

ЗБОРНИК РАДОВА

4. српски конгрес о путевима, 2-3. јун 2022.

PROCEEDINGS

4th Serbian Road Congress, June 2-3, 2022

Издавач

Српско друштво за путеве "Via Vita"
Булевар Пека Дапчевића 45, 11000 Београд

За издавача

Биљана Вуксановић, дипл. инж. грађ.

Уредници

проф.др Владан Тубић
Доц.др Сања Фриц, дипл.инж.грађ.

Графички дизајн

Омнибус, Београд

Штампа

Вега, Београд

Тираж

300

ISBN 978-86-88541-14-5

CIP - Каталогизација у публикацији -
Народна библиотека Србије, Београд

625.7/.8(082)(0.034.2)

СРПСКИ конгрес о путевима (4 ; 2022)

Зборник радова [Електронски извор] / 4. српски конгрес о путевима, 2-3. јун 2022 = Proceedings / 4th Serbian Road Congress, June 2-3, 2022 ; [уредници Владан Тубић, Сања Фриц]. - Београд : Српско друштво за путеве "Via Vita", 2022 (Београд : Вега). - 1 електронски оптички диск (DVD) ; 12 cm

Системски захтеви: Нису наведени. - Насл. са насловне стране документа.
- Тираж 300. - Напомене и библиографске референце уз текст. - Библиографија уз сваки рад. - Abstracts.

ISBN 978-86-88541-14-5

а) Путеви -- Зборници

COBISS.SR-ID 66633993

ЗБОРНИК РАДОВА

4. српски конгрес о путевима, 2-3. јун 2022.

PROCEEDINGS

4th Serbian Road Congress, June 2-3, 2022



Српско друштво за путеве "Via Vita"
Београд, 2022. година

САДРЖАЈ

■ ТЕМА 1 ... Планирање и пројектовање – Примери и искуства Planning and Design - Case Studies

METODOLOGIJA PLANIRANJA I PROJEKTOVANJA PUTNE INFRASTRUKTURE U PROSTORU Sanja Fric, Dejan Gavran, Vladan Ilić, Filip Trpčevski, Stefan Vranjevac, Miloš Lukić...	1
ULOGA I ZNAČAJ IZGRADNJE AUTOPUTA E-761 POJATE - PRELJINA Aleksandra Lalić, Radica Goronja, Aleksandra Savić, Miodrag Radeka ...	13
INTERVAL SLJEĐENJA VOZILA U SPOREDNOM TOKU KRUŽNIH RASKRSNICA Vuk Bogdanović, Dunja Radović ...	25
ISKUSTVA NA PRVIM 100 km АУТОПУТЕВА У РЕПУБЛИЦИ СРПСКОЈ Боро Здјелар ...	36
METODE PROCENE I PROGNOZE PROSTORNE RASPODELE PUTOVANJA DUŽ KORIDORA Ivan Ivanović, Dragana Petrović, Vladimir Đorić ...	48

EFFICIENCY AND SAFETY OF ROAD TRAFFIC IN THE CITY OF SKOPJE Ivona Nedevska, Zlatko Zafirovski, Slobodan Ognjenovic, Ivana Nedevska, Vasko Gacevski ...	55
UTICAJ ZEMLJOTRESA NA VISOKE NASIPE Dragan Lukić, Nenad Milosavljević, Elefterija Zlatanović, Nazim Manić ...	67
IZBOR KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE PRI IZGRADNJI PUTEVA NA TERITORIJI SRBIJE Branislav Krsmanović ...	79
VITOPERENJE KOLOVOZA NA DEONICAMA AUTOPUTEVA SA MALIM REZULTUJUĆIM NAGIBIMA Vladan Ilić, Dejan Gavran, Sanja Fric, Filip Trpčevski, Stefan Vranjevac, Miloš Lukić...	87
GEOTEHNIČKI USLOVI IZGRADNJE TUNELA „DEBELO BRDO“ NA AUTOPUTU E-80 NIŠ - PLOČNIK Dragoslav Rakić, Radojica Lapčević, Irena Basarić Ikodinović, Dragan Lukić ...	95
ANALIZA UTICAJA NEGATIVNOG BOČNOG TRENJANA SLEGANJE VERTIKALNO OPTEREĆENE GRUPE ŠIPOVA Dragana Slavković, Toplica Novaković, Vladimir Filipović ...	107

