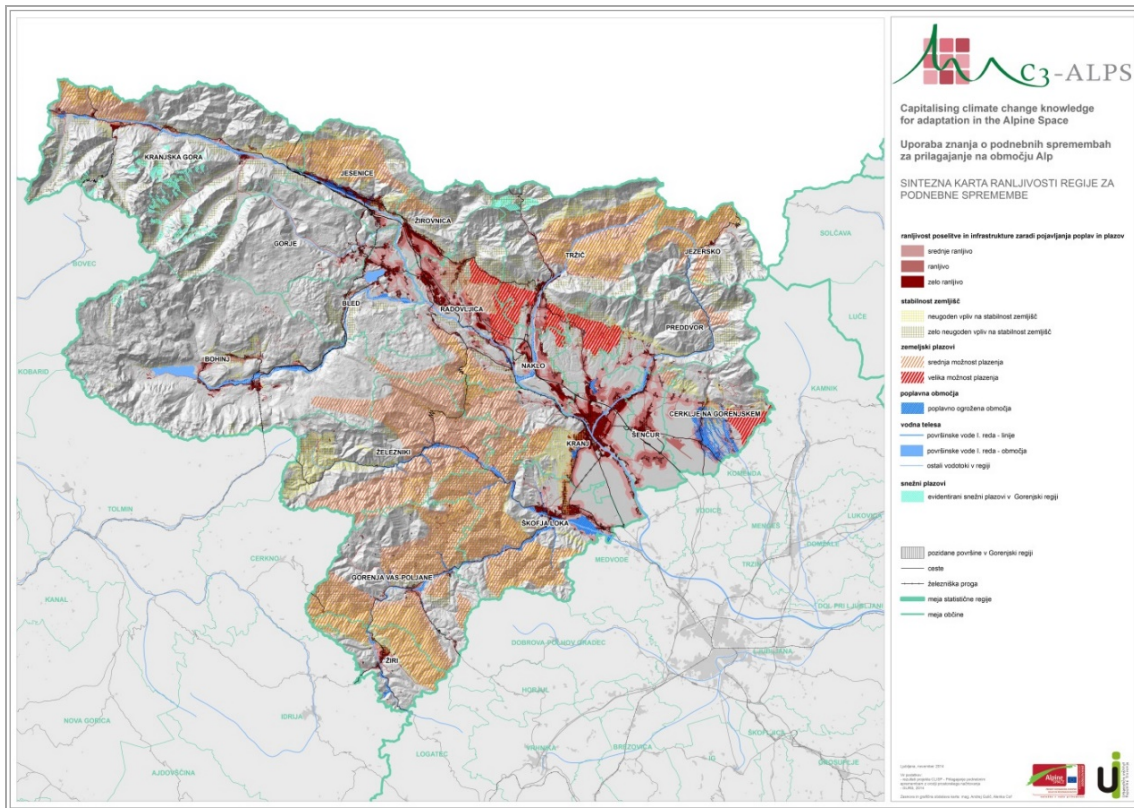


**Figure 1.** Settlement system and transport infrastructure in the Gorenjska region  
 Source: (CLISP, 2011)

## 2. VULNERABILITY OF SETTLEMENTS AND TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE IN THE GORENJSKA REGION

Vulnerability assessment of the Gorenjska region to climate change was carried out in the project CLISP - Climate Change Adaption by Spatial Planning in the Alpine Space and upgraded in the C3-Alps project. The results show that of the most important systems in the region (tourism and recreation, energy, agriculture and forestry) the settlements and transportation infrastructure are the most vulnerable to climate change impacts. The estimation reflects the relatively high sensitivity of the territory to extreme weather events which trigger processes that have adverse impacts on settlements and transportation infrastructure. In the region,

an increased frequency and intensity of extreme weather events has already been detected and recorded. A relatively high proportion of settlements and transportation infrastructure is located on exposed areas and areas that are less suitable for construction (near rivers, flood plains etc.) (Figure 2).



The overall adaptive capacity to the impacts of climate change has been assessed as moderate, initiatives to develop suitable measures occur mainly at the national level. At the local level, municipalities do not directly consider the climate change adaptation issues, however many of them prepare various measures aimed at reducing the negative impacts particularly of floods and droughts. Among them the most common are e.g. avoiding construction in areas which were already flooded, rehabilitation of watercourses, and construction of dry reservoirs, dikes and retaining walls. The Gorenjska region as a whole exhibits a medium level of vulnerability to climate change. In Table 1 and Table 2 the levels of vulnerability of the settlements and transport infrastructure are presented.

The data supplied in Table 1 show that more than 63% of the settlement areas in the region are characterized by a high or very high vulnerability to climate change. Besides, 21% of the buildings in the region are located on unstable soils, 2, 4% in landslides areas and 10% in areas of frequent and catastrophic flooding.

**Table 1. Surface and share of vulnerable settlement areas in the region**

Settlements	Level of vulnerability				in total
	very low / low	medium	high	very high	
Surface (ha)	949 ha	580 ha	796 ha	1.852 ha	4.178 ha
Share (%)	22,71 %	13,89 %	19,05 %	44,35 %	100 %

Source: (Gulič, A., Cof. A., 2014)

The data in Table 2 show that more than 60% of the transportation infrastructure facilities surface is characterized by a high or very high vulnerability to climate change. Besides, 3% of transportation infrastructure facilities are located in areas where the risk of occurrence of landslides is high; 18% in areas with a mean land sliding incidence; 38% on land with an inclination of more than 15%.

**Table 2. Surface and share of vulnerable transportation infrastructure facilities in the region**

Transportation infrastructure	Level of vulnerability				
	very low / low	medium	high	very high	in total
surface (ha)	286 ha	112 ha	575 ha	42 ha	1.015 ha
share (%)	28,11 %	11,07 %	56,58 %	4,16 %	100 %

Source: (Gulič, A., Cof. A., 2014)

### 3. SCENARIOS OF SETTLEMENTS AND TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE IN THE GORENJSKA REGION

In the field of adaptation to climate change spatial development scenarios are recognized as one of the expert tools that can help to improve the: (1) understanding of spatial trends, impacts and risks of climate change adaptation; (2) effectiveness of the preparation of spatial components of long-term strategic plans (or spatial plans) for adaptation to climate change; (3) implementation of long-term strategic plans (or spatial plans) for adaptation to climate change. Furthermore, the scenario planning of adaptation to climate change is recognized as one of the expert tools that can contribute to a more efficient and interconnected preparation of documents of spatial and development planning at the regional level with positive effects on the preparation of such documents at the national and local level.

Following is the presentation of three possible scenarios of adaptation to the impacts of climate change for the Gorenjska region: the scenario of spontaneous adaptation, the scenario of withdrawal and the scenario of enhanced protection. The scenarios encompass the period of time until the year 2030.

#### 3.1. Scenario of spontaneous adaptation

##### 3.1.1. Basic assumptions

Adaptation to climate change will, similarly to adaptation to economic and social changes, take place mainly at the level of individual stakeholders (individuals, households, local communities and enterprises). They will search for suitable solutions to solve their problems in a largely unrelated and uncoordinated manner. Measures taken to adapt to the impacts of climate change will depend on the knowledge and awareness of stakeholders about the nature and severity of impacts, as well as on their objective capacities and willingness to react in a given situation.

##### 3.1.2. Possible tendencies and trends in the settlement system

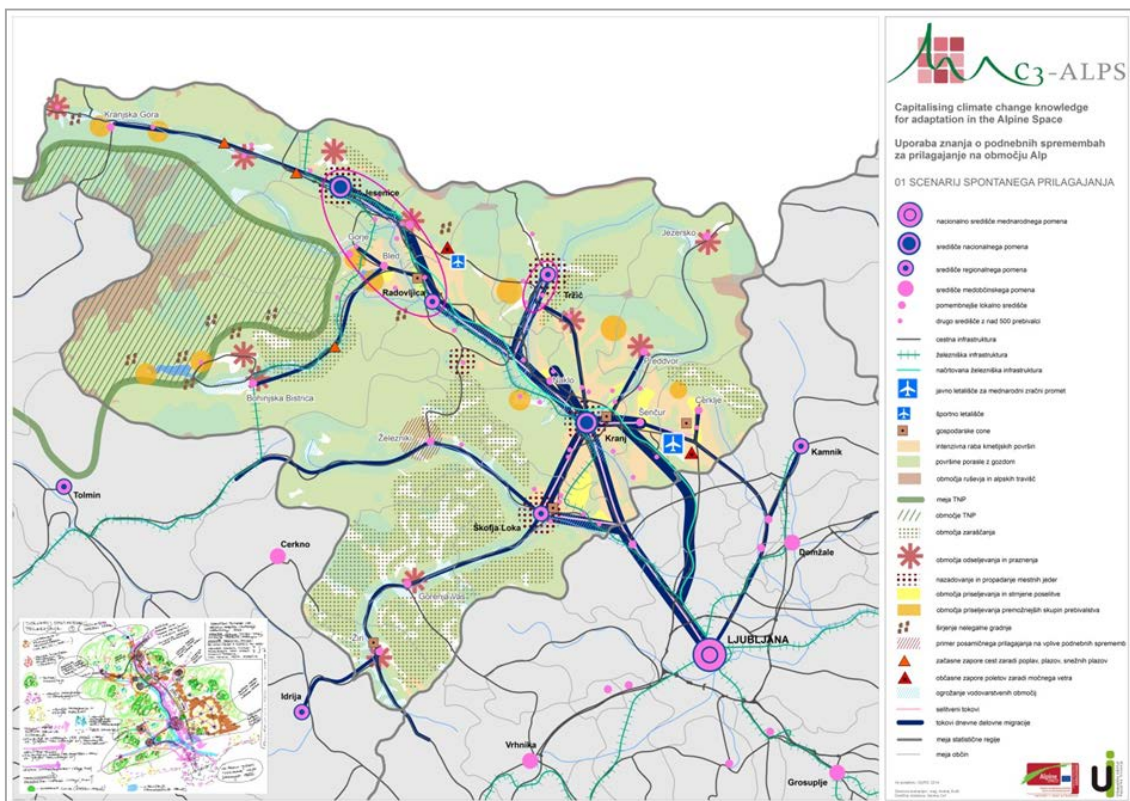
The daily labour mobility from the settlements in the peripheral and less developed areas of the Gorenjska region, which are also highly vulnerable to climate change, is increasing. This is in line with an acceleration of the permanent rural outmigration. The latter results in further depopulation of smaller settlements as well as settlements which are distant from the main regional centres.

The migration flows are oriented particularly toward the main regional employment centers and to the nearby Ljubljana and Ljubljana urban region (LUR). Settlement areas located near the main centres are extending along the modern transport (road) infrastructure in a predominantly suburban and dispersed settlement pattern. Population mobility and migration are, to a limited extent, directed also in the opposite direction. Secondary home zones near the protected natural areas are becoming areas of permanent residence. Processes of spontaneous growth of holiday settlements, continuation of the transformation of the shepherds' huts in holiday and permanent residences, further expansion of holiday homes in hilly and mountainous areas, as well as a shrinking of protected areas, are continuing. Inhabitation is maintained in rural areas at higher altitudes which are closer to the central settlement areas. Problems are expected in tackling the issue of the existing illegally built houses. Spontaneous adaptation at the individual or local level prevails among the stakeholders that remain on locations vulnerable to climate change.

##### 3.1.3. Possible tendencies and trends in the field of transportation infrastructure and accessibility

The limited financial resources of the state are directed primarily into the maintenance, renovation and construction of the key transportation infrastructure. The maintenance of the extensive regional road network

and local routes is rendered difficult and depends on the availability of financial resources and skills of local communities. The public transport system is not well enough developed. As regards the volume, quality and prices it is "overtaken" by passenger transport undertaken by private cars. Due to the increased incidence of flooding and landslides, access to some areas can be restricted for longer periods of time (Figure 3).



**Figure 3.** Scenario of spontaneous adaptation of the settlement system and transportation infrastructure in the Gorenjska region  
Source: (Gulič, A., Cof. A., 2014)

### 3.2. Scenario of withdrawal

#### 3.2.1. Basic assumptions

Due to the insufficient responsiveness of the state, lack of concrete climate change adaptation policies and measures, lack of public finances to increase resilience to climate change, low adaptive capacity, negative experiences and the rising costs from repeated cycles of phenomena "storm - damage - remediation of damage - storm - damage", individual stakeholders gradually withdraw from areas of frequent occurrence of natural disasters. They move their homes and/or economic activities to areas with lower degree of vulnerability to be found in broad plains at the bottom of the valleys within the Gorenjska region, which are concentrated on the development axis in the direction of Jesenice - Radovljica - Kranj - Šenčur - Škofja Loka, as well as outside of the region in Ljubljana (LUR).

#### 3.2.2. Possible tendencies and trends in the settlement system

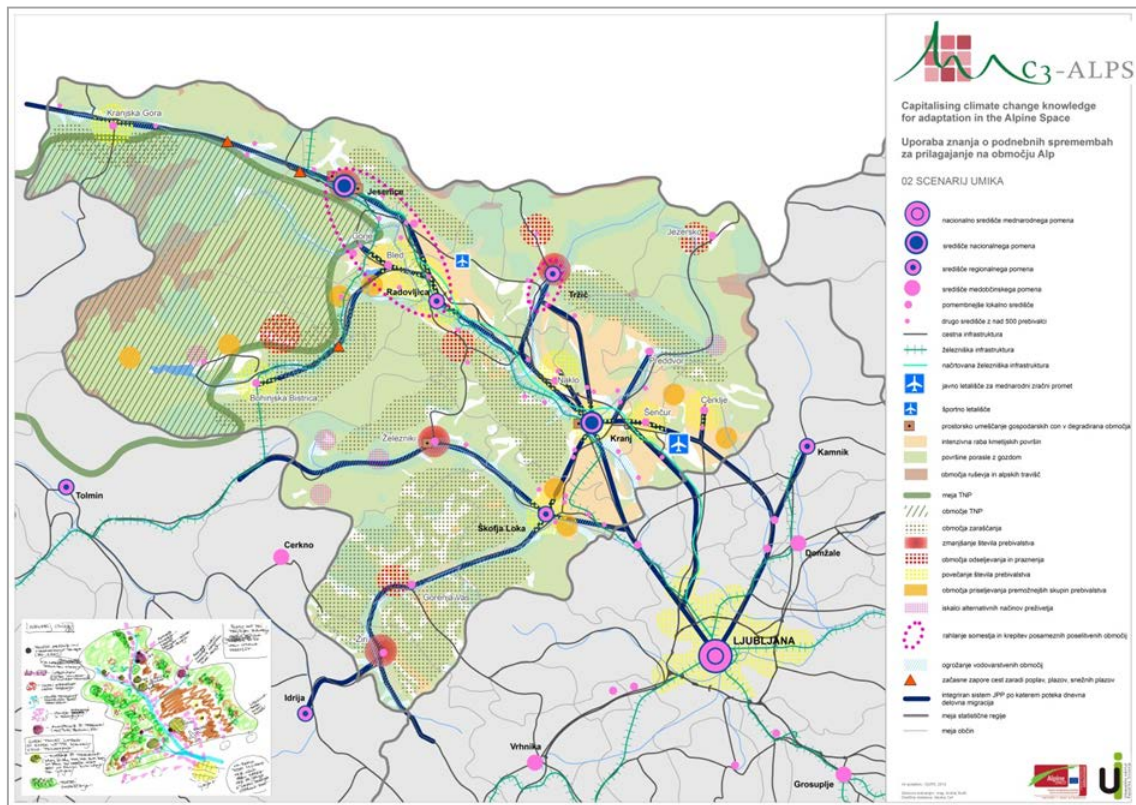
Due to withdrawal of inhabitants from the areas that are more vulnerable to climate change impacts, numerous permanent houses are expected to become holiday homes or remain empty. For those who will persist in these environments the safety and quality of life will deteriorate significantly.

The "emptying of territory" will take place in the areas of employment too, they will be displaced to the climate proof plain areas of the region. In areas of depopulation the real estate prices will decline and in areas of immigration they will increase. Because of the lower real estate prices, some parts of the population will seek opportunities for settling and work in the hilly countryside. Among those who will stay on locations vulnerable to climate change, spontaneous adaptation at the individual or local level will prevail.



### 3.2.3. Possible tendencies and trends in the field of transportation infrastructure and accessibility

The limited financial resources of the state will be directed primarily into the maintenance, renovation and construction of the key transportation infrastructure. An integrated system of public passenger transport will be developed particularly in the densely populated lowland part of the Gorenjska region. The rail transport will constitute the backbone of the public passenger transport. Maintaining of the extensive, particularly regional road network and local routes will be made difficult and will depend on the financial situation and skills of local communities. Due to an increased incidence of flooding and landslides, access to some vulnerable areas can be restricted for longer periods of time (Figure 4).



**Figure 4.** Scenario of withdrawal for the settlement system and transportation infrastructure in the Gorenjska region  
 Source: (Gulič, A., Cof. A., 2014)

### 3.3. Scenario of enhanced protection

#### 3.3.1. Basic assumptions

The scenario assumes the existence of efforts to improve the protection of people and assets from the impacts of climate change "at any price". On areas most vulnerable to climate change impacts, most stakeholders are determined to stay and retain the ownership of the building plots and buildings as well as to preserve their long-term value. Municipalities and other stakeholders make effort to preserve the use value of the local public utility infrastructure. Similar efforts are also present in the central settlement areas of the region, although they are, due to the more active role of the state in providing for the security of residence, the effectiveness of implementation of economic activities and the fluidity of the transport flows, less pronounced.

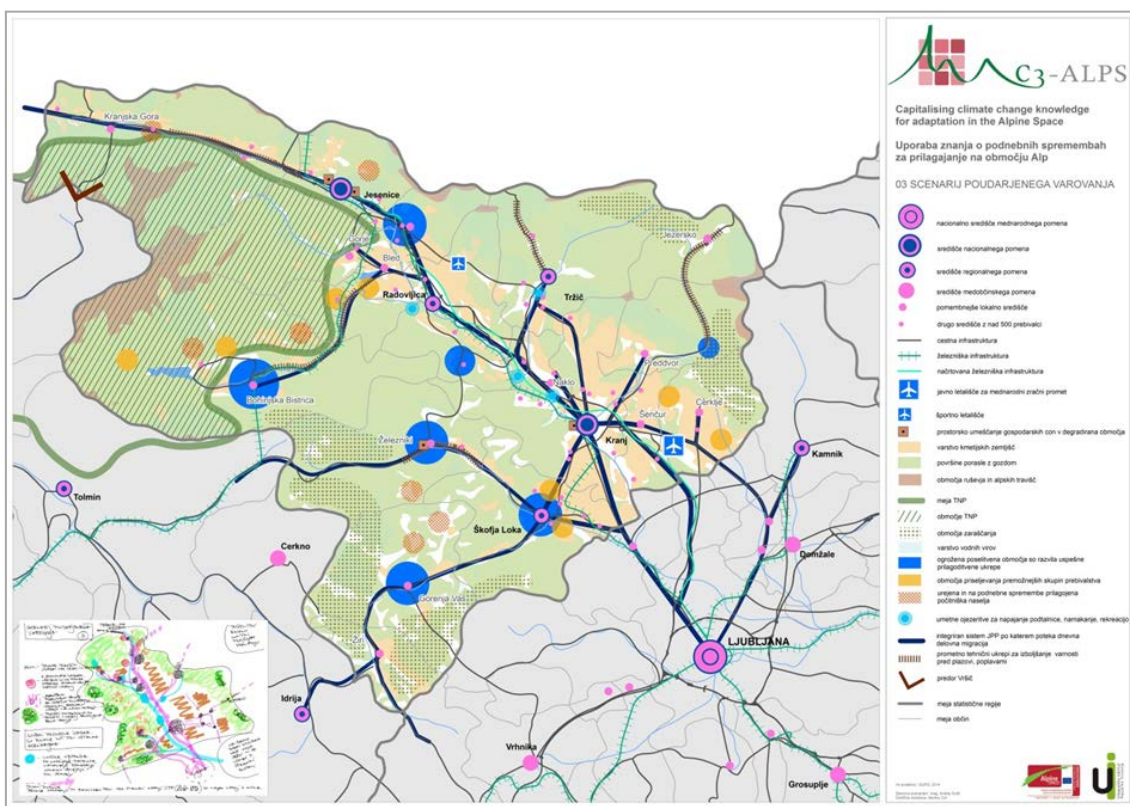
#### 3.3.2. Possible tendencies and trends in the settlement system

The permanent migration mobility of the population to the central and safer plain areas of the region is decreasing, while a high daily mobility is being maintained. Additional measures to ensure safe traffic, mobility and accessibility are being implemented. Successful supra-local adaptation measures have an attraction effect on those segments of the population who are willing to stay in their own houses in a green

and socially more integrated environment. Social control increases, restricting inappropriate and unauthorized interventions in the regional space. The pressures for spontaneous growth of holiday villages are decreasing. Innovative and ecosystem-based approaches in the field of natural resources and related economic activities are being developed. Settlements are opening to safe and environmentally restored "blue", "green" and "grey" corridors.

### 3.3.3. Possible tendencies and trends in the field of transportation infrastructure and accessibility

The limited financial resources of the state are directed primarily into the maintenance, renovation and construction of the key transport infrastructure. The state provides the safest access to road and rail links to the most important tourist areas in the region, which are also the areas of leisure and recreation for the local inhabitants. The development of an integrated public transportation system, closely aligned with the polycentric settlement system of the region contributes to the promotion of sustainable mobility. Where possible, the railway transport constitutes the backbone of the public transport, maintenance of the extensive regional road network and local routes depends mainly on the financial strength and skills of local communities (Figure 5).



**Figure 5.** Scenario of enhanced protection of the settlement system and transportation infrastructure in the Gorenjska region  
 Source: (Gulič, A., Cof. A., 2014)

## 4. VISION, CONCEPT AND STRATEGY OF SETTLEMENTS AND TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE IN GORENJSKA REGION

Based on the chosen scenario a vision, concept and strategy of the settlements and transportation infrastructure adaptation to climate change in the Gorenjska region have been drafted and discussed with stakeholders during workshops.

### 4.1 Vision

The settlement system and transport infrastructure in the Gorenjska region are adapted to the changing climatic conditions. Local communities and other stakeholders (public utilities, companies, regional development agencies, NGOs and citizens) are capable of coping with the risks and to exploit the opportunities connected with climate change impacts. Measures to adapt settlements and transportation

infrastructure are aligned with, and supporting, those aimed at climate change mitigation. The measures to adapt settlements and transportation infrastructure are coordinated with those aimed at adaption of other spatial, economic, social and environmental systems.

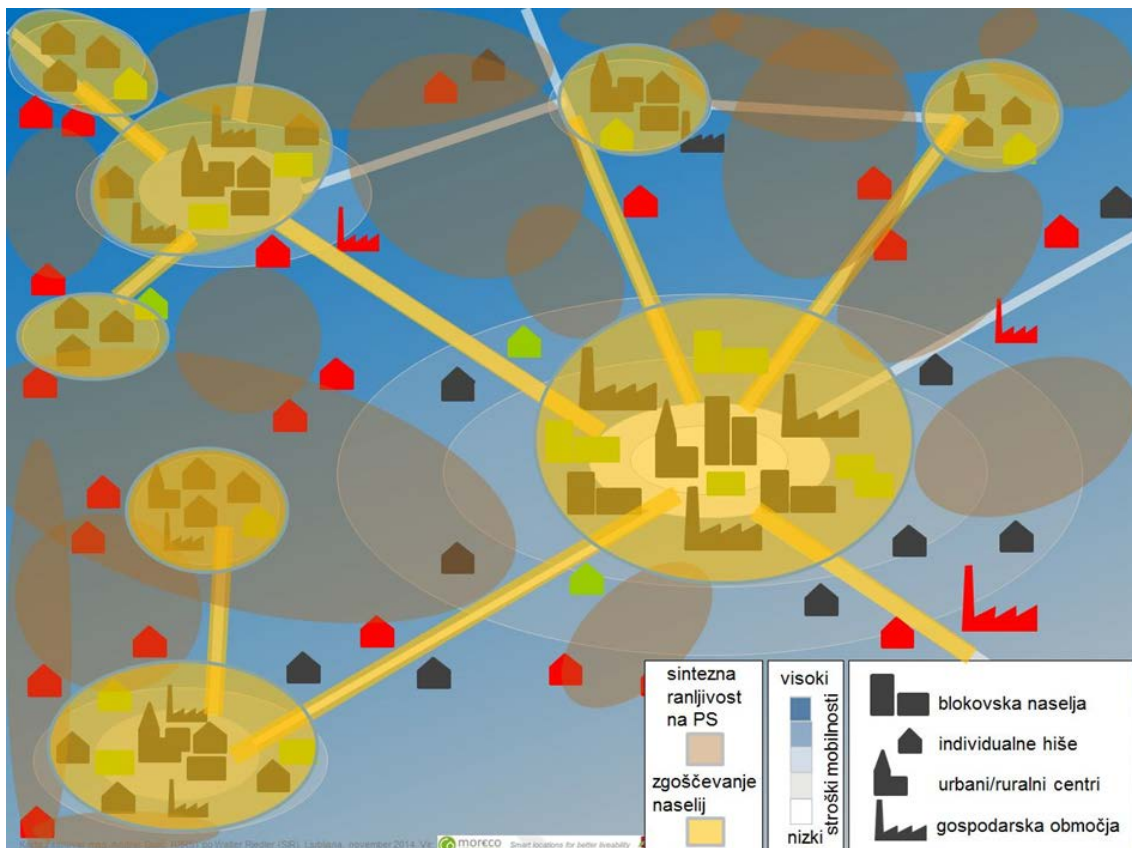
#### 4.2 Concept

To achieve the desired high degree of adaptability of the settlements and transport infrastructure of the Gorenjska region to the impacts of climate change, two key development processes should be introduced:

1. Formation of a polycentric urban system with a reasonable division of economic and social activities between settlements. The settlements are functionally linked together. Sustainable daily mobility of the population based primarily on public transport modes exists within the system.
2. A gradual densification of towns and settlements with the aim to achieve a more efficient use of non-renewable resources and to contribute to: development of employment, supply and service activities; a wider offer of housing types; introduction of sustainable forms of mobility; raising of the quality of life for all population groups; enhancing resilience to extreme weather events and impacts of climate change. The densification of urban areas is a spatial development process that leads to a gradual formation of compact cities and other settlement types.

Beside being a fundamental prerequisite for achieving an effective adaptation of settlements and transportation infrastructure of the Gorenjska region to the impacts of climate change, a polycentric urban system is also the key to high regional efficiency in the field of climate change mitigation.

The implementation of a polycentric urban system and the gradual densification of cities and settlements could also be helpful when strategies, policies and actions for adaptation of other systems to climate change are being devised (Figure 6).



**Figure 6.** Concept of settlements and transportation infrastructure adaptation to climate change in the Gorenjska region

Source: (Gulič, A., Cof. A., 2014)

### 4.3. Strategy

Adaptation of settlements and transportation infrastructure of the Gorenjska region to the impacts of climate change should be based on the following strategic guidelines:

1. With an appropriate (spatial) planning, multipurpose land use and linking of different sectors the safety of the population throughout the region is enhanced.
2. Protection is afforded to the existing and planned settlements and transportation infrastructure in areas that are affected by natural or other disasters, withdrawal is planned from the areas where protection is not possible or not effective.
3. Measures to strengthen the functional and infrastructural integration of cities and other settlements and to improve the maintenance of transportation infrastructure connections in the network of urban settlements are implemented, so that the planned conurbations in the region start to function.
4. Close cooperation between municipal spatial planners is encouraged with a view to preparing and implementing common spatial planning measures for the whole region.
5. Development of the national and key regional transportation network is directed to climate-proof infrastructure corridors, protected, where necessary, by appropriate technical measures (tunnels, galleries, overpasses).
6. Protecting and improving the road and rail links with the neighbouring countries and regions.
7. Establishing an integrated system of public transport offer that includes the rail as well as the regular regional and urban bus transport services.
8. New housing and business premises are located in degraded urban areas. This is especially relevant for the plains in the central part of the region.
9. The existing economic zones are protected against extreme natural phenomena or relocated to climate proof locations.
10. The typical morphology of settlements is maintained. Their internal development should follow the principle of densification and the rich cultural heritage should be protected.

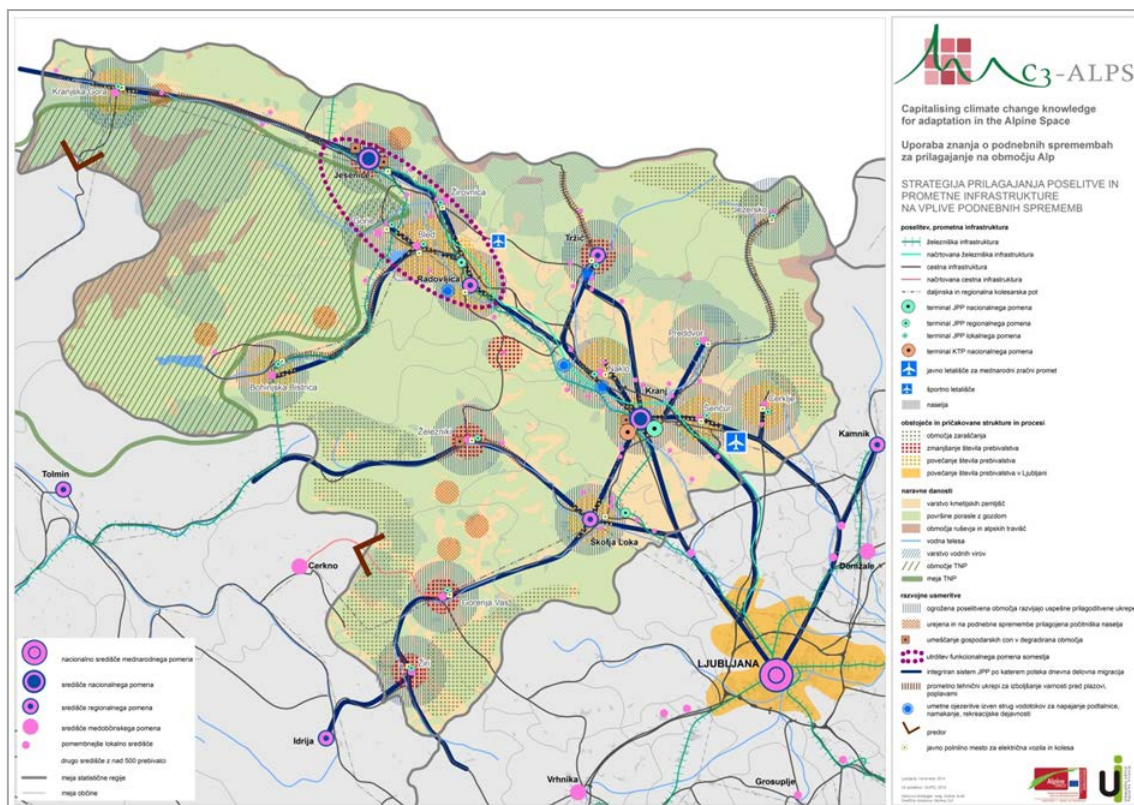


Figure 7. Strategy of settlements and transportation infrastructure adaptation to climate change in the Gorenjska region

Source: (Gulič, A., Cof. A., 2014)

## 5. CONCLUSIONS

Climate change impacts as well as climate change adaptation policies and measures are highly complex issues, from the point of view of properly understanding them in the first place and of establishing conditions for finding adequate responses to them in the second. The broadest circumstance, and a cause at the same time at the state level and at the level of the Gorenjska region, is the prevailing perception of climate change impacts as a time remote problem which does not directly concern single actors, except in cases where they were, one or more times, affected by extreme weather events and consequent natural disasters (floods, landslides, hail etc.).

At the forefront of stakeholders' attention are the actual economic and social problems closely linked with global and national financial crisis and other spatial and environmental issues which are not explicitly associated with the climate change impacts. The above described perception is typical of the majority of national (state ministries), regional (regional development agencies) and local institutions (municipalities) and for the general public. At the time being, climate change adaptation is not a political, economic, social, spatial and environmental priority.

Generally, the available domestic expertise in this field is relatively limited, whereas reliable foreign sources and literature are not accessible in the Slovenian language. This circumstance impedes informing and awareness rising of the general public and other relevant actors such as municipalities, enterprises, regional development organizations.

From the organized workshops, and also from earlier experiences obtained in the project CLISP – Climate change adaptation by spatial planning in the Alpine Space where Gorenjska was a pilot area too, it is evident that stakeholders have difficulties comprehending climate change. The fact that causes and impacts of climate change are distant in time and space, that individual and group experiences from the recent and distant past are different from the current, as well as the differing positions, interests and values of actors, make it difficult to define the roles and tasks of individual stakeholders in combating climate change impacts.

In such a situation it would be necessary to (1) increase the volume and improve organization of the basic and applied knowledge on climate change impacts and climate change adaptation (mitigation) in the public domain, (2) acquire and disseminate information on good practice examples of climate change adaptation and mitigation from abroad, (3) acquire and edit the local information about the sensitivity of local areas to the impacts of climate change, (4) acquire and edit the local information, knowledge and experience on best practices in coping with extreme weather events in the past and (5) prepare a GIS system that would enable gradual entering and editing of quantitative and qualitative information on exposure, sensitivity, adaptability and vulnerability of different territorial areas to the impacts of climate change.

The recommendations proposed could be useful for state institutions responsible for climate change, regional development agencies and municipalities in the process of preparation and implementation of climate change adaptation policies, strategies and measures at the state, regional and local level.

## Literature

- [1] Praper Gulič, S. *Climate Adaptation Policies, Governance and the Science-Policy Interface in Alpine Countries and regions*, Country Report in Slovenia. Deliverable of WP4 in the C3-Alps project. Ljubljana: Urban Planning Institute of the Republic of Slovenia. 2013. 230 p.
- [2] Praper Gulič, S., Gulič, A., Golobič, M., Cof, A. *CLISP - Climate Change Adaptation by Spatial Planning in the Alpine Space*. Model region Gorenjska, Model Region Report. Ljubljana: Urban Planning Institute of the Republic of Slovenia. 2011. 269 p.
- [3] Gulič, A., Praper Gulič, S., Tominc, B. *Scenario planning for climate change adaptation in the field of spatial planning at the regional level*, Pilot activity report. Ljubljana: Urban Planning Institute of the Republic of Slovenia. 2014. 71 p. (<http://www.c3alps.eu/index.php/en/results-menu/downloads-menu/file/193-scenario-planning-for-climate-change-adaptation-in-the-field-of-spatial-planning-at-the-regional-level>).
- [4] Gulič, A., Praper Gulič, S., Tominc, B. *Prilagajanje poselitve in prometne infrastrukture Gorenjske regije vplivom podnebnih sprememb: scenariji, zasnova, strategija, akcijski načrt*, Zaključno poročilo o rezultatih pilotne aktivnosti Scenariji kot prostorsko načrtovalsko orodje pri prilagajanju podnebnim

spremembam na regionalni ravni. Ljubljana: Urban Planning Institute of the Republic of Slovenia. 2014. 71 p. ([http://c3alps.uirsi.si/Portals/0/C3\\_ALPS\\_zakljucno%20porocilo\\_dec2014.pdf](http://c3alps.uirsi.si/Portals/0/C3_ALPS_zakljucno%20porocilo_dec2014.pdf)).

- [5] UBA – Umweltbundesamt GmbH in sod., *CLISP – Climate change adaptation by spatial planning in the Alpine Space* (CLISP – Prilagajanje podnebnim spremembam z orodji prostorskega načrtovanja). Cilj 3 – Evropsko teritorialno sodelovanje – Program Območje Alp 2007–2013. 2011. (<http://www.clisp.eu/content/>).
- [6] UBA – Umweltbundesamt GmbH in sod., *C3-Alps - Capitalising Climate Change Knowledge for Adaptation in the Alpine Space* (C3-Alps - Uporaba znanja o podnebnih spremembah za prilagajanje na Območju Alp). Cilj 3 – Evropsko teritorialno sodelovanje – Program Območje Alp 2007–2013. 2014. (<http://www.c3alps.eu/index.php/en/> in <http://c3alps.uirsi.si/>).

# EKOLOŠKI ASPEKTI UREĐENJA GRADILIŠTA KAO DEO ALGORITAMSKE STRUKTURE PROCESA PROJEKTOVANJA PUTEVA

Vladan Branković<sup>1</sup>, Snežana Stanković Mijatović<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ministarstvo građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture, Beograd, e-mail: skak89@gmail.com

<sup>2</sup> Opština Petrovac na Mlavi, e-mail: arhsnezanas@gmail.com

**Rezime:** Projektovanje puteva je složen istraživačko iterativni proces pronalaženja optimalnog rešenja. Ovo ne podrazumeva samo tehniku trasiranja i primenu inženjerske razrade već i sagledavanje ekonomske, prostorne, ekološke i druge posledice izgradnje. Razne aktivnosti na gradilištu puteva negativno utiču na životnu sredinu i značajno se razlikuju od uticaja puteva u toku eksploatacije gde su negativni uticaji hronični i trajni, dok su u slučaju gradilišta akutni (visoki, koncentrisani, direktni) i kratkotrajni. Rešenje ovog problema je u uvođenju projekta ekološkog uređenja gradilišta u proces projektovanja kao sastavni deo projektovanja i obavezu investitora na postupanje u skladu sa životnom sredinom. U radu je dat opis i sadržaj projekta ekološkog aspekta uređenja gradilišta pri projektovanju puteva.

**Ključne reči:** ekologija i uređenja gradilišta, gradilište i procena rizika, projektovanje puteva.

## ECOLOGICAL ASPECTS OF CONSTRUCTION SITE ORGANISATION AS A PART OF AN ALGORYTHMIC STRUCTURE OF ROAD PLANNING PROCESS

Vladan Branković<sup>1</sup>, Snežana Stanković Mijatović<sup>2</sup>

**Abstract:** Road planning is a complex investigative and iterative process of finding an optimal solution. This includes not only the technique of rerouting and the use of engineering elaboration but also an overview of economical, spatial, ecological and other consequences of construction. Various activities on a construction site have a negative impact on the environment and can vary greatly from road use during exploitation where the aftereffects are chronic and long-lasting, while in the case of construction site they are acute (high, concentrated and direct) and short-lasting. The solution to this problem is the introduction of a project of ecological organization of a construction site as an integral part of planning and also the obligation of the investor to act in regards to the environment. This writing contains the summary and the contents of the project of the ecological aspect of construction site organisation during the road planning process.

**Keywords:** road planning and ecology, construction site organisation and environment protection, construction site and

### 1. UVOD

Evropska komisija za UN za Evropu u saradnji sa Svetskom zdravstvenom organizacijom, određenim brojem nevladinih organizacija i timova eksperata, intenzivira aktivnosti vezane za usklađivanje međusobnih odnosa saobraćaja, životne sredine i zdravlja ljudi. Drugim rečima pomenuti činioci nastoje da definišu prioritete zadatke i smernice za kreiranje politike razvoja saobraćaja na održivim osnovama koji neće proizvoditi negativne posledice po životnu sredinu i zdravlje ljudi u Evropi.

Nema sumnje da će XXI vek obeležiti borba za zdravu životnu sredinu. Moderan svet suočio se sa problemom zdrave životne sredine u gotovo svim sferama življenja. Stanje pojedinih prirodnih resursa je zbrinjavajuće, jer je sve manje vode, čistog vazduha, pojedinih sirovina, šuma, životinjskog sveta. Čovek svojom delatnošću uništava i degradira prirodu kao da je poslednja generacija koja za to ima priliku.

Putna infrastruktura kao jedan od najznačajnijih uslova društveno ekonomskog razvoja ima veliki uticaj na životnu sredinu. Uticaji na životnu sredinu javljaju se u periodu izgradnje od kojih su neki privremenog karaktera, jer se mogu sanirati tehničkim i/ili tehnološkim merama sanacije i rekultivacije, dok su drugi trajni i mogu se samo ublažiti kompromisnim rešenjima. U tom smislu put je tradicionalno u centru pažnje posla i izvor finansijskih sredstava a životna sredina se prilagođava da bi podržala sve potrebe objekta. Samo u retkim slučajevima životna sredina kao takva je fokus pažnje, a retko se ona i put razmatraju ravnopravno. Čak i kad su investitor i projektant „prijatelji” prirode, izvođačima iznad ekoloških principa stoji cilj da se put

<sup>1</sup> mr Vladan Branković, dipl.građ.inž., Ministarstvo građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture, Beograd, e-mail: skak89@gmail.com

završi u što kraćem roku i da se na najlakši način premoste problemi u izgradnji. Menjanje ovakvog načina razmišljanja može se postići jedino uvođenjem širokog spektra mera zaštite u proces projektovanja puteva

## 2. PROJEKAT EKOLOŠKOG UREĐENJA GRADILIŠTA

U projekat ekološkog uređenja gradilišta (u daljem tekstu: projekat) trebalo bi da se implementiraju smernice za uređenje gradilišta sastavljene na osnovu: direktiva i odluka Saveta EU o obezbeđivanju minimalnih zahteva za bezbednost i zaštitu zdravlja na privremenim i pokretnim gradilištima, Komisije za postupanje sa otpadom, evropskih normi EN sa dopunama (EN ISO) kao i važeće zakonske regulative u vezi zaštite na radu. Projekat ekološkog uređenja gradilišta bi se radio u sklopu glavnog projekta puta.

U okviru projekta potrebno je definisati mere zaštite za smanjenje negativnih uticaja na:

- čoveka i njegovo zdravlje (buka, aerozagađenje, vibracije)
- tlo, biljke i životinje
- vodu (površinsku i podzemnu)
- vazduh
- prirodno i kulturno nasleđe.

Negativni uticaji nastali usled prisustva mašina i građevinskih radova dele se na primarne i sekundarne.

Osnovu za izradu projekta predstavlja procena kvaliteta životne sredine u okviru koje se planira izgradnja puta, kao i značaj izgradnje istog. Kao merodavni analiziraju se podaci o geološkim, hidrogeološkim, pedološkim i biološkim vrednostima lokacije objekta u odnosu na stanje pre zahvata. Takođe, projekat je potrebno da da i procenu rizika i scenario ekološke nesreće koje bi mogle nastati u toku gradnje objekata. U tom smislu, je potrebno u projektu predvideti:

- vrste, količine i kvalitet opasnih materija i njihovu namenu
- postupak zaštite prilikom upotrebe, skladištenja, transporta i uklanjanja
- predviđene mere zaštite za smanjenje akcidenata
- scenario nezgoda koji bi mogli da nastanu zajedno sa verovatnoćom i površinom zahvaćenog područja i posledice na ljude i okolinu
- potrebne interventne mere zaštite za smanjenje i sprečavanje nezgoda.

Projekat treba da sadrži sve radove koji se izvode na objektu koji su opisani u tehničkim uslovima za gradjenje u okviru glavnog projekta. Ukoliko je na gradilištu predviđeno više izvođača, naručilac (investitor) mora da imenuje jednog koordinatora za bezbednost i zaštitu zdravlja na radu i za svakog izvođača predstavnika koji bi sačinjavali tim za ovu oblast i potrebno je da se uradi više projekata koji moraju biti međusobno usklađeni i to odvojeno za fazu pripreme projekta i za fazu izvođenja radova po projektu.

Koordinator u pripremljenoj fazi izrađuje i usklađuje plan zaštite sa pravilima koja se odnose na gradilište, kao i da pripremi dokumentaciju koja odgovara karakteristikama projekta i koja sadrži podatke koje je potrebno uzeti u obzir pri svakom radu u fazama.

Koordinator u fazi izvođenja radova po projektu ima posebno određene zadatke: usklađuje izvođenje osnovnih načela bezbednosti i zaštite, sprovođenje određenih odluka prema planu zaštite, izrađuje i/ili obezbeđuje potrebno usklađivanje nacrtu zaštite i dokumentacije sa promenama na gradilištu, obezbeđuje saradnju i međusobno obaveštavanje izvođača radova i njihovih predstavnika radnika sa ciljem sprečavanja povreda i/ili zdravstvenih smetnji na radu, proverava bezbednost izvođenja radnih postupaka i usklađuje planirane aktivnosti i obezbeđuje da na gradilište ulaze samo osobe zaposlene na gradilištu i/ili osobe koje imaju dozvolu za ulazak na gradilište.

## 3. PRIMARNI UTICAJI I MERE ZAŠTITE



U primarne uticaje gradilišta, tj građevinskih radova na životnu sredinu spadaju: uticaj buke, uticaj gradilišta na vazduh, na površinske i podzemne vode, zatim uticaj gradilišta na tlo, floru i faunu, uticaj pranja i održavanja vozila na gradilištu, uticaj manipulacije sa gorivom, mazivom i otrovnim materijama na gradilištu, uticaj ekološki nepodobnih materijala za ugradnju, uticaj mašina i objekata za održavanje mehanizacije na gradilištu, uticaj parkiranja vozila i mehanizacije i održavanje.

### **3.1. Uticaj buke i mere zaštite**

Povećani nivoi buke na radnom mestu ugrožavaju zdravlje zaposlenih i povećavaju rizik dešavanja nezgoda. U okviru projekta treba obezbediti takve mere zaštite da nivoi buke u okolini gradilišta kao i u boravišnim prostorijama ne budu viši u odnosu na propisane granične vrednosti kako u toku dana tako i u noćnim časovima. U projektu se moraju definisati karakteristike mašina i buka koju one proizvode pri punom radu motora pojedinačno ali i pri grupnom radu. Dozvoljava se rad samo u toku dana i definišu se sve potrebne mere zaštite na obližnjim objektima i potrebne aktivne mere zaštite na samom gradilištu.

### **3.2. Uticaj gradilišta na vazduh i mere zaštite od prekomernih emisija**

Prilikom izvođenja radova mašine i pogoni koji su angažovani imaju negativne uticaje na kvalitet vazduha u široj zoni gradilišta a to se manifestuje povećanom količinom čestica prašine kao posledica izvođenja zemljanih radova, povećane vrednosti emisije gasova (CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> i drugi) koji se emituju iz motora sa unutrašnjim sagorevanjem ali i iz drugih pogona, kao i česticama neorganskih ili organskih jedinjenja različitog porekla. Mere zaštite zavise od načina i tehnologije izvođenja kao na primer: vlaženje zone iskopa materijala, polivanje vodom prilikom rušenja objekata, vlaženje transportnih puteva, utvrđivanje filtera na sve mašine i pogone gde je to moguće, upotreba čistijeg goriva, upotreba mašina koje emituju manje škodljivih materija, tehnička kontrola izduvnih gasova.

### **3.3. Uticaj gradilišta na površinske vode i mere zaštite**

Negativni uticaji građevinskih radova na površinske vode su: povećane količine otpadnih voda, biološko i hemijsko zagađenje, slabljenje ili onemogućavanje života za vodenu floru i faunu usled smanjenja kiseonika u vodi.

Veličina negativnih uticaja na stanje kvaliteta površinskih voda zavisi od: veličine vodotoka i njegovo sezonsko stanje u trenutku radova, obima radova u zoni vodotoka, trajanje radova u zoni vodotoka, tehnologije izvođenja radova, kvaliteta vode u vodotoku, stanja vodene flore i faune, geološkog sastava terena u koritu vodotoka (reke, jezera).

Projekat mora da sadrži analizu zagađenja koja bi mogla negativno da utiču na kvalitet vodotoka. Potrebno je predvideti posebne mere zaštite za smanjivanje negativnih uticaja, koje podrazumevaju tehničke mere zaštite koje smanjuju opasnost od mehaničkog, hemijskog i bakteriološkog zagađenja vode.

Posebna pažnja mora biti posvećena aktivnostima koje su potencijalni zagađivači. Prevoz i tankovanje goriva, skladištenje opasnih materija i mineralnih ulja, parking prostor za mehanizaciju i vozila i sl. Ukoliko je otpadna voda zagađenja iznad graničnih vrednosti prilikom njenog ispuštanja u prirodne vodotokove potrebno je prečistiti do zahtevanog nivoa.

### **3.4. Uticaj gradilišta na podzemne vode i mere zaštite**

Ugroženost vodenih izvora najveća je u toku izvođenja radova. Projekat treba da sadrži potrebne mere zaštite podzemnih izvora na osnovu prethodnih hidrogeoloških studija. Na osnovu konkretnih uslova moguće je predvideti način i mere zaštite.

### **3.5. Uticaj gradilišta na tlo, floru i faunu i mere zaštite**

Projekat mora da sadrži analizu i moguće posledice gradilišta na tlo, floru i faunu i predlog potrebnih mera zaštite za ublažavanje negativnih posledica. Konkretno mere zaštite zavise od stepena ugroženosti i stanja životne sredine kao i sastava tla i vrsta biljnog i životinjskog sveta.

### **3.6. Uticaj pranja i održavanja vozila na gradilištu i mere zaštite**

Za pranje vozila je potrebno predvideti asfalt/betonske vodonepropusne platoe na kojima će se prati vozila pred izlazak na državne i lokalne puteve. Minimalne dimenzije 10,0 x 4,0 m i moraju imati uređen odvod vode preko taložnika i separatra mineralnih ulja i benzina. Prečišćivač mora biti vodonepropusan. Na površini za pranje se mora nalaziti kompresor i cisterna sa vodom. Za prečišćivače, separatore i taložnike mora postojati pravilnik kao osnov za vođenje dnevnika održavanja vozila.

### **3.7. Uticaj manipulacije sa gorivom, mazivom i otrovnim materijama na gradilištu i mere zaštite**

Na gradilištu je način snabdevanja gorivom uslovljen lokacijom gradilišta a moguća su dva načina snabdevanja: vozila se snabdevanju gorivom sa javnih pumpi ili da se cisternama na gradilište dovozi gorivo i na platoima koji su predviđeni samo za tu vrstu aktivnosti se pretače. Pri dodavanjima maziva ili ulja mašinama na gradilištu, ispod njih se postavljaju podmetači koji će sprečiti izlivanje derivata u zemljište. Podmetači se nakon toga uklanjaju sa gradilišta.

### **3.8. Ekološko nepodopni materijali za ugradnju**

U okviru projekta predvideti kontrolu svih opasnih materija korišćenih u procesu izgradnje puta i ispitati njihov sastav i mogući uticaj na okolinu. Projektom se definiše način transporta i mesto deponovanja opasnih materija na gradilištu kao i druge mere zaštite zavisno od vrste korišćenih materijala i tehnoloških postupaka.

### **3.9. Mašine i objekti za održavanje mehanizacije na gradilištu**

Za servisiranje vozila i mehanizacije u projektu se mora predvideti poseban plato čija površina zavisi od veličine vozila i mašina na gradilištu. Ove površine moraju imati uređen odvod vode preko taložnika i separatora mineralnih ulja i benzina.

### **3.10. Parkiranje vozila i mehanizacije i održavanje**

Projektom se obezbeđuje dovoljan broj i veličina parking mesta za vozila koja se parkiraju u okviru gradilišta, mora da postoji projekat parking površina, odvođenje atmosferske vode sa parking površina je preko taložnika i separatora.

## **4. SEKUNDARNI UTICAJI I MERE ZAŠTITE**

Sekundarni uticaji gradilišta su: uticaji izvođenja građevinskih radova na povećanje saobraćaja na postojećim putevima u okolini gradilišta, uticaj saobraćaja na putevima u okviru gradilišta, posledice dinamičkih radova na objekte i ljude, uticaj na mestima pozajmišta ili deponija, sociološki uticaj na najbliža naselja duž koridora planiranog puta.

U okviru ovog dela projekta potrebno je predvideti dužine kretanja i broj vozila na pristupnim putevima do i u okviru gradilišta, ukoliko je potrebno pojačati postojeću kolovoznu konstrukciju i postojeće objekte na putu, izvršiti sve neophodne mere zaštite pešaka što podrazumeva instaliranje prateće opreme i signalizacije i na izlazu sa gradilišta obavezno postaviti mesta za pranje blatnjavih vozila kako bi se sprečilo ugrožavanje saobraćaja i raznošenje materijala. Transportne puteve na gradilištu je potrebno redovno održavati, ograničiti saobraćajni režim, frekvenciju saobraćaja i brzine.

Projekat treba da sadrži mere zaštite negativnih uticaja miniranja na objekte i ljude koje se definišu prema posebnim propisima.

Takođe, mere zaštite na mestima pozajmišta ili deponija moraju biti definisane u projektu, a zavise od parametara kao što su vrsta i količina deponovanog materijala, način uređenja deponija, lokacija deponija, način održavanja deponija. U projektu treba navesti i odgovornu osobu za upravljanje deponijama.

## 5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Priroda aktivnosti koje se izvode na gradilištu predstavlja veliki izazov za uobičajene modele regulative. Komplikovano je definisati „normalnu“ operaciju zbog toga što su aktivnosti na gradilištima kratkotrajne, a svako novo gradilište predstavlja nove i posebne uslove i ekološka ograničenja. U slučaju građevinskih radova svaka operacija se menja i prilagođava uslovima na samom gradilištu i u skladu sa drugima aktivnostima koje se tu obavljaju. Posao na gradilištu zahteva ekipu ljudi koji rade nezavisno i uz stalno menjanje pozicije.

Još jedna otežavajuća okolnost za uspostavljanje regulative je činjenica da zagađenja potiču od više aktivnosti istovremeno i mora se uzeti u obzir njihovo kumulativno dejstvo. Sprečavanje zagađenja je jedini praktičan i efikasan pristup umanjenu negativnog uticaja od radova na gradilištu.

Kao rešenje za zagađenje sredine koja nastaju usled aktivnosti na gradilištu predlaže se uvođenje obaveze da investitor u sklopu projektne dokumentacije izradi i poseban projekat ekološkog uređenja gradilišta. Implementacija projekta u sastav projektne dokumentacije, rešila bi probleme u koordinisanju sa izvođačima, koji je cene radova davao prema specifikaciji iz projektne dokumentacije u kojoj nisu bile zastupljene pozicije zaštite životne sredine pa se nije moglo očekivati od njih da ispoštuju neke projektom ne predviđene radove.

Na osnovu svega iznetog sadržaj predloga projekta ekološkog uređenja gradilišta bi bio sledeći:

- Uvod
- Spisak propisa
- Uređenje obezbeđenja gradilišta od okoline
- Uređenje i održavanje kancelarija, garderoba, sanitarnih čvorova i objekata za boravak na gradilištu:
  - prostorije za odmor i/ili prostorije za boravak
  - komunalna i sanitarno - higijenska uređenja
  - prevoz na posao
  - snabdevanje radnika hranom i vodom za piće
  - provetravanje i rasveta
- Uređenje električnih i telekomunikacionih instalacija
- Uređenje saobraćajnih komunikacija, puteva u slučaju nužde i izlaza:
  - transportni putevi na/uz gradilišt(u)e
  - putevi za evakuaciju i izlazi u nuždi
  - saobraćajni putevi na opasnim područjima
  - vrata i ulazi
  - skladišna mesta i rampe
- Razmeštaj i čuvanje građevinskog materijala:
  - prostori za čuvanje opasnih materijala
  - spisak opasnih i ekološki sumnjivih materijala i proizvoda
- Oprema za dizanje i prenošenje
- Vozila i mašine za iskopavanje, premeštanje i prevoz materijala
- Sprave i objekti za održavanje mehanizacije na gradilištu:
  - manipulacija gorivima, mazivima i opasnim materijama na gradilištu
  - pranje i održavanje vozila na gradilištu
  - parkiranje vozila i mehanizacije, kao i održavanje
- Uređenje radnih mesta:
  - posebno opasni radovi i zaštitna oprema
  - prva pomoć
  - uticaji stabilnosti i čvrstoće na bezbednost pri radu
  - zemljani radovi, podzemni objekti, kao i radovi u ograničenom prostoru (uslovima)
  - rušenja i demontaža
  - rad uz saobraćaj
  - masivne konstrukcije, metalni ili betonski okviri, obloge i teški montažni elementi
  - radna mesta na visini
  - radovi na održavanju

- Instalacije, radni uređaji i njihova oprema
- Radni podovi, lestve i skele
- Zaštita od požara na gradilištu
- Opis izabranih/upotrebljenih tehnologija gradnje
- Uticaj izvođenja građevinskih radova na opterećenje postojećih puteva dodatnim saobraćajem
- Terminski plan usklađivanja mera za bezbednost i zaštitu zdravlja sa tokom gradnje
- Zajedničke mere za obezbeđivanje bezbednosti i zaštite zdravlja na radu
- Međusobno obaveštavanje vođa pojedinih radova o toku radova
- Red na gradilištu
- Spisak radova sa ocenom troškova uređenja gradilišta i izvođenja zajedničkih mera za obezbeđivanje bezbednosti i zaštite zdravlja na gradilištu
- Uticaji na okolinu i mere za ublažavanje:
  - uticaj buke na prirodnu i životnu okolinu i mere za ublažavanje
  - plan monitoringa buke u toku gradnje
  - uticaji gradnje na vazduh i mere za ublažavanje prekomernih emisija
  - plan monitoringa vazduha u toku gradnje
  - uticaj gradnje na površinske vode i mere za ublažavanje negativnih uticaja
  - plan monitoringa površinskih voda u toku gradnje
  - uticaj gradnje na podzemne vode i mere za ublažavanje negativnih uticaja
  - plan monitoringa podzemnih voda
  - uticaji gradnje na zemljišta, biljke i životinje
  - plan monitoringa zemljišta i biljaka
  - uticaj miniranja i drugih dinamičkih učinaka izvođenja radova na ljude i objekte
  - uređenje područja gradilišta po završetku radova
- Postupanje sa otpadom, koji nastaje pri građevinskim radovima:
  - plan upravljanja građevinskim otpacima
  - izvještaj o upravljanju građevinskim otpacima
  - obaveze investitora i izvođača u toku izvođenja radova
  - sakupljanje otpada
  - prerada i odstranjivanje građevinskog otpada
  - postupanje sa otpadom koji sadrži azbest
  - nadzor nad postupcima sa otpadom
- Grafički prilozi:
  - pregledna situacija (R 1:5000) sa građevinskim objektima
  - plan uređenja prostorija za rad i boravak, kao i sanitarija i menze (R 1:100)
  - plan snabdevanja električnom energijom
  - plan telekomunikacija
  - plan vodovoda i kanalizacije
  - situacija saobraćajnog uređenja za vreme gradnje za javne puteve i puteve na gradilištu sa saobraćajnom signalizacijom (R 1:5000)
  - situacija dizalica sa ucrtanom manipulacionom površinom
  - situacija za pojedina područja uređenja sa komunalnim vodovima i za napajanje energijom (R 1:1000)
  - idejne skice rešenja pojedinih objekata i uređaja za zaštitu okoline prema projektu:
    - uređenje skladišta za opasne materije
    - parkirališta
    - radni platoi za servisiranje mašina i vozila
    - deponije materijala

Katastar sa spiskom parcela i vlasnika, ako postoji zahvat u zemljišta koja su van područja isključivog korišćenja.

Plan uređenja gradilišta izrađuje od strane naručioca izabrani izvođač radova, mora da bude izrađen u skladu sa projektom i dozvolom za građenje.

Plan mora da sadrži sve potrebne podatke o:

- putevima na gradilištu i priključcima na javne puteve,
- priključcima gradilišta na javnu infrastrukturu,
- deponijama, skladištima, radionicama, gradilišnim kancelarijama, garderobama, sanitarnim prostorijama kao i
- druge podatke koji su važni za bezbedan i pouzdan rad gradilišta.

Pre početka građenja plan uređenja gradilišta mora da potvrdi naručilac/investitor.

Pri izvođenju radova na putevima po kojima u toku rada saobraćaj nije zaustavljen potrebno je obezbediti zaštitu gradilišta u skladu sa elaboratom privremenog saobraćajnog obezbeđenja gradilišta, koji mora da odobri nadležni organ.

### **Literatura**

- [1] <http://www.bmpdatabase.org/>  
(the national stormwater bmp database)  
(03.2016.)
- [2] <http://www.enr.com/>  
(03.2016.)
- [3] <http://www.putevi-srbije.rs/>  
(03.2016.)
- [4] <http://www.epa.gov/ost/guide/>  
(03.2016.)
- [5] <http://www.census.gov/epsd/>  
(03.2016.)

# IMPACT OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE ON THE URBAN IDENTITY OF SETTLEMENTS

Jelena Basarić<sup>1</sup>, Olgica Bakić<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of architecture and urban & spatial planning of Serbia, [jelenab@iaus.ac.rs](mailto:jelenab@iaus.ac.rs), [jelenabaske@gmail.com](mailto:jelenabaske@gmail.com)

<sup>2</sup> Institute of architecture and urban & spatial planning of Serbia, [olja@iaus.ac.rs](mailto:olja@iaus.ac.rs)

**Abstract:** *The paper starts with the presumption that transport infrastructure has a great impact on the creation and development of urban identity of settlements. It indicates the possible approaches to the investigation of positive and negative effects of transport infrastructure. The purpose of this paper is to show how much the transport infrastructure can impact the development of urban and rural settlements, regional spatial entities and agglomeration systems. The movement of people, level of employment, housing, distribution of functions of settlements, etc., depend to a great extent on the distribution and level of development of transport infrastructure. The paper analyses the impact of public roads and service facilities on the organization and use of urban and rural space, as well as on the change in the economic and social life of people. The major prerequisite for the social and economic development of any city includes an economic integration that would be carried out through modernization and harmonization of the transport infrastructure and services. The good quality infrastructure and accompanying facilities are a public interest and a necessary element in the process of developing any area. The network of settlements is a complex and dynamic system both with regard to the development of demographic structure, morphology, functions and with regard to the general level of infrastructure development.*

**Key words:** *transport infrastructure, planning, urban development*

## 1. INTRODUCTION

With over 190 urban settlements in Serbia, where some settlements have importance of an European metropolis (Belgrade), sub-regional centres (Smederevo, Nis, Cacak, Kragujevac, Novi Sad, Subotica), smaller urban centres all the way to a great number of rural and semi-urban settlements, the City of Belgrade and the remaining part of the region of Serbia are characterized by a great diversity which is reflected in different geographical, social economic and functional characteristics. These elements have an impact on the formation of urban identity of settlements. In the overall network of settlements in Serbia, Belgrade stands out as the greatest agglomeration and economic, cultural and administrative centre. Concerning the urban development, the general goal is to improve the physical structure of settlements (both urban and rural) and their linking so as to make the region of Serbia more economically and touristically attractive and competitive, as well as dominating in the region.

Today, more than a half of the population in Serbia live in the settlements of urban character. The migration process of the population flow out from rural areas into urban areas is still going on. In this context, the problem of planning and developing the urban settlements goes beyond the local importance and is becoming one of the key issues of spatial development of the entire country. Despite a decades-long stagnation or regression of urban settlements, a certain number of them still have capacities and potentials that are considered as a development strength and possibility for their development. The size and quality of these capacities vary and they are greater in urban areas, as well as where a stronger regional and sub-regional connectivity is established. The urban settlements, namely the small and medium-sized urban settlements, which require greater attention and support at the regional level, are of particular importance in terms of regional balance in the Republic of Serbia. The greater accessibility, accentuated cultural and landscape identity, development of small economies, introduction into tourism clusters, ecological arrangement and physical renewal of their central zones, as well as functional linking with their rural surroundings, can contribute to emphasizing them as an important element of regional capital.

---

<sup>1</sup> [jelenab@iaus.ac.rs](mailto:jelenab@iaus.ac.rs), [jelenabaske@gmail.com](mailto:jelenabaske@gmail.com)

## 2. URBANIZATION PROCESS

In Serbia, the regional differentiation of space between the low-lying and mountain areas is noticeable. The different level of development and degree of utilization of available potentials is typical of this division. The accelerated urbanization process, namely the migration of population from the underdeveloped and peripheral areas to urban areas, has resulted from the growing concentration of economic activities and industries along important road directions and corridors.

Today more than a half of the population live in the settlements of urban character. It is estimated that the urbanization process in the country will be stabilized only by the middle of the third decade of this century. In this context, the problem of developing and planning the cities and urban settlements goes beyond the local importance and is becoming one of the key issues of the spatial development of the entire country. The cities can have power as drivers of development in the region because of which their position and role will be tightly linked to the regional resources and comparative advantages for the development of some regions. In the Republic of Serbia, despite a decades-long stagnation or regression of urban settlements, a certain number of them still have necessary capacities that are considered as possibilities for development. The size and quality of capacities vary and they are greater in larger cities and centres, as well as where a stronger regional and sub-regional connectivity is established. The development capacities are also greater in cities having the defined functional areas [1].

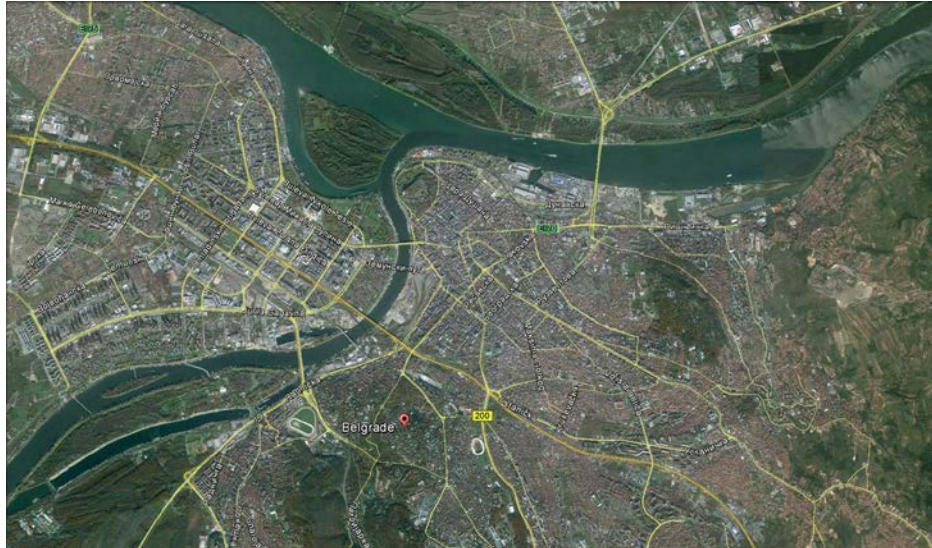
Urbanization is a process containing the demographic, functional and spatial-physical aspects. Very often, the urbanization process is not uniform and often contains constraints in relation to the development of infrastructure and tertiary activities, process of commassation, etc. [2].

## 3. DIRECTING THE DEVELOPMENT OF URBAN AND RURAL SETTLEMENTS

The strategic documents of Serbia are harmonized with the European documents in respect to a greater functional, economic and social integration of space, as well as in respect to development of primary transport networks, which improves conditions for more uniform economic and social development of an area. This provides the possibility for a uniform regional development of polycentric system of urban centres, as well as for a uniform approach to infrastructure. Such concept is based on **networking of urban centres** into the functionally and spatially connected agglomeration systems by developing the transport and other connections between the urban and rural settlements, as well as on **improving the accessibility** and transport connectivity between agglomeration systems by developing the primary and secondary transport networks [3].

The Corridor 10 running through Serbia has a characteristic of a central axis. Passing through the river valleys of the Tisa and the Sava and the Great and South Morava and the Nisava, it connects all important centres of Serbia and opens the regions in Sumadija, west of the Morava Basin and eastern Serbia. The Corridor 10 is important for the regional and sub-regional development, primarily for the development of urban and economic centres along the Corridor, tourism regions and other special-purpose areas. The construction, equipping and rehabilitation of infrastructure corridor will contribute to the strengthening of transport, economic and other functions of Belgrade, but also to the strengthening of other macro-regional centres and greater number of smaller towns along the corridor, thus reducing the negative trends in demographic movements, as well as in the process of metropolization in Serbia. So, for example, Belgrade with its positions, size and importance exerts a significant urban and functional influence on its surrounding, thus developing the economic, cultural, social and technical relationships with other municipalities and cities. The good quality development cannot be expected without an adequate solution to the organization of transport infrastructure, so that the problem imposes itself on Belgrade as priority. In contemporary living conditions, the urban development and its characteristics occur as the result of the previous intensified process of industrialization, de-agrarization and widening of development gap among the cities in Serbia. The domination of Belgrade, as the largest urban centre, is the main starting point for a spatial organization, development and planning of infrastructure corridors in future [4]. The urban development of the City of Belgrade is tightly linked to the development of infrastructure in respect to the planning of land use, transport needs and services, transport accessibility, etc. For this reason, the transport planning plays an important role in a continuous extension of the city, development of corridors and creation of new secondary agglomerations. The **urban tissue** of Belgrade is represented by the man-made values of exceptional importance. Certain buildings, the administrative, cultural, educational and museum buildings, park, recreational and monument areas, urban entities of the city, as well as roads, are resources that are most often not adequately used. It is necessary to valorise them and enable them to have functions in accordance

with their potentials. Particular value of Belgrade lies in the **aquatoria of the rivers Danube and Sava and the vicinity of the Tamis river**, where the Estuary with the Great War Island, Ada Ciganlija Lake, isles of the Danube, backwaters of the Danube and Tamis rivers, as well as Obedska bara, stand out. The promenades along the Danube and Sava rivers are of special value. Several European routes and waterways intersect in the territory of the City of Belgrade. They integrate two European corridors, the Corridor 10, in which the E-75 motorway dominates, and Corridor 7, in which the Danube waterway dominates [5].



**Figure 1.** Network traffic artery of the city of Belgrade  
Source: Google Earth

The previous practice has shown that there has been a mutual dependence between the road infrastructure and zones with more pronounced agglomeration economies along the primary road directions-corridors (e.g. urban system of Jagodina-Cuprija-Paracin). These urban centres have the potential for diversification and specialization of economic activities, Paracin in particular. In Jagodina, the development of the existing and planned economic activities can serve as a support to the development of rural activities in the local community area. The conglomerate of Jagodina-Cuprija-Paracin has the most favourable position in the Morava Basin section of Corridor 10. The motorway bypasses or touches the construction area of these urban centres in this European corridor. The contact zones between the urban centres and highway have manufacturing, warehouse and industrial purposes[6].

The rural settlements in Serbia have experienced stagnation, the migrations and unfavourable demographic structure has taken place, while conditions for the development and improvement of the overall infrastructure have worsened. Due to negative trends, the development of the rural areas has been hindered, thus hindering the rural settlements to become the settlements with characteristics of urban settlements. They have lost the possibility to develop the secondary and tertiary activities, social facilities, as well as mutual connections with rural settlements in their surroundings. Such rural settlements and rural areas have not had the opportunity to show their potentials and develop comparative advantages through tourism, recreation, industry, agriculture, cultural and historical heritage, etc. The rural settlements are located in the areas with mainly preserved nature and good quality environment. Besides these advantages, there are also disadvantages that include the lack of economic and social facilities in rural settlements. The greatest constraint lies in a low standard of transport infrastructure. The current road conditions do not meet the minimum standards with regard to service facilities.

The road networks in settlements most frequently comprise field and rural roads. The roads connecting a greater number of households with the nearest public roads and further on with the roads of greater importance stand out, as well as the roads leading to the groups of households in rural settlements. In addition to the transport infrastructure, other municipal infrastructure in rural settlements is also very modest relative to the one in the urban settlements, or it does not exist at all. A small number of settlements have potable water supplies, the current state of wastewater disposal is very poor, while the landfill sites are not organized in the form of common activities[7].





**Figure 2.** Local road – Municipality of Lucani  
Source: Basarić J.

The functional road networks in rural areas should comprise main streets, collector streets and other streets in rural settlements. The centres of rural settlements with their functions and facilities should have a form of urban settlements with quantitative and qualitative characteristics. The main goals of improving the transport infrastructure in rural settlements are: to enable transport network for smooth motor traffic, particularly roads connecting the households with main/public roads, as well as the collector roads leading to centres of rural settlements; to improve centres of rural settlements by providing necessary social facilities (schools, health centres, shopping centres, cultural centres, etc.) in accordance with standards; as well as to provide municipal infrastructure and connect each rural household to water and electricity supplies, telephone network, etc. These settlements are not included into a detailed elaboration of higher planning documents, so its is recommended to develop an urban project for their future development [7].

In addition to their traffic function, the roads passing through urban or rural settlements should also have a development role in the area. „A road should, through service facilities, open the area, provide users with numerous information about the area. It should enable the presentation of natural resources, tourism offer, cultural and historical heritage, economic possibilities, as well as to provide the desired services to the road users in meeting their needs: rest, relaxation, recreation in longer time intervals“ [8:73]. More attention should be dedicated to roads in the plans, development policies, strategies, laws, standards, in order for them to have a development role in an area.

#### **4. REGIONAL ACCESSIBILITY AND ACCESSIBILITY OF THE TERRITORY OF SERBIA**

The regional accessibility of the territory of the Republic of Serbia and its urban and rural areas is one of the key elements for measuring the success of spatial development and one of the key indicators for determining the spatial aspects of transport systems. When it comes to the accessibility, a difference should be made between the local or regional accessibility and inter-regional and international accessibility. In local or regional accessibility, the shorter distances reflecting the regional interdependence between rural and urban areas are analysed. The spatial accessibility can be expressed in terms of consumption of time, energy and resources. The quantity and quality of the existing regional infrastructure, as well as the distance from population, play a great role, where the quality of secondary networks gains in importance. The development of transport network can have a different impact on the spatial distribution of population and economic activities. It can contribute to their spatial distribution through improving the transport accessibility in relation to the centres of international importance, on the one hand, while the improvement of transport network can cause greater problems in the sense that great distances from the points of connection to the transport network lead to the formation of empty space, on the other hand. These spaces are constrained in terms of the possibility of access, which leads to a stagnation in development. Such outcomes will be avoided in the Republic of Serbia by correcting the density of secondary transport networks, both regional and sub-regional, so as to keep pace with the extension of national networks. Therefore, as the speed is increasing, the dimensions of interspace and importance of secondary networks are also increasing, on the one hand, while the distances between the regions and urban centres served by these networks are proportionally reducing, on the other hand [1].