■ **TEMA 2 ... Планирање и пројектовање - Нове технологије**
Planning and Design - New Technologies

PRIMENA DRONOVA ZA DETEKTOVANJE STANJA SAOBRAĆAJNE SIGNALIZACIJE NA PUTNOJ MREŽI Ana Trpković, Sreten Jevremović ...	115
BENEFITI IMPLEMENTACIJE IFC4.X ŠEME ZA PROJEKTE INFRASTRUKTURE Tanja Plavec, Leon Leban, Matjaž Šajn, Petar Dragić ...	124
MLS I ALS TEHNOLOGIJA LASERSKOG SKENIRANJA – STUDIJA SLUČAJA BEOGRAD – JUŽNI JADRAN AUTOPUT Vladimir Šušić, Spasoje Pavlović, Jovana Maksimović, Toša Ninkov, Zoran Sušić ...	131
MLS TEHNOLOGIJA LASERSKOG SKENIRANJA – PRIMER SNIMANJE SAOBRAĆAJNE INFRASTRUKTURE U KATARU Vladimir Šušić, Spasoje Pavlović, Toša Ninkov, Zoran Sušić ...	140

MOGUĆI MODEL PROJEKTOVANJA AUTOPUTEVA U NAŠOJ ZEMLJI Vladan Grujić ...	149
IMPLEMENTACIJA WEB GIS TEHNOLOŠKIH REŠENJA U UPRAVLJANJU POSTUPKOM EKSPROPRIJACIJE ZA POTREBE IZGRADNJE PUTEVA Ana Vučićević, Ana Lukić ...	157
PRORAČUN RAČUNSKE TRAJNOSTI KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE OJAČANE TERMOSTABILNOM MREŽOM OD STAKLENIH VLAKANA ZA ARMIRANJE ASFALTA Dragan Stojnić ...	167

■ **TEMA 3 ... Управљање, грађење и одржавање путева**
Management, Construction and Maintenance of Roads
and Structures

A MULTI-FUNCTIONAL COLD ASPHALT RECYCLING AGENT: FROM MIX DESIGN TO CASE STUDIES Shahin Eskandarsefat, Matteo Fumagalli, Loretta Venturini, Aleksandar Milojevic ...	183
PUTNA MREŽA KOJU ODRŽAVA NOVI PAZAR – PUT D.O.O. – ZAHTEVI I EFEKTI POBOLJŠANJA Mirsada Uglić ...	194
IMPLEMENTATION OF PERFORMANCE BASED MAINTENANCE CONTRACTS IN THE REPUBLIC OF SERBIA Nebojša Radović, Igor Jokanović, Miloš Šešlija ...	202
RAZVOJ MODELA ZA FAKTORE KOREKCIJE UGIBA FLEKSIBILNIH KOLOVOZNIH KONSTRUKCIJA S OBZIROM NA TEMPERATURU Mladenović Goran, Ištoka Otković Irena, Orešković Marko...	211
GUARD – SMART FLEXIBLE PROTECTION SYSTEMS AGAINST NATURAL HAZARDS Vjekoslav Budimir, Helene Lanter, Sascha Schultes ...	223
RAZVOJ ZE-MAX SOFTVERA I PRIMJENA U GRAĐEVINSKIM LABORATORIJAMA Bojan Lemez ...	233
ZAŠTITA ARMIRANOG BETONA OD KOROZIJE METODOM KATODNE ZAŠTITE Vladimir Radovanović...	247
LOKALNI UPRAVLJAČ PUTEVIMA Đorđe Vranješ, Bojan Marić ...	257

■ **ТЕМА 4 ... ITS и нове технологије у саобраћају**
ITS and New Technologies in Transport