A good accessibility of transport infrastructure implies a coordinated development of transport systems. It is also a prerequisite for improving the conditions for a uniform economic and social development, as well as for achieving a balanced regional development and polycentric systems of urban centres. The data on

regional disparities are obtained by using the indicators for accessibility at different levels of urban centres. The causes lie in the unfavourable geographical and natural conditions, which requires high construction costs, but at the same time results in low rates of refund of the invested resources, mostly because of small population density. The area with greater density of road network and network of public roads and roads of the second category shows a tendency to better status and level of development of other infrastructure systems and services, thus also of population density. The accessibility in these areas is good, but there is a problem of congestion and environmental degradation, particularly along the main road directions. These are areas with accessibility that is far beyond average. The intensification of accessibility of economic activities in centres is one of the prerequisites for integrating the areas within the Functional Urban Areas (FUA) by the end of the planning horizon (2020). An increase in accessibility should be followed by the networking of functional urban areas within the territory of the Republic of Serbia, as well as by linking trans-border urban areas of neighbouring countries. This particularly refers to Pirot, Bor, Zajecar, Macva and South Banat districts where it is necessary to improve infrastructure that is today a constraint on development, while tomorrow a prerequisite for the links, trade, and communication, through enhancing the inter-regional and inter-country cooperation in trans-border areas. These are at the same time potentials for an active interregional development [1].

## 5. CONCLUSIONS

The total length/density of the road network in Serbia, relative to its area and population size, is satisfactory and in accordance with the European criteria. The greatest problem does not lie in the scale of road network, but in its quality, while its rehabilitation is a priority task [9].

The road network supports the spatial development of a country through ensuring the accessibility of different parts of its territory, as well as by linking the country with its neighbourhood. The centres of development, primarily urban and other centres in the network of settlements are the main causes of spatial concentration of population, goods and services, so they can define the transport hubs that should be connected with extra-urban road network, i.e. the functional classification must be harmonized with the category of traffic centres of gravity. Other centres of development outside settlements (e.g. tourist areas and centres, production units, transport terminals, etc.) with own characteristics of temporal and spatial concentration of sources and purposes of movement of people and goods are classified as transport hubs.

One of the strategic commitments in the Spatial Plan of the Republic of Serbia is to achieve a higher level of functional integration of the country's territory. The goal is to reduce regional disparity in the spatial, economic and social structures of the region. The Spatial Plan highlights the importance of an integrated development of underdeveloped and peripheral areas, as well as the need to increase their transport accessibility and provide them with the secondary transport network.

In order for the roads to have a development role in an area, a greater attention should be dedicated to them in the plans, development policies, strategies, laws, standards, etc. In Serbia, the greatest problem in planning lies in the absence of planning documentation and state mechanisms that would attract funds and engage the population to participate in the process of developing the plans, as well as in their realization. Furthermore, in addition to the basic strategic data (population size and structure, population density, size of properties, etc.), it is also necessary to introduce a system of surveying the population in order to obtain data that are very important for a long-term planning (the priority needs that influence the quality of living).

## Acknowledgements

This paper is a result of research on the scientific project "The role and implementation of the National Spatial Plan and regional development documents in renewal of strategic research, thinking and governance in Serbia", No. 47014, and on the scientific project "Spatial, environmental, energy and social aspects of developing settlements and climate change – mutual impacts", No. 36035, which are financed by the Serbian Ministry of Education, Science and Technological Development in the period 2011-2015.

## References

- [1] Prostorni plan Republike Srbije [Spatial Plan of the Republic of Serbia], „Službeni glasnik RS“, broj 88/10
- [2] Marić I., Manić B. (2004). Urbanizacija seoskih naselja u planinskim područjima [Urbanization of Rural Settlements in Mountainous Regions]. Sustainable Spatial, Urban and Rural Development of Serbia. 65-68.
- [3] Maksin-Micic M. (2004). Usmeravanje razvoja urbanih centara i magistralnih infrastrukturnih koridora [Directing the development of urban centres and main infrastructure corridors]. Strategic frameworks for sustainable development of Serbia. 237-246.
- [4] Basarić J., Bakić O., Milijić S. (2015). Planning the infrastructure corridors and their importance for the urban development adaptability - example of Belgrade. Changing cities II, Spatial, design, landscape and socio-economic dimensions. 2045-2051.
- [5] Mitrovic, S., Milijic, S., Krunic N. (2003). Prirodne predispozicije regiona Beograda i odnos prema evropskim koridorima [Natural Predispositions of the Belgrade Region and Relationship towards the European Corridors]. Beograd i njegov region [Belgrade and its Region]. 132-139.
- [6] Maksin-Mićić M. 2004. Uticaj transevropskih transportnih koridora na regionalni razvoj i aglomeracione sisteme – iskustva u Srbiji [Impact of Trans-European Transport Corridors on Regional Development and Agglomeration Systems – Experiences in Serbia], Arhitektura i urbanizam. 14-15: 53-64.
- [7] Malobabic R., Bakic O. (2004). Prostorno-urbanistička pravila za uređenje seoskih naselja [Spatial and Urban Planning Rules for Development of Rural Settlements]. Sustainable Spatial, Urban and Rural Development of Serbia. 45-53.
- [8] Malobabic R., Krunic N. (2004). Pravila uređenja javnih puteva u planinskim područjima [Rules for Development of Public Roads in Mountainous Regions]. Sustainable Spatial, Urban and Rural Development of Serbia. 69-77.
- [9] Maletin M., Andjus V. (2004). Putna mreža kao bitan element održivog razvoja Srbije [Strategic Framework for the Sustainable Development of Serbia]. Sustainable Spatial, Urban and Rural Development of Serbia. 111-118.

# USPOSTAVLJANJE METODOLOGIJE ZA PROCENU UTICAJA PUTEVA NA PODRUČJA NATURA 2000 U OKVIRU ODGOVARAJUĆE (NAMENSKE) PROCENE UTICAJA NA ŽIVOTNU SREDINU

Ivana Vuković<sup>1</sup>, Mimoza Jeličić<sup>2</sup> i Dušica Bogičević<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Javno preduzeće „Putevi Srbije“, ivana.vukovic@putevi-srbije.rs

<sup>2</sup> Javno preduzeće „Putevi Srbije“, mimoza.jelicic@putevi-srbije.rs

<sup>3</sup> Javno preduzeće „Putevi Srbije“, dusica.bogicevic@putevi-srbije.rs

**Rezime:** Uticaji izgradnje i korišćenja putne infrastrukture na prirodna staništa, populacije i jedinke su mnogobrojni, od direktnog gubitka staništa, degradacije i fragmentacije staništa, uginuća divljači na putevima, promene biodiverziteta i hidrološkog režima, erozije, zagađenosti ocednih voda sa puteva, buke i sl. Procene uticaja puta na životnu sredinu vrše se na više nivoa, od Strateške procene uticaja na životnu sredinu, preko Prethodne studije opravdanosti, Studije opravdanosti, pa do Studije o proceni uticaja na životnu sredinu. Ulaskom Republike Srbije u Evropsku Uniju uvodi se dodatni, posebno definisan segment procene uticaja na životnu sredinu koji će se razmatrati u slučaju uticaja planova ili projekata na područja Natura 2000 na teritoriji Republike Srbije koja postaju deo evropske ekološke mreže Natura 2000.

**Ključne reči:** putna infrastruktura, procena uticaja na životnu sredinu, zaštita prirode, Natura 2000

## 1. UVOD

Zakon o zaštiti prirode („Sl. Glasnik RS“, br. 36/09, 88/10 i 91/10-ispr.) bio je osnova za donošenje mnogobrojnih podzakonskih akata i svojim zahtevima se uklopio sa drugim dokumentima iz oblasti zaštite životne sredine, kao što je Zakon o proceni uticaja na životnu sredinu („Sl. Glasnik RS“, 135/04 i 36/09) koji su definisali procedure, postupke i nadležnosti procene uticaja strategija, planova i projekata na zaštićena prirodna dobra i prirodne celine, kao i mere zaštite. Podzakonski dokumenti koji se koriste u proceni uticaja puta na životnu sredinu i definisanju mera zaštite su i Pravilnik o specijalnim tehničko-tehnološkim rešenjima koja omogućavaju nesmetanu i sigurnu komunikaciju divljih životinja („Sl. Glasnik RS“, br. 72/10), Pravilnik o kriterijumima za izdvajanje tipova staništa, o tipovima staništa, osetljivim, ugroženim retkim i za zaštitu prioritarnim tipovima staništa i o merama za njihovo očuvanje („Sl. Glasnik RS“, br. 35/10) i Pravilnik o proglašenju i zaštiti strogo zaštićenih i zaštićenih divljih vrsta biljaka, životinja i gljiva („Sl. Glasnik RS“, br. 05/10).

Strategije biološke raznovrsnosti Republike Srbije za period od 2011. do 2018. godine („Sl. Glasnik RS“, br. 13/11) definiše nivoe ugroženih vrsta, tipove staništa, genetičku raznovrsnost, kao i pritiske i direktne faktore ugrožavanja biodiverziteta Republike Srbije. Strategija takođe predstavlja sistem zaštićenih područja, ekološke mreže, zaštićene vrste i ostala zaštićena prirodna dobra i promoviše informisanost i učešće javnosti.

Uredba o ekološkoj mreži („Sl. Glasnik RS“, br. 102/10) definiše ekološki značajna područja (zaštićena prirodna dobra, Emerald mrežu, Ramsarska područja, značajna područja za ptice i biljke, značajne tipove staništa, staništa zaštićenih divljih vrsta), ekološke koridore koji povezuju ekološki značajna područja i zaštitne zone tamo gde je potrebna zaštita ekološki značajnih područja i ekoloških koridora od mogućih štetnih spoljnih uticaja. Pominju se i Natura 2000 područja koja će tek biti identifikovana u narednim godinama i njima će se upravljati na poseban način nakon prijema Republike Srbije u Evropsku Uniju.

## 2. ANALIZA UTICAJA PUTNE INFRASTRUKTURE

Uticaj putne infrastrukture na biljni i životinjski svet i zaštićena prirodna dobra može se sagledati i u ranim fazama planiranja, kroz Strateške procene uticaja plana ili urbanističkog projekta na životnu sredinu i kroz Prethodne analize uticaja na životnu sredinu (Prethodna studija opravdanosti) uz Generalni projekat, ali i kroz druge vidove dokumenata, kao što su: republičke i lokalne strategije razvoja, planove transpornog sektora, dokumenta Agencije za zaštitu životne sredine, planove upravljanja zaštićenim vrstama i prirodnim dobrima i različite studije.

<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: ivana.vukovic@putevi-srbije.rs

U fazi Idejnog projekta, ako se donese Rešenje nadležnog organa da je potrebno, izrađuju se Studije o proceni uticaja na životnu sredinu ili propisuju minimalne mere zaštite, a u okviru Projekta za građevinsku dozvolu, izrađuje se Projekat zaštite životne sredine.

Utjecaji izgradnje i korišćenja saobraćajne infrastrukture na prirodna staništa, populacije i jedinke su mnogobrojni:

- 1) direktan gubitak staništa,
- 2) degradacija kvaliteta staništa,
- 3) fragmentacija staništa (otežan pristup značajnim delovima staništa, fragmentacija populacija),
- 4) naglašeni efekat rubnog staništa,
- 5) izbegavanje područja sa putnom infrastrukturom,
- 6) smrtnost divljači na putevima,
- 7) navikavanje divljih vrsta na ljude, što često rezultuje eliminacijom divljih jedinki, kao što je bio slučaj sa populacijom mrkih medveda u Nacionalnom parku Jelouston[7],
- 8) promena biodiverziteta,
- 9) promena hidrološkog režima,
- 10) erozija,
- 11) zagađenost ocednih voda sa puteva,
- 12) upotreba soli na putevima,
- 13) buka,
- 14) akcidenti i hazardne materije[8].

## 2.1. Mere zaštite

Mere zaštite životinjskog i biljnog sveta, kao i značajnih prirodnih celina od uticaja puta i saobraćaja definišu se u fazi procene uticaja na životnu sredinu, paralelno sa izradom idejnog projekta saobraćajnice:

- 1) Istražuje se prisustvo ugroženih, retkih i zaštićenih životinjskih vrsta u zoni uticaja saobraćajnice, pribavljaju se uslovi nadležnog Zavoda za zaštitu prirode. Na osnovu uslova se koriguje trasa puta ako prolazi kroz zaštićeno prirodno dobro ili se u daljem postupku preduzimaju posebne mere zaštite ako nisu moguća druga rešenja. Opcija je da se trasa položi na objekte, tunele i mostove.
- 2) Na osnovi stepena ranjivosti i brojnosti populacije životinjskih i biljnih vrsta, kao i saobraćajnog opterećenja u planskom periodu i udaljenosti puta od staništa analizira obim uticaja izgradnje, samog prisustva, eksploatacije i održavanja saobraćajnice na biljni i životinjski svet.
- 3) Definišu se mere zaštite, odnosno ublažavanja uticaja i plan praćenja stanja životne sredine.

Studija o proceni uticaja, kao rezultat ovog procesa, sa pridruženim uslovima nadležnog Zavoda za zaštitu prirode, predstavlja osnovu za izradu Glavnog projekta zaštite životne sredine[6].

**Integracija različitih strukturnih** elemenata može se primeniti u zaštiti prirodnih elemenata od saobraćajne infrastrukture, a od kojih su prolazi i prelazi definisani Pravilnikom o specijalnim tehničko-tehnološkim rešenjima koja omogućavaju nesmetanu i sigurnu komunikaciju divljih životinja :

- 1) postavljanje ograda – dokazano delotvoran način za sprečavanje jelena u prelaska puta je korišćenje žičanih ograda[9]; za gmizavce i vodozemce se mogu postavljati plastične ili metalne ograde sa ivicom spuštenu pod uglom od 90° da se spreči penjanje; za male životinje u dnu već postojeće žičane ograde postavlja se gušće tkanje[8]



**Slika 1.** Žičana ograda sa plastičnim zastorom u donjem delu, za sprečavanje prolaza jazavaca

Izvor: <http://environment.fhwa.dot.gov/ecosystems/wvc/ch5.asp>



**Slika 2.** Plastične barijere sa spuštrenom ivicom za sitnije gmizivce i vodozemce

Izvor: <http://environment.fhwa.dot.gov/ecosystems/wvc/ch5.asp>

- 2) modifikovani kanali za odvod vode,
- 3) drenažni propusti,
- 4) propusti za potoke i mostovi iznad reka i potoka,
- 5) produžavanje mostova preko kopnenog dela i korišćenje postojećih struktura,
- 6) viadukti,
- 7) nadzemni prelazi za divlje životinje[8].

**Restauracija ili specifična zaštita staništa** može se koristiti za umanjeње uticaja puta na stanište ili divlji svet. Nakon izgradnje propisuje se restauracija i revitalizacija zemljišta koja su se koristila kao pozajmišta materijala i mesto za građevinske mašine. Mnoge države implementiraju programe otkupa zemljišta sa karakterističnim tipom staništa gde sele ugrožene vrste osetljive na štetne uticaje puta ili formiraju prirodne koridore prema neugroženim staništima[8].

**Programski sporazumi** su nov koncept u svetu i daju priliku da se svi uticaji puta na životnu sredinu razmatraju na programskom nivou i konstatuju oni najznačajniji[8]. Praktično, to znači da se implementiraju programski sporazumi između upravljača putevima (nadležnog ministarstva, javnih preduzeća, direkcija za izgradnju) i organizacija za zaštitu prirode (nadležnih zavoda za zaštitu prirode i različitih udruženja za zaštitu prirode, prirodnačkih muzeja i sl.). Ovi sporazumi garantuju održivost ugroženih i zaštićenih staništa i vrsta i konzervacionih prioriteta i planova za određenu oblast, tako što ih prikazuju i naglašavaju u politikama i programima institucija nadležnih za putnu infrastrukturu i saobraćaj, kao i u programima organizacija za zaštitu prirode. Ovi programski sporazumi mogu dovesti do toga da se usvoje specifične metodologije za procenu uticaja i mere zaštite za određene ugrožene vrste, kao što je kanadski ris u Koloradu[10].

### 2.1.1. Umanjivanje i sprečavanje uticaja puta na biljni i životinjski svet

U JP „Putevi Srbije“ segment zaštite prirode na nivou projektovanja detaljno tretira u Studijama o proceni uticaja na životnu sredinu gde se prokazuje stanje, značajni uticaji i mere zaštite biljnog i životinjskog sveta. U slučajevima kada se za neki projekat ne radi Studija o proceni uticaja na životnu sredinu, propisuju se minimalne mere zaštite i poštuju uslovi propisani u dokumentima višeg ranga, kao što je Izveštaj o strateškoj proceni plana ili programa na životnu sredinu. U Glavnom projektu se razrađuje projekat zaštite životne sredine na osnovu Studije, detaljno prikazuju tehnička rešenja za zaštitu i precizira plan monitoringa, nadležnosti i odgovornosti.

U Tabeli 1. date su mere zaštite za različite grupe životinja koje predstavljaju kombinaciju specifičnih mera zaštite flore i faune sa merama zaštite od buke i merama zaštite zemljišta i vodotokova.

**Tabela 1. Grupe životinja i mere za njihovu zaštitu**

Grupa životinja	Mera
SISARI	<ul style="list-style-type: none"> <li>– zaštitne i usmeravajuće ograde</li> <li>– upozorenja i saobraćajni znakovi</li> <li>– prelazi preko i prolazi ispod saobraćajnice</li> <li>– produženi mostovi i vijadukti</li> <li>– uređenje kosina</li> <li>– prilagođavanje objekata predviđenih za kretanje životinja već prisutnih na putu</li> </ul>
VODOZEMCI	<ul style="list-style-type: none"> <li>– upozorenja i saobraćajni znakovi</li> <li>– prelazi preko saobraćajnice, produženi mostovi i vijadukti</li> <li>– prolazi ispod saobraćajnice sa usmeravajućim ogradama</li> <li>– privremene zaštitne ograde za vreme migracija</li> <li>– odvodnjavanje puta sa separatorima ulja</li> </ul>
GMIZAVCI	<ul style="list-style-type: none"> <li>– upozorenja i saobraćajni znakovi</li> <li>– prelazi preko i prolazi ispod saobraćajnice</li> <li>– produženi mostovi i vijadukti</li> <li>– zaštitne (usmeravajuće) ograde</li> </ul>
VODENI ORGANIZMI	<ul style="list-style-type: none"> <li>– kontrolisano odvodnjavanje puta, primena protočnih separatora ili retenzija pre upuštanja u recipijent</li> <li>– planiranje izgradnje preko vodotokova u periodu godine kada su najmanje posledice po vodene organizme</li> <li>– odgovarajuća regulacija vodenih tokova</li> </ul>
PTICE	<ul style="list-style-type: none"> <li>– odvodnjavanje puta sa separatorom ulja</li> <li>– usmereno osvetljenje puta</li> <li>– upotreba neprovidnih konstrukcija za zaštitu od buke</li> <li>– aplikacije na providnim zidovima za zaštitu od buke u cilju sprečavanja udara ptica</li> <li>– sadnja žbunastog rastinja, ili kombinacije rede raspoređenog drveća i nižeg rastinja između stabala, visine oko 2m, paralelno sa osovinom puta, van granice preglednosti</li> </ul>
KOPNENI BESKICMENJACI	<ul style="list-style-type: none"> <li>– odgovarajuće, usmereno osvetljenje puta, svetlost određene talasne dužine</li> </ul>

Izvor: Prolazi i prelazi za životinje[6]

Nakon utvrđivanja stanja i procene uticaja, neke od mera zaštita biljnog i životinjskog sveta koje su kroz studije do sada propisane su:

- podizanje zaštitnih ograda,
- postavljanje ograda za usmeravanje divljači ka prolazima,
- korišćenje mostova kao multifunkcionalnih prolaza za sitne i krupne životinje,
- korišćenje vodotokova ispod mostova kao ekoloških koridora, uz korigovanje obala,
- pločasti, zasvedeni i cevasti hidrotehnički propusti za sitnije predstavnike faune,
- revitalizacija delova zemljišta oštećenih u toku izgradnje, u pojasu i van pojasa puta,

- obeležavanje i zaštita staništa ugroženih vrsta,
- ozelenjavanje nasipa vrstama koje se brzo razvijaju i učvršćuju tlo,
- izbegavanje krčenja i uništavanja preostalih šumaraka, živica, čestara i drvoreda koja predstavljaju pogodna skloništa, mesta za gnežđenje i mesta nalaženja hrane mnogih vrsta,
- cevi za drenažu tla kao prolaz za vodozemce.

## 2.2. Procedura odlučivanja i zaštita područja Natura 2000

U Uredbi o ekološkoj mreži („Sl. Glasnik RS“, br. 102/10) se u članu 14. navodi da će ekološki značajna područja Evropske Unije Natura 2000 biti identifikovana i postati deo evropske ekološke mreže Natura 2000 danom pristupanja Republike Srbije Evropskoj Uniji. To znači da svi mehanizmi vezani za ova područja moraju do tada biti precizirani i uspostavljeni.

Potreba za posebnim sistemom zaštite Natura 2000 područja proizilazi iz uputstava iskazanih u članu 6, pasus (3) i (4) *Direktive o staništima*.<sup>[1]</sup> Ovi članovi navode da svaki plan ili projekat koji nije vezan za upravljanje određenim zaštićenim područjem, već će značajno uticati na njega, samostalno ili u kombinaciji sa drugim planovima ili projektima, mora biti predmet odgovarajuće (namenske) procene uticaja uzimajući u obzir konzervacione ciljeve datog područja. U zavisnosti od zaključaka ove procene uticaja, odgovarajući nadležni organi će dati saglasnost na plan ili projekat tek kada utvrde da neće štetno uticati na održivost i celovitost navedenog područja i, u slučajevima kada je to potrebno, nakon što su uzeli u obzir i mišljenje zainteresovane javnosti.<sup>[1]</sup> Iz ovog razloga je jako bitno da se zainteresovana javnost uključi u ranim fazama planiranja i na tom nivou da svoj doprinos, da bi kasnije sam proces realizacije ciljeva navedenih u planovima, u vidu projektovanja i izvođenja projekata, tekao bez komplikacija. Ovo napominjemo naročito vezano za projektovanje i izvođenje puteva gde je izuzetno važno da se konkretni uticaji na životnu sredinu precizno i kvalitetno sagledaju u najranijim fazama procene uticaja na životnu sredinu – generalnim projektima, planskim i urbanističkim dokumentima.

Pasus (4) *Direktive o staništima* navodi da, ako se proceni da postoje štetni uticaji na Natura 2000 područje i da ne postoje alternativna rešenja, plan ili projekat ipak treba realizovati u slučaju razloga naglašenog javnog interesa, uključujući i razloge socijalne i ekonomske prirode. Tada je država dužna da preuzme sve mere neophodne za zaštitu održivosti same Natura 2000 mreže i obavesti Evropsku Komisiju o preduzetim kompezacionim merama. U slučaju da je na ovom području prisutan izuzetno značajan tip prirodnog staništa ili izuzetno značajna, prioritetna vrsta, razlozi za realizaciju plana ili projekta bili bi: benefiti po ljudsko zdravlje ili opštu bezbednost, korisne posledice od prevashodnog značaja za životnu sredinu, mišljenje Evropske Komisije ili drugi naglašeni javni interes.<sup>[1]</sup> Ovi elementi pokazuju visok nivo na koji je stavljena zaštita ovih područja.

Postupak o odlučivanju o potrebi procene, kao i odlučivanje o davanju saglasnosti na odgovarajuću procenu uticaja plana ili projekta na Natura 2000 područje, može se najbolje sagledati u vidu Šeme 1, koja prikazuje različite faze odlučivanja: utvrđivanje stanja životne sredine i potencijalnih uticaja (prva faza), odgovarajuću procenu uticaja na Natura 2000 područje (druga faza), procenu alternativnih rešenja (treća faza) i procenu kompezacionih mera (četvrta faza).<sup>[2]</sup>

Ono što je bitno naglasiti da se zaštita Natura 2000 područja vodi **principom predostrožnosti**: kada je prisutna neizvesnost u odlučivanju, konzervacioni ciljevi zaštićenog područja moraju prevagnuti.<sup>[2]</sup> Da bi se dobila saglasnost za plan ili projekat mora se dokazati da:

- 1) neće biti značajnog uticaja na Natura 2000 područje (utvrđivanje stanja i potencijalnih uticaja),
- 2) neće biti štetnih uticaja na održivost zaštićenog područja (odgovarajuća procena uticaja),
- 3) nisu moguća alternativna rešenja (procena alternativnih rešenja),
- 4) utvrđuju se kompezacione mere (procena kompezacionih mera).

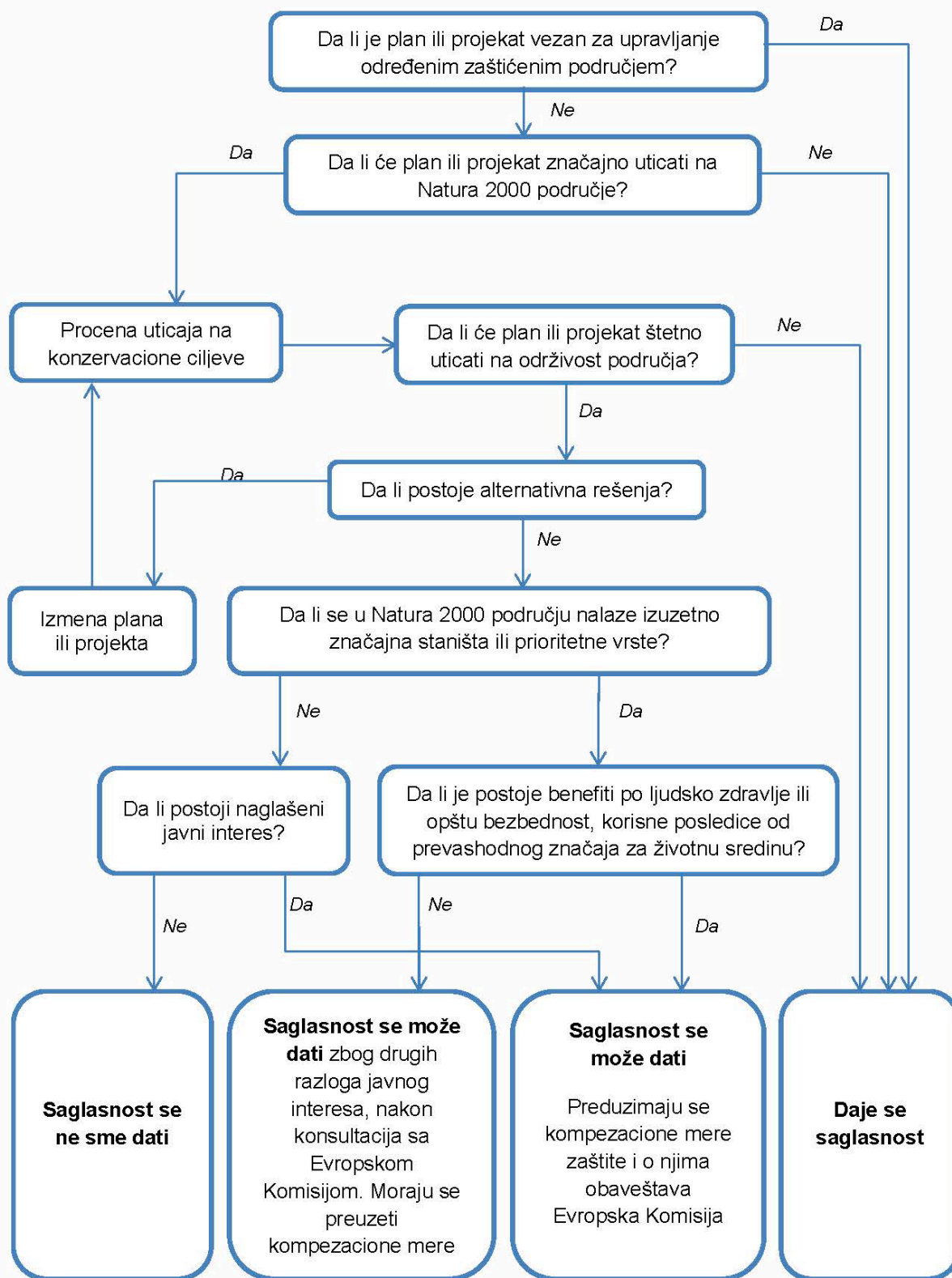
Saglasnost na projekat, prema gore navedenom, može se dobiti na različitim nivoima odlučivanja, slično postupku procene uticaja na životnu sredinu, propisanom Zakonom o proceni uticaja na životnu sredinu („Sl. Glasnik RS“, br. 135/04 i 36/09). Za projekte koji podležu navedenom zakonu, prvo se sprovodi postupak odlučivanja o potrebi procene uticaja na životnu sredinu. Ako se odluči da je potrebna procena, dobija se rešenje o obimu i Sadržaju studije o proceni uticaja na životnu sredinu, koja prikazuje uticaje projekta na životnu sredinu i predlaže mere zaštite.

U tom smislu je postupak procene uticaja na Natura 2000 područje kompleksniji, jer podrazumeva odlučivanje na više nivoa, konstantno stavljajući u fokus konzervacione potrebe tog područja i očuvanje ne



samo određenog zaštićenog dela, već kompletne Natura 2000 mreže na određenoj teritoriji, podižući značaj određenog plana ili projekta na regionalni nivo.

Šema 1. Razmatranje plana ili projekta koji utiče na Natura 2000 područje



Izvor: Assessment of plans and projects significantly affecting Natura 2000 sites[2]

Putna privreda i upravljači puteva detaljnije razmatraju kompletnu problematiku uticaja na ova zaštićena područja zbog izuzetne kompleksnosti ne samo budućih, već i postojeće procedure procenjivanja uticaja na životnu sredinu na nivou planiranja (postupak podleže Zakonu o strateškoj proceni uticaja na životnu sredinu („Sl. Glasnik RS“, br. 135/04 i 88/10)) i nivou projektovanja i izvođenja puteva.

Zbog mogućnost da se usled utvrđivanja ugroženosti Natura 2000 područja i mreže stopira izvođenje projekta, detaljnoj proceni uticaja na Natura 2000 područje preporučljivo je pristupiti u mnogo ranijim fazama Strateške procene uticaja na životnu sredinu ili čak prilikom Prethodne analize uticaja na životnu sredinu u okviru Prethodne studije opravdanosti uz Generalni projekat, gde se razmatraju različite varijante trase puta (Pravilnik o sadržini i obimu prethodnih radova, prethodne studije opravdanosti i studije opravdanosti („Sl. Glasnik RS“, br. 01/2012)).

Preporuka je Evropske komisije da za planove za koje se vrši strateška procena uticaja, odnosno kod projekata za koje se izrađuje Studija o proceni uticaja na životnu sredinu, **procena uticaja na Natura 2000 područje** (ako postoji u okviru plana ili projekta) **MOŽE BITI DEO ovih dokumenata, ali da je u dokumentu JASNO OZNAČENA ili podneta kao posebna knjiga.**[2]

Ono što je veoma komplikovano sagledati, a naročito kod velikih projekata koji se sprovode nezavisno jedan od drugog je kumulativni efekat tih projekata. U ovom slučaju se vidi prava vrednost strateške procene uticaja na životnu sredinu za određeno područje. U okviru utvrđivanja potencijalnih uticaja na Natura 2000 područje vrši se i kumulativna procena uticaja gde se identifikuju svi planovi/projekti koji i definišu granice i puteve kumulativnog dejstva.

Značaj uticaja puta npr. na stanište, se utvrđuje na osnovu procenta gubitka staništa u okviru zaštićenog područja. Potom se taj procenat razmatra u okviru ukupne površine datog tipa staništa na teritoriji određene države i utvrđuje procenat gubitka staništa koji značajno utiče na održivost staništa na posmatranoj teritoriji.[2] Drugim rečima, za svaku prirodnu celinu, populaciju biljaka ili životinja ili tip staništa može se utvrditi statistički značajan procenat čiji gubitak uzrokuje poremećaj u ekosistemu.

Mere za ublažavanje uticaja na životnu sredinu koje bi ponudile odgovarajuću zaštitu područja su: planiranje građevinskih radova tako da se izbegne ili ublaži uticaj na populacije životinja ili uništenje gnezda i zaklona, detaljan plan monitoringa odobren od strane nadležnog organa, rekultivacija gradilišta, sezonska dozvole za rad i sl.[3] Ono što se može uzeti kao kompenzatorna mera zaštite vrsta od izuzetnog značaja čije stanište se neminovno uništava je stvaranje tzv. „zamenskih staništa“ na neugroženoj lokaciji povezanoj sa migratornim rutama populacije, a u okviru zaštićenog prirodnog dobra. Ovi projekti su izuzetno skupi jer se formira novo stanište po ugledu na staro.

Kada su alternativna rešenja u pitanju, što je izuzetno vidljivo kod projektovanja puteva, moguće je ponuditi neke varijante koje manje utiču na životnu sredinu i, u budućnosti, Natura 2000 područja, ali su to često skuplje varijante. Kroz utvrđivanje javnog interesa, može se izglasati opcija koja je finansijski povoljnija. Preporuke Evropske Komisije nam sugerišu da bolje ispitamo situaciju, kada su Natura 2000 područja u pitanju, shvatimo njihov značaj i zauzmemo stav koji promovise zaštitu životne sredine, što je uostalom i obaveza u procesu priključenja Evropskoj Uniji.

### 3. ZAKLJUČAK

Ono što procena uticaja na Natura 2000 područje naglašava u odnosu na klasičnu procenu uticaja na životnu sredinu su:

- 1) Uzimanje u obzir svih uticaja, naročito posrednih i kumulativnih,
- 2) Detaljno pojašnjenje kriterijuma korišćenih za određivanje obima uticaja,
- 3) Detaljno pojašnjenje kriterijuma korišćenih za određivanje značaja uticaja,
- 4) Razmatranje svih mogućih mera za umanjenje uticaja,
- 5) Razmatranje mogućih unapredjenja biodiverziteta,
- 6) Precizno utvrđivanje mogućih uticaja,
- 7) Jasno i stručno tumačenje rezultata,
- 8) Korišćenje relevantne naučne literature,
- 9) Poboljšani model predstavljanja informacija,

10) Obavezan monitoring nakon izvođenja projekta.<sup>[4],[5]</sup>

Takođe, ovakva procena razmatraće strukturne i funkcionalne odnose (povezanost, fragmentaciju i remećenje staništa, hidrološke i demografske elemente), koristeće terminologiju vezanu za biodiverzitet i vezaće se za konzervacione planove područja.[3]

Procena uticaja na Natura 2000 područje postavlja i neka kompleksnija pitanja:

- kakav uticaj će projekat imati na genetiku određene vrste,
- da li će neki genotipovi biti izolovani od populacije vrste,
- koliko intenzivno će biti fragmentisno stanište,
- kako će plan ili projekat uticati na ekosistemske procese,
- da li će plan ili projekat učiniti ekosistem ranjivijim ili podložnim promeni,
- koji abiotički efekti će se biti naglašeni – promena sezonskih nivoa vodotokova, promena temperaturnog režima, gubitak zemljišta, zasićenje nutrijentima, promena kiseoničnog bilansa,
- da li se diverzitet prati na nivou vrste, zajednice ili ekosistema,
- da li su vrste prisutne na području adaptabilne,
- da li je procena zasnovana na dugoročnom monitoringu životne sredine, početnom stanju životne sredine, terenskim istraživanjima i rekognosciranjem terena,
- da li su planovi izrađeni nakon mišljenja javnosti, nevladinih organizacija i ostalih zainteresiranih strana?[3]

Sva ova pitanja ukazuju na konzervacioni aspekt zaštite Natura 2000 područja i uvođenje u proceduru stručnjaka iz ove oblasti, kao i pažljivo i sistematično prikupljanje podataka, koje može predstavljati veliki izazov kod nas. Baze podataka o biodiverzitetu su nesisematizovane, nedovoljna je zastupljenost korišćenja GIS platforme, ograničena dostupnost podataka i sl. Državne ustanove koje se bave sakupljanjem podataka o biodiverzitetu i same su u procesu izgradnje svojih baza o tipovima staništa, ekološkoj mreži i kretanjima populacija i jedinki, a mnogobrojni naučni radovi iz ove oblasti često se ne nalaze u referencama obrađivača.

Mi sagledavamo ovaj postupak unapred kako bi smo pokušali da predupredimo poteškoće na koje ćemo naići i da pokušamo da uspostavimo u budućnosti korake koji će dovesti do efikasnije realizacije ovakvih dokumenata.

## Literatura

- [1] European Commission (1992) *Council Directive 92/43/EEC on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora*. Official Journal of the European Union, Legislation 206, 22.7.1992: 7-50.
- [2] European Commission, Environment DG (2002) *Assessment of plans and projects significantly affecting Natura 2000 sites*. Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg. 76 pp.
- [3] Byron, H. (2000) *Biodiversity and environmental impact assessment: Good practice guide for road schemes impact*, Sandy, UK, the RSPB, WWF-UK, English Nature and the Wildlife Trusts. 120 p.
- [4] Byron, H.J.; Treweek, J.R.; Sheate, W.R.; Thompson, S. (2000) *Road developments in the UK: an analysis of ecological assessment in environmental impact statements produced between 1993 and 1997*. Journal of Environmental Planning and Management, 43(1): 71-97.
- [5] Treweek, J.R.; Thompson, S.; Veitch, N.; Japp, C. (1993) *The ecological component of environmental impact assessment: a critical review of British Environmental statements*. Journal of Environmental Planning and Management, 40(2): 157-171.
- [6] Javno preduzeće „Putevi Srbije“ (2012) 7.4. *Prolazi i prelazi za životinje*. Projekat rehabilitacije transporta, Republika Srbija. Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji Vol. 7: 19 p.
- [7] Gunther, K.; Biel, M. (1999) *Reducing Human-Caused Black and Grizzly Bear Mortality Along Roadside Corridors in Yellowstone National Park Proceedings of the Third International Conference*

*on Wildlife Ecology and Transportation*. FL-ER-73-99, Florida Department of Transportation, Tallahassee, 25–28 pp.

- [8] Envik, G.L. (2002) *Interaction Between Roadways and Wildlife Ecology, A Syntesis of Highway Practice*. Transportation Research Board. Washington, DC. 84 p.
- [9] Ludwig, J.; Bremicker, T. (1983) *Evaluation of 2.4 Meter Fences and One-Way Gates for Reducing Deer–Vehicle Collisions in Minnesota, Transportation Research Record 913*. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.: 19–22.
- [10] Barnum, S.A. (1999) *A Programmatic Agreement to Minimize Highway Project Impacts on Canada Lynx, Lynx canadensis, in Colorado*. Proceedings of the Third International Conference on Wildlife Ecology and Transportation. FL-ER-73-99. Florida Department of Transportation, Tallahassee: 67–74.

## СТРАТЕШКЕ КАРТЕ БУКЕ У ДРУМСКОМ САОБРАЋАЈУ

**Мимоза Јеличић<sup>1</sup>, маг.географ**

*Јавно предузеће „Путеви Србије“, Београд*

**Ђорђе Митровић, дипл.грађ.инж.**

*Јавно предузеће „Путеви Србије“, Београд*

**Душица Милинковић, дипл.пр.план**

*Јавно предузеће „Путеви Србије“, Београд*

**Ивана Матић, маг.еколог**

*Јавно предузеће „Путеви Србије“, Београд*

**Резиме:** Бука несумњиво представља један од просторно најизраженијих утицаја, а друмски саобраћај је њен доминантан извор. Да би се сагледале размере утицаја буке Европски парламент је израдио директиву која даје смернице за квантификовање овог утицаја и активности за његово ублажавање. Стратешке карте буке представљају извештај о угрожености људске популације прекомерним нивоима буке пореклом од различитих вештачких извора. Изражавају се бројем становника изложених различитим нивоима буке у интервалима од 5 dB(A). Законом о заштити од буке у животној средини („Сл. гласник РС”, 36/09 и 88/10) дефинисан је рок до када је неопходно завршити стратешке карте буке у Србији.

У раду је дат приказ активности које се предузимају у ЈП „Путеви Србије“ у циљу разрешења проблематике израде стратешких карата буке на државним путевима I и II реда према важећој регулативи. План ЈП „Путеви Србије“ је да се, до средине 2016. године, на мрежи државних путева Србије са годишњим саобраћајем преко 3 милиона возила израде стратешке карте буке. Оне представљају основу за израду акционих планова за ублажење и отклањање овог утицаја.

**Кључне речи:** Бука, стратешке карте буке, ЈП „Путеви Србије“, државни путеви

**Keywords:** noise, strategic noise maps, Public Enterprise „Roads of Serbia”, public roads

---

<sup>1</sup> Аутор задужен за кореспонденцију: mimoza.jelicic@putevi-srbije.rs

## 1. УВОД

Бука која потиче од друмског саобраћаја представља просторно најизраженији утицај на животну средину данашњице. Можемо слободно рећи да је бука постала глобални проблем, али исто тако можемо слободно рећи и да је проблем саобраћајне буке локални проблем директно повезан са просторним и урбанистичким планирањем. Бука као загађивач данашњице има посебне карактеристике јер је она, пре свега, субјективни доживљај. Политика заштите животне средине ЈП „Путеви Србије“ има за циљ смањење негативних утицаја путног сектора на окружење. Почетком 2014. године покренута је јавна набавка за реализацију обавеза проистеклих из примене Директиве ЕУ везане за заштиту од буке (END 2002/49/EC) у виду израде стратешких карата буке на најоптерећенијим деоницама државне путне мреже. Стратешке карте буке представљају извештај о изложености људске популације прекомерним нивоима буке пореклом од различитих вештачких извора.

## 2. ЗАКОНСКА ОСНОВА ЗА ИЗРАДУ СТРАТЕШКИХ КАРТА БУКЕ

Директива о процени и управљању буком у животној средини (END 2002/49/EC), усвојена од стране Европског парламента, представља кровни документ и полазну основу за заштиту животне средине од буке. Она дефинише методе и правила израде стратешких карата буке. Законодавство Републике Србије је транспоновало овај документ у сет правних аката из 2010. године. Закон о заштити животне средине од буке („Сл. гласник РС“, бр.36/2009 и 88/2010) и пратећа подзаконска акта (једна уредба и пет правилника), која су донета у периоду октобар-новембар 2010. године, у потпуности су усаглашени са Директивом 2002/49/EC.

Новина које је донео Закон је израда стратешких карата буке које представљају обавезан вид извештавања јавности. Стратешке карте буке представљају стање буке у животној средини, односно податке о постојећим и процењеним нивоима буке. Из стратешких карата се могу прочитати места на којима је ниво буке виши од дозвољеног и те карте служе као основа за израду акционих планова за заштиту становништва од буке. План Јавног предузећа „Путеви Србије“ је да се до половине 2016. године за све деонице на мрежи државних путева Србије са годишњим саобраћајем преко 3 милиона возила, израде стратешке карте буке.

Путеви са припадајућим саобраћајем спадају у групу највећих загађивача животне средине буком и сходно томе Јавно предузеће „Путеви Србије“ предузело је адекватне кораке у планирању и пројектовању, а у складу са законском регулативом у овој области, како би се негативни утицаји пута на животну средину свели на најмању могућу меру. Самосталним чланом 13. Закона о изменама и допунама Закона о заштити од буке у животној средини („Службени Гласник РС“ бр.36/2009 и 88/2010) прецизиран је рок за израду стратешких карата буке за главне путеве са просечним годишњим протоком саобраћаја већим од 6.000.000 возила, најкасније до 30. јуна 2015. године. Истим чланом је прецизиран рок за израду стратешких карата буке за главне путеве са просечним годишњим протоком саобраћаја већим од 3.000.000 возила, најкасније до 31. децембра 2020. године. Стратешке карте буке користе се као основа за израду акционих планова заштите од буке у животној средини и као средство за обавештавање јавности о нивоу буке у животној средини и штетним ефектима.

## 3. ПОСТУПАК ИЗРАДЕ СТРАТЕШКИХ КАРТА БУКЕ

Јавно предузеће „Путеви Србије“ као управљач над државним путевима у Републици Србији један је од субјеката заштите животне средине у активностима везаним за заштиту од буке друмског саобраћаја. Носилац активности на заштити животне средине у ЈП „Путеви Србије“ је Одељење за заштиту животне средине које ради у оквиру Сектора за стратегију, пројектовање и развој. Полазна основа за рад одељења су закони везани за област заштите животне средине.

ЈП „Путеви Србије“ је у оквиру своје надлежности, а у складу са члановима 2, 4. и 20. Закона о заштити од буке у животној средини („Сл. гласник РС“, 36/09 и 88/10) и поштујући рокове предвиђене

самосталним чланом 13. Закона о изменама и допунама Закона о заштити од буке у животној средини („Сл. гласник РС“ 88/10), као пионир у овој области започело 2013. године израду стратешких карата буке за државне путеве I и II реда. Рок за израду стратешких карата буке за главне путеве са просечним годишњим протоком саобраћаја већим од 6.000.000 возила, предвиђен је најкасније до 30. јуна 2015. године, док је рок за израду стратешких карата буке за главне путеве са просечним годишњим протоком саобраћаја већим од 3.000.000 возила најкасније до 31. децембра 2020. године.

Сходно Закону о заштити од буке (Сл. Гласник Р. Србије бр. 36/209 и 88/2010), Јавно предузеће „Путеви Србије“ је својим Програмом пословања за 2013. годину успешно реализовало стратешке карте буке за четири деонице државних путева са просечним годишњим протоком саобраћаја већим од 6.000.000 возила, док су програмом пословања за 2014. годину успешно реализоване стратешке карте буке за две деонице са саобраћајним оптерећењем већим од 6.000.000 возила годишње и то:

1. Добановци – аеродром „Никола Тесла“ (L = 5,3 km);
2. Врчин – Мали Пожаревац (L = 14,3 km);
3. Мали Пожаревац – Умчари – Водањ – Колари (L = 12,4 km);
4. Колари – Раља (Смедерево) – Раља (Пожаревац) (L = 13,4 km);
5. Бубањ Поток - Врчин (L = 9,3 km);
6. Велика Плана - Марковац (L = 12,0 km)

Како би се испоштовао предвиђени законски рок за израду стратешких карата буке, у програму пословања за 2015. годину, у Јавном предузећу „Путеви Србије“ је предвиђена израда стратешких карата буке за све деонице државних путева са саобраћајним оптерећењем већим од 3 милиона возила годишње. Реализација свих стратешких карата буке је предвиђена до краја јуна месеца 2016. године.

Полазна основа за израду стратешких карата буке је пројектни задатак чија је израда неминовно представљала велики изазов за Одељење за заштиту животне средине. Пројектним задатком је дефинисана израда стратешких карата буке на државним путевима I и II реда, у складу са одредбама и методологијом Закона о заштити од буке у животној средини („Сл. гласник РС“ 36/09 и 88/10) и пратећим подзаконским актима који регулишу ову област:

1. Уредбом о индикаторима буке, граничним вредностима, методама за оцењивање индикатора буке, узнемиравања и штетних ефеката буке у животној средини („Сл. гласник РС“, бр. 75/10),
2. Правилником о методама мерења буке, садржини и обиму извештаја о мерењу буке („Сл. гласник РС“, бр. 72/10)
3. Правилником о садржини и методама израде стратешких карата буке и начину њиховог приказивања јавности („Сл. гласник РС“, бр. 80/10).

Деонице државних путева за које се израђују стратешке карте буке су дефинисане на основу документа Просечан годишњи дневни саобраћај – ПГДС за 2012. годину ([www.putevi-srbije.rs](http://www.putevi-srbije.rs)). Почетне и крајње тачке деоница су дефинисане на основу Референтног система Републике Србије, а путни правци на основу Уредбе о категоризацији државних путева („Сл. гласник РС“, бр. 105/13 и 119/13).

Стратешке карте буке представљају податке о постојећим и процењеним нивоима буке, који су приказани индикаторима буке. Стратешке карте буке садрже приказ података о стању буке, а нарочито<sup>2</sup>:

1. Постојећи, претходни и процењени ниво буке у животној средини изражен индикаторима буке,
2. Места прекорачења прописаних граничних вредности,
3. Процену броја домаћинства, школа, болница на одређеном простору које су изложене буци изнад прописаних граничних вредности
4. Процену броја људи који се налазе на одређеном простору изложеном буци изнад прописаних граничних вредности

<sup>2</sup> Закон о заштити од буке у животној средини („Сл. Гласник РС“ 36/2009 и 88/2010)

5. Друге прописане податке.

Стратешке карте буке ревидирају се сваке пете године рачунајући од дана почетка њихове припреме. Акциони планови за заштиту од буке се раде на основу стратешких карата буке и по потреби се ревидирају уколико је дошло до значајне промене у погледу постојећег нивоа буке у животној средини, а најмање сваке пете године.

За потребе информисања јавности и израде акционих планова стратешке карте буке садрже нарочито:<sup>3</sup>

1. Графички приказ индикатора буке,
2. Карте која приказују подручја с прекорачењем граничних вредности,
3. Карте у којима се постојеће стање пореди с могућим будућим ситуацијама
4. Карте које приказују вредност индикатора буке на висинама мањим или већим од 4 метара, ако то захтева ситуација на терену.

Стратешка карта буке се састоји из текстуалног и графичког дела. Чланом број 10. Правилника о садржини и методама израде стратешких карата буке и начину њиховог приказивања јавности („Сл. гласник РС“, бр. 80/10), дефинише се текстуални део стратешких карата буке главних друмских саобраћајница који садржи најмање:

1. Општи опис предметне деонице пута укључујући нарочито локацију, величину и податке о саобраћају за 2012. годину (релевантна година је дефинисана на основу расположивих података ЈП „Путева Србије“);
2. Опис насељених подручја у окружењу предметне деонице пута, укључујући, нарочито, локацију, величину и податке о намени простора, као и другим главним изворима буке;
3. Опис мера и програма заштите од буке који су се спроводили у последњих десет година, односно који се сада спроводе;
4. Методе коришћене за израду стратешких карата буке;
5. Попис података на основу којих је израђен акустички модел извора буке;
6. Попис метеоролошких података;
7. Податке о процењеном броју људи (у стотинама) који живе у становима ван агломерација, који су изложени вредностима  $L_{den}$  у dB(A) прорачунатим на висини 4 m изнад тла на најизложенијој фасади (изузетно на 2 m изнад тла за приземне објекте)<sup>4</sup>, и то у сваком од следећих опсега: 55-59, 60-64, 65-69, 70-74 и  $\geq 75$ ;
8. Податке о процењеном броју људи (у стотинама) који живе у становима ван агломерација, који су изложени вредностима  $L_{night}$  у dB(A) прорачунатим на висини 4 m изнад тла на најизложенијој фасади, изузетно на 2 m изнад тла за приземне објекте, и то у сваком од следећих опсега: 45-49, 50-54, 55-59, 60-64, 65-69, и  $\geq 70$ ;
9. Укупну површину, изражену у  $km^2$ , изложену вредностима индикатора буке  $L_{den}$  већим од 55, 65 и 75 dB(A) прорачунатим на висини 4 m изнад тла на најизложенијој фасади (изузетно на 2 m изнад тла за приземне објекте)<sup>5</sup>, укључујући процењен укупан број станова (у стотинама) и укупан број људи (у стотинама) који се процењује да живи на свакој од наведених површина, укључујући и агломерације;
10. Линије једнаких нивоа буке од 45, 50, 55, 60, 65, 70 и 75 dB (A) са уцртаним положајем насеља.

Графички део садржи индикаторе буке у облику линија истих нивоа буке у корацима с међусобним размаком од 5 dB, у опсегу нивоа од 45 до 75 dB(A), означених бојама према Прилогу 1, Правилника о садржини и методама израде стратешких карата буке и начину њиховог приказивања јавности.

<sup>3</sup> Правилник о садржини и методама израде стратешких карата буке и начину њиховог приказивања јавности (Сл. Гласник РС, бр. 80/2010)

<sup>4</sup> На основу захтева Наручиоца

<sup>5</sup> На основу захтева Наручиоца



**СТРАТЕШКЕ КАРТЕ БУКЕ У ДРУМСКОМ САОБРАЋАЈУ**

Подаци о буци у животној средини су део извештаја о стању животне средине у Републици Србији. Јавно предузеће „Путеви Србије“ доставља редовно Агенцији за заштиту животне средине извештаје о стању животне средине на путевима. Достављају се подаци о вредностима индикатора буке за дан ( $L_{den}$ ), индикатора буке за ноћ ( $L_{night}$ ), као и број становника изложених буци у захтеваним опсезима. Анализа резултата, добијених стратешким мапирањем на деоницама, врши се попуњавањем табела за нумеричко приказивање података јавности датих у Прилогу 2, Правилника о садржини и методама израде стратешких карата буке и начину њиховог приказивања јавности (Сл. Гласник РС, бр. 80/2010). У Табели 1. је дат пример резултата моделовања нивоа буке на деоници државног пута IА реда број 1 Бубањ Поток - Врчин.

**Табела 1. Подаци из стратешке карте буке главне друмске саобраћајнице<sup>6</sup>**

Подаци о главној друмској саобраћајници		Подаци о делу главне друмске саобраћајнице		
Име	Ознака	Ознака дела главне саобраћајнице	Просечан годишњи промет	Дужина
			[vozila/godina]	
E75	A1	0071/1172 0008/1171	11 246 380 11 052 565	9,3
Анализа изложености становништва - $L_{den}$				
Опсег индикатора буке $L_{den}$ [dB(A)]		Број становника изложен опсезима буке индикатора $L_{den}$		
< 55		2800(2784*)		
55 - 59		700 (746*)		
60 - 64		400 (447*)		
65 - 69		300 (260*)		
70 - 74		100 (123*)		
> 75		0 (25*)		
Анализа изложености становништва - $L_{night}$				
Опсег индикатора буке $L_{night}$ [dB(A)]		Број становника изложен опсезима буке индикатора $L_{night}$		
< 45		2600 (2590*)		
45 - 49		800 (781*)		
50 - 54		500 (539*)		
55 - 59		300 (284*)		
60 - 64		100 (142*)		
65 - 69		0 (46*)		
> 70		0 (3*)		
Анализа изложености површина, станова и људи				
Опсег индикатора буке $L_{den}$ [dB(A)]	Изложена површина		Процењен број станова	Процењен број становника
	[km <sup>2</sup> ]			
< 55	13,1		900 (903*)	2800 (2784*)
55 - 64	6,45		400 (386*)	1200 (1193*)
65 - 74	1,82		100 (124*)	400 (383*)
> 75	0,66		0 (8*)	0 (25*)
Анализа изложености становништва у становима са посебном звучном изолацијом, односно тихом фасадом - $L_{den}$				
Опсег индикатора буке $L_{den}$ [dB(A)]	Број становника који живе у становима с посебном звучном изолацијом		Број становника који живе у становима с тихом фасадом	
< 55	--		0 (7*)	
55 - 59	--		0 (13*)	
60 - 64	--		0 (4*)	
65 - 69	--		0 (0*)	
70 - 74	--		0 (4*)	
> 75	--		0 (0*)	
Анализа изложености становништва у становима са посебном звучном изолацијом, односно тихом фасадом - $L_{night}$				
Опсег индикатора буке $L_{night}$ [dB(A)]	Број становника који живе у становима с посебном звучном изолацијом		Број становника који живе у становима с тихом фасадом	
< 45	--		0 (12*)	
45 - 49	--		0 (4*)	
50 - 54	--		0 (7*)	
55 - 59	--		0 (0*)	
60 - 64	--		0 (4*)	
65 - 69	--		0 (0*)	
> 70	--		0 (0*)	

\*) У складу са захтевом инвеститора, поред броја становника и станова изложених опсезима буке индикатора  $L_{den}$  и  $L_{night}$ , који су у складу са законском регулативом заокружени на стотине, у заградама су дате и тачне вредности.

<sup>6</sup> Стратешка карта буке државног пута IА-1, деоница Бубањ-Поток Врчин

Проблеми на које су наилазили и наилазе пројектанти приликом израде стратешких карата буке су свакако недостатак реалних података, односно службених података надлежних организација. Податке о структури и обиму саобраћаја (ПГДС) пројектант је узимао на основу документа о бројању саобраћаја на државним путевима Републике Србије у току 2012. године који издаје Јавно предузеће „Путеви Србије“. Оквирне брзине саобраћајних токова за путничка возила је узимана брзина ограничења на државним путевима док је за теретна возила узимана 80% од ограничене брзине. Што се тиче коловозне конструкције коришћени су подаци архиве старости коловозне конструкције, на основу Идејних и Главних пројеката или, у недостатку истих, опажањем на терену. Коришћењем резултата пописа становништва, домаћинства и станова у 2011. години Републичког статистичког завода, добијене су демографске карактеристике. Подаци који су неопходни како би се израдиле стратешке карте буке су још и метеоролошки параметри на основу публикације Метеоролошки годишњак 1.- Климатолошки подаци за 2012. годину, Републичког хидрометеоролошког завода Србије, топографске карте, орто фото снимци посматраног подручја, висина и намена објеката изложених утицају која се утврђује обиласком терена итд.

Став 2 члана 17 Правилника о садржини и методама израде стратешких карата буке и начину њиховог приказивања јавности даје могућност да, као извор података у случају непостојања службених података, може да се користи последње издање документа радне групе за оцену изложености буци Европске Комисије под називом „Полазне основе - Водич кроз добру праксу израде стратешких карата буке и с њима повезаних података о изложености буци“ који је доступан на интернет страници <http://ec.europa.eu/enviromental/noise/mapping.htm>. Уколико се користе подаци из овог документа наручилац израде стратешке карте буке мора бити упознат и сагласан са употребом података.

#### 4. ЗАКЉУЧАК

Бука је загађење које је присутно свуда око нас. С обзиром на значај овог феномена, произлази потреба за контролом нивоа буке и планирање мера за заштиту популације од њеног негативног дејства. Начин борбе у животној средини у великој мери зависи од степена развоја, економије, културе и политике земље. Постојање законске регулативе, која је усклађена са европским прописима има за циљ да се максимално ограничи и контролише излагање популације нивоима буке изнад прописаних граничних вредности. Друмски саобраћај, према подацима из стратешких карата буке држава чланица ЕУ, представља доминантан извор буке. Стратешке карте буке се израђују моделовањем на основу саобраћајних показатеља за предметну деоницу, геометријских карактеристика трасе, конфигурације терена и демографских података. Резултат прорачуна је број људи изложених дефинисаним опсезима буке у току 24 – часовног периода ( $L_{den}$ ) и током ноћи ( $L_{night}$ ), са посебним освртом на популацију која трпи буку изнад прописаних граничних вредности. Стратешке карте буке су мапе дизајниране за глобалне извештаје изложености буци. На основу карата стиче се увид у стање на терену, где је главни проблем висок ниво буке. С обзиром на чињеницу, постаје очигледно да ће у блиској будућности бити примењиван принцип загађивач плаћа, односно лице које генерише или је одговорно за појаву буке биће дужно да изгради објекте и опрему, или спроведе друге мере заштите како би се отклонили или умањили негативни утицаји буке на здравље становништва.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Закону о јавним путевима („Службени гласник РС“ , број 101/05)
- [2] Закон о заштити од буке у животној средини („Сл. Гласник РС“ 36/2009 и 88/2010)
- [3] Правилник о садржини и методама израде стратешких карата буке и начину њиховог приказивања јавности (Сл. Гласник РС, бр. 80/2010)
- [4] Стратешка карта буке државног пута IA-1, деоница Бубањ-Поток Врчин
- [5] EEA Report No 10/2014 Noise in Europe 2014, European Environment Agency
- [6] EEA Report No 7/2015 Evaluating 15 years of transport and environmental policy integration

# ПРАЋЕЊЕ СТАЊА ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ НА ПУТНОЈ МРЕЖИ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ – ПОТРЕБЕ И МОГУЋНОСТИ

Ђорђе Митровић<sup>1</sup>, Биљана Вуксановић<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ЈП “Путеви Србије”, Београд Булевар краља Александра 282, [djordje.mitrovic@putevi-srbije.rs](mailto:djordje.mitrovic@putevi-srbije.rs)

<sup>2</sup> ЈП “Путеви Србије”, Београд Булевар краља Александра 282, [biljana.vuksanovic@putevi-srbije.rs](mailto:biljana.vuksanovic@putevi-srbije.rs)

**Резиме:** Праћење стања животне средине на путној мрежи Републике Србије представља систематско мерење, испитивање и оцењивање индикатора стања и загађења животне средине. На основу доступних података са мерних места о стању животне средине добија се јасан увид у промене квалитета и квантитета животне средине, емисије загађујућих материја и коришћење природних ресурса. Мониторинг животне средине омогућава добијање информација од значаја за предузимање одговарајућих мера заштите у циљу спречавања даљих загађења и успостављања система раног упозоравања. Мониторинг животне средине на мрежи државних путева се заснива на примени усвојеног пројекта мониторинга за поједине деонице пута. Њиме се дефинише програм мерења у фази редовне експлоатације и одржавања пута за сваки параметар животне средине посебно, одговарајуће законске основе које се односе на поступке узорковања и мерења, методе извођења, локације места за узорковање, време и учесталост узорковања.

**Кључне речи:** Путна мрежа, заштита животне средине, утицаји на животну средину, праћење стања животне средине, мониторинг, индикатори утицаја, параметри

## ENVIRONMENTAL MONITORING AT THE ROAD NETWORK OF SERBIA – NEEDS AND OPTIONS

Ђорђе Митровић<sup>1</sup>, Биљана Вуксановић<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PE “Roads of Serbia”, Belgrade Bulevar kralja Aleksandra 282, [djordje.mitrovic@putevi-srbije.rs](mailto:djordje.mitrovic@putevi-srbije.rs)

<sup>2</sup> PE “Roads of Serbia”, Belgrade Bulevar kralja Aleksandra 282, [biljana.vuksanovic@putevi-srbije.rs](mailto:biljana.vuksanovic@putevi-srbije.rs)

**Abstract:** Environmental monitoring of the road network in the Republic of Serbia presents the systematic measurement, testing and assessment of the indicators of the state of environmental pollution. Based on the available data of the state of the environment, collected at measuring points, it is obtained a clear insight into the changes in the quality and quantity of environmental pollutant emissions and use of natural resources. Environmental monitoring allows obtaining of important informations for taking appropriate measures in order to prevent further pollution and establishing an early warning system. Environmental monitoring on the state of the road network is based on the application of the approved monitoring plan for each road section severally. Such plan defines a program of measurements during planing, construction, project operation and maintenance stage of the road lifecycle, for each parameter of the environment, particularly. Also it obtains legal basis, concerning the sampling and measurement procedures, methods of implementation, locations of the sampling places and sampling periods and frequency.

**Key words:** Road network, environmental protection, impacts on environment, environmental monitoring, impact indicators, parameters

### 1. УВОД

Економски развој државе не може да се замисли без ефикасног транспортног система јер он обезбеђује проточност робе и услуга и мобилност становништва, неопходних за просперитет друштвене заједнице у целини. Међутим, саобраћај има значајан удео у појави проблема везаних за стање животне средине и здравље становништва. Изградња саобраћајница је повезана са потрошњом обновљивих ресурса, а њиховим присуством долази до трајног заузимања простора, смањења и дефрагментације природних станишта и нарушавања хидролошке и геоморфолошке равнотеже. Сагоревањем фосилних горива из моторних возила у атмосферу одлазе гасови који утичу на локално загађење ваздуха, повећање киселости атмосферских падавина и глобалне климатске промене. Саобраћај је и извор буке и загађења земљишта и воде. Ове појаве захтевају интервенцију у виду мера за смањење и уклањање негативних утицаја и изналагање начина за мањом потрошњом сировина. Да би се сагледале размере деградације животне средине неопходно је вршити систематска опажања промена и мерења имисија генерисаних реализацијом саобраћаја, као и изградњом и одржавањем путне инфраструктуре. Скуп ових активности се назива праћење стања

<sup>1</sup> Аутор задужен за кореспонденцију: [djordje.mitrovic@putevi-srbije.rs](mailto:djordje.mitrovic@putevi-srbije.rs)

животне средине, у даљем тексту мониторинг. Он се састоји у узимању узорака на местима за која се претпоставља да могу да буду изложена утицајима пута, њиховој физичкој и хемијској анализи, односно опажања стања, у циљу регистровања материја, односно промена, у животној средини чији је узрок изградња, присуство, коришћење и одржавање путева и пратеће опреме. Ове активности захтевају одређене трошкове и из тог разлога је потребно утврдити оправданост њихове примене и обезбедити трајне изворе финансирања.

## 2. СТРАНА ИСКУСТВА

Колика је важност мониторинга у путном инжењерству говори и чињеница да је Светска путарска асоцијација (PIARC) у своју стратегију развоја од 2008. до 2011. године [1], у оквиру стратешке теме А - Одрживост система друмског транспорта, уврстила питање мониторинга животне средине. Задачи су били утврдити како се у пракси мере утицаји друмског транспорта на животну средину, који се индикатори користе да би се реализовале мере ублажавања и санације, проценити како се прате утицаји од изградње путне инфраструктуре пре, у току и по завршетку предвиђених грађевинских активности и проверити употребљивост добијених резултата и њихову примењивост у пројектовању мера заштите. Резултати истраживања су приказани у извештају „Праћење утицаја путева на животну средину“ [2]. У студији је, на примеру 24 анкетираних земље из целог света, дат приказ активности којима се реализује праћење стања животне средине на путној мрежи. Анкета је спроведена са циљем да се добију одговори на следећа питања:

- Који тип мониторинга се примењује у дотичној држави
- Који видови утицаја су предмет мерења
- У ком обиму домаће законодавство покрива област мониторинга на путној мрежи
- Колико се поштују и примењују међународни уговори, споразуми и директиве
- У коју сврху се користе прикупљени подаци
- Колико се резултати мониторинга примењују у креирању националне политике заштите животне средине
- Који су ефекти праксе праћења стања животне средине на путну привреду

Од видова утицаја истраживани су загађење ваздуха и климатске промене, бука, изложеност емисијама хазардних материја, управљање отпадом, загађивање водних ресурса, земљиште, разноврсност живог света и пејсажне карактеристике.

Истраживање је показало да је мониторинг квалитета ваздуха, како током изградње тако и у фази експлоатације, заступљен у највећем броју анкетираних држава. Углавном се прате концентрације азотових оксида (NO<sub>x</sub>), сумпордиоксида (SO<sub>2</sub>), озона (O<sub>3</sub>) и чврстих честица (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>). Концентрације угљоводоника (CH) прати половина држава, а мониторинг угљендиоксида (CO<sub>2</sub>) је најмање заступљен.

Саобраћајна бука је такође предмет праћења стања у великом броју земаља. Ову активност подстиче и обавеза примене Директиве о буци у животној средини (END 2002/49/EU) у земљама Европске уније при изради стратешких карата буке. Овај вид мониторинга има значајну улогу и код провере примењених мера заштите на оптерећеним путним правцима (Данска, Швајцарска, Шкотска).

Ризик од емисије хазардних супстанци се односи на испуштање загађујућих материја које садрже конструкције и материјали у путоградњи. Углавном се своди на испитивање концентрације полицикличних ароматичних угљоводоника (PAH) које генеришу асфалтне мешавине у коловозним конструкцијама, боје и премази за заштиту конструкција и хидроизолациони материјали. Ова испитивања су ређе заступљена у анкетираним земљама и углавном се раде уз испитивања загађености воде и земљишта.

Управљање комуналним и грађевинским отпадом, који извођачи радова и учесници у саобраћају непрописно одлажу дуж путног појаса, у већини земаља се спроводи током извођења грађевинских радова, са изузетком малог броја оних (нпр. Шкотска) које прате и одлагање комуналног отпада током експлоатације на паркинзима и одмориштима уз саобраћајнице.

Праћење стања површинских и подземних вода у зони утицаја путева током експлоатације није уобичајена пракса у анкетираним земљама, са изузетком зона водозавхвата и места проласка трасе кроз осетљиве екосистеме, при чему се бележе концентрације хлорида, нитрата и тешких метала.

Половина анкетираних земаља је потврдила да се на неки начин бави мониторингом загађености земљишта, међутим то се односи на фазу планирања и изградње новог путног правца. Дугорочна мерења у путном појасу углавном нису предмет интересовања предузећа задужених за управљање путевима.

Упркос чињеници да ниједна европска директива не покрива међуодnose пута и живог света, чак 2/3 анкетираних земаља је известило да прате утицаје на биодиверзитет у смислу губитка станишта, страдања животиња у саобраћајним удесима, прекида традиционалних комуникација и деградације биотопа услед дефрагментације станишта.

Што се пејсажних карактеристика тиче, мали број земаља спроводи праћење стања и оно се обично реализује у циљу обнове крајолика нарушеног присуством пута. У Аустрији се 3 – 5 година од пуштања у промет путног правца врше опажања последица ремећења пејсажа. У Француској се овом активношћу оцењују последице изградње на просторни развој подручја изложеног утицајима. „Пејсажним мониторингом“ се стиче увид у ефекте озелењавања путног појаса и утицаје пута на објекте природног и културног наслеђа.

Из претходне анализе се може закључити да су утицаји пута и саобраћаја предмет анализе већине националних дирекција за путеве. Међутим постоје осетне разлике у опредељењу за видове утицаја који се прате, као и динамика и методе узорковања. Разлог томе лежи у специфичностима окружења и еколошких чинилаца које карактеришу сваку земљу понаособ, као и у достигнутом нивоу свесности о значају оваквих испитивања. Да би резултати осматрања били упоредиви на међународном нивоу потребно је покренути иницијативу око усаглашавања индикатора, параметара и поступака, за почетак у оквиру Европске агенције за животну средину.

### **3. КОРИСТИ ОД МОНИТОРИНГА**

У свеобухватном поступку заштите животне средине, везано за неки објекат или процес, кључно место припада мониторингу. Од свих активности он захтева највеће трошкове, али мониторинг обезбеђује темељна знања која имају кључну улогу у препознавању еколошки рањивих места и у избору мера ублажавања утицаја применом одговарајућих пројектних и регулационих решења. Правилно конципираним мониторингом могу се сагледати генерални утицаји објекта ил процеса на животну средину. Праћењем стања у дужем временском периоду и поређењем добијених резултата могу да се евидентирају промене и анализирају трендови и тако формира систем правовременог упозоравања на појаву прекорачења имисија. На основу мониторинга могу да се процене претње и региструју појаве нових еколошких проблема. Планирање, избор и оптимизација будућих мера заштите у великој мери су олакшани ако постоје материјалне потврде примењених математичких модела у виду резултата праћења стања. У случају предузетих мера ублажавања утицаја мониторинг ће помоћи да се вреднује њихова ефективност. Подаци добијени мониторингом служе као улазни параметри за предузимање мера ремедијације и оптимизацију процеса. Овом активношћу се прибављају информације потребне за спровођење политике заштите животне средине на нивоу сектора, израду закона, успостављање нових стандарда квалитета животне средине и, уопште, вреднује напредак ка постизању постављених циљева заштите животне средине. Не треба изгубити из вида да се објављивањем резултата мониторинга пружа могућност јавности да вреднује резултате спровођења еколошке политике друштвене заједнице.

### **4. ИНДИКАТОРИ**

Кључну улогу у поступку праћења стања неког процеса на животну средину има избор индикатора. Концепт еколошког мониторинга захтева коришћење одговарајућих индикатора који помажу да се објективно региструју промене током времена на посматраном подручју. Искуство говори да утицаји који су предмет интензивнијег и разноврснијег праћења стања по правилу имају најпоузданије и најбоље дефинисане индикаторе. Такав је случај са загађењем ваздуха и буком. Добро дефинисани индикатори треба да искажу мерљиве физичке величине, које се уклапају у дефинисане процедуре прикупљања и обраде података, као и да се изражавају у стандардним (међународним) јединицама. Треба да буду лако применљиве на различитим инфраструктурним објектима и преносиве на међународном нивоу. Они треба да омогуће и лакше моделовање утицаја.

Правилном избору индикатора од велике помоћи су критеријуми наведени у публикацији под именом Упутство за управљање ноћном буком [3] у издању Светске здравствене организације (WHO). За

правилно одабране индикаторе се сматрају они који имају велику могућност предвиђања последица појаве на коју се односе. Сваки индикатор треба да има само једну намену. Индикатори треба да буду дефинисани тако да су разумљиви нестручној јавности, да су усаглашени са уобичајеном праксом, лако примењиви и имају јасно дефинисане граничне вредности. У циљу оптимизације трошкова треба избегавати међусобно зависне индикаторе, а од таквих одабрати онај чији су трошкови праћења најмањи.

На основу искуства већег броја земаља међународне организације које се баве проблемима заштите животне средине (WHO, EU, World Bank, OECD и EPA) формирале су листе индикатора са припадајућим параметрима који најбоље описују утицаје пута и саобраћаја на животну средину. Загађење ваздуха, водене ресурсе и буку све организације сматрају за неизоставне индикаторе. Са изузетком Светске здравствене организације (WHO), све остале у ову групу убрајају земљиште, биодиверзитет и пејсаж. Управљање отпадом је значајан индикатор за Европску унију (EU) и Организацију за економску сарадњу и развој (OECD), док Америчка агенција за заштиту животне средине (EPA) користи присуство хазардних материја.

## 5. СПЕЦИФИЧНОСТИ МОНИТОРИНГА У ПУТНОЈ ПРИВРЕДИ

Генерално посматрано, транспорт, као извор загађења и других негативних промена у животnoj средини, има неке специфичности. Пре свега то се односи на просторну распрострањеност извора загађења. Док индустријски објекти и енергетска постројења у суштини представљају тачкасте изворе, путеви су линијски, а мрежа путева је површински извор, јер обухвата целу друштвену заједницу, гдегод су присутни путеви. Моторна возила су, појединачно, мали извори загађења у поређењу са претходно наведеним технолошким парковима, али мале емисије помножене са бројем извора који се мери стотинама хиљада чине да се транспорт налази у врху загађивача. Друга специфичност проистиче из самог присуства путева као објеката који заузимају велике површине. Путеви се граде на површинама које су претходно углавном припадале природним екосистемима, а које, изградњом неповратно нестају. Сагласно овим карактеристикама дошло се до специфичности индикатора, а самим тим и поступака у праћењу стања животне средине.