PUTNO METEOROLOŠKI INFORMACIONI SISTEMI (PMIS) – NOVE RAZVOJNE MOGUĆNOSTI Petar Dragić, Alenka Šajn Slak, Borut Sila, Samo Čarman ...	263
РАЗВОЈ ИНТЕЛИГЕНТНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМА (ИТС) НА ДРЖАВНИМ ПУТЕВИМА РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ Зоран Боројевић, Иван Терзић ...	269
ADAPTIVNI SISTEMI UPRAVLJANJA SAOBRAĆAJEM – PREGLED PRIMENE I SVRSISHODNOSTI Nemanja Dobrota, Aleksandar Stevanović, Suhaib Alshayeb...	278
ADITIVI ZA MODIFIKACIJU ASFALTNIH MEŠAVINA Tošković Đorđe, Pap Imre, Suzana Stefanović ...	289
ANALIZA UTICAJA PRIKLJUČKA NA SAOBRAĆAJNE TOKOVE PRIMENOM MIKROSIMULACIONOG MODELA VISSIM Stamenka Stanković, Nikola Čelar, Jelena Kajalić, Anica Kocić ...	297
INTELIGENTNI TRANSPORTNI SISTEMI U TUNELIMA Nikola Čelar, Jelena Kajalić, Stamenka Stanković, Anica Kocić ...	307
MOGUĆNOSTI PREDVIĐANJA KOLONE TERETNIH MOTORNIH VOZILA KOD GRANIČNOG PRELAZA „GRADINA“ Aleksandar Canić, Saška Đorđević ...	313
PRIKAZ PILOT PROJEKTA MERENJE TEMPERATURE KORIŠĆENJEM LoRa SENZORA NA MOSTU PREKO REKE DUNAV KOD KOVINA SMEDEREVA Ilija Neden Dimitriu, Marko Bajić, Mirko Bulatović...	324

■ **ТЕМА 5 ... Ефикасност и безбедност саобраћаја на путевима**
Efficiency and Safety of Road Traffic

ANALIZA UTICAJA BROJA PRISTUPNIH TAČKA DVOTRAČNIH PUTEVA NA SAOBRAĆAJNI RIZIK Marko Subotić, Vladan Tubić, Željko Stević ...	333
ПОВЕЋАЊЕ БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА У ЛОКАЛНОЈ ЗАЈЕДНИЦИ УНАПРЕЂЕЊЕМ ПЛАНСКЕ И ПРОЈЕКТНЕ ДОКУМЕНТАЦИЈЕ КРОЗ ДОПУНУ ЗАКОНА О ПЛАНИРАЊУ И ИЗГРАДЊИ Александар Павловић ...	341

ANALIZA SAOBRAĆAJNIH NEZGODA I POSLEDICA SAOBRAĆAJNIH NEZGODA U REPUBLICI SRBIJI PREMA KATEGORIJI SAOBRAĆAJNICA Jelica Davidović, Boris Antić, Dalibor Pešić, Krsto Lipovac, Nenad Marković, Emir Smailović ...	349
ПРЕДИКЦИЈА УТИЦАЈА ПУТА НА НАСТАНАК САОБРАЋАЈНЕ НЕЗГОДЕ ПРИМЕНОМ ДУБИНСКИХ АНАЛИЗА И МОДЕЛА ЛОГИСТИЧКЕ РЕГРЕСИЈЕ Ненад Марковић, Далибор Пешић, Душан Граовац ...	361
ANALIZA UTICAJA PUTA NA NASTANAK SAOBRAĆAJNE NEZGODE PRIMENOM DUBINSKIH ANALIZA – STUDIJA SLUČAJA ZA GRAD BEOGRAD Nenad Marković, Krsto Lipovac, Boris Antić, Dalibor Pešić, Emir Smailović, Jelica Davidović ...	371
ПРОВЕРА БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА НА ПУТЕВИМА СА ПОСЕБНИМ ОСВРТОМ НА ТУНЕЛЕ Емир Смаиловић, Далибор Пешић, Крсто Липовац, Борис Антић, Јелица Давидовић, Ненад Марковић ...	383
UTICAJ DIZAJNA DIGITALNIH BILBORDA NA PERCEPCIJU VOZAČA: EKSPERIMENTALNA STUDIJA Živković Filip, Čičević Svetlana, Trifunović Aleksandar, Lazarević Dragan ...	390
UTICAJ KONTROLE PRISTUPA NA BRZINU GLAVNOG TOKA – KRITIČNI MANEVRI Marijo Vidas...	399
УТИЦАЈ СТАЊА КОЛОВОЗА НА БЕЗБЕДНОСТ САОБРАЋАЈА И БРЗИНУ КРЕТАЊА ВОЗИЛА Оливера Дамњановић, Драженко Главић, Катарина Тадић ...	406
АНАЛИЗА РАСПОДЕЛЕ САОБРАЋАЈНИХ ТОКОВА СА ИБАРСКЕ МАГИСТРАЛЕ НА АУТОПУТ “МИЛОШ ВЕЛИКИ” НА ПОТЕЗУ БЕОГРАД-ПРЕЉИНА Немања Степановић, Ивана Андријанић, Јелена Бошковић, Теодора Бурсаћ ...	416
ANALIZA RASPOLOŽIVE PREGLEDNOSTI NA POSTOJEĆIM PUTEVIMA Mišel Sabo, Marina Komad, Đorđe Sokić ...	428
АНАЛИЗА ЗАВИСНОСТИ БРЗИНЕ ОД ПРОТОКА НА АУТОПУТЕВИМА Милица Тубић, Јелица Комарица ...	441
PROVERA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA - KONTROLA PRISTUPA I POPREČNI PROFIL - PRIMER PRIKLJUČAK KARTING CENTRA AUTOKOMERC NA DRŽAVNI PUT IA REDA Sanja Fric, Dejan Gavran, Filip Trpčevski, Vladan Ilić, Stefan Vranjevac, Miloš Lukić ...	455

BUĐENJE SVESTI UČESNIKA U SAOBRAĆAJU O ZNAČAJU I UPOTREBI ZAUSTAVNE TRAKE Ibrović Ljerka, Branković Rajko, Arbutina Nikolina, Reković Petar ...	464
UTICAJ OŠTEĆENE I POKRADENE SAOBRAĆAJNE SIGNALIZACIJE I OPREME NA BEZBEDNOST U SAOBRAĆAJU Ibrović Ljerka, Subotić Ivana, Jugović Nevena, Trajković Filip ...	477
УПОТРЕБА WEB GIS АПЛИКАТИВНИХ СОФТВЕРА У УТВРЂИВАЊУ ЗОНЕ ПОТРЕБНЕ ПРЕГЛЕДНОСТИ НА ПРУЖНИМ ПРЕЛАЗИМА Марија Дото, Никола Челар, Дијана Видосављевић, Милош Милосављевић ...	490
EFEKTI KAMPANJE "3 SEKUNDE CEO ŽIVOT" NA INTERVAL SLEĐENJA VOZILA I BROJ I TEŽINU POSLEDICA SAOBRAĆAJNIH NEZGODA Ibrović Ljerka, Dotto Marija, Branković Rajko, Arbutina Nikolina, Dušica Arsenov Živanović, Jugović Nevena ...	502
УТИЦАЈ КОНТРОЛЕ ПРИСТУПА НА ПАРАМЕТРЕ САОБРАЋАЈНОГ ТОКА Анђела Јоксимовић, Маријо Видас ...	513
АНАЛИЗА УТИЦАЈА КРИЗЕ ИЗАЗВАНЕ КОВИДОМ-19 НА ПРОМЕНЕ САОБРАЋАЈНИХ ТОКОВА НА ПУТНОЈ МРЕЖИ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ Милица Стојићевић, Владан Тубић ...	524
PRAVILA ZAŠTITE OD POŽARA ZA NAPLATNE STANICE – STUDIJA SLUČAJA NAPLATNA STANICA STARA PAZOVA Nenad Dobrić, Mladen Marković ...	535
OSNOVNI SIGURNOSNI NEDOSTACI CESTOVNE MREŽE U BiH I ZEMLJAMA JUGOISTOČNE EUROPE - PROBLEM PRISTUPA SIGURNOSTI Boris Čutura, Ivan Lovrić, Tomislav Bojić ...	546
ZNAČAJ MULTIMODALNOSTI U SAOBRAĆAJNO-EKONOMSKOM VREDNOVANJU SAOBRAĆAJNE INFRASTRUKTURE Franc Šoba ...	553
PROVIDING TRAFFIC FLOW DATA ON NATIONAL ROADS IN SLOVENIA Marko Čelan, Aleš Petek ...	560
TACKLING CHALLENGES OF THE DIGITAL TRANSFORMATION TOWARDS BECOMING A SMART AND CONNECTED CITY Christina Ghione, Itir Coskun, Daniel Lenczowski ...	572

■ **TEMA 6 ... Одрживи развој и заштита животне средине**
Sustainable Development and Environmental Protection