Квалитет ваздуха и утицаји на климатске промене су, свакако најзначајнији индикатор загађења. Удео саобраћаја у емисијама азотдиоксида (NO<sub>2</sub>) је 40 %, а друмски саобраћај је одговоран и за 18 % емисија свих гасова који утичу на појаву ефекта стаклене баште. Код праћења стања је тешко раздвојити емисије из појединачних извора, па се мониторинг везан за друмски саобраћај усмерава на праћење концентрација чврстих честица у зони утицаја, а када се прате остали загађивачи, то је у функцији утврђивања законитости ради формирања и провере математичких модела. Због великих варијација у концентрацијама током времена, због променљивих метеоролошких услова неопходно је да се мониторинг изводи континуално, током дугог временског периода, не краћег од годину дана. Да би се умањили трошкови треба осмислити што једноставнији систем, са праћењем најмањег броја параметара који ће дати ваљане резултате, а притом бити енергетски незахтеван.

Други индикатор угрожености животне средине је бука. Карактеристика буке као загађивача је њено постојање искључиво током трајања емисије, што значи да накнадни мониторинг, када нема извора загађења, није могућ. Из тог разлога утврђивање граничних вредности емисије има смисла само у току реализације саобраћаја, што условљава и специфичности мониторинга.

Мониторинг отпада и његово стављање у законске оквире је врло значајно јер се на тај начин указује шанса за трајно решавање проблема одлагања комуналног и грађевинског отпада на непрописним местима и формирање низа дивљих депонија у путном појасу што представља велики проблем на путној мрежи Србије. Ова појава, за разлику од осталих, је израженија код саобраћајница нижег реда, а карактерише је мала количина депонованог материјала на локацијама понаособ, али и велики број самих депонија.

Од времена институционализовања заштите животне средине код нас, присутно је значајно посвећивање пажње загађењу површинских и подземних хидропотенцијала атмосферским водама отеклим са коловозних површина. Пошто поуздана заштита од овог утицаја захтева примену система контролисаног одвођења вода из путног појаса, овај услов у значајној мери поскупљује путну конструкцију. Мониторинг на постојећој мрежи био би од кључног значаја за утврђивање оправданости пројектовања ових система. Присуство хлорида у водама отеклим са коловоза, као последица зимског одржавања путне мреже, је чест предмет мониторинга.

Земљиште као средина изложена утицајима емисија из саобраћаја у геохемијском смислу представља тако сложен систем да су у стручној пракси врло ретки примењиви модели који симулирају утицаје пута и саобраћаја на овај еколошки потенцијал. Из тог разлога праћење концентрација загађујућих материја може бити од кључног значаја за сагледање ризика и правовремено деловање у циљу ремедијације. Карактеристика овог вида загађивања је спора промена стања и мали пречник дејства, па је таквим условима могуће прилагодити систем праћења стања. Други, не мање значајан вид мониторинга представља праћење промена конфигурације терена поремећеног померањима земљаних маса при изради трупа саобраћајница и изградњом пратећих конструкција. Најбољи начин за откривање појаве спирања хумуса, осулина, одрона и клизишта је визуелна детекција.

Пут и саобраћај несумњиво изазивају негативне последице на живи свет који их окружује. Оне се манифестују кроз губитак хабитата услед заузимања површина, ограничење кретања животиња због ефекта препреке који изазива пут као линијски објекат, страдање животиња приликом преласка пута услед налетања на учеснике у саобраћају, узнемиравање услед буке, светлости фарова, струјања ваздуха и емисије загађујућих материја. Ови утицаји кроз ефекат синергије, поред опадања популације, доводе до фрагментације односно смањења ареала и формирања изолованих еколошких острва. Мониторинг се своди на евиденцију страдалих примерака фауне и опажање физичких промена на постојећој вегетацији.

## 6. ВИДОВИ ПРИМЕНЕ

Мониторинг може да се реализује као трајан или повремен процес, у краћим и дужим временским интервалима. Трајно праћење стања, по правилу се примењује у фази редовне експлоатације на саобраћајним деоницама које имају велико саобраћајно оптерећење, а самим тим и веће количине загађујућих материја које се емитују у животну средину. Треба имати у виду да количина емитованих материја није обавезно и услов појаве високих емисија. Треба узети у обзир мобилност полутаната. Карактеристичан је пример емисија материја отеклих са коловоза у површинске воде која се јавља тек при настанку атмосферских падавина, а значајна је само у првих 15 до 30 минута од почетка ове појаве. Супротно томе, материје које доспевају у земљиште, у зависности од његових педолошких и геохемијских карактеристика, имају слабу покретљивост и код њих може бити изражен ефекат акумулације.

Информације добијене праћењем стања омогућују правовремено реаговање на појаву прекорачења највећих дозвољених концентрација полутаната у средини. Краткотрајни мониторинг се односи пре свега на фазу изградње и реконструкције пута и његово трајање се усклађује са периодом извођења грађевинских радова. Мониторинг ограниченог трајања примењује се за решавање конкретних проблема, на пример када треба испитати ефекте новог решења заштите, или типа ублажавања утицаја на опитној деоници.

Без обзира на вид примењеног мониторинга, обавезно је регистровање еколошких параметара непосредно пре почетка активности које доводе до промена у животној средини, тзв. нултог стања. У случају изградње нове деонице то значи да се прикупљају параметри стања непосредно пред почетак радова и затим када су сви радови окончани и добијена употребна дозвола, али експлоатација није започела. На тај начин се добијају два референтна стања од којих прво служи за опажање промена током извођења грађевинских радова, а друго за промене настале реализацијом саобраћаја и редовног одржавања. У случају путних праваца који су у експлоатацији, нулто стање (условно речено) подразумева податке прикупљене на месту, довољно удаљеном од трасе посматране деонице пута, да није изложено утицајима саобраћаја, а са карактеристикама (састав земљишта, физичке и хемијске карактеристике вода, метеоролошки параметри, близина становања и др.) приближним оним на месту где ће се пратити стање током даље експлоатације пута.

## 7. СТАЊЕ У СРБИЈИ

Када се у нашој земљи, почетком деведесетих година прошлог века, зачала свест о важности очувања животне средине у пројектовању и изградњи путева, то је било у форми студија о процени утицаја за новопроектване деонице путне мреже. Током наредних 25 година, претходним и детаљним анализама, односно студијама о процени утицаја путева на животну средину, покривени су скоро сви значајни путни правци, од којих је данас већина изведена, а остатак је у фази изградње.

Покретањем међународних кредита и ангажовањем страних компанија, у жижу интересовања пројектаната долази мониторинг, који је у претходном периоду покривало само једно поглавље у оквиру Студија о процени утицаја. Како су студије рађене на нивоу идејног пројекта недостајали су подаци који би конкретизовали активности везане за праћење стања животне средине. Рад је сведен на уопштене препоруке и понеки извештај о постојећем нивоу загађености вода, земљишта и ваздуха на локацији будућег објекта. Непосредно пред почетак реализације пројекта, међународне институције су иницирале израду елабората под именом План управљања животном средином у фази изградње и експлоатације (Environmental management plan - EMP). Тај документ, поред мера заштите, садржи и конкретне захтеве за узорковањем и опажањем параметра који могу бити поремећени грађевинским активностима и реализацијом саобраћаја током експлоатације готовог објекта. Карактеристичан пример Плана управљања животном средином за пројекат рехабилитације пута дат је у литератури овог рада [4]. Иницијативом на изради ових докумената учињен је крупан корак ка интеграцији мониторинга као неизоставног елемента у реализацији животног циклуса путева.

Међутим, ови планови покривају искључиво деонице предвиђене за изградњу или рехабилитацију, а мониторинг има смисла само ако се примени на целу путну мрежу. Да би се исправио овај недостатак, у ЈП „Путеви Србије“ је покренута иницијатива на изради брошуре која ће помоћи свим учесницима у процесу праћења стања животне средине од утицаја путева да правовремено, коректно и уз најмање трошкове оформе приказ стања загађености настале као последица експлоатације и одржавања путне мреже. Септембра 2014. завршено је и усвојено „Упутство за праћење стања животне средине у путном појасу на мрежи државних путева Републике Србије“ [5]. Овај документ има за циљ да предложи методологију и процедуре у поступку мониторинга, дефинише критеријуме за одређивање значајних утицаја и оптимизацију активности (локацијски и динамички) и утврди индикаторе и параметре који ће дати најреалнију слику стања животне средине на простору изложеном утицајима путне мреже и свих припадајућих активности. Од индикатора, Упутство препоручује ваздух и климу, буку и вибрације, површинске и подземне воде, земљиште, биљни и животињски свет и отпад.

Ослањајући се на урађено упутство, у ЈП „Путеви Србије“ је током 2015. године покренута израда пројекта (плана) праћења стања животне средине од утицаја пута на деоници аутопута Е – 75 Бубањ поток – Мали Пожаревац, У оквиру овог документа утврђени су релевантни утицаји, дефинисана и фотографски документована места опажања, односно узимања узорака, извршена су мерења ради утврђивања референтног стања и дат предрачун трошкова мониторинга са динамиком улагања за период од 7 година. Овај план представља основу (пројектни задатак) за покретање активности праћења стања, која се спроводи током 2016. године. Прелиминарни резултати показују да на предметној деоници аутопута, иако је у експлоатацији преко 35 година, нису опажена места прекограничног загађења ни за један параметар, али прерано је за доношење коначних закључака. Следећи кораци у увођењу мониторинга у сталну праксу одржавања путева су формирање базе података о стању животне средине, као и осмишљавање процедуре којом ће се све информације везане за однос пута и животне средине, из било ког извора (изградња, одржавање, надзор, рехабилитација, притужбе грађана и др.) архивирати и обрађивати на једном месту. На тај начин ће заинтересовани стећи увид у све промене еколошких параметра током целог животног циклуса пута.

## Литература

- [1] PIARC, 2008. *PIARC Strategic Plan 2008-2011*. World Road Association (PIARC), 55 p.
- [2] PIARC WG 2 of the Technical Comitee A.1 2011. *Monitoring of Environmental Impacts of Roads*, 96 p.
- [3] WHO (2009). Night Noise Guidelines for Europe (on-line) available at: <http://www.euro.who.int/ data/assets/pdf file/0017/43316/E92845.pdf> (26.04.2016)
- [4] ЈП“Путеви Србије“,2012. Site-specific Environmental Management Plan for Road Rehabilitation Works on State Road No.23 Lazarevac – Topola, section Arandjelovac – Krcevac, (on-line) available at: [http://www.putevi-srbije.rs/images/pdf/investicije/20121214\\_ar-kr\\_emp.pdf](http://www.putevi-srbije.rs/images/pdf/investicije/20121214_ar-kr_emp.pdf) (26.04.2016)
- [5] ЈП“Путеви Србије“, 2014. Упутство за праћење стања животне средине у путном појасу на мрежи државних путева Републике Србије (on-line), доступно на: [http://www.putevi-srbije.rs/images/pdf/strategija/Upustvo\\_za\\_pracenje\\_stanja\\_zivotne\\_sredine.pdf](http://www.putevi-srbije.rs/images/pdf/strategija/Upustvo_za_pracenje_stanja_zivotne_sredine.pdf) (26.04.2016)



## SOLID & ECOLOGICAL NOISE BARRIERS

### Ralf Dirnberger

Sales Director Noise Barriers, DELTA BLOC International GmbH  
Industriestrasse 28, 2601 Sollenau, Austria  
ralf.dirnberger@deltabloc.com

**Abstract:** *Noise pollution from busy roads can cause residents in an area to suffer from stress-related illnesses, reduced ability to concentrate and insomnia. Increased traffic volume therefore makes noise protection necessary. What are the best solutions regarding effectiveness and space requirements considering other road infrastructure, hence cost efficiency?*

*Wood-chip concrete is proven to be a highly absorbent and environmentally sustainable noise protection material. In addition to providing the required acoustic properties, it ensures also robustness and highest frost and de-icing salt resistance as required for the application in road construction.*

*Vehicle restraint systems and noise barriers have been considered separately so far which means more space requirements. Initial attempts to combine these solutions resulted in compromises in safety for passenger car occupants and heavy vehicles, or in the reduced effectiveness of noise protection.*

*The DB LSW series is a crash-tested and certified combination of precast concrete safety barriers and concrete based noise protection systems. This unique design provides cost efficiency and contributes with its natural materials positively to ecology. Harmonious landscaping with different colours and surface structures is an additional benefit offering design opportunities to architects acting responsibly with natural raw materials and the application area.*

**Keywords:** *safety barrier, noise protection, wood-chip concrete, integrated noise barrier*

## 1. INTRODUCTION: GENERAL REMARKS ON NOISE PROTECTION SYSTEMS

The major source of traffic noise is the rolling noise of passing vehicles. In addition, there are engine noise and aerodynamic noise due to air turbulence.

Protective measures such as noise barriers or noise protection ramparts can generally reduce the sound pressure level by up to 20dBA. Depending on the original sound emission, this means that the perceived noise level is only about half or one quarter of the original noise

### 1.1. Comparison of noise protection devices

For optimum noise reduction, high noise barriers are clearly preferable to lower ones (Figure 1).



**Figure 1.** Comparison of noise dissipation with high (top) and lower (bottom) noise barriers  
Source: Graph by DELTA BLOC International GmbH

**Figure 2.** Comparison of noise dissipation with noise barrier (top) and noise protection rampart (bottom)  
Source: Graph by DELTA BLOC International GmbH

Because the top edge of noise barriers is closer to the source of the noise than the top of noise protection ramparts, noise barriers are clearly better than ramparts of the same height (see Figure 2).

### 1.2. Suitable material for good sound absorption and insulation

The decision of which materials should be used for sound absorption and insulation is not made only for visual reasons. Especially if both sides of the road are to be protected from traffic noise, materials with a high sound absorption capacity should be chosen. Materials with smooth surfaces such as metal or glass reflect most of the sound waves and are only of limited suitability in these areas.

Materials such as aerated concrete or wood concrete (wood-chip concrete), certain types of elastomer plastics or wood sorts with coarse fibres have a porous surface. So they absorb the noise much better, and much less sound waves are reflected.

To achieve a maximum sound insulation, it is very important to avoid sound bridges, such as small openings between the individual noise barrier elements. Such gaps, where they do occur, must be sealed, for example with an elastomer joint-sealing tape.

### 1.3. Increasing effectiveness of noise protection

Alongside roads and motorways, effective noise protection can be achieved if the following parameters are taken into account:

- Plan and use of the highest possible noise protection systems, which should extend as far as possible beyond the area to be protected.
- Position noise protection systems as close to the noise source as possible. Along motorways and expressways this should also include noise protection systems on the central reservation.
- Choose noise protection systems with a beautiful design to achieve a higher acceptance by the public.
- Use noise protection elements consisting of materials with a high sound absorption value.
- Avoid sound bridges. Small gaps between the elements should be covered with elastomer joint sealing tape.

### 1.4. What about road safety?

Vehicle restraint systems and noise barriers have been installed separately so far which meant that much space was needed for the two systems. Initial attempts to combine these solutions resulted in compromises in safety for passenger car occupants and heavy vehicles, or in the reduced effectiveness of noise protection. The modern DB LSW series, however, has shown that compromises are no longer necessary. This series combines vehicle restraint systems and noise protection systems in one CE-certified solution as explained in the following chapter.

## 2. THE INNOVATIVE COMBINATION OF ROAD SAFETY & NOISE PROTECTION

In the DB LSW series, two systems are combined in one solution: vehicle restraint system (safety barrier) and noise protection system (noise barrier).

There is no foundation for the barrier. The wall elements are precast concrete elements and placed directly on the supporting surface. The element weight and the sufficiently wide base ensure stability against static loads such as wind suction and pressure. The underground must be able to take the weight of the elements and be frost-proof. The ideal barrier height can be up to 3m. In order to realize barrier heights of up to 6m, heavier element types or additional weights are used.

Because of the free-standing installation, the DB LSW series can be installed on difficult undergrounds such as rocks or on areas with underground installations (underground cables, drainage systems etc.) which will not be affected.



**Figure 3.** Free-standing noise barrier in Vrhnika, Slovenia  
Source: Photograph © DELTA BLOC International GmbH

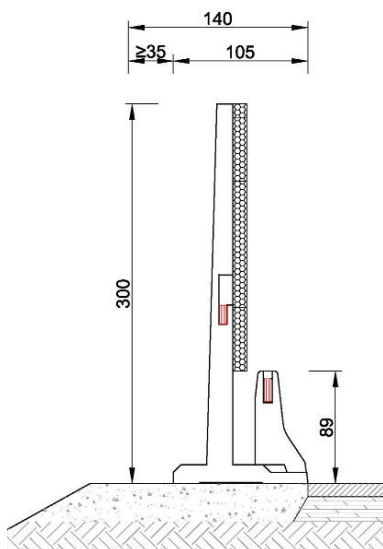
## 2.1. Design of integrated systems

Because there are absolutely no obstructions permitted in the working width of vehicle restraint systems, conventional separate noise barriers can only be positioned outside the working width of the vehicle restraint system. Consequently, the problem with those systems is the following: the larger the working width of the vehicle restraint system, the lower is the noise reduction of the noise barrier. Or: the larger the working width of the vehicle restraint system, the higher the noise barrier needs to be to provide the same noise reduction.



**Figure 4.** The noise barrier was sufficient with a height of only 2m because of the proximity to the noise source  
 Photograph by © DELTA BLOC International GmbH

In the DB LSW series, however, the noise barrier is part of the vehicle restraint system and can therefore be positioned closer to the sound source. So, with a noise barrier of the same height, a much better noise reduction can be achieved, or otherwise the noise barrier can be significantly reduced in height – which would save costs – to achieve the same noise reduction.



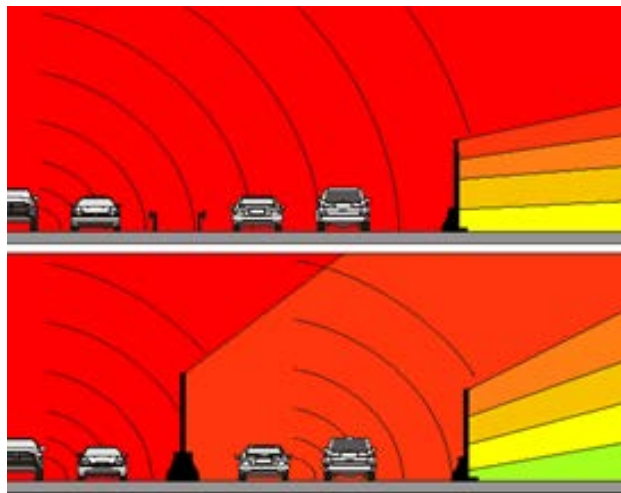
**Figure 5.** Example of DB 80 LSW-R300  
 Source: Graph by DELTA BLOC International GmbH



**Figure 6.** Comparing the noise dissipation of a standard noise barrier (top) and one with integrated vehicle restraint system (bottom)  
 Source: Graph by DELTA BLOC International GmbH

As a standard, the combined noise barrier and vehicle restraint systems of the DB LSW series exhibit the containment levels H2 and H4b, covering all conceivable hazard levels. Because of its symmetrical profile, the system with the containment level H4b is also suitable for the central reservation on motorways.

Why does it make sense to install a noise barrier on the central reservation? As explained above, it is important to position the noise barrier as closely as possible to the source of the noise in order to achieve a better noise protection effect. On dual carriageways with an emergency lane in each direction, the noise barrier of the other side is more than ten or twelve metres away from the noise source. On motorways with more lanes per direction, the distances are even greater so that the noise barriers along the verges must be very high to achieve a satisfactory effect. If, however, an additional noise barrier is erected on the central reservation, the noise protection can be considerably enhanced because the distances to the noise sources are greatly reduced.



**Figure 7.** Comparing the noise dissipation without (top) and with (bottom) a noise barrier on the central reservation  
Source: Graph by DELTA BLOC International GmbH

## 2.2. Crash-tested, certified and approved

In the DB LSW series, both system parts (vehicle restraint system & noise barrier) act as independent chains with the elements linked to each other via the proven DELTABLOC® couplings. If a small passenger car impacts the system, the first chain will be active: the flexible New Jersey barrier redirects the car safely. As soon as the impact energy exceeds a certain limit, the second chain becomes active.

The requirements for vehicle restraint systems are precisely defined in the EN 1317<sup>[1]</sup>. They have to be tested in independent test houses.

**Table 1.** Crash test results, classification according to EN 1317<sup>[2]</sup>

Product	Performance	Height of noise barrier	Test	Vehicle	Weight	Angle	Speed
DB 80 LSW-R	H2   W5   ASI B	250–450cm	TB 11	passenger car	0.9t	20°	100km/h
			TB 51	bus	13t	20°	70km/h
DB 100 LSW-M	H4b   W5   ASI B	200–450cm	TB 11	passenger car	0.9t	20°	100km/h
			TB 81	articulated lorry	38t	20°	65km/h

Source: DELTA BLOC International GmbH

The crash tests showed no dangerous impacts on occupants (ASI B), no breakthrough of the chain (even in the 38t crash test → H4b) and the noise barrier resists the impact without any considerable damages.



**Figure 8.** Crash test TB 81, 38t articulated lorry  
Source: Photograph © DELTA BLOC International GmbH

The DB LSW system as a whole (noise barrier & vehicle restraint system), is CE certified and approved by the BAST to be used on German roads. If required, the entire system can be moved to the edge of the traffic space in compliance with RPS 2009<sup>[3]</sup> (edge of the traffic space = reference line for the installation of vehicle restraint systems).

In ground water protection zones foundation piles are normally prohibited. The German RiSt WAG approved the free-standing DB LSW series for this specific application.

### 3. SOLID, EFFECTIVE & ECOLOGICAL NOISE PROTECTION MATERIAL: WOOD CONCRETE

The PHONOBLOC<sup>®</sup> absorber panels consist of cement-bound fresh wood chips. The individual absorber blocks have a fixed length of 50cm and a width of 25cm for easy handling and design possibilities. Shape and thickness determine the sound absorption capacity. Noise protection made of wood concrete provides noise absorption  $DL_{\alpha}$  up to the highest class A5 (16 – 20dB) according to EN 1793-1<sup>[4]</sup> without expensive special material.

#### 3.1. Noise absorption and sound insulation with bending edges

The European Standard EN 14388<sup>[5]</sup> specifies the performance requirements of noise-reducing devices on roads and regulates the CE marking. The implementation of the CE marking on the product is based on System 3 of the Construction Products Regulation (CPR 305/2011<sup>[6]</sup>).

The **sound absorption** describes the effect of a noise protection device on the side of the sound source. It is the result of the difference between the impacting and reflecting sound on the noise barrier. Currently, the highest rating ends at 20dB according to EN 1793-1<sup>[4]</sup>. The **sound insulation** describes the protective effect (reduction of passing noise) of a noise protection device for residents behind the sound source. It is the result of the difference between the impacting sound and the measured sound after passing through the noise protection device on the sound remote side.

##### 3.1.1. Bending edges

To improve sound insulation for residents, a **bending edge** can be implemented in the design of the noise barrier. The top front edge of the noise barrier facing the sound source is described as “bending edge”. This bending edge is (in addition to sound absorption and sound insulation) decisive in order to achieve a significant improvement of noise protection.

A **noise-absorbing bending edge** is an absorbent top edge on the noise barrier. This can be installed as either sound-absorbing attachment or as sound-soft (absorbent) element cover.



**Figure 9/10.** *Example of a sound-soft element cover, Austria*  
 Source: Photograph Ralf Dimberger © DELTA BLOC International GmbH

### 3.1.2. Arched noise barrier walls

Arched noise barrier walls provide a similar improving effect as bending edges.



**Figure 11.** *Example of an arched noise barrier wall, Austria*  
 Source: Photograph © Ralf Dimberger DELTA BLOC International GmbH

### 3.2. Solid material “wood-chip concrete”

Wood-chip concrete absorption panels are robust and durable and hence are particularly suitable for the use on roads. Normally, they have to be tested on static/load (own weight, wind, dynamic influence of vehicles, dynamic loads due to snow clearance, temperature, transportation conditions). Further tests have been completed with positive results <sup>[7]</sup>:

- Resistance to bush fire
- Release of dangerous substances
- Durability
- Resistance to frost and de-icing salt
- Impact of stones
- Ecology and recycling

### 3.3. Ecological material “wood-chip concrete

With the material “wood-chip concrete” CO2 emissions are reduced by the benefit of using locally available, natural raw materials ensuring short distances to works.

Used in the production of noise protection panels, wood-chip concrete is comparable to noise protection made of untreated wood and pure concrete whereas raw materials such as aluminum and transparent have a high Global Warming Potential [8]. In finished material such as noise protection panels and other element forms, similar characteristics can be determined [8].

The PHONOBLOC® wood concrete formula ensures a material structure that provides high stability and noise reduction. The superabsorbent property of the material is based on an optimal ratio of solids (wood chips) to absorption-effective cavities. It is highly absorbent up to class A5 without expensive special materials.

PHONOBLOC® optimises the material cycle exhibiting an outstanding eco-balance by environmental sustainability and 100% recyclability.

## 4. APPLICATION

Because of their technical characteristics and design features, the PHONOBLOC® absorber panels with various shapes/structures and colours have many application possibilities:

They are suitable for the mounting on solid concrete walls for standard noise barriers, for the cladding of retaining walls and they are also perfectly qualified for the combined DB LSW system. Additionally, absorber panels are used for covering interior walls in production facilities to protect workers from noise.

### 4.1. Landscape architecture with colours

Wood-chip concrete can be employed with the complete colour palette. The concrete compound can be either mixed with colour for gradients to be harmoniously integrated into the natural landscape or decorated with standard RAL paints. Graffiti artists avoid wood-chip concrete as the material is rough and porous on the surface so that its high absorbance also increases ink consumption. However, wood-chip concrete is robust and washable.



**Figure 12.** Coloured wood-chip concrete  
Source: Photograph © DELTA BLOC International GmbH

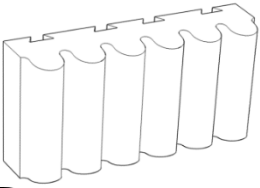
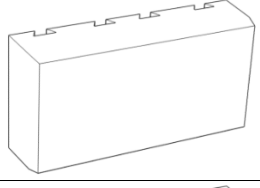
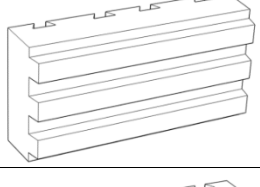
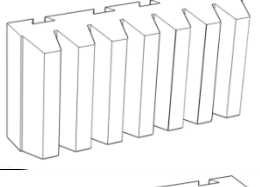
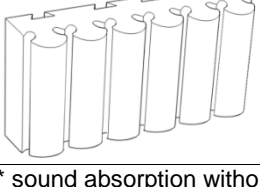
### 4.2. Landscape architecture with surface structures

There are many possibilities to design large surface with standard patterns alone wood-chip concrete is ideal for the production of structures with moulds. An attractive design can be achieved with modern production methods which are at the same time cost-efficient.

Finally, wood-chip concrete can be easy finished and repaired with simple tools on site.



**Table 2.** *Examples for surface structures with wood-chip concrete*

Drawing	Description	DL <sub>α</sub>	DL <sub>α</sub> *	Thickness of absorber
	waved surface	A3 11dB	A3 11dB	10cm
	flat surface	A3 9dB	A3 10dB	12cm
	milled surface	A4 13dB	A5 16dB	12cm
	trapezoid structure	A4 15dB	A5 20dB	12cm
	cone-shaped surface with internal core structure	A5 20dB	A5 20dB	12cm

\* sound absorption without steel support post

Source: Graph by DELTA BLOC International GmbH

### 4.3. Application with the DB LSW series

All structures and colour options are available for designing the DB LSW series to harmoniously integrate noise protection and restraint safety into the landscape. Customized design is for creative landscape architects no longer an expensive feature.

The DB LSW series further provides application options for project planners to minimize costs.

#### 4.3.1 Temporary use

Frequently there is a long-term temporary noise pollution in the vicinity of large construction projects – from diverted congested traffic or heavy construction work in the urban environment. Free-standing precast-concrete noise barriers can be set up around the construction site during the building phase as a highly effective protection against dust and noise, and as a visual screen.

After the construction work the wall made of prefabricated elements can be relocated and remain in place as a permanent noise barrier, or it can be deployed at another construction site.



**Figure 13.** *Temporary application of DB 80 LSW-R, Italy*  
*Source: Photograph © DELTA BLOC International GmbH*

#### 4.3.2 Permanent use

Due to the ever-increasing volume of traffic, there is usually also an increase in noise pollution. Especially along main roads and bypass roads, the traffic noise often exceeds the legally permissible levels. Here, a permanent installation of noise barriers is required, and in order to keep traffic flowing, the construction time must be as short as possible.

Normally, suitable vehicle restraint systems should always be installed in front of noise barriers. Because of the restricted space available, either vehicle restraint systems with a minimum deformation in the event of an impact need to be used or combined noise barrier systems with an integrated vehicle restraint system.

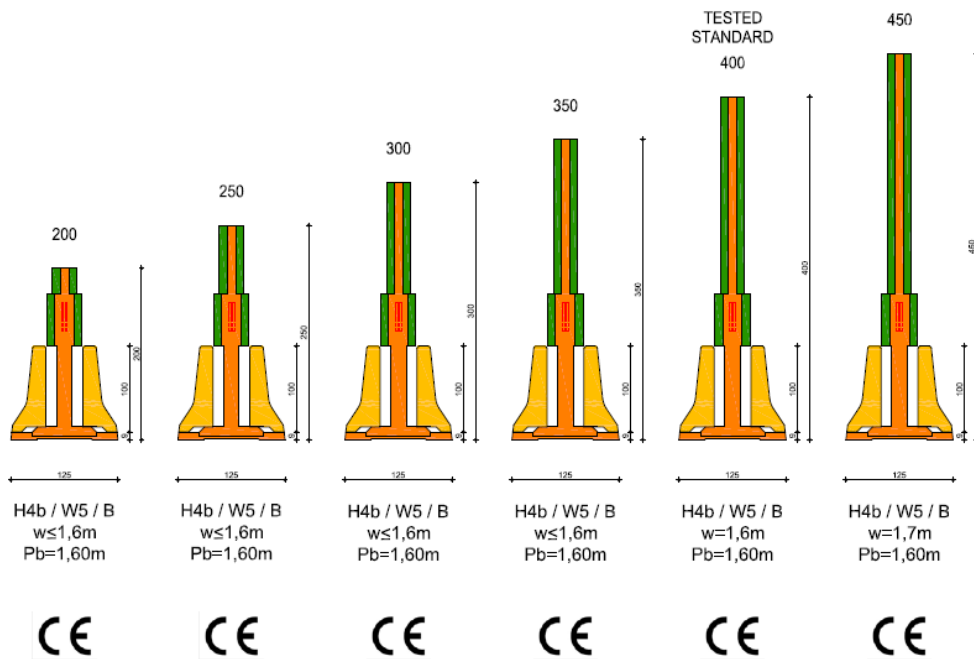


**Figure 14.** *Installation of DB 80 LSW-R, Switzerland*  
*Source: Photograph © DELTA BLOC International GmbH*

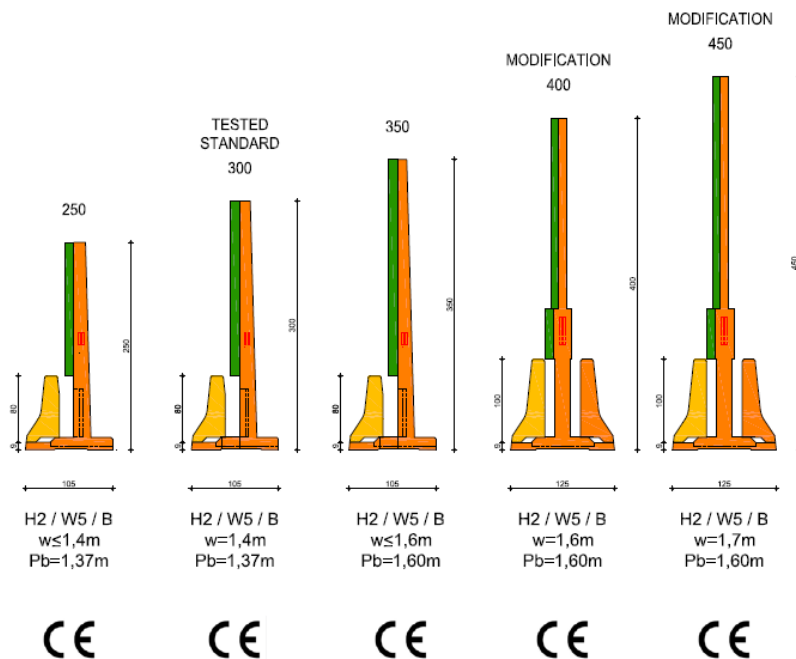
#### 4.3.3 New constructions

When new road projects are planned, modern technology, systems and products are included right from the very start. In this way, suitable noise protection measures can be chosen and used in the best possible way. In a holistic road planning, the vehicle restraint system should always be seen in combination with the noise barrier system.

By selecting a vehicle restraint system with a low working width, the noise barrier can be positioned closer to the noise source. This increases the efficiency of the noise barrier and also reduces the width requirements for the road. The ideal solution is therefore the DB LSW series with the combination of safety barrier and noise barrier in one system.



**Figure 15.** Planning heights of DB 100 LSW-M with H4b in the central reservation  
Source: DELTA BLOC International GmbH



**Figure 16.** Planning heights of DB 100 LSW-M with H4b on the roadside  
Source: DELTA BLOC International GmbH

## 5. CONCLUSION

The integrated noise barrier system DB LSW with PHONOBLOC® wood-chip concrete fulfills all requirements of a modern and effective noise protection device.

Moreover, it is cost-effective as the noise barriers can be built much lower as they are positioned much closer to the noise source and have the same effect as other, higher systems. The free-standing noise barrier systems do not require expensive foundations and they require much less space. Narrow system widths of the precast concrete safety barrier, low working widths and the fact that no extra space is required for the noise barrier ensure a great saving potential for road operators – also in temporary use without the usually necessary construction measures.

Landscape architecture can be realized by economical production methods with colour diversification and appealing surface structures.

Road safety, noise protection, design & environmental protection in one solution – without compromise!

## References

- [1] European Standard EN 1317-1:2010-07, Part 1, Road restraint systems – Terminology and general criteria for test methods, 2010.
- [2] European Standard EN 1317-2:2010-07, Part 2, Road restraint systems – Performance classes, impact test acceptance criteria and test methods for safety barriers, 2010
- [3] German Road and Transportation Research Association, RPS 2009, Guidelines for Passive Road Safety Provided by Vehicle Restraint Systems, 2009
- [4] European Standard EN 1793-1, Road traffic noise reducing devices — Test method for determining the acoustic performance — Part 1: Intrinsic characteristics of sound absorption, 2013
- [5] European Standard EN 14388, Road traffic noise reducing devices — Specifications, 2008
- [6] European Regulation No 305/2011 of the European Parliament and of the Council, 2011
- [7] BTI Bautechnisches Institut.2015. Initial type tests of noise protection panels PHONOBLOC HB, Report no. 24719/2015
- [8] [www.natureplus.org](http://www.natureplus.org)

# PROCJENA O UTICAJU NA ŽIVOTNU SREDINU PRILIKOM IZGRADNJE I MODERNIZACIJE REGIONALNOG PUTA R435, NEVESINJE - BERKOVIĆI U DUŽINI OD 19,14 km.