KRUŽNA EKONOMIJA U OBLASTI SAOBRAĆAJNICA Jelena Stošić, Aleksandar Bajović ...	579
ANALIZA MOGUĆIH UŠTEDA EMISIJE CO ₂ e PRIMENOM GEOSINTETIKE Marija Bakrač, Fabiana Leite-Gembus ...	589
RANJIVOST I OTPORNOST PUTNE MREŽE NA KLIMATSKE PROMENE I KATASTROFE - AKTUELNO STANJE NA PODRUČJU ZAPADNOG BALKANA Milica Pavić, Igor Jokanović ...	595
IMPLEMENTATION OF GEOHAZARD RISK REDUCTION BY DISPLACEMENT MONITORING USING SATELLITE TECHNOLOGY Žarko Grujić, Bojana Grujić ...	605
UTICAJ FAKTORA ŽIVOTNE SREDINE NA MREŽU DRŽAVNIH PUTEVA KROZ IZRADU STUDIJA UGROŽENOSTI OD POPLAVA I SNEŽNIH NANOSA Mimoza Jeličić, Đorđe Mitrović ...	612
UGROŽENOST PUTNE MREŽE BUJIČNIM POPLAVAMA U SLIVU DUNAVA, OD UŠĆA VELIKE MORAVE DO UŠĆA TIMOKA Stanimir Kostadinov, Slavoljub Dragičević, Ivan Novković, Natalija Momirović, Marko Langović, Tomislav Stefanović, Milan Radović, Mimoza Jeličić ...	618
АНАЛИЗА ЕФИКАСНОСТИ ШУМСКОГ ЗАШТИТНОГ ПОЈАСА (ЛОКАЛНИ ПУТ ЗА ДОЛОВО) У ЗАШТИТИ ПУТА ОД СНЕЖНИХ НАНОСА Младен Марковић ...	627
POTENCIJALI ZA USKLAĐIVANJE SAOBRAĆAJNOG, PROSTORNOG I RAZVOJNOG PLANIRANJA NA REGIONALNOM NIVOU U SLOVENIJI Andrej Gulič ...	634

Градимо будућност у години јубилеја

75 година путева Србије / 60 година од оснивања предузећа за путеве

VITOPERENJE KOLOVOZA NA DEONICAMA AUTOPUTEVA SA MALIM REZULTUJUĆIM NAGIBIMA

Vladan Ilić, mast.inž.građ.¹

Docent, Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet, vilic@grf.bg.ac.rs

Dejan Gavran, dipl.građ.inž.

Vanredni profesor, Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet, gavran@eunet.rs

Sanja Fric, dipl.građ.inž.

Docent, Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet, sfric@grf.bg.ac.rs

Filip Trpčevski, mast.inž.građ.

Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet, frpcevski@grf.bg.ac.rs

Stefan Vranjevac, mast.inž.građ.

Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet, svranjevac@grf.bg.ac.rs

Miloš Lukić, mast.inž.građ.

Asistent, Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet, mlukic@grf.bg.ac.rs

Rezime: Osovine autoputeva, a naročito onih u ravničarskom terenu, sastoje se od dugačkih horizontalnih kružnih i prelaznih krivina. Po pravilu podužni nagibi na ravnom terenu su blagi, i u kombinaciji sa poprečnim nagibima bliskim nuli u zoni infleksije, stvaraju loše uslove za oticanje vode sa površine kolovoza. Dakle, u zonama gde su i podužni i poprečni nagibi bliski 0%, nalaze se površine na kojima se može očekivati zadržavanje vode. Postoje dve metode za rešavanje ovog problema. Prva se odnosi na primenu krovastog vitoperenja, sa dijagonalnim slemenom u preseku ravni kolovoza koje ide od leve do desne ivice kolovozne ploče autoputa, obezbeđujući da u zoni infleksije nijedan poprečni nagib ne bude manji od 2%. Ovakav način vitoperenja kolovoza mora da se obavi na dovoljnoj dužini, kako bi se minimizirao uticaj na dinamiku vozila. Druga metoda bazira se na primeni dvostepenog vitoperenja kolovoza. Veći nagib rampe vitoperenja koristi se u samom središtu zone infleksije (blizu tačke infleksije), čime se skraćuje dužina poteza kolovoza sa nedovoljnim poprečnim nagibom. U srpskim propisima za projektovanje puteva apsolutno minimalni podužni nagib ivica puta koji se zahteva za površinsko odvodnjavanje ograničava se na 0.3%. Osim srpskih, u radu je prikazano kakva rešenja za problem vitoperenja i dreniranja infleksione zone autoputa nude nemačke i švajcarske smernice i propisi za projektovanje puteva.

Ključne reči: rezultujući nagib, dvostepeno vitoperenje, krovasto vitoperenje, poprečni nagib, podužni nagib

PAVEMENT SUPERELEVATION ON MOTORWAY SECTIONS WITH LOW TOTAL GRADIENTS

Abstract: Motorway horizontal geometry, especially when constructed in flat terrain, are composed from large circular and transition curves. Naturally, longitudinal grades in flat terrain are shallow and, when combined with the cross grades nearing 0% in the inflection zones, produce poor drainage condition of pavement surface. So, zones with both longitudinal and cross grades close to 0%, are areas where standing water might be expected. There are two methods of resolving this problem. The first one is to deploy crowned pavement, with the diagonal crown line, running from left to right pavement edge, providing that no cross grade lesser than 2% could be found in the inflection zone. This kind of pavement transition is to take place on the sufficiently long stretch of pavement, thus minimizing effect on the vehicle dynamics. Second method is based on variable superelevation rate. Higher rate of superelevation is to be used in the very heart of the inflection zone, thus shortening the stretch of pavement with insufficient cross grade. In the Serbian road design standards, the absolute minimum longitudinal grade of road edges regarding rain water drainage requests is limited to 0.3%. In addition to the Serbian ones, the paper presents how the German and Swiss road design guidelines and standards address the problem of superelevation and pavement drainage in the motorway inflection zone.

Keywords: total gradient, variable superelevation rate, crowned pavement, cross grade, longitudinal grade.

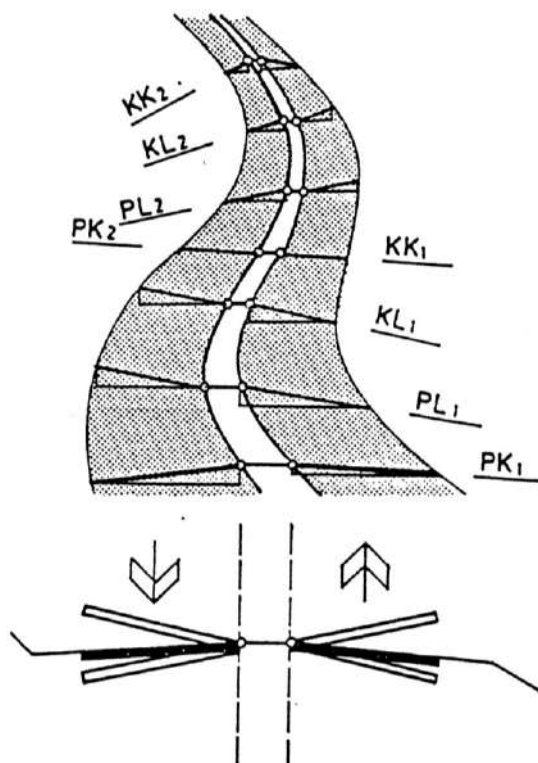
¹ Autor zadužen za korespondenciju: vilic@grf.bg.ac.rs

1. UVOD

Vitoperenje kolovoza na autoputevima predstavlja jedan od najdelikatnijih zadataka za inženjere projektante trase autoputa, bilo da se radi o projektovanju novog ili rekonstrukciji postojećeg autoputa. Pored voznodinamičkih zahteva koje nameće sama geometrija osovine autoputa kao najkapacitetnije saobraćajnice, treba obezbediti i sve uslove za sigurnu i udobnu vožnju. U tom kontekstu, poseban problem predstavlja dreniranje kolovoza autoputa, naročito ako je autoput projektovan sa malim podužnim nagibom nivelete, što nije redak slučaj, posebno u ravničarskim terenima. Na takvim terenima, horizontalni radijusi i prelazne krivine osovine autoputa najčešće su znatno veći od propisanih minimalnih vrednosti ($R_{\min} = 800 \text{ m}$ i $A_{\min} = 300 \text{ m}$ za računsku brzinu $V_r = 130 \text{ km/h}$ [1]). To po automatizmu uslovljava primenu manjih vrednosti poprečnih nagiba u kružnim krivinima, što dalje za posledicu ima veoma male vrednosti nagiba rampi vitoperenja. Pošto je zbog karaktera terena podužni nagib nivelete autoputa mali i najčešće blizak nuli, rezultujući nagibi kolovoza, posebno u zonama infleksije, nisu dovoljno veliki da obezbede efikasno odvođenje vode sa površine kolovoza. Zanemarivanje ovog "geometrijskog" problema može kasnije imati neželjene posledice, naročito po bezbednost saobraćaja, ako se dobro zna da zarobljena voda na površini kolovoza predstavlja rizik za pojavu efekta "Aquaplaninga" [2].