Nebojša Knežević<sup>1</sup>, Siniša Cukut<sup>2</sup>, Saša Dunović<sup>3</sup>, Danijela Knežević<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Institut za građevinarstvo "IG" d.o.o., K.P.I. Karađorđevića 92-98, Banja Luka, [izg@blic.net](mailto:izg@blic.net)

<sup>2</sup> Institut za građevinarstvo "IG" d.o.o., K.P.I. Karađorđevića 92-98, Banja Luka, [s.cukut@institutig.com](mailto:s.cukut@institutig.com)

<sup>3</sup> Institut za građevinarstvo "IG" d.o.o., K.P.I. Karađorđevića 92-98, Banja Luka, [sasa.dunovict@institutig.com](mailto:sasa.dunovict@institutig.com)

<sup>4</sup> Tehničko-ekološki zavod "TEZ", Banja Luka, Milana Kranovića bb, Banja Luka, [danielabl28@yahoo.com](mailto:danielabl28@yahoo.com)

**Rezime:** Cilj zaštite životne sredine pri izvođenju radova na izgradnji i rekonstrukciji različitih objekata, je da pokaže, odnosno predloži uslove, da uticaji na životnu sredinu bude u granicama dozvoljenim propisima, kao i aktuelnom praksom na nivou struke i nivou društveno-ekonomskog razvoja. Izgradnja i modernizacija puteva u svakom slučaju znači promjenu i prekidanje ustaljenih prirodnih ili kulturnih tokova. To je veliki zahvat u životnoj sredini sa dugoročnim posljedicama. Putevi mogu svojom izgradnjom kroz predjele da temeljno obezvrijede ili da oplemene okolinu. Kvalitetno oblikovan put omogućava kontakt sa okolinom. Unaprijed se mogu izbjeći slabija rješenja ako se poznaje stepen ranjivosti životne sredine. Postojeći regionalni put R435, čija se izgradnja i modernizacija planira, nalazi se na jugoistoku Republike Srpske i Bosne i Hercegovine i povezuje dvije opštine Nevesinje i Berkoviće. Prvobitno je izgrađen krajem 19. vijeka od strane Austro - Ugarske monarhije. Od tada veći dio puta nije doživio promjenu trase niti bitnije poboljšanje elemenata puta.

**Abstract:** The objective of environmental protection during the execution of works in the construction and reconstruction of diverse facilities, is to demonstrate, it is to say propose conditions so that environmental impacts be in the limits allowed regulations, as well as present practice at the level of profession and the level of socio-economic development. Road construction and modernisation in every case mean changes and interruption of steady natural or cultural flows. That is an extensive intervention in the environment with long-lasting consequences. Road construction can totally disvalue or enrich the environment. A road shaped in a quality way conveys a contact with the environment. Weaker solutions can be avoided in advance if the environment vulnerability degree is known. The existing regional road P435, whose construction and modernisation are planned, is located in the south east of the Republika Srpska and Bosnia and Herzegovina, and connects two municipalities Nevesinje and Berkovići. It was originally constructed at the end of the 19th century by the Austro-Hungarian Monarchy. Since then, major part of the road saw no changes in its route or a significant improvement of road elements.

**Ključne reči:** put, životna sredina, uticaji, Nevesinje, Berkovići.

## 1. UVOD

Cilj zaštite životne sredine pri izvođenju radova na izgradnji i rekonstrukciji različitih (objekata, je da pokaže, odnosno predloži uslove, da uticaji na životnu sredinu bude u granicama dozvoljenim propisima, kao i aktuelnom praksom na nivou struke i nivou društveno-ekonomskog razvoja.

Izgradnja i modernizacija puteva u svakom slučaju znači promjenu i prekidanje ustaljenih prirodnih ili kulturnih tokova. To je veliki zahvat u životnoj sredini sa dugoročnim posljedicama. Putevi mogu svojom izgradnjom kroz predjele da temeljno obezvrijede ili da oplemene okolinu. Kvalitetno oblikovan put omogućava kontakt sa okolinom. Unaprijed se mogu izbjeći slabija rješenja ako se poznaje stepen ranjivosti životne sredine. Mora se znati, da proces projektovanja mora obuhvatiti mjere, kako da se očuva što više postojećih kvaliteta, a koje će se moći kasnije sanirati, te sa kojim zahvatima će se prouzrokovati šteta sa dalekosežnim posljedicama.

## 2. OPIS POSTOJEĆEG STANJA

### 2.1. Opis postojećeg puta

Postojeći regionalni put R435, čija se izgradnja i modernizacija planira, nalazi se na jugoistoku Republike Srpske i Bosne i Hercegovine i povezuje dvije opštine Nevesinje i Berkoviće. Prvobitno je izgrađen krajem 19. vijeka od strane Austro - Ugarske monarhije. Od tada veći dio puta nije doživio promjenu trase niti bitnije poboljšanje elemenata puta. Od ukupne dužine ove dionice koja iznosi 32 km, do sada su radovi na modernizaciji izvedeni na dužini od 13 km. Preostali dio puta dužine 19 km još uvijek ima svoj prvobitni

---

<sup>1</sup> Nebojša Knežević: [izg@blic.net](mailto:izg@blic.net)

izgled sa starim kamenim potpornim zidovima kakvi se teško više mogu pronaći i vidjeti na modernim putevima.

Modernizacijom ovog puta planirani su radovi na poboljšanju geometrijskih karakteristika elemenata puta, i to zadržavanje postojeće trase sa proširenjima na stranu zasjeka (da bi se sačuvali i iskoristili postojeći kameni zidovi) gdje je to moguće, a gdje nije (mali radijusi krivina sa velikim podužnim padovima), izgradnja novih dijelova trase. Realizacija ovog projekta će obezbjediti neprekidan i bezbjedan saobraćaj za sve tipove vozila na ovom putu, bez daljnje potrebe za upotrebu dugih obilaznih puteva.



**Slika 1.** *Postojeći izgled puta*

## **2.2. Postojeće stanje životne sredine**

Karakteristika ovog područja je veoma mala naseljenost. Radi se o ruralnom području sa seoskim domaćinstvima što znači da na predmetnom području nema industrijskih zagađivača. Stanovništvo se uglavnom bavi poljoprivredom i stočarstvom, većinom za vlastite potrebe.

Stepen očuvanosti životne sredine na visokom nivou. Razlog tome je da trasa puta čija se modernizacija i izgradnja planira prolazi kroz ruralno područje, u kojem nema industrijskih zagađivača. Zadnjih decenija prisutan je trend odliva stanovništva sa predmetnog područja, tako da se u okolini puta nalaze manja naselja sa seoskim domaćinstvima. Stanovništvo se uglavnom bavi poljoprivredom i stočarstvom, većinom za vlastite potrebe.

Kvalitet vazduha predmetnog, a i šireg prostora pripada prvoj kategoriji vazduha.

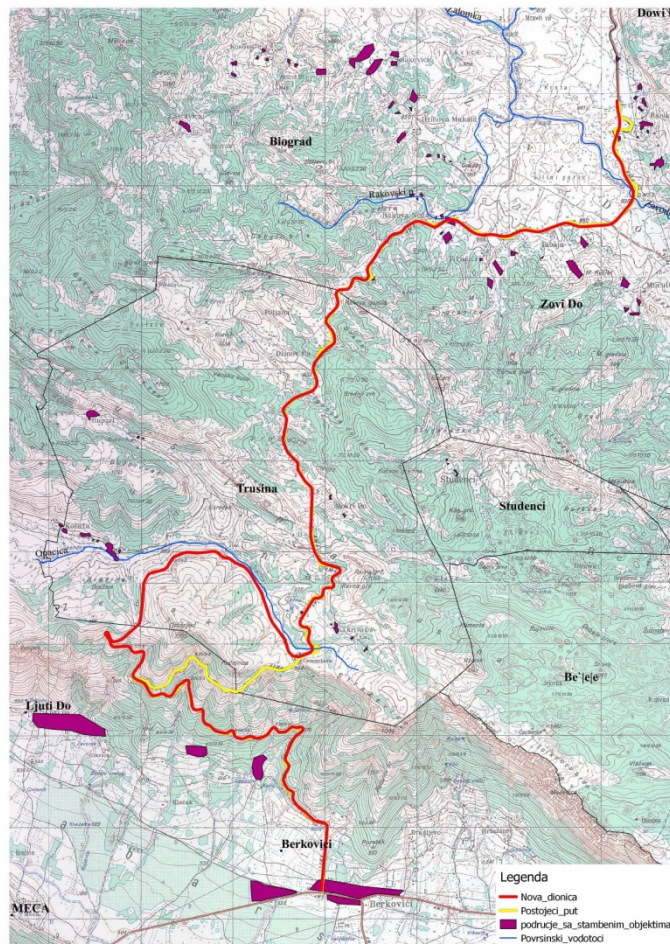
Kvalitet vode u površinskim vodotocima u okolini puta (stalni vodotok Zavodolka, kao i povremni vodotoci Opačica i Rakovski potok) je takav da njihove vode imaju visok status kvaliteta.

U okolini predmetnog puta u obuhvatu od 1000 m sa jedne i druge strane puta, konstatovan je određeni broj vrsta flore i faune koje se nalaze na Crvenoj listi fore i faune Republike Srpske.

U okolini planiranog puta nema zaštićenih prirodnih područja niti područja koja su predviđena za stavljanje pod zaštitu. Takođe nema kulturnih dobara sa statusom nacionalnih spomenika. Prema podacima iz prostorno planske dokumentacije Republike Srpske i mišljenja Republičkog zavoda za zaštitu kulturno-istorijskog i prirodnog nasljeđa u obuhvatu trase puta nije planirano uspostavljanje zaštićenog područja niti je evidentirano kulturno nasljeđe sa statusom neophodne zaštite.

Ipak, područje planirano za realizaciju projekta izgradnje i modernizacije postojećeg regionalnog puta, veoma je bogato kulturnim nasljeđem iz raznih epoha (praistorija, antika, rani i kasni srednji vijek), a osim navedenog, iz mlađe prošlosti sačuvani su u potpunosti ili u ruiniranom stanju privredni objekti kao što su mlinice, pravo entološko blago Hercegovine.

Na predmetnoj lokaciji se, takođe, ne uočava degradacija bukom, vibracijama, radijacijom, otpadnim vodama, kao ni komunalnim otpadom.



Slika 2. Karta lokacije puta i okruženja

### 2.3. Procjena mogućih uticaja projekta na životnu sredinu i društvo

Najznačajnije potencijalne emisije u životnu sredinu prilikom realizacije predmetnog projekta, emitovaće se prilikom izvođenja građevinskih radova na modernizaciji i izgradnji postojećeg regionalnog puta dok će emisije u toku korištenja puta biti manjeg inteziteta.

Dajemo tabelarni pregled mogućih uticaja prilikom realizacije predmetnog projekta u odnosu na najznačajnije kriterijume životne sredine te evaluaciju tih uticaja u odnosu na odabrane indikatore životne sredine. Analiza uticaja na kriterijume/indikatore životne sredine urađena je za varijantu da se gradi nova dionica i za varijantu da se vrši modernizacija postojeće trase puta.

**Tabela 1. Procjena uticaja na životnu sredinu i društvo**

KRITERIJUMI ŽIVOTNE SREDINE	INDIKATORI UTICAJA NA ŽIVOTNU SREDINU I DRUŠTVO	TRASA PLANIRANA UTU USLOVIMA	ZADRŽANA POSTOJEĆA TRASA
Utjecaji na kvalitet vazduha	<p>Koncentracija lebdećih čestica u vazduhu u okolini gradilišta</p> <p>Koncentracija otpadnih polutanata u vazduhu kao posljedice rada građevinske mehanizacije i transportnih sredstava</p> <p>Kvalitet vazduha u okolini prilikom korištenja puta</p>	<p><b>U toku izgradnje</b></p> <p>Izgradnja nove dionice zahtjevaće angažovanje većeg broja mehanizacije, što će se nepovoljnije odraziti na kvalitet vazduha prilikom izvođenja građevinskih radova, ali ne u toj mjeri da dođe do zagađenja vazduha iznad graničnih vrijednosti.</p> <p>Povećana koncentracija lebdećih čestica i otpadnih polutanata očekuje se samo na lokaciji gdje se izvode radovi, odnosno na samom gradilištu, dok se u okolini gradilišta na rastojanju većem od 50 m ne očekuje povećana koncentracija lebdećih čestica. Uticaj je kratkotrajan, odnosno traje samo dok traju i građevinski radovi i povremenog je karaktera.</p> <p>Sa obzirom da nema većih objekata (tunela, mostova, vijadukata) te obzirom na veliku regeneracijsku sposobnost vazduha duž cijele trase puta neće doći do emisije otpadnih polutanata (oksida ugljenika, azota i sumpora, aldehide, nesagorjele ugljovodonike i čestice čađi) iznad graničnih vrijednosti.</p> <p><b>U toku korištenja puta</b></p> <p>Uticaj odvijanja saobraćaja na kvalitet vazduha je ograničen na uzak pojas uz sam put budući da se radi o koncentracijama koje dozvoljene granične vrijednosti, za većinu komponenata ne dostižu ni na ivici puta.</p> <p>Ovo je posljedica, malog saobraćajnog opterećenja i uslova transmisije polutanata kod puteva bez ivične izgradnje.</p>	<p><b>U toku izgradnje</b></p> <p>Modernizacija postojeće trase povoljnija je sa stanovišta uticaja na kvalitet vazduha na dijelu gdje se odstupa od postojeće trase.</p> <p>Povećana koncentracija lebdećih čestica i otpadnih polutanata očekuje se samo na lokaciji gdje se izvode radovi, odnosno na samom gradilištu, dok se u okolini gradilišta na rastojanju većem od 50 m ne očekuje povećana koncentracija lebdećih čestica. Uticaj je kratkotrajan, odnosno traje samo dok traju i građevinski radovi i povremenog je karaktera.</p> <p>Sa obzirom da nema većih objekata (tunela, mostova, vijadukata) te obzirom na veliku regeneracijsku sposobnost vazduha duž cijele trase puta neće doći do emisije otpadnih polutanata (oksida ugljenika, azota i sumpora, aldehide, nesagorjele ugljovodonike i čestice čađi) iznad graničnih vrijednosti.</p> <p><b>U toku korištenja puta</b></p> <p>Uticaj odvijanja saobraćaja na kvalitet vazduha je ograničen na uzak pojas uz sam put budući da se radi o koncentracijama koje dozvoljene granične vrijednosti, za većinu komponenata ne dostižu ni na ivici puta.</p> <p>Ovo je posljedica, malog saobraćajnog opterećenja i uslova transmisije polutanata kod puteva bez ivične izgradnje.</p> <p>Emisija lebdećih čestica će se smanjiti u odnosu na sadašnje stanje jer veći dio postojećeg puta nije asfaltiran..</p>
Utjecaj na površinske vodotoke	<p>Fizičko-hemijske karakteristike vode površinskih vodotoka u okolini gradilišta</p> <p>Ispuštanje otpadnih voda sa kolovozne konstrukcije u površinske vodotoke</p> <p>Ugroženost izvora za vodosnabdjevanje stanovništva</p>	<p>Trasa se ukršta sa vodotokom Zavodolke, u dužini od cca 600 m prolazi pored Rakovačkog potoka (povremeni vodotok) i u dužini od cca 2.000 m prolazi pored riječice Opačice (povremeni vodotok).</p> <p>U okolini trase nisu registrovani izvori za vodosnabdjevanje stanovništva.</p> <p><b>U toku izgradnje</b></p> <p>Zagađenje površinskih vodotoka prilikom izvođenja građevinskih radova u mnogome zavisi od primjenjenih mjera zaštite prilikom izgradnje, odnosno od stepena primjene dobre građevinske prakse prilikom izvođenja građevinskih radova. Sa obzirom da se ne planira izgradnja mostova očekuje se da uz predložene mjere zaštite neće biti značajnijih uticaja na kvalitet površinskih tokova prilikom izvođenja građevinskih</p>	<p>Trasa se ukršta sa vodotokom Zavodolke, u dužini od cca 600 m prolazi pored Rakovačkog potoka (povremeni vodotok) i ukršta se sa rječicom Opačicom (povremeni vodotok)</p> <p>U okolini trase nisu registrovani izvori za vodosnabdjevanje stanovništva.</p> <p><b>U toku izgradnje</b></p> <p>Zagađenje površinskih vodotoka prilikom izvođenja građevinskih radova u mnogome zavisi od primjenjenih mjera zaštite prilikom izgradnje, odnosno od stepena primjene dobre građevinske prakse prilikom izvođenja građevinskih radova. Sa obzirom da se ne planira izgradnja mostova očekuje se da uz predložene mjere zaštite neće biti značajnijih uticaja na kvalitet</p>



KRITERIJUMI ŽIVOTNE SREDINE	INDIKATORI UTICAJA NA ŽIVOTNU SREDINU I DRUŠTVO	TRASA PLANIRANA U TU USLOVIMA	ZADRŽANA POSTOJEĆA TRASA
		<p>radova.</p> <p><b><u>U toku korištenja puta</u></b></p> <p>Sa obzirom da se radi o regionalnom putu sa malim saobraćajnim opterećenjem prilikom korištenja puta neće doći do značajnijeg zagađenja okolnih površinskih vodotoka odnosno promjene fizičko-hemijskih parametara kvaliteta vode iznad parametra koje ove površinske vodotoke svrstavaju u vodotke prve kategorije.</p>	<p>površinskih tokova prilikom izvođenja građevinskih radova.</p> <p><b><u>U toku korištenja puta</u></b></p> <p>Sa obzirom da se radi o regionalnom putu sa malim saobraćajnim opterećenjem prilikom korištenja puta neće doći do značajnijeg zagađenja okolnih površinskih vodotoka odnosno promjene fizičko-hemijskih parametara kvaliteta vode iznad parametra koje ove površinske vodotoke svrstavaju u vodotke prve kategorije.</p>
<b>Uticao na zemljište</b>	<p>Površina zemljišta koja će biti trajno izgubljena zbog realizacije projekta</p> <p>Površina zemljišta koje će biti privremeno zauzeto zbog formiranja gradilišta</p> <p>Otvaranje novih pozajmišta materijala</p> <p>Količina uklonjenog humusa</p>	<p><b><u>U toku izgradnje</u></b></p> <p>Većinom će se vršiti modernizacija postojećeg puta. Do trajnog gubitka zemljišta doći će na dijelu gdje se planira izgraditi nova dionica u dužini od 4.453 m.</p> <p>Izgradnjom nove dionice pod kolovoznom konstrukcijom, uključujući i ivične trake, berme i rigole biće izgubljeno cca 40.100 m<sup>2</sup> zemljišta.</p> <p>Zemljište na lokaciji gdje se planira izgraditi nova dionica je niske upotrebne vrijednosti, odnosno radi se o zemljištu sedme i osme bonitetne kategorije koje je trenutno pod pašnjacima i šikarama.</p> <p><b><u>U toku korištenja puta</u></b></p> <p>Utjecaji zagađenja zemljišta usljed odvijanja saobraćaja prostorno su ograničeni uz ivicu puta i u kanalima za odvodnjavanje.</p> <p>Odrećeni utjecaji, u neposrednom prostoru uz put, mogu se očekivati jedino kroz efekte zasoljavanja zemljišta kao posljedice zimskog održavanja.</p>	<p><b><u>U toku izgradnje</u></b></p> <p>Izvršila bi se modernizacija postojećeg puta. Gubitak zemljišta je planiran samo na djelovima gdje se zbog poboljšanja geometrije puta planira „ispravljanje“ putnih zavoja.</p> <p><b><u>U toku korištenja puta</u></b></p> <p>U odnosu na postojeće stanje modernizacijom postojećeg puta smanjiće se zagađenje zemljišta uz trasu puta, jer će se izgraditi sistem za sakupljanje i kontrolisano odvođenje otpadnih voda sa kolovozne konstrukcije. Na postojećem putu ovaj sistem nije izgrađen i voda se nekontrolisano sa puta spira u okolno zemljište.</p>
<b>Uticao na nivo buke i vibracija</b>	<p>Nivo buke i vibracija na granici gradilišta prilikom izgradnje</p> <p>Nivo buke i vibracija u okolini puta prilikom korištenja</p>	<p><b><u>U toku izgradnje</u></b></p> <p>Povećanje nivoa buke i vibracija na gradilištu i u neposrednoj blizini gradilišta u odnosu na sadašnje stanje. Utjecaji će biti prisutni samo na lokaciji gdje se izvode radovi, odnosno na samom gradilištu, i u neposrednoj okolini dok se na rastojanju većem od 50 m ne očekuju prekogranične vrijednosti buke i vibracija.</p> <p>Na lokaciji gdje se planira nova dionica nema stambenih objekata (najbliže naseljeno mjesto Donja Trusina udaljena cca 1000 m).</p> <p><b><u>U toku korištenja puta</u></b></p> <p>Na novoj dionici puta doći će do povećanja nivoa buke u odnosu na sadašnje stanje, zbog odvijanja saobraćaja. Neće doći do prekograničnih nivoa buke i vibracija na udaljenosti većoj od 10 m od ivice puta, sa obzirom da se radi o regionalnom putu sa malim saobraćajnim opterećenjem.</p>	<p><b><u>U toku izgradnje</u></b></p> <p>Povećanje nivoa buke i vibracija na gradilištu i u neposrednoj blizini gradilišta u odnosu na sadašnje stanje. Utjecaji će biti prisutni samo na lokaciji gdje se izvode radovi, odnosno na samom gradilištu, i u neposrednoj okolini dok se na rastojanju većem od 50 m ne očekuju prekogranične vrijednosti buke i vibracija.</p> <p><b><u>U toku korištenja puta</u></b></p> <p>Modernizacijom predmetnog puta, odnosno stvaranjem uslova za bolju saobraćajnu prohodnost očekuje se smanjenje emisije buke u odnosu na sadašnje stanje.</p> <p>Takođe sa obzirom na kategoriju puta i saobraćajno opterećenje ne očekuje se značajniji uticaj buke u okolini predmetnog puta.</p>

KRITERIJUMI ŽIVOTNE SREDINE	INDIKATORI UTICAJA NA ŽIVOTNU SREDINU I DRUŠTVO	TRASA PLANIRANA U TU USLOVIMA	ZADRŽANA POSTOJEĆA TRASA
Uticaj na floru i faunu		<p>U neposrednoj zoni uticaja ne nalaze se zaštićene vrste flore i faune.</p> <p>U skladu sa podacima Crvene liste flore i faune Republike Srpske, šire okruženje puta stanište je dvanaest zaštićenih vrsta faune (ptica) i jedna zaštićena vrste flore.</p>	
	<p>Broj zaštićenih vrsta flore i faune u zoni neposrednog uticaja od 50 m sa obje strane puta</p> <p>Broj zaštićenih vrsta flore i faune u širem okruženju</p> <p>Taloženje prašine na okolnu floru i vegetaciju</p>	<p><b>U toku izgradnje</b></p> <p>Uticaj na floru i faunu tokom izgradnje posljedica je prije svega prisustva teških građevinskih mašina na lokaciji. Rad ovih mašina i druge aktivnosti na izgradnji generisaće povećanu emisiju prašine, buke, vibracija, otpadnih gasova i otpada na lokaciji gradilišta i u njegovoj neposrednoj okolini.</p> <p>Analizirajući zaštićene vrste faune može se zaključiti da povećan nivo buke može imati najveći negativan uticaj u smislu uznemiravanja ptica, pogotovo ako se uticaj javi u periodu ležanja na jajima. Međutim uzimajući u obzir udaljenost staništa zaštićenih vrsta od trase puta može se zaključiti da neće biti značajnih uticaja u smislu uznemiravanja ptica.</p> <p>U okruženju gdje se planira izgradnja nove dionice, u odnosu na postojeću trasu u skladu sa podacima Crvene liste nalazi se <i>Falco tinunculus - Vjetruša</i></p> <p>Najveći uticaji na floru u okviru razmatranog prostora svakako su izraženi kroz već analizirani efekat zauzimanja površina. Ovaj uticaj je izražen na dionici Cementara - Guvno, koja u potpunosti odstupa od postojeće trase puta, gdje je zbog izgradnje neophodno skinuti zeleni pokrivač. U okruženju nove dionice nisu registrovane zaštićene vrste flore.</p> <p><b>U toku korištenja puta</b></p> <p>Analizirani uticaji na floru i faunu vezani su za neposrednu okolinu puta oko koje nisu registrovane zaštićene vrste flore i faune.</p> <p>Uticaj aerogađenja na najosjetljivije vrste prostorno je ograničen na uzak pojas uz sam put budući da se radi o koncentracijama koje dozvoljene granične vrijednosti, s obzirom na moguće negativne uticaje, za većinu komponenata ne dostižu ni na ivici puta. Ovo je posljedica, malog saobraćajnog opterećenja i uslova transmisije polutanata kod puteva bez ivične izgradnje.</p> <p>Uticaji zagađenja zemljišta na floru područja puta su takođe prostorno ograničeni uz ivicu puta i u kanalima za odvodnjavanje. Određeni uticaji, u neposrednom prostoru uz put, mogu se očekivati jedino kroz efekte zasoljavanja zemljišta kao posljedice zimskog održavanja.</p>	<p><b>U toku izgradnje</b></p> <p>Uticaj na floru i faunu tokom izgradnje posljedica je prije svega prisustva teških građevinskih mašina na lokaciji. Rad ovih mašina i druge aktivnosti na izgradnji generisaće povećanu emisiju prašine, buke, vibracija, otpadnih gasova i otpada na lokaciji gradilišta i u njegovoj neposrednoj okolini.</p> <p>Analizirajući zaštićene vrste faune može se zaključiti da povećan nivo buke može imati najveći negativan uticaj u smislu uznemiravanja ptica, pogotovo ako se uticaj javi u periodu ležanja na jajima. Međutim uzimajući u obzir udaljenost staništa zaštićenih vrsta od trase puta može se zaključiti da neće biti značajnih uticaja u smislu uznemiravanja ptica.</p> <p><b>U toku korištenja puta</b></p> <p>Analizirani uticaji na floru i faunu vezani su za neposrednu okolinu puta oko koje nisu registrovane zaštićene vrste flore i faune.</p> <p>Uticaj aerogađenja na najosjetljivije vrste prostorno je ograničen na uzak pojas uz sam put budući da se radi o koncentracijama koje dozvoljene granične vrijednosti, s obzirom na moguće negativne uticaje, za većinu komponenata ne dostižu ni na ivici puta. Ovo je posljedica, malog saobraćajnog opterećenja i uslova transmisije polutanata kod puteva bez ivične izgradnje.</p> <p>Uticaji zagađenja zemljišta na floru područja puta su takođe prostorno ograničeni uz ivicu puta i u kanalima za odvodnjavanje. Određeni uticaji, u neposrednom prostoru uz put, mogu se očekivati jedino kroz efekte zasoljavanja zemljišta kao posljedice zimskog održavanja.</p> <p>Pošto se radi o modernizaciji postojećeg puta životinje čije je stanište u okruženju su se već prilagodili postojanju puta.</p> <p>Modernizacijom postojećeg puta će se smanjiti emisija lebdećih čestica, buke i nekontrolisane odvodnje otpadnih voda sa puta a samim tim će se smanjiti negativni uticaji na okolnu floru i faunu.</p>
Uticaj na stanovništvo	<p>Broj stanovnika u okolini predmetnog puta</p> <p>Udaljenost najbližih</p>	<p>Opština Nevesinje, prema preliminarnim rezultatima popisa stanovništva iz 2013. godine, broji 13.758 stanovnika, dok Opština Berkovići boji 2.272 stanovnika.</p> <p>Postojeći put je jedina direktna poveznica između ove dvije opštine. Put prolazi</p>	

KRITERIJUMI ŽIVOTNE SREDINE	INDIKATORI UTICAJA NA ŽIVOTNU SREDINU I DRUŠTVO	TRASA PLANIRANA U TU USLOVIMA	ZADRŽANA POSTOJEĆA TRASA
	<p>stambenih objekata od nove dionice</p> <p>Broj stanovnika koji će biti raseljen zbog realizacije projekta</p> <p>Unapeđenje/smanjenje komunikacije lokalnog stanovništva</p> <p>Podizanje/smanjenje životnog standarda</p>	<p>ruralnim područjem sa malom gustom naseljenosti ispod 10 stanovnika/km<sup>2</sup>. U naseljima koja se nalaze u okruženju trase čija se rekonstrukcija i izgradnja planira živi oko 1.200 stanovnika. U neposrednom okruženju puta evidentiran je mali broj stambenih objekata (procjena ispod 200 stanovnika).</p> <p>Osnovna demografska karakteristika predmetnog područja jeste odliv stanovništva, pogotovo mlađe populacije, što su potvrdili i preliminarni rezultati izbora u BiH, provedeni 2013. godine.</p> <p>Ono što je takođe trend jeste migracija stanovništva selo-grad, odnosno dolazi od odliva stanovništva iz ruralnog područja u opštinske centre, tako da je broj domaćinstava i stanovništva, u ruralnom području, odnosno području koru koje predmetna trasa puta prolazi, u konstantnom opadanju.</p>	
		<p><b>U toku izgradnje</b></p> <p>Utjecaji i na stanovništvo koje se nalazi u okolini lokacije mogu se očekivati u toku izgradnje usljed ometanja okolnog stanovništva povećanom bukom i vibracijama od građevinskih mašina i kamiona, ometanjem ustaljenih komunikacija, te povećanom emisijom prašine u okolini gradilišta. Ovi utjecaji su privremenog karaktera, vremenski i prostorno su ograničeni samo na vrijeme izvođenja građevinskih radova i na lokaciju na kojoj se izvode građevinski radovi.</p> <p>Na lokaciji gdje se planira nova dionica nema stambenih objekata (najbliže naseljeno mjesto Donja Trusina udaljena cca 1000 m).</p> <p>Prilikom realizacije projekta neće biti potrebno izuzimanje stambenih objekata stanovništva, niti će doći do raseljavanja stanovništva kao posljedice realizacije projekta.</p> <p><b>U toku korištenja puta</b></p> <p>Sa obzirom da se radi modernizaciji i djelimično izgradnji postojećeg puta, obzirom na malo saobraćajno opterećenje te obzirom da se radi o putu nižeg ranga, ne očekuju se negativni utjecaji na zdravlje okolnog stanovništva prilikom korištenja puta.</p> <p>Izgradnjom nove dionice doprinjeće značajnom skraćanju lokalnog puta za naselje Donja Trusina, koje gravitira opštini Berkovići.</p>	<p><b>U toku izgradnje</b></p> <p>Utjecaji i na stanovništvo koje se nalazi u okolini lokacije mogu se očekivati u toku izgradnje usljed ometanja okolnog stanovništva povećanom bukom i vibracijama od građevinskih mašina i kamiona, ometanjem ustaljenih komunikacija, te povećanom emisijom prašine u okolini gradilišta. Ovi utjecaji su privremenog karaktera, vremenski i prostorno su ograničeni samo na vrijeme izvođenja građevinskih radova i na lokaciju na kojoj se izvode građevinski radovi.</p> <p>Na lokaciji gdje se planira nova dionica nema stambenih objekata (najbliže naseljeno mjesto Donja Trusina udaljena cca 1000 m).</p> <p><b>U toku korištenja puta</b></p> <p>Sa obzirom da se radi modernizaciji i djelimično izgradnji postojećeg puta, obzirom na malo saobraćajno opterećenje te obzirom da se radi o putu nižeg ranga, ne očekuju se negativni utjecaji na zdravlje okolnog stanovništva prilikom korištenja puta.</p> <p>Modernizacijom postojećeg puta će se smanjiti emisija lebdećih čestica, buke a samim tim će se smanjiti negativni utjecaji na okolno stanovništvo.</p> <p>U slučaju modernizacije cijele postojeće trase puta ostaće problem prekida komunikacije tokom zimskog perioda zbog snježni nanosa.</p>
<p><b>Utjecaj na zaštićene dijelove prirode i kulturno-istorijske objekte</b></p>	<p>Broj i veličina zaštićenih dijelova prirode u okolini puta</p> <p>Broj zaštićenih spomenika u okolini puta</p> <p>Broj kulturno-istorijskih objekata koji se nalaze u zoni uticaja puta</p>	<p>U okruženju postojećeg puta i u okruženju nove dionice puta nema zaštićenih prirodnih područja niti područja koja su predviđena za stavljanje pod zaštitu.</p> <p>Takođe nema ni objekata sa statusom nacionalnih spomenika niti je evidentirano kulturno nasljeđe sa statusom neophodne zaštite.</p> <p>Od registrovanih objekata kulturno-istorijskog nasljeđa u u blizini puta nalazi se spomenik Nj.V. Kralju Petru I, u rejonu naselja Gornja Trusina koji je od postojećeg puta udaljen 30 m.</p> <p>U okruženju nove dionice nisu registrovani objekti kulturno-istorijskog nasljeđa.</p>	

### 3. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Provedena višekriterijumska procjene uticaja na životnu sredinu dala je sledeće zaključke:

- Problematika aerozagađenja nije posebno izražena u trasi puta i da, s obzirom da se radi o regionalnom putu sa malim saobraćajnim opterećanjem, da koncentracija polutanata prilikom izgradnje i korištenja puta neće značajno uticati na kvalitet vazduha u okolini puta u smislu dostizanja prekograničnih vrijednosti polutanata u vazduhu van ivice puta, što važi za obje razmatrane varijante.
- Realizacijom predmetnog projekta neće doći do promjene kvaliteta površinskih vodotoka u okruženju, što važi za obje razmatrane varijante. Veći negativan uticaj na površinske vodotoke ima varijanta sa igradnjom nove dionice gdje nova dionica prolazi pored rijeke Opačice u dužini od 2.000 m, dok se zadržavanjem postojeće trase put ukršta sa rijekom Opačicom.
- Najveći negativan efekat izgradnje nove dionice u odnosu na zadržavanje postojećeg puta jeste trajni gubitak zemljišta. Prilikom korištenja puta zagađenje zemljišta će biti prisutno samo uz ivicu puta i u kanalima za odvodnjavanje.
- Problematika buke i vibracija biće izražena samo u toku izvođenja građevinskih radova ograničeno na lokaciju zvođenja radova i privremenog je karaktera, dok se u toku korištenja puta ne očekuje prekogranično povećanje buke i vibracija na udaljenosti većoj od 10 m od ivice puta.
- Prilikom izgradnje i korištenja predmetnog puta neće biti značajnih negativnih uticaja na zaštićene verste faune u smislu da neka vrsta napusti predmetni prostor., pogotovo što se u većem dijelu radi o modernizaciji postojećeg puta tako da se fauna u okruženju prilagodila postojanju puta i odvijanja saobraćaja na njemu.
- Negativne uticaj na stanovništvo ne treba očekivati. Određeni negativni uticaji javiće se u toku izvođenja građevinskih radova ali oni su vremenski i prostorno ograničeni. Realizacija ovog projekta donijeće brojne pozitivne efekte lokalnoj zajednici: smanjiće se negativan trend odliva stanovništva sa predmetnog područja, podići će se životni standard lokalnom stanovništvu kroz podizanje usluga obrazovanja, zdravstva, privlačenja investicija, omogućiće se brža i sigurnija komunikacija stanovništva, te smanjenje razvojnih razlika između regija.
- Sa stanovišta uticaja na stanovništvo povoljnija je varijanta sa novom dionicom jer rješava prolem prekida komunikacije i skraćuje pristup regionalnom putu za stanovnike naselja Donja Trusina.

#### Literatura:

- [1] N. Knežević, S. Cukut, S. Dunović, B. Ivić, "Očekivani uticaji na kvalitet površinskih voda tokom izgradnje i eksploatacije autoputa E661, dionica Mahovljani-Gradiška", Journal of Road and Traffic Engineering., 0478-9733,(2012), pp. 13-16.
- [2] Brkić, B., Mitrović, Đ., (2006). Put i životna redina, zbirka radova. 4, 147-152.
- [3] IDEJNI PROJEKAT REGIONALNOG PUTA R435 NEVESINJE – BERKOVIĆI, JU Institut za ispitivanje materijala i konstrukcija „IMK RS“ Banja Luka, (2008).
- [4] LOKALNI AKCIONI PLAN ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE OPŠTINE BERKOVIĆI 2012-2017. (2012).

# THE IMPLEMENTATION OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM IN EGNATIA ODOS MOTORWAY

**Thalia Valkouma**

*Head of Environment Dpt –*

*Operation, Maintenance & Exploitation Division – Egnatia Odos S.A.*

*6<sup>th</sup> km Thessaloniki – Thermi, 60030*

*570 01 Thermi Thessaloniki, GREECE*

*E-mail: thvalkou@egnatia.gr*

*Egnatia Odos S.A. is the company responsible for the design, construction, operation, maintenance and exploitation of Egnatia Motorway.*

*The Egnatia Motorway constitutes one of the priority projects of the Trans-European Transport Network and is the communication link spanning Northern Greece from its western to its eastern border. Being a collector axis of the Pan-European Corridors leading from North to South, it is of great geostrategic importance for both the Balkans and South-Eastern Europe. It is one of the first large-scale public works to apply a system of environmental management, which organises and implements environmental protection and mitigation measures in the design, construction, maintenance and operation stages of the project.*

*The actions taken for the protection of the environment are the following:*

- *The Egnatia Motorway alignment follows the traces of the ancient Via Egnatia. Along its route and within a 1000m wide zone, 270 sites of historical interest have been identified. Egnatia Odos S.A. proceeded to actions aiming at the protection and preservation of the cultural heritage of Greece, as well as at its enhancement, when this was feasible.*
- *Egnatia Odos S.A. supports actions jointly undertaken by the company, environmental organizations and specialized scientists for the monitoring and assessment of the motorway impact on ecosystems and fauna during construction and operation.*
- *Egnatia Odos S.A. aims to minimize the noise disturbance caused by the motorway's operation. To this effect, monitoring programs of the Road Traffic Noise and also strategic noise mapping is set up in residential districts and environmental sensitive areas.*
- *Egnatia Odos S.A. runs programs for monitoring the concentration of pollutant gases in certain areas along the motorway axis. Air quality management is one of the company's main targets, connected with the life quality of the inhabitants of adjacent to Egnatia Motorway settlements and also with the policy against global heating on the basis of calculating and minimizing the carbon footprint.*
- *Egnatia Odos S.A., in order to protect surface and ground waters runs programs for the monitoring and assessment of the motorway's run-off waters quality at the points of discharge to the adjacent receivers (i.e. rivers, lakes). Furthermore, facility plants responsible for preventing pollution of water and other sensitive areas are constructed and used along the motorway axis.*
- *Egnatia Odos S.A., adopts the national and european policy regarding waste management and takes measures to prevent the generation of waste and to promote reuse, recycling and other forms of recovery in order to reduce the quantity of such waste, whilst also improving its environmental performance, via waste management programs.*
- *Egnatia Odos S.A. takes certain actions, in order to limit energy consumption*
- *Egnatia Odos S.A. implements an integrated evaluating, management and reporting system to ensure the environmentally sustainable operation of the motorway*

*Key – words: environmental monitoring, run-off waters, pollutant gases, road traffic noise, waste management, preservation of cultural heritage, energy.*

## 1. INTRODUCTION

Egnatia Odos S.A. aims at designing, constructing, and operating the motorway, while at the same time is making an effort to minimise or even prevent the impact on the environment. For this reason the company introduces an environmental strategy and a new perception of highway construction, maintenance and operation and also protection of the natural and manmade environments, by investing on environmental purposes a significant percentage of the total budget. The company's strategy is based on the Greek and European Community legislations on environmental protection, the international standards, and the principles of sustainable development.