2. VITOPERENJE KOLOVOZA AUTOPUTA PO SRPSKIM STANDARDIMA

U Srbiji se kolovozi autoputeva koji su projektovani sa minimalnom širinom srednje razdelne trake ($R_t = 3.00 - 4.00 \text{ m}$) vitopere oko leve ivice kolovozne ploče uz razdelnu traku (**Slika 1**). Na taj način postiže se standardno nivelaciono rešenje srednje razdelne trake koja ostaje u horizontali, što ima kako tehničke tako i estetske prednosti. Kod autoputeva u brdovitom terenu sa samostalno vođenim kolovozima, odnosno kaskadiranim poprečnim profilom, može se preporučiti vitoperenje razdvojenih kolovoznih ploča oko njihovih osovine.



Slika 1. Vitoperenje kolovoznih ploča autoputa oko ivica razdelnog pojasa (Izvor: [3])

Jedan od ključnih parametara brzine promene poprečnog nagiba kolovoza, odnosno pokazatelja intenziteta vitoperenja, jeste nagib rampe vitoperenja i_v . U geometrijskom smislu, nagib rampe vitoperenja i_v predstavlja razliku između podužnog nagiba ivice vitoperenog kolovoza i osovine oko koje je izvršeno to vitoperenje. Računski se nagib rampe vitoperenja i_v dobija kao [1]:

$$i_{rv} = b \cdot (i_{pk} - i_p) / L_{rv} \quad [\%]$$

gde je:

i_{rv} - nagib rampe vitoperenja [%];

b - odstojanje ivice kolovoza od osovine vitoperenja [m] - u literaturi se ovo odstojanje često naziva i širinom krila vitoperenja [4];

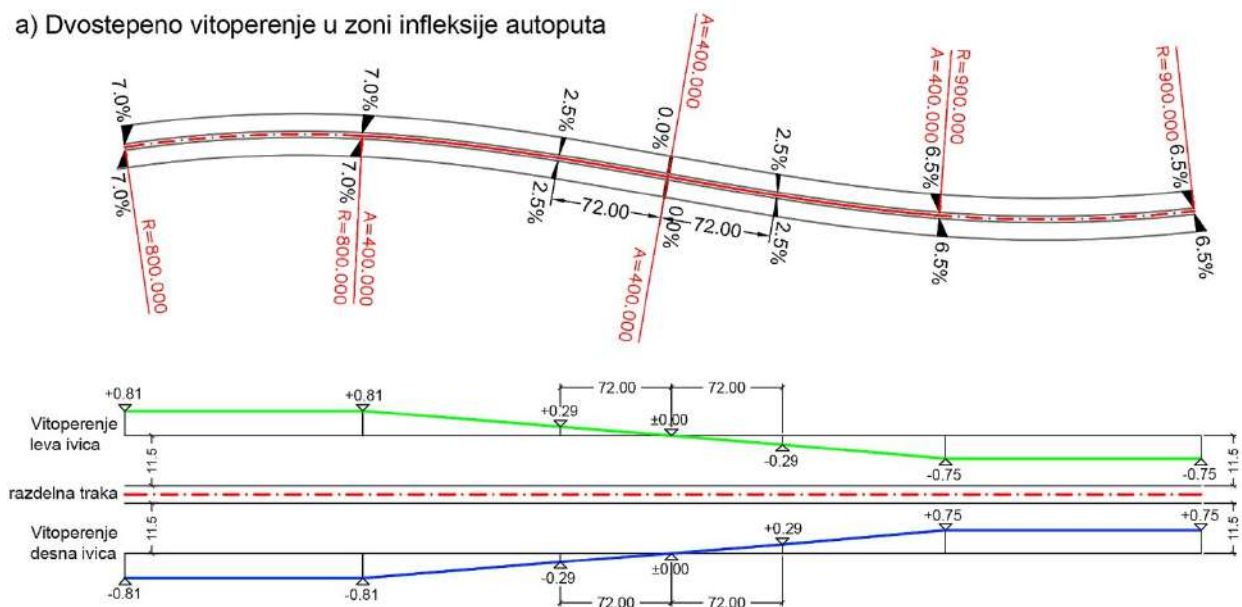
i_{pk} - poprečni nagib kolovoza na kraju područja vitoperenja [%];

i_p - poprečni nagib kolovoza na početku područja vitoperenja [%];