## 2. THE PROJECT'S IDENTITY

Egnatia Odos S.A. is the company responsible for the design, construction, operation, maintenance and exploitation of Egnatia motorway. Egnatia Odos S.A. also manages the design and construction of additional projects and has extended its activities abroad, by participating in international tenders and undertaking contracts for the management and supervision of designs and construction works, mainly of large infrastructure projects. The axis of Egnatia motorway is presented in the photograph below and has the following main characteristics:



*Egnatia Odos Motorway*

• 50 road interchanges
• 350 entrance / exit over bridges and underpasses
• 1650 major bridges, with a total length of 40 km and many small ones
• 76 tunnels up to 4,8 km long, with a total length of 49,5 km
• 43 river crossings
• 11 railway crossings

STRETCHING:	From Igoumenitsa to Kipi (Evros)
PROJECT SIZE:	670 kilometres
SERVING THE REGIONS OF:	Thesprotia - Ioannina - Grevena - Kozani - Imathia - Thessaloniki - Kavala - Xanthi - Rodopi – Evros
LINKED WITH THE BORDERS OF:	Albania - FYROM - Bulgaria - Turkey, through nine major vertical axes
PASSING THROUGH THE TOWNS OF:	Igoumenitsa - Ioannina - Metsovo - Grevena - Kozani - Veria - Thessaloniki - Kavala - Xanthi - Komotini – Alexandroupoli
LINKED TO THE PORTS OF:	Igoumenitsa - Thessaloniki - Kavala - Alexandroupoli
AND THE AIRPORTS OF:	Ioannina - Kastoria - Kozani - Thessaloniki - Kavala – Alexandroupoli 332 towns and villages
PASSING NEAR:	30 regions of particular interest

SERVING THE INDUSTRIAL ZONES OF:	Ioannina - Florina - Edessa - Thessaloniki - Kilkis - Serres - Drama - Xanthi - Komotini - Alexandroupolis, either directly or through its vertical axes
PROPOSING AND FINANCING:	Archaeological excavations, protection of monuments, environmental protection works (biotopes, etc.)
TECHNICAL CHARACTERISTICS:	Dual carriageway of international standards with two traffic lanes per direction, a central reserve and an emergency lane.

The motorway impact zone corresponds to:

<ul style="list-style-type: none"> <li>• 36% of the country's population.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 33% of the country's GNP.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 54% of the country's agricultural land and 65% of the total irrigated land, as far as the primary sector is concerned.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 41% of the country's employment in industry-small trade, as far as the secondary sector is concerned.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 51% of the country's extractive industry.</li> </ul>

The Egnatia motorway is one of the first large-scale public works to apply a system of environmental management, that is, a method of organising and implementing environmental protection and mitigation measures in the design, construction, maintenance and operation stages of the project. This covers heritage protection, impacts on ecosystems, noise, waste, energy, cleaning / maintenance / restoration, pollutant gases and water.

## 2.1 The environment surrounding the routing of Egnatia Odos motorway

The successive natural and manmade environments along the project are exceptionally diverse, both through the mountains of Pindos and Western Macedonia, and the plains of Central / Eastern Macedonia and Thrace.

The Egnatia Motorway runs through Greek mountainous and plain landscapes of exquisite beauty and ecological importance. Its alignment follows the Ancient Roman Via Egnatia. Along this ancient route, within an approx. 1000 meters zone, 270 sites of historical interest have been identified, while in its vicinity, significant archaeological sites and natural resources of critical importance are located (gold mines, deposits of various metals, wetlands, ground and surface waters, high capacity soils, etc). The Egnatia Motorway runs past Pindos and other Greek mountains and reveals a variety of exceptionally interesting geological formations, valleys and ravines.

Along the route of the highway one can find:

- 17 Natural Habitat Areas protected under the European "Natura 2000" Network
- 4 Wetlands protected under the Ramsar Convention
- 70 wildlife conservation areas (formerly wildlife reserves)
- 270 sites and monuments of historical interest
- Most of the longest rivers in Greece (Evros, Nestos, Strymonas, Gallikos, Axios, Aliakmonas, Venetikos, Metsovitikos, Arachthos, etc).

## 2.2. The Environmental Management System in Egnatia Odos motorway

### 2.2.1 Management of cultural Heritage

The alignment of the Egnatia Motorway follows the traces of the ancient Roman Via Egnatia and along its route and within a 1000m wide zone, 270 sites of historical interest have been

identified. A Memorandum of Cooperation was signed between Egnatia Odos S.A. and the Greek Ministry of Culture, for the effective management of archaeological excavations and the protection and enhancement of archaeological finds.

The company, being the agent responsible for the design, construction, maintenance and operation of the project, proceeded to actions aiming at the protection and preservation of the cultural heritage of Greece, as well as at its enhancement, when this was feasible. In several cases, the alignment was either changed or improved at a cost of approximately €80 mn. Up to date more than 50 archaeological excavations have already been financed along the motorway axis at a cost amounting to €14 mn.

The findings unearthed are important and date back to different historical eras.

### **2.2.2 Monitoring and Protection of the Biodiversity**

Egnatia Odos S.A completed the motorway in an “environment friendly” way, constructing several structures, such as tunnels, bridges, overpasses and underpasses, as well as a Green Bridge, ensuring the protection of fauna.

During maintenance and operation, the company monitors fauna mortality, caused by collisions with the passing vehicles, controls the quantity of salt used for the snow ploughing of the motorway and insists on the regular cleaning and maintenance of culverts and wildlife passages throughout the motorway.

Furthermore, Egnatia Odos S.A supports actions in cooperation with non-governmental environmental organizations (NGO's) and specialized scientists for the monitoring and assessment of the motorway impact on big mammals, during construction and operation, for minimising the disturbance of the ecosystem<sup>(1)</sup>.

For the restoration of disturbed surfaces such as borrow pits, disposal areas and work sites, the company established the Landscape Guidelines (OSAT), which now constitutes a contractual document for design and construction, supplementary to the Environmental Terms. Additionally, plant nurseries were created for native flora species in order to be used for the motorway slope restoration

### **2.2.3 Monitoring and Mapping of Road Traffic Noise**

Egnatia Odos S.A aims to minimize the noise disturbance caused by the motorway's operation. To this effect, programs of monitoring and mapping the Road Traffic Noise<sup>(2,3)</sup> are set up in residential districts and environmental sensitive areas, having as main criteria the distance of the settlements from the motorway, the traffic volume, the composition of vehicles' flow, the vehicles' speed, the technical characteristics of the motorway, the meteorological conditions, the existing Environmental Terms of the project and the citizens complaints.

The company runs annually those noise monitoring programs since 2006 and keeps a fully updated GIS database. Furthermore strategic noise mapping is implemented for the estimation of population exposure to noise and the need for action plans and mitigation measures, according to national and E.E. legislation.

From 2013 to 2015 an extended monitoring program was performed based also on the existing environmental terms for the project operation, including 155 (24h) noise measurements per year, strategic noise mapping, estimation of population exposure to noise, comparison with the results of previous years.

Noise measurements were distributed into seven geographical areas with further distinction in rural and suburban areas next to medium and large agglomerations. Traffic data were collected as well. For noise mapping, a complex geographical model was created using DTM & DSM model data, VLSO digital orthophoto maps, survey data, etc. Technical features of motorway were inserted in detail. The model was calibrated using simultaneous real time traffic and noise data.

In areas where, in accordance to the current legislation, taking of measures relative to Noise Protection is considered necessary, the efficiency of all noise protection measures are examined (noise barriers, special bituminous carpets, special planting, etc), for the selection of the most viable solution.



#### **2.2.4 Monitoring of air quality**

Air quality management is one of Egnatia Odos S.A. targets, connected with the life quality of the inhabitants of adjacent to Egnatia motorway settlements and also with the policy against global heating.

To draw conclusions concerning the pollution rates caused by the operation of Egnatia motorway, a program of measuring several gas pollutants<sup>(2)</sup> is carried out, with particular emphasis on sections with high road traffic volume, as well as those going through areas of sensitive ecosystems. The parameters measured are Carbon Monoxide (CO), Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>), Sulfur Dioxide (SO<sub>2</sub>), Ozone (O<sub>3</sub>), Benzene, Lead (Pb), Particles (PM<sub>10</sub> – PM<sub>2,5</sub> – PM<sub>1</sub>), Black Carbon, Toluene, Ethylbenzene and Xylene.

Furthermore, most of Egnatia motorway tunnels are equipped with CO and NO meters, constantly measuring the levels of the specific pollutants, in order to preserve the air quality in the tunnels. Additional measurements of gas pollutants are carried out in the tunnels of Egnatia motorway, particularly in those longer than 500 meters.

The company is working on the reduction of carbon footprint of road facilities and the promotion of green transport, through interventions and investments in road infrastructure, implementation of innovative traffic management tools and promotion of responsible driving behaviour. Its one of the highway companies in Europe and in the world that is calculating the CO<sub>2</sub> footprint of the company also in combination with the traffic volumes.

#### **2.2.5 Monitoring of motorway's run-off waters – Protection of water quality**

The company in order to protect surface and ground water, runs a program for the monitoring and assessment of the motorway's run-off water quality<sup>(4)</sup> at the points of discharge to the adjacent receivers (i.e. rivers, lakes). The pollution parameters presenting greater interest, which are directly related to the motorway's operation, are: COD, Total Solids, Fats and Oils, Heavy Metals, etc.

The selection of the areas and points for carrying out the measurements is based on the Environmental Terms and the sensitivity of each eco-system.

Additionally, pollution control units were and are constructed along the axis of Egnatia Odos motorway.

#### **2.2.6 Waste management**

The pollution of the motorway caused by its users can have multiple negative results, such as pollution of the adjacent waters and grounds, creation of an inelegant image of the motorway and dangers for drivers and passengers.

All kinds of waste are gathered from the road surface and the central reserves. The management and the final disposal of waste are based on the Environmental Terms and the existent legislation. The annual cost of cleaning is about 1.000.000€, which amounts to 5% of the total annual cost of the motorway maintenance.

Moreover, the company monitors and registers in a database the amounts and types of waste gathered from the motorway. Significant amounts of paper, glass, plastic, wood, metal and other materials are collected. Due to its size, the company considered it necessary to implement an integrated program for the management of the produced waste pursuant to the standing legislation and with the aim to reduce the motorway pollution.

Regarding the hazardous waste, treatment plants, called Pollution Control Units (PCUs) were constructed along the axis of Egnatia Odos motorway. Their construction fulfilled the existing Environmental Terms, according to which, it is necessary to take measures to prevent pollution of water and other sensitive areas along the alignment of the motorway. Since 2006, one hundred (100) PCUs have been constructed throughout the motorway, especially in areas that are adjacent to rivers, streams and lakes considered as sensitive ecosystems. Those units treat in an efficient way the pollutants carried by runoff of surface water during rainfalls and additionally they collect and isolate waste leaks after accidents in the motorway. These special units demand regular monitoring, maintenance, cleaning and management of the hazardous waste collected.

Furthermore, the company is responsible for the management of old, destroyed, surplus or useless material used along the motorway or at its various construction sites, materials that need to be replaced after having been worn and torn or damaged. Such materials consist of:

- Metal/Aluminum/Scrap
- Waste electrical and electronic equipment (WEEE),
- Waste batteries and accumulators

### **2.2.7 Management of energy consumption**

Egnatia Odos S.A. in order to limit the energy consumption of the motorway takes certain actions, such as:

- Reduction of electrical energy consumption (Program of lighting measurements in tunnels - Regular maintenance program of E/M installations - Time-schedule of lighting - Energy management program in the tunnels - Limitation of the electricity consumption based on the timely detection of damages, the optimization of the road lighting operation and the limitation of possible unnecessary operations)
- Implementation of new technologies in lightning (ie LED, etc) and management of lightning
- Implementation and use of Renewable Energy Sources
- Calculation of carbon and energy footprint and implementation of action plans for minimizing climate change.
- ICT solutions for the design & management of energy/transport systems
- Implementation of Nearly Zero Energy Buildings or Low Energy Buildings.
- Active participation of citizens and users of the motorway in energy and sustainability issues

## **3. CONCLUSION**

Egnatia Odos S.A. introduces a different approach and a new strategy in the construction of major road axes in Greece, by implementing the preservation and protection of the natural and man-made environment.

According to the company, the environmental protection during the construction, maintenance and operation of a project, now, more than ever, constitutes a significant factor equally important to the technical and financial factors. Furthermore, all three factors should be involved in the process, in such a way so as to result in a technically complete and environmentally acceptable project.

## **References**

[1] Monitoring & assessment of impacts on big mammals and their habitats due to the construction and operation of the Egnatia Motorway, in Panagia – Grevena section, Northern Greece – Egnatia Odos S.A., “Arcturos” NGO, “Kallisto” NGO.

[2] Research program for the monitoring of road traffic noise and air pollutants' fluctuation in operating sections of Egnatia motorway – Egnatia Odos S.A., University of Thessaly.

[3] Monitoring and mapping of road traffic noise in operating sections of Egnatia motorway – Egnatia Odos S.A., TT&E S.A.

[4] Research program for the collection and analysis of road run-off water samples in operating sections of Egnatia motorway – Egnatia Odos S.A., Th. Stylianakis

# ТРАНСПОРТ ОПАСНИХ МАТЕРИЈА У ДРУМСКОМ САОБРАЋАЈУ, МОГУЋНОСТ АКЦИДЕНТА И УТИЦАЈ НА БЕЗБЕДНОСТ И ЗДРАВЉЕ ЉУДИ И ЖИВОТНУ СРЕДИНУ

**Станимиовић Миролуб, Професор НО – Аутор за контакт**

Институт за путеве ад, Београд

е-mail: [m.stanimirovic@highway.rs](mailto:m.stanimirovic@highway.rs)

**Јоцић Миодраг, Дипл.грађ.инж.**

Министарство за ванредне ситуације

е-mail: [miodrag.jocic@gmail.com](mailto:miodrag.jocic@gmail.com)

**Игор Радовић, Дипл.грађ.инж.**

ЈП Путеви Србије

е-mail: [igor.radovic@putevi-srbije.rs](mailto:igor.radovic@putevi-srbije.rs)

**Резиме:** Транспорт опасних материја у друмском саобраћају се одвија свакодневно. То је посао који садржи велики ризик у сваком погледу. У раду је дата законска регулатива и дефиниција опасних материја. Дати су услови и мере које треба испунити за безбедан транспорт опасних материја. Описани су могућности акцидента и њихов утицај на здравље људи и утицај на животну средину. Посебан значај је дат превозу експлозивних материја и недостаци који се јављају приликом превоза опасних и експлозивних материја.

**Кључне речи:** Транспорт, опасне материје, акциденти, животна средина, моторно возило, друмски саобраћај

## УВОД

У Републици Србији производња, промет и превоз експлозивних материја регулише се републичким законима, прописима, правилницима и уредбама, од којих су најзначајнији: Закон о транспорту опасног терета („Сл.гласник РС“, бр.88/2010), у даљем тексту Закона, Правилник о начину транспорта опасног терета у друмском саобраћају („Сл.гласник РС“ бр.125/2014), Закон о техничким захтевима за производе и оцењивање усаглашености („Сл.гласник РС“ бр.125/2014. Донето је још преко 40 нових Правилника, тако да је наше законодавство из ове области скоро у потпуности усаглашено са Европским и светским прописима.

Наша земља је потписница **ЕВРОПСКОГ СПОРАЗУМА О МЕЂУНАРОДНОМ ДРУМСКОМ ПРЕВОЗУ ОПАСНЕ РОБЕ (АДР)**

## ШТА СЕ СМАТРА ПОД ОПАСНИМ МАТЕРИЈАМА:

Опасне материје су оне материје, које могу угрозити здравље људи, изазвати контаминацију животне средине или нанети материјалну штету, које имају опасна својства за људско здравље и околину, које су као такве дефинисане законима, другим прописима и међународним уговорима, које на основу њихове природе или својстава и стања, а у вези са превозом могу бити опасне за безбедност или које имају доказано токсичне, нагризајуће, надражујуће, запаљиве, експлозивне или радиоактивне последице. Опасним материјама сматрају се и сировине од којих се производе опасне материје и отпади ако имају својства опасних материја.

**У зависности од хемијских особина, агрегатног стања и степена опасности, а на основу критеријума утврђених у АДР-у, све опасне робе су расподељене на 13 класа које су означене до броја девет, и то:**

КЛАСА 1 ЕКСПЛОЗИВНЕ МАТЕРИЈЕ И ПРЕДМЕТИ СА ЕКСПЛОЗИВНИМ МАТЕРИЈАМА

КЛАСА 2 ГАСОВИ

КЛАСА 3 ЗАПАЉИВЕ ТЕЧНЕ МАТЕРИЈЕ

КЛАСА 4.1 ЗАПАЉИВЕ ЧВРСТЕ МАТЕРИЈЕ, САМОРЕАГУЈУЋЕ МАТЕРИЈЕ И ЧВРСТИ  
ДЕСЕНЗИТИВИСАНИ ЕКСПЛОЗИВИ

КЛАСА 4.2 МАТЕРИЈЕ СКЛОНЕ САМОЗАПАЉЕЊУ

КЛАСА 4.3 МАТЕРИЈЕ КОЈЕ У ДОДИРУ СА ВОДОМ ЕМИТУЈУ ЗАПАЉИВЕ ГАСОВЕ

КЛАСА 5.1 ОКСИДИРАЈУЋЕ МАТЕРИЈЕ

КЛАСА 5.2 ОРГАНСКИ ПЕРОКСИДИ

КЛАСА 6.1 ОТРОВНЕ

КЛАСА 6.2 ИНФЕКТИВНЕ МАТЕРИЈЕ

КЛАСА 7 РАДИОАКТИВНЕ МАТЕРИЈЕ

КЛАСА 8 КОРОЗИВНЕ (НАГРИЗАЈУЋЕ) МАТЕРИЈЕ

КЛАСА 9 ОСТАЛЕ ОПАСНЕ МАТЕРИЈЕ И ПРЕДМЕТИ – Материје и предмети који за време превоза представљају неку опасност која није обухваћена појмовима других класа.

### **УПРАВА ЗА ТРАНСПОРТ ОПАСНОГ ТЕРЕТА**

За обављање извршних и с њима повезаних инспекцијских и стручних послова у области транспорта опасног терета образује се Управа за транспорт опасног терета (у даљем тексту: Управа), као орган управе у саставу министарства надлежног за послове саобраћаја (у даљем тексту: Министарство) и утврђује њена надлежност. Седиште Управе је у Београду.

- Управа учествује у припреми прописа у области транспорта опасног терета;
- врши инспекцијски надзор над применом прописа из члана 2. став 2. Закона, и прописа донетих на основу Закона;
- издаје овлашћење стручном лицу;
- издаје одобрење за тип амбалаже, односно посуде под притиском или цистерне за транспорт опасног терета;
- издаје сертификат о стручној оспособљености за саветника за безбедност у транспорту опасног терета;
- врши надзор над радом привредних друштава и других правних лица којима издаје лиценцу, овлашћење или други акт на основу овог закона;
- надзире припрему и спровођење Плана безбедности учесника у транспорту опасног терета који транспортују опасан терет високе потенцијалне опасности, утврђен прописима из члана 2. став 2. Закона;
- издаје дозволу за транспорт опасног терета када је то утврђено прописима из члана 2. став 2. овог закона, изузев дозволе за транспорт експлозивног терета; - прати транспорт и угрожавање безбедности транспорта опасног терета
- издаје сертификат о стручној оспособљености возача возила за транспорт опасног терета и води Регистар издатих сертификата; и друге послове

Привредно друштво, друго правно лице или предузетник који превозе опасне материје и врше радње у вези са тим превозом, као и појединци који у току превоза непосредно рукују, или на други начуин долазе у додир са опасним материјама, дужни су да предузимају превентивне и заштитне мере којима се обезбеђује заштита живота и здравља људи, човекове средине или материјалних добара, односно безбедности саобраћаја.

Новооткривене опасне материје могу да превозе ако испуњавају услове који су претходно научним испитивањем утврђени као услови који пружају пуну сигурност при њиховом превозу.

## Транспорт опасних материја у друмском саобраћају, могућност акцидента и утицај на безбедност и здравље људи и животну средину

Опасним материјама могу да рукују и да их превозе само пунолетна лица која су стручно оспособљена за руковођење и превоз тих материја.

Привредно друштво, друго правно лице или предузетник који предају на превоз опасну материју или је превозе сопственим средствима дужни су да опасну материју припреме тако да испуњава све прописане услове за њен превоз.

Не сме се предати на превоз опасна материја ако нису испуњени прописани услови за њен превоз.

Превозна средства којима се превозе опасне материје морају да буду технички исправна и тако израђена и опремљена да при нормалним условима омогућавају безбедан превоз.

Превозна средства којима се превозе опасне материје морају да буду означена и обележена на начин прописан међународним прописима о превозу опасних материја у појединим гранама саобраћаја.

На цистернама, контејнерима и судовима намењеним искључиво за превоз опасних материја, мора да буде тачно назначена врста опасне материје која може у њима да се превози, њен број распознавања и назив и седиште произвођача.

Привредна друштво, друга правна лица или предузетници који превозе опасне материје, дужни су да у случају нестанка опасне материје при превозу предузму потребне мере за њено проналажење и да по потреби обавесте јавност о опасности коју представља опасна материја.

На било који начин просуте опасне материје, приликом превоза, превозник је дужан да прикупи и одстрани, односно проспе на за то одређеним местима, или да их на други начин учини безопасним.

Пошиљалац који даје опасну материју на превоз, дужан је да за сваку пошиљку опасне материје испостави исправу о превозу и упуство о посебним мерама безбедности које при превозу опасне материје морају да предузму, и да их преда превознику.

Ако у току превоза превозник утврди или на други начин сазна да превози опасну материју која је искључена из превоза, дужан је да одмах обустави даље превозење опасне материје и о томе обавести најближу станицу полиције и пошиљаоца.

Пошиљалац опасне материје дужан је одмах по примљеном обавештењу о обустављању превоза преузме опасну материју и предузме одговарајуће мере да се материја учини безопасном.

### **ПРЕВОЗ У ДРУМСКОМ САОБРАЋАЈУ**

Дозвола за транспорт опасног терета је исправа која се издаје за сваки појединачни транспорт у случајевима утврђеним прописима из члана 2. став 2. Закона, као и у транспорту експлозивног и радиоактивног терета.

Дозволу из става 1. овог члана, изузев дозволе за транспорт експлозивног терета, издаје Управа.

Дозволу за транспорт експлозивног терета који се у целини обавља на територији Републике Србије издаје подручна полицијска управа надлежна за подручје с којег се пошиљка отпрема.

Дозволу за транспорт експлозивног терета у међународном транспорту (увоз, извоз, транзит) издаје министарство надлежно за унутрашње послове.

Дозвола за транспорт радиоактивног терета која важи до шест месеци, може се издати за више транспорта привредном друштву, другом правном лицу или предузетнику чија је делатност у вези с коришћењем радиоактивног материјала на територији Републике Србије.

**Учесник у транспорту опасног терета у друмском саобраћају дужан је да користи возило:**

- 1) које је произведено и опремљено у складу с прописима из Закона и другим прописима;
- 2) које има важећи сертификат о одобрењу за возило за транспорт одређеног опасног терета, ако је то утврђено прописима из члана 2. став 2. тачка 1) Закона;
- 3) које је обележено и означено у складу с прописима из члана 2. став 2. тачка 1) г Закона.

Учесник у транспорту опасног терета дужан је да превоз опасног терета повери возачу који има важећи сертификат о стручној оспособљености за возача возила за транспорт опасног терета (у даљем тексту: Сертификат за возача) у складу с прописима из члана 2. став 2. тачка 1) Закона и другим прописима. Сертификат за возача је исправа коју издаје Управа.

Возилом за транспорт опасног терета управља возач ако: 1) има возачку дозволу одговарајуће категорије; 2) има важећи Сертификат за возача; 3) је упућен у своје обавезе и захтеве посебних услова у транспорту одређеног опасног терета у складу с прописима из члана 2. став 2. тачка 1) Закона и другим прописима;

У моторном возилу којим се превозе опасне материје не смеју да се држе оправке које могу, услед варничења или удара да изазову пожар или да одштете амбалажу.

Возач моторног возила који превози опасне материје дужан је да возилом управља са нарочитом опрезношћу.

Брзина кретања моторног возила којим се превозе опасне материје, не сме да пређе 80% од највеће дозвољене или прописане брзине, а ни у ком случају не сме да буде већа од 70 км на час.

Од тренутка пријема до тренутка предаје товара опасне материје, возач моторног возила не сме да се удаљава од возила којим се превози опасна материја.

Опасне материје могу да се превозе моторним и прикључним возилима посебно конструисаним за превоз поједине опасне материје.

У унутрашњем друмском саобраћају опасне материје могу да се превозе и комби - возилима.

Моторно возило којим се превозе опасне материје мора да има посебна светла и знакове.

Ако се опасна материја превози у мањим количинама, уместо знака за означавање возила којим се превозе опасне материје употребљава се заставица истог облика, димензије и боја, која на превозном средству мора да буде истакнута на видљивом месту.

Знаком за означавање возила којим се превозе радиоактивне материје стављају се на бочне и задњу страну моторног возила.

Моторно возило којим се превозе опасне материје не сме да се заустави на коловозу пута, нити да се паркира у насељу.

Транспорт опасног терета на путу контролише полицијски службеник у редовној контроли учесника у друмском саобраћају у складу с прописима из члана 6. став 2. Закона.

Ако полицијски службеник у поступку вршења контроле учесника у друмском саобраћају утврди неправилности код учесника у транспорту опасног терета које би могле утицати на безбедност људи, имовине, односно заштиту животне средине, дужан је да тог учесника у транспорту опасног терета искључи из саобраћаја и о томе одмах обавести Управу.

Транспорт опасних материја у друмском саобраћају, могућност акцидента и утицај на безбедност и здравље људи и животну средину

## АКЦИДЕНТИ У ТОКУ ТРАНСПОРТА ОПАСНИХ МАТЕРИЈА

Опасност од наступања последица у транспорту опасног терета због непримењивања потврђених међународних споразума из члана 2. став 2. овог закона, овог закона и подзаконских аката донетих на основу овог закона класификована је у три категорије:

- 1) опасност I категорије је опасност по живот лица или загађење животне средине с последицама чије је отклањање дуготрајно и скупо;
- 2) опасност II категорије је опасност од доношења тешке телесне повреде лицу или знатног загађења животне средине и од загађења животне средине на већем простору;
- 3) опасност III категорије је опасност од доношења лаке телесне повреде лицу или незнатног загађења животне средине.

Ако се опасан терет расуо или разлио, учесник у његовом транспорту дужан је да:

- 1) одмах обавести Центар за обавештавање и полицију о ванредном догађају и предузетим мерама
- 2) без одлагања опасан терет обезбеди, покупи, одстрани, односно одложи у складу са законом којим се уређује управљање отпадом или да га на други начин учини безопасним, односно да предузме све мере ради спречавања даљег ширења загађења;
- 3) надокнади пун износ штете која је настала као последица ванредног догађаја.

Због природе самих опасних материја и услова које треба испунити за безбедно транспортовање, не само да постоје могућности за настанак акцидента, већ се акциденти често и дешавају. Најчешћи облик акцидента и њихов утицај на безбедност и здравље људи и њихов утицај на животну средину су:

### 1. Хемијско загађење:

- изливање и просипање из цистерни и судова којима се превозе, при чему се загађује земљиште и вода
- испаравање гасовитих материја при чему долази до загађења атмосфере

### 2. Губљење и крађа опасних материја

### 3. Пожари и експлозије

У пракси, већина опасних материја је изузетно запаљива и експлозивна, па ћемо обратити посебну пажњу транспорту запаљивих и експлозивних материја.

## ПРЕВОЗ ЕКСПЛОЗИВНИХ МАТЕРИЈА

Превоз експлозивних материја спада у посебно ризичне послове и за њега је прописана посебна процедура. За превоз опасних материја потребно је посебно одобрење које издаје МУП СРС у коме је назначено све оно што је од посебног значаја за превоз такве врсте материја, почев од назива и адресе пошиљаоца и примаоца, врсте возила за превоз са генералијама, врсте и количине експлозивне материје, време и релацију превоза и сл. У одређеним случајевима, због повећања степена безбедности, овакви транспорти могу имати и сталну пратњу. Возила која превозе овакве материје морају бити посебно испитана (АДР сертификат), посебно обележена и посебно опремљена. Лица која превозе овакве материје морају бити посебно обучена (АДР сертификат) и примењивати све мере безбедности које су прописане.

Нажалост, код нас се ове материје превозе и путевима који нису намењени за превоз опасних материја, као што су ауто-путеви, путеви кроз густо насељена места, па и кроз ужи центар великих градова, што представља велику опасност и велики ризик. Зато је потребно што пре изградити студију о путевима за превоз свих опасних материја са уређеним местима за заустављање, чиме би се безбедност знатно повећала.

**У пракси се јављају недостаци приликом превоза експлозивних материја, што овај део посебно усложњава. Најчешћи недостаци су:**

- експлозивне материје се превозе без одобрења за превоз,
- возила која превозе експлозивне материје нису посебно испитана (АДР)

- сертификат)
- лица која превозе експлозивне материје нису стручно обучена (АДР сертификат),
- возила нису правилно обележена,
- возила не поседују прописану опрему
- користе се путеви који нису назначени у одобрењу за превоз,
- заустављање се врши у насељеним местима,
- експлозивне материје се превозе и кроз ужи центар градова,
- истовар и утовар се врши на местима која нису одобрена,
- истовар се врши ноћу, без адекватног осветљења,
- не врши се осигурање у случају причињене штете трећем лицу,
- експлозивне материје се превозе и возилима која нису намењена за превоз опасних материја, и сл.

Законска регулатива у овој области је усклађена са регулативом европских земаља и потписницама европског споразума о међународном превозу опасних материја (АДР, РИД) па је треба примењивати, да би сама безбедност била већа, превоз експлозивних материја био лакши, а ризик свео на најмању меру. Такође, ради повећања безбедности строго се треба придржавати прописаних норми у превозу експлозивних материја. Крајње је време да се уради и план путева којима експлозивне материје морају да се транспортују као и места за заустављање, чиме би се безбедност у многоме повећала.

## УМЕСТО ЗАКЉУЧКА

Промет експлозивних материја је посао који садржи велики ризик у сваком свом сегменту. Правилна идентификација извора опасности, односно **израда Акта о процени ризика у транспорту опасних материја**, разрада норми и мера поступања у промету експлозивних материја, израда нове прилагодљивије и модерније законске регулативе, израда одговарајуће инфраструктуре и боље контролне делатности требало би да безбедност у овој области дигну на много виши ниво. Катастрофе и акцидентни случајеви у овој области нису ретки, а готово увек изазивају катастрофалне последице са људским жртвама и великом материјалном штетом (наменска индустрија Лучани, хемијска у Борчи, Прва искра Барич, експлозије у фабрикама у Кини, САД и сл.). Експлозивне материје спадају у прву групу опасних материја и представљају увек велики професионални ризик. Повећањем обима промета експлозивних материја и појава нових, које се тек технолошки заокружују и усвајају, као и појава једног броја некавалитетних, и по неким својствима непознатих материја, ризик и опасности усложњава. Ризик у овој области је велики, а поседице могу да буду катастрофалне. Зато је потребно што пре изградити правила и норме поступања у промету експлозивних материја, одредити чиниоце и установе које ће ова правила да примењују и спроводе и тиме ће се смањити ризик а повећати безбедност у одговарајућим границама.

## ЛИТЕРАТУРА

- Закон о транспорту опасног терета („Сл.гласник РС“, бр.88/2010);
- Правилник о начину транспорта опасног терета у друмском саобраћају („Сл.гласник РС“ бр.125/2014);
- Закон о техничким захтевима за производе и оцењивање усаглашености („Сл.гласник РС“ бр.125/2014).



# ODVODNJAVANJE AUTOPUTEVA I MOSTOVA U CILJU ZAŠTITE IZVORIŠTA ZA VODOSNABDEVANJE OD REDOVNOG I INCIDENTNOG ZAGAĐIVANJA – PRIMER OSTRUŽNIČKOG MOSTA

Jovan Despotović<sup>1</sup>, Nenad Jaćimović<sup>1</sup>, Jasna Plavšić<sup>1</sup>, Miloš Stanić<sup>1</sup>, Aleksandar Djukić<sup>2</sup>, Dragutin Pavlović<sup>1</sup>, Andrijana Todorović<sup>1</sup>, Stefano Biondi<sup>3</sup>, Francesca Sambo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd

<sup>2</sup> Institut „Jaroslav Černi“, Jaroslava Černog 80, 11226 Pinosava - Beograd

<sup>3</sup> SWI + StormwaterItalia Srl, Area Portuale S. Marta Magazzino No 16, Venezia, Italy

**Rezime:** U radu se prikazuje složeni sistem za kanalisanje i prečišćavanje kišnih voda sa kolovoza Ostružničkog mosta preko Save i dela autoputa Dobanovci – Bubanj Potok E75 kod Beograda. Kanalisani oticaj se posle tretiranja delimično ispušta u reku Savu a delimično irigacionim kanalom u tlo u zoni izvorišta Beogradskog vodovoda i kanalizacije radi prihranjivanja podzemnih voda. U sklopu rekonstrukcije postojećeg i izgradnje novog mosta, zbog novih propisa u oblasti voda, projektovan je integralni sistem za upravljanje oticajem sa mosta i njegovim kvalitetom. Koncept rešenja je da se u filterskom postrojenju koje je opremljeno Stormfilter-om tretira prva trećina zapremine kišnog oticaja. Sistem obuhvata i monitoring kvaliteta radi ocene uticaja projektovanih i izvedenih objekata i mera. U sistemu se takođe nalazi i novi sistem SWERM za preventivno automatsko delovanje u slučaju incidenata – prosipanja zagađujućih tečnosti i slično, a time i sprečavanja zagađenja reke i priobalja reke Save. Prikazano rešenje predstavlja savremenu meru za poboljšanje komponenti bilansa voda (zapremine i kvalitet) kroz prihranjivanje izdani BVK, što je ocenjeno modeliranjem na osnovu prethodnih istraživanja akvifera.

**Ključne reči:** kišni oticaj, kanalisanje, filtriranje, prihranjivanje podzemnih voda, reka Sava, most Ostružnica.

## 1. UVOD

Glavni projekat mosta preko reke Save na auto-putu E70/E75 (deonica Dobanovci-Bubanj Potok) kod Ostružnice u blizini Beograda uključuje i kompleksno rešenje sistema za kanalisanje kišnih voda sa dela autoputa od km 574+050 do km 578+150. Sistem obuhvata odvodnjavanje dva mosta, starog i novoprojektovanog. Rešenje je projektovano u skladu sa važećim nacionalnim zakonodavstvom i ograničenjima i preporukama koje se odnose na zaštitu životne sredine, odnosno kriterijuma za odvođenje kišnih voda sa saobraćajnica i njihovo ispuštanje u vodotokove i podzemlje.

Ostružnički most, ukupne dužine 1966 m i širine 14.3 m, jeste armirano-betonska konstrukcija na dva dela ukupne dužine 1388 m sa centralnim čeličnim delom nad rekom u dužini 588 metara (slika 1). Prethodni sistem odvođenja kišnih voda se sastojao samo od otvora kroz koje je voda slobodno isticala sa površine mosta kroz konstrukciju. Na starom mostu ovo stanje je trajalo punih 40 godina, što znači da je zagađenje od saobraćaja, ali i od degradirane konstrukcije, bez ikakvih smetnji dospevalo na tlo, u podzemlje i u vodotok. Projektovanim savremenim sistemom za odvođenje kišnih voda postiže se efikasna kontrola zagađenja, čime se takođe štiti most i mnogobrojne infrastrukturne instalacije koje koriste mostovsku konstrukciju da pređu vodotok (vodovod, električna energija, telekomunikacije) od oštećenja i kvarova.

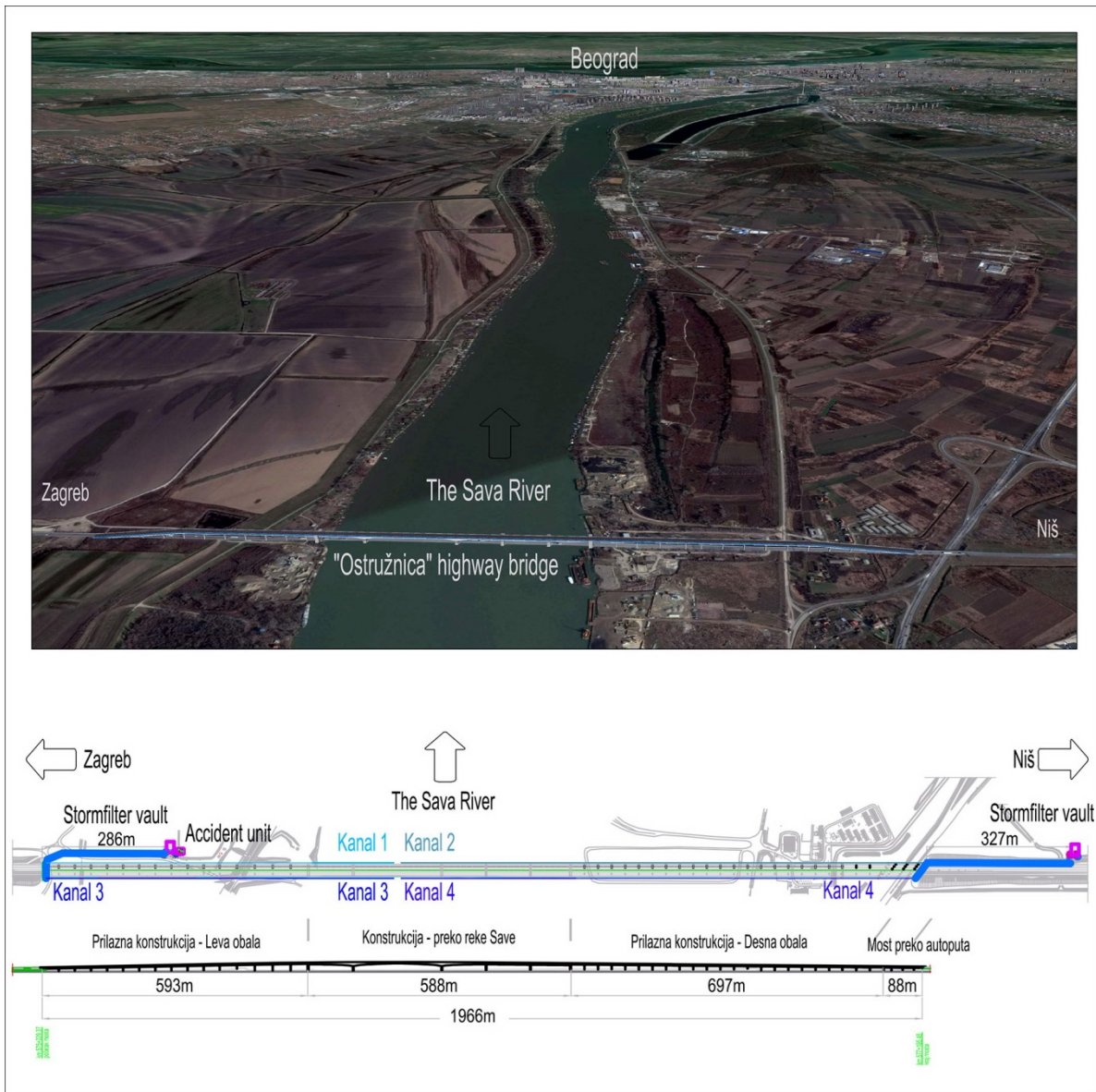
Ovaj rad se nadovezuje na prethodni rad Despotovića i sar. [3]. U ovom radu akcenat je na delu projekta [6] koji se odnosi na zaštitu životne sredine, i to: (1) prečišćavanjem – filtracijom zagađenih kišnih voda, i (2) sprečavanjem zagađenja usled incidenata na mostu/autoputu, na bazi kontinualne kontrole kvaliteta vode koja se sliva u kišnu kanalizaciju.

## 2. Koncept odvodnjavanja mosta/saobraćajnice

### 2.1. Uvod

Na slici 1 prikazan je most preko Save u Ostružnici u situaciji i u podužnom preseku, sa osnovnim elementima i delovima sistema za kanalisanje i prečišćavanje kišnih voda sa mosta i sa dela obilaznice tj. autoputa Dobanovci – Bubanj Potok. Na slici se takođe mogu videti i dva objekta za predtretman kišnog oticaja, na obe obale reke Save, koji će kasnije biti detaljnije opisani.

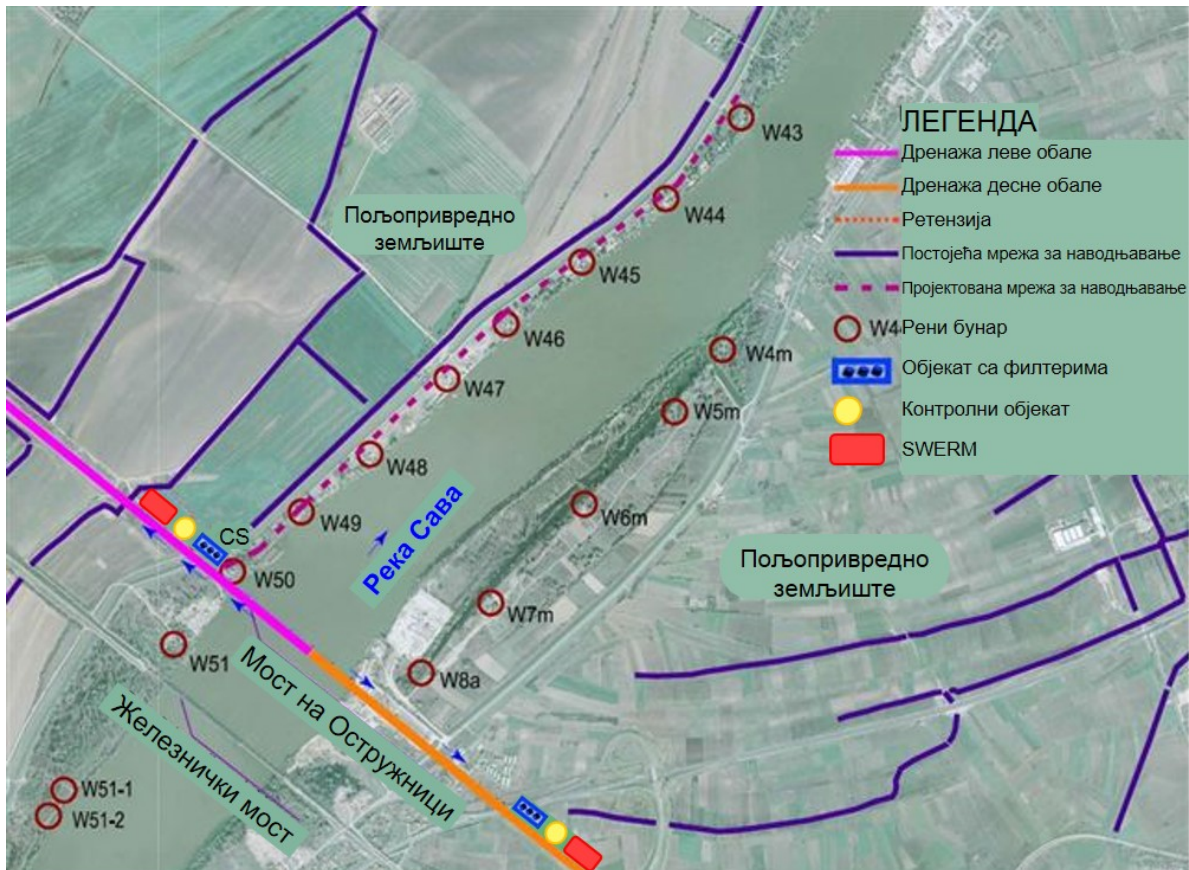
<sup>1</sup> edespoto@hikom.grf.bg.ac.rs



**Slika 1.** Osnova, presek mosta, elementi i objekti kanaliziranja na mostu Ostružnica preko Save

Na nivou kompletne konstrukcije, sistem za odvodnjavanje mosta i priradajućih deonica autoputa ima sledeće elemente (slika 1 i slika 2):

- Sa najviše tačke kolovoza na mostu ka rečnim obalama polaze 4 odvodne cevi (cevi 1, 2, 3, 4), po jedna sa svake kolovozne trake i na oba mosta (slika 1). Cev 1 (leva saobraćajna traka – leva obala) i cev 3 (desna saobraćajna traka – leva obala) spajaju se u revizionom oknu R3-47, odakle se zajedno sa vodom sa deonica 1 i 2 pripadajućih delova autoputa sprovode na instalacije za tretman. Tretirana voda se ispušta u retenzioni bazen, odakle se pumpa (crna stanica na obali Save) u reku Savu ili se odvodi u kanal za navodnjavanje u zaleđu bunara (slika 2).
- Cev duž mostovskog stuba M5 spaja cev 2 (leva saobraćajna traka – desna obala Save) i cev 4 (desna saobraćajna traka – desna obala Save) na deonici od ~340 m i sprovodi vodu do objekta za tretman i kasnije upuštanje tretiranih voda u kanal za navodnjavanje.
- Imajući u vidu da se voda posle tretmana upušta u kanale za navodnjavanje/odvodnjavanje, voda se mora prečistiti kroz postupke taloženja i filtriranja. Ovo je vrlo važno jer se mostovi na Savi nalaze u užoj zoni zaštite izvorišta za sistem snabdevanja Beograda pijaćom vodom.
- Na mestu ispuštanja tretiranih voda u kanalsku mrežu za navodnjavanje treba izgraditi ispusnu građevinu kako bi se osigurala stabilnost i trajnost ove lokacije.



**Slika 2.** Most preko Save kod Ostružnice na autoputu Dobanovci – Bubanj Potok sa objektima za filtriranje i preventivu zagađivanja sa mosta i saobraćajnice, neposredni potez reke Save sa Renney bunarima Beogradskog izvorišta na obe obale (crveni krugovi) i kanalska mreža za navodnjavanje (ljubičasta linija)

## 2.2. Principi odvođenja kišnih voda

Koncept sistema odvodnjavanja kišnih voda podrazumeva sprovođenje različitih faza i instalaciju odgovarajuće opreme i izgradnju potrebnih objekata:

- zahvatanje i sprovođenje kišnih voda rigolama i slivnicima (slivničkim rešetkama) sa gornje površine mosta tj. kolovoza i pešačkih traka [12], [4];
- prikupljanje i sprovođenje vode sa više slivnika, rigola i sistemom cevi koje su okačene na mostovsku konstrukciju ili prolaze kroz nju;
- ispuštanje tako prikupljenih voda na definisanim mestima,
- primarni tretman kišnih voda na sabirnim lokacijama u objektima gde se pored taloženja i odmaščivanja kišni oticaj i filtrira pre nego što se ispusti u retenzije u obalnoj zoni na obe strane vodotoka oko mostova [6].

Osnovni princip pri analizi i dimenzionisanju elemenata i kanalizacionog sistema je ujednačena sigurnost odvijanja saobraćaja na kompletnom analiziranom potezu (deonici autoputa) oko Beograda, prema standardima SRPS-EN-752, što je definisano povratnim periodom 10 godina [15].

## 2.3. Hidrološki podaci

Za potrebe projektovanja obezbeđene su ITP krive za jake kiše kratkog trajanja za kišomernu stanicu Vračar-Beograd, trajanja od 5 minuta do 60 minuta i povratnog perioda 10 godina [3]. Izbor merodavnih intenziteta ili visine padavina je veoma delikatan i predstavlja osetljiv deo kompletne analize oticaja i dimenzionisanja elemenata i sistema za kanalisanje i prečišćavanje. Neadekvatnim izborom merodavnih padavina mogu se lako doneti pogrešni zaključci i ocene merodavnih maksimalnih protoka i zapremine oticaja, što dalje dovodi do neadekvatne zaštite, a takođe i neujednačene zaštite u pojedinim delovima infrastrukture koju treba obezbediti u pogledu plavljenja kišnim vodama i zagađenja koje kišne vode nose [20], [4].

## 2.4. Izbor slivnika na mostu

Izbor slivnika zavisi od tipa konstrukcije na koju treba da se postave (beton ili čelik), kao i od obaveznih parametara i uslova među kojima je najvažnije rasprostiranje površinskog oticaja i rastojanje između slivnika [11], [12], [4]. Duž betonskog dela konstrukcije postavljeni su slivnici klase C250KN (okvir 850 mm, otvori 600 mm, zahtevana visina okvira sa postavljenom rešetkom je 75 mm, a težina 75 kg). Odvodna čelična cev Ø150 mm se priključuje na slivnik, a vododrživost spoja se ostvaruje epoksidom.

U tabeli 1 prikazani su rezultati proračuna kišnog oticaja sa površina između dva slivnika (prema racionalnoj metodi), po formuli  $Q [L/s] = B_m \cdot L \cdot i \cdot K_o$ , gde je  $B_m$  širina mosta (ukupno 14.3 m),  $L$  [m] je rastojanje između slivnika,  $i$  intenzitet merodavne 5-minutne kiše (za lokaciju mosta iznosi 449 L/s/ha), i  $K_o$  je koeficijent oticaja (usvojena je vrednost 1). Rastojanja između slivnika su različita (od 8.5 m, 10 m, 12 m, 16.5 m i 22 m) u zavisnosti od podužnog i poprečnog nagiba kolovoza i drugih parametara vezanih za tečenje [12], [4].

**Tabela 1. Rastojanje između slivnika  $L_s$  [m] u funkciji dotoka do njih  $Q$  [L/s]**

$L_s$ [m]	8.5	10	12	16.6	22
$Q$ [L/s]	5.46	6.42	7.70	10.66	14.13

Pošto je most projektovan bez zaustavne trake, tehničko rešenje odvodnjavanja je izvedeno pod pretpostavkom da se kišna voda za merodavnu kišu raspoređuje neposredno nizvodno od slivnika samo širinom servisne trake (što je prostor od ograde mosta do ivice najbliže saobraćajne trake).

Dodatni problem koji se tiče postavljanja slivnika na neekvidistantnom rastojanju, pored promenljivog podužnog i poprečnog pada, predstavlja i preklapanje pozicije slivnika sa elementima konstrukcije mosta koje nije moguće/dozvoljeno probijati/bušiti itd. Zbog toga rastojanja između slivnika variraju od 8.5 m do 22 m, a njihov inicijalni položaj (dobijen hidrološko-hidrauličkom računicom) korigovan je u saradnji sa projektantima konstrukcije.

## 2.5. Zagađenje u kišnom oticaju

Zagađenost kišnog oticaja sa mosta se povećava kroz vreme, uporedo sa povećanjem proticaja kad počne kiša, a zatim opada kada se može smatrati da je kiša sprala gotovo svo zagađenje deponovano u prethodnom sušnom periodu. Tradicionalno se smatra da se najveće zagađenje nalazi u oticaju koji prvi generiše na početku kiše i prvi pojavi na izlaznom profilu sistema. Taj talas zagađenja je poznat kao „prvo spiranje“ (od engleskog „first flush“). Postoje različite definicije prvog spiranja prema trajanju i zapremini oticaja, a za različite zagađujuće materije vreme prvog spiranja je različito [4]. Pojam prvog spiranja je proistekao iz potrebe da se utvrdi zapremina oticaja koju treba tretirati, odnosno trenutak kada se koncentracije zagađujućih materija padnu na prihvatljive vrednosti. Jedna od preporuka za definisanje prvog spiranja za prečišćavanje jeste da je to prvih 30% zapremine oticaja, za koji se smatra da sadrži 80% teških metala [2].

Trajanje prvog spiranja zavisi od dužine putanje vode do objekta za tretman i od intenziteta računске kiše. Na mostu ovo vreme je kratko i iznosi 5 minuta zbog kratkih putanja tečenja. Međutim, za kompletan sistem za odvodnjavanje mosta i saobraćajnice merodavne su računске kiše trajanja do 60 minuta zbog dužih putanja tečenja i retenziranja kišnog oticaja [6].

Međutim, novijim istraživanjima su dobijeni rezultati koji pokazuju kompleksniji raspored zagađenja tokom kišnog oticaja [13], zbog čega se monitoring sistema smatra neophodnim kako bi se za razmatrani sistem došlo do optimalne zaštite od zagađenja.

## 2.6. Dilatacione spojnice i temperaturni kompenzatori

Temperaturne deformacije mostovske konstrukcije računate su za temperaturni opseg od 36°C. Predviđena je ugradnja dilatacionih spojnica, posebno projektovanih i proizvedenih. Pored kompenzacije temperaturnih deformacija i drugih usled sleganja i dinamičkog opterećenja, usvojene spojnice smanjuju i uticaj vibracija koje mogu dovesti do zamora cevovodnog materijala sistema za odvodnjavanje mosta. Predviđeni su i elementi za prihvatanje većih dilatacija cevovoda u vertikalnom pravcu usled deformacija pešačkih staza ispod kojih su cevovodi okačeni. Vertikalni kompenzatori (za deformacije do ~15 mm) nalaze se ispod svakog slivnika kao i na vertikalnim delovima cevovoda postavljenim uz stubove mosta. Na delovima cevovoda sa veoma

malim nagibom, fleksibilnim elementima omogućene su dilatacije različitih veličina ( $\pm 25$  mm,  $\pm 50$  mm,  $\pm 100$  mm  $\pm 120$  mm,  $\pm 130$  mm) bez stvaranja deformacionih opterećenja. Dilatacione spojnice su projektovane i ugrađene na svim krajevima glavnog čeličnog raspona mosta (pokrivaju podužne deformacije do  $\sim 230$  mm).

Ovaj deo proračuna i dimenzionisanja takođe obuhvata efekte promena nagiba cevi, kao i promene nagiba oticajnih površina mosta – kolovoza i staza, što obuhvata proveru minimalnih i maksimalnih brzina [10].

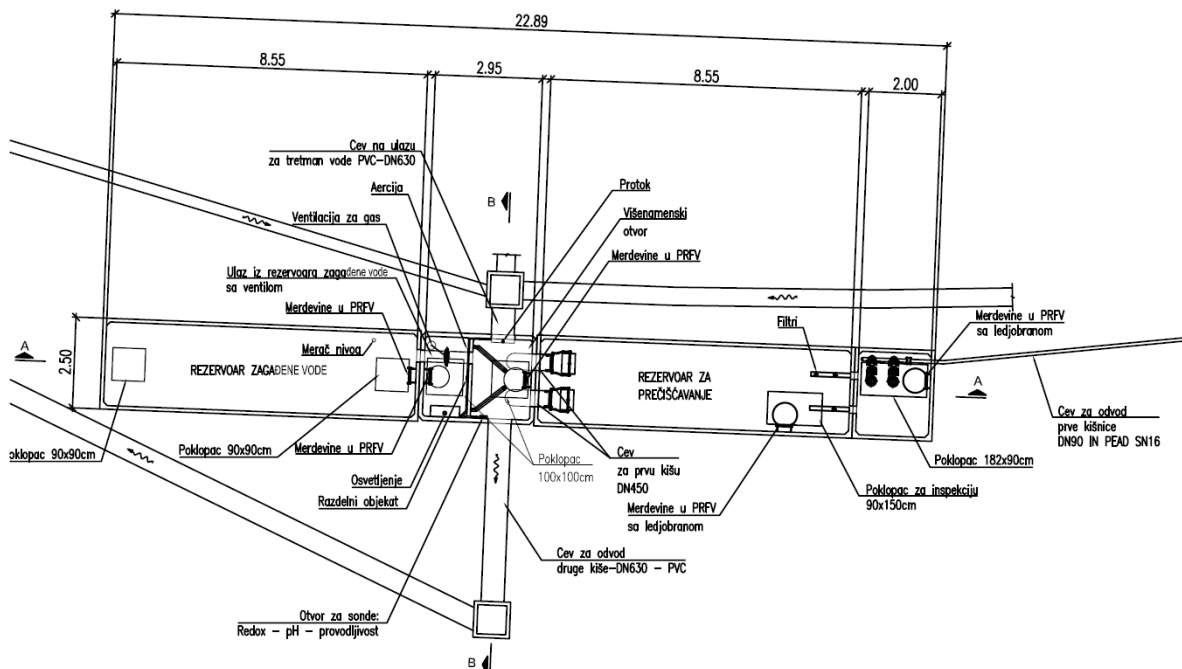
## 2.7. Koncept zaštite životne sredine i sprečavanja zagađenja pri incidentima

Pre upuštanja prikupljenih kišnih voda sa oba mosta (starog i novog) u odvodne kanale ili reku Savu, predviđeno je da se one tretiraju do izvesne mere kako bi se uklonile taložljive materije, ulja i masti, kao i deo ostalih zagađenja. U objektima za tretman predviđena je ugradnja Stormfiltera, koji su testirani na mnogim saobraćajnicama širom Italije, a u Srbiji na mostu Gazela (preko reke Save, na autoputu E75 kroz Beograd). Oni su se pokazali sasvim zadovoljavajućim za uklanjanja teških metala koji se nalaze u oticaju sa saobraćajnica. Ovi filteri se ugrađuju u podzemne komore/rezervoare sa prethodnom taložnikom. Filteri su cilindričnog oblika, postavljaju se u baterijama, a svaki filter je kapaciteta 2 L/s vode koja se filtrira.

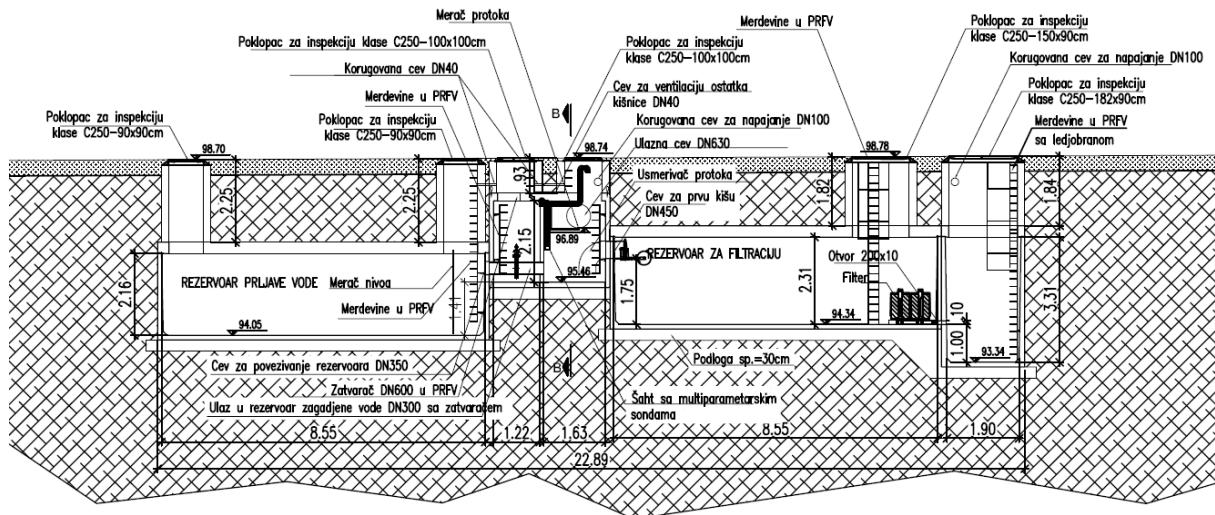
## 3. Prevencija zagađenja obala i izvorišta vodosnabdevanja

Ostružnički most je u užoj zoni sanitarne zaštite izvorišta Beogradskog vodovoda, tačnije u zoni neposredne zaštite sistema bunara. Zbog toga je potrebno kod odvodnjavanja kišnih voda sa mosta zagađenih usled saobraćajnih sredstava kontrolisati kvalitet kanalisanih voda i prečišćavati je. Pored toga, veliku opasnost predstavljaju moguća incidentna zagađenja, tj. prosute tečnosti i materijali u slučajevima incidenata na saobraćajnicama (sudari, prevrtanja, transportnih vozila sa opasnim i zagađujućim materijama, itd). Da bi se u takvim slučajevima sprečilo zagađivanje izvorišta vode za piće, projekat predviđa da se instalira sistem koji će raditi samostalno i automatski, tj. bez uticaja ljudskog prisustva.

Zbog strogih uslova zaštite životne sredine i izvorišta vodosnabdevanja, u slučaju ostružničkog mosta je predviđeno rešenje kontrolisanog odvodnjavanja kišnih voda kakvo do sada nije primenjeno u Republici Srbiji. Predviđeno rešenje je takođe u skladu sa uslovima koje postavlja Evropska Okvirna direktiva o vodama [19].



Slika 3. Osnova objekta za identifikaciju i usmeravanje zagađenog oticaja na autoputu Udine – Vičenca



**Slika 4.** Presek objekta za identifikaciju i usmeravanje zagađenog oticaja na autoputu Udine – Vičenca

Predložen je sistem koji se sastoji od objekta za kontrolu zagađenja, betonskog rezervoara za trajno zadržavanje veoma zagađenih voda pri incidentnim događajima i objekta za prečišćavanje kišnog oticaja sa filterima. Na slici 2 dat je prikaz rešenja iz glavnog projekta [6] sa položajem ovog sistema sa obe strane mosta. Konfiguracija ovakvog sistema je prikazana na slikama 3 i 4 na primeru autoputa u izgradnji Udine – Vičenca u Italiji, s obzirom da još uvek nisu urađeni detaljni izvođački projekti za most kod Ostružnice.

Objekat za kontrolu zagađenja u kišnom oticaju pod nazivom SWERM03 (StormWater Environmental Risk Management) [21] je centralni deo ovog sistema. Sastoji se od opreme i senzora za kontinualni nadzor i upravljačkog softvera za kontrolu zagađenja. U slučaju incidenata i pojave izuzetnog zagađenja, kompletna zapremina zagađenja se zadržava u betonskom rezervoaru, a odvod ka objektu sa filterima se zatvara. Tako se sprečava izlivanje jako zagađenog oticaja u objekat za filtriranje ili u recipijent. Objekat za filtriranje, Stormfilter [21], prihvata prvi talas zagađenja, i ovde je dimenzionisan na 160 L/s na levoj obali, a na 40 L/s na desnoj obali, što odgovara preporuci za prečišćavanje prvog spiranja tj. prvih 30% zapremine talasa. Na slikama 5 i 6 prikazani su izvedeni elementi ovog sistema na autoputu u izgradnji Udine – Vičenca u Italiji.



**Slika 5.** Objekat za trajno zadržavanje veoma zagađenog oticaja (impregniran crvenim premazom) i objekat za filtriranje oticaja (u drugom planu).



**Slika 6.** Sistem za kontrolu i usmeravanje SWERM (u sredini), trajno zadržavanje veoma zagađenog oticaja (levo) i prečišćavanje (desno) kišnog oticaja na autoputu Udine – Vičenca

#### 4. Monitoring izvedenog sistema odvodnjavanja

Pored kontinualnog praćenja kvaliteta kišnog oticaja sistemom SWERM, planira se i praćenje podzemnih voda na postojećim pijezometrima uz reni bunare u zoni izvorišta, kao i u zoni melioracionih kanala u mreži za navodnjavanje (slika 2). Predviđeno je kontinualno osmatranje nivoa podzemnih voda i uzorkovanje radi utvrđivanja parametara kvaliteta kišne vode koja se infiltrira u tlo i prihranjuje akvifer.

Monitoring nivoa i kvaliteta vode će se koristiti za ocenu vrednosti računskih parametara korišćenih u modeliranju podzemne sredine u fazi projektovanja. Očekivano rekalibrisanje modela trebalo bi da da pouzdanije pokazatelje efekata predviđenih mera, a samim tim i mogućnost da se uvedu korekcije u izvedeni sistem. Formiranje numeričkog modela tečenja vode u podzemlju bi trebalo da stvori osnovu za kvalitetno projektovanje sličnih sistema za odvođenje i prečišćavanje kišnih voda na postojećim i budućim mostovima preko reke Save.

#### 5. Zaključci

Odvodnjavanje kišnih voda sa Ostružničkog mosta preko reke Save izvedeno je na netradicionalan način – projektovan je kompleksan sistem prikupljanja i tretmana voda. Složeni sistem je osmišljen imajući u vidu potrebu za povećanjem bezbednosti saobraćaja i pouzdanosti transporta, ali i zahteve za zaštitu vodnih resursa kao dela životne sredine. Predloženim sistemom se automatski prepoznaje stepen zagađenja kišnog oticaja na osnovu kontinualnog monitoringa radi usmeravanja ka jednom od dva prateća objekta: (1) u slučaju uobičajenog stepena zagađenja, ka objektu za filtriranje kišne vode, i (2) u slučaju veoma zagađene vode, a naročito one iz incidentnih situacija, ka betonskom rezervoaru gde se trajno zadržavaju. U drugom slučaju, istovremeno se alarmiraju nadležne institucije. U prvom slučaju, tretirane vode se privremeno zadržavaju u retenziji, a zatim se njihov deo upušta u mrežu za navodnjavanje i potom u akvifer. Na primeru ostružničkog mosta, akvifer u koji se ispušta prečišćeni kišni oticaj je ujedno i deo izvorišta vode za piće Beograda, što ukazuje na značajnost ovako kompleksnog rešavanja pitanja odvođenja kišnog oticaja sa mostova i saobraćajnica. Pored predviđenog rešenja, u akviferu je uspostavljen sveobuhvatni sistem monitoringa radi izbegavanja mogućeg negativnog uticaja na kvalitet vode.

Pored svega navedenog, treba naglasiti da se sistem može integrisati u informacionu mrežu upravljača putnim pravcem ili putnim objektom (npr. JP Putevi Srbije). Time se omogućava da sve eventualne

incidentne situacije i potencijalno zagađenje zemljišta ili voda mogu biti obznanjene i drugim učesnicima u saobraćaju, ukoliko će to izazvati privremeno zatvaranje saobraćajnice ili njenog dela.

Sa svih mostova preko reke Save u zoni grada Beograda, koji se nalaze se u užoj zoni izvorišta za vodosnabdevanje grada, odvedena kišna voda se direktno ispušta u reku Savu ili u priobalje bez ikakvog prečišćavanja. Jedini izuzeci su most Gazela, gde je sličan sistem filtriranja i infiltracije kišnog oticaja u funkciji već tri godine, i most kod Ostružnice gde je projektovano ovo rešenje.

Ovaj projekat je i primer saradnje šireg tima – istraživača, projekatnata, investitora i lokalnih vlasti, koji imaju viziju i žele da u zajedničkom poduhvatu ostvare moderno, pouzdano, efikasno i održivo rešenje uklapanja građevinskih poduhvata u životno okruženje u urbanim uslovima. Na ovaj način se može postići delimično smanjenje negativnog uticaja klimatskih promena koje se ogleda, između ostalog, u smanjenju nivoa podzemnih voda i kapaciteta akvifera.

## Zahvalnost

Autori su zahvalni na podršci i pomoći JP „Putevi Srbije” i JP „Beogradski vodovod i kanalizacija”, preduzećima „Strabag” AG, „Mostogradnja”, „Mostprojekt”, „Cekibeo” i Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Vlade Republike Srbije (projekat TR37010).

## Literatura

- [1] Achleitner S., De Toffol S., Engelhard C., Schulz K., Rauch W. 2004. National Implementation Process of the EU WFD – Status and effects to urban water management. *Proc. Novatech 2004 – Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management*, M. Desbordes and B. Chocat (eds.), pp. 639-646.
- [2] Bertrand-Krajewski, J.L., Chebbo, G., Seget, A. 1998. Distribution of the pollutant mass vs. volume in storm water discharges and the first flush phenomenon, *Water Research*, 32 (8): 2341-2356.
- [3] Despotović, J., Jaćimović N., Plavšić J., Stanić M., Đukić A., Pavlović D., Todorović A., Živanović V., Milić S. 2015. Integralno upravljanje i korišćenje oticaja kišnih voda sa Ostružničkog mosta, 17. Savetovanje SDHI i SDH, ISBN 978-86-7518-183-5, str. 490-498.
- [4] Despotović, J. 2009. *Kanalisanje kišnih voda*, Građevinski fakultet, Beograd, ISBN 978-86-7518-075-3, 420 strana.
- [5] Despotović, J., Josipović S., Ivančević N., Živanović V., Dulić P. i Nikoletić S. 2007. Glavni projekat sistema za kanalisanje i prečišćavanje kišnih voda sa mosta Gazela preko reke Save na sekciji E75 Autoputa kroz Beograd, Mostprojekt, CEKIBEO i Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu.
- [6] Despotović, J., Nikoletić, S., Živanović, V., Dulić, P. 2015. Idejni i glavni projekta odvodnjavanja kišnih voda sa mosta Ostružnica, za Mostprojekt, Engleski prevod glavnog projekta, predmer i predračun, Cekibeo d.o.o, Beograd.
- [7] Despotović, J., Petrović, J. and Jaćimović, N. 2002. Measurements, calibration of rainfall-runoff models and assessment of the return period of flooding events at urban catchment Kumodraž in Belgrade. *Water Science and Technology*, 45(2), 127-133.
- [8] Despotović, J., Plavšić J., Jaćimović, N., Janković Lj., 2010. Odvođenje kišnog oticaja u gradovima i sigurnost saobraćaja, *Voda i sanitarna tehnika*, 40(1), str. 29-34.
- [9] Despotović, J., Plavšić J., Živanović V., Jakovljević N., 2013 The storm water drainage and treatment systems at the “Gazela” bridge in Belgrade, Serbia – A case study. *Proc. Novatech 2013*, GRAIE, Lyon, pp. 115.
- [10] Despotović, J., Plavšić J., Živanović V., Velović N., Jakovljević N., Ivančević N. and Dulić P., 2012, Design and construction of the storm water drainage and treatment system for the Gazela Bridge in Belgrade. *Proc. Ninth International Conference on Urban Drainage Modelling*, Book of extended abstracts, D. Prodanović and J. Plavsic (eds.), pp. 241-242.
- [11] Despotovic, J., Plavsic, J. and Jacimovic, N. 2008. Surface runoff and safety factors for the vehicle and pedestrian street traffic, 11th Int. Conf. on Urban Drainage (ICUD), Edinburgh.
- [12] Despotović, J., Stefanović N., Pavlović D. and Plavšić J., 2005, Inefficiency of urban storm inlets as a source of urban floods. *Water Science and Technology*, 51(2), 139-145.
- [13] Djukic, A., Lekic, B., Rajakovic-Ognjanovic, V., Veljovic, Dj., Vulic, T., Djolic, M., Naunovic, Z., Despotovic, J., Prodanovic, D. 2016. Further insight into the mechanism of heavy metals partitioning in stormwater runoff, *Journal of Environmental Management*, 168, 104-110, doi:10.1016/j.jenvman.2015.11.035.



- [14] Garcia-Fresca B., 2005. *Urban-enhanced groundwater recharge: review and case study of Austin, Texas, USA*, The John A. and Katherine G. Jackson School of Geosciences – The University of Texas at Austin.
- [15] ISS – Institut za standardizaciju Srbije, 2015. Kanalizacioni sistemi izvan objekata, SRPS EN 752:2015, [www.iss.rs](http://www.iss.rs)
- [16] ISS – Institut za standardizaciju Srbije, 2008. Sistemi separatora za lake tečnosti, SRPS EN 858:2008, [www.iss.rs](http://www.iss.rs)
- [17] Lerner N. D., 2002. Identifying and quantifying urban recharge: a review, *Hydrogeology Journal* 10: 143-152.
- [18] Malgrat P., Villaneuva A. and Suñer D. 2005 Influence of the new European Directives on the urban drainage system. *Proc. 10th International Conference on Urban Drainage*. E. Eriksson, H. Genç-Fuhrman, J. Vollertsen, A. Ledin, T. Hvitved-Jacobsen and P. S. Mikkelsen (eds.), on CD-ROM (8 pages).
- [19] Okvirna direktiva o vodama (Water Framework Directive), Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000, [http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index\\_en.html](http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html).
- [20] Petrović J. and Despotović J. 1998. Historical rainfall for urban storm drainage design. *Water Science and Technology*, 37(11), 105-111.
- [21] SWI, StormWater Italia, [www.stormwateritalia.com](http://www.stormwateritalia.com).
- [22] US-EPA, 2004. Storm Water Management Model – SWMM 5.0, Water Supply and Water Resource Division, Office of R&D, National Risk Management Research Lab., Cincinnati, OH, 45268.