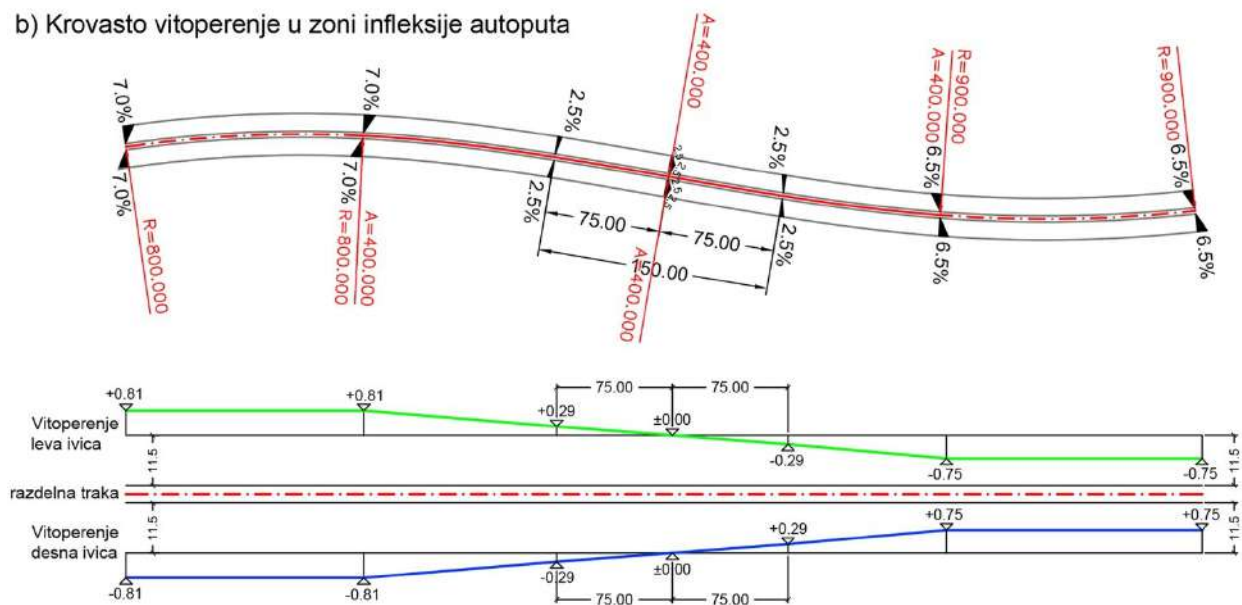
L_{rv} - rampa vitoperenja [m].

Maksimalna vrednost nagiba rampe vitoperenja $i_{rv,max}$ za autoputni profil i računsku brzinu $V_r = 130$ km/h za koju se projektuju elementi geometrije autoputa u Srbiji iznosi 0.9 %, dok je minimalni dopušteni nagib rampe vitoperenja $i_{rv,min} = 0.4$ % [1]. Kod dvostepeno vitoperenja u zoni infleksije, vrednost kritičnog poprečnog nagiba iznosi **krit $i_p = 2.5$ %**, odnosno **min.krit $i_p = 1.5$ %**. Najčešće u zonama infleksije, naročito na deonicama sa malim podužnim nagibima nivelete, vrednosti rezultujućeg nagiba kolovozne površine manje su od vrednosti kritičnog nagiba oticanja površinskih voda. Pored primene dvostepeno vitoperenja, u takvim slučajevima može se primeniti i specijalna forma vitoperenja formiranjem krovastog profila kolovozne ploče autoputa u ugroženoj zoni na dužini od min 150.00 m za računsku brzinu $V_r = 130$ km/h (**Slika 2**).

a) Dvostepeno vitoperenje u zoni infleksije autoputa



b) Krovasto vitoperenje u zoni infleksije autoputa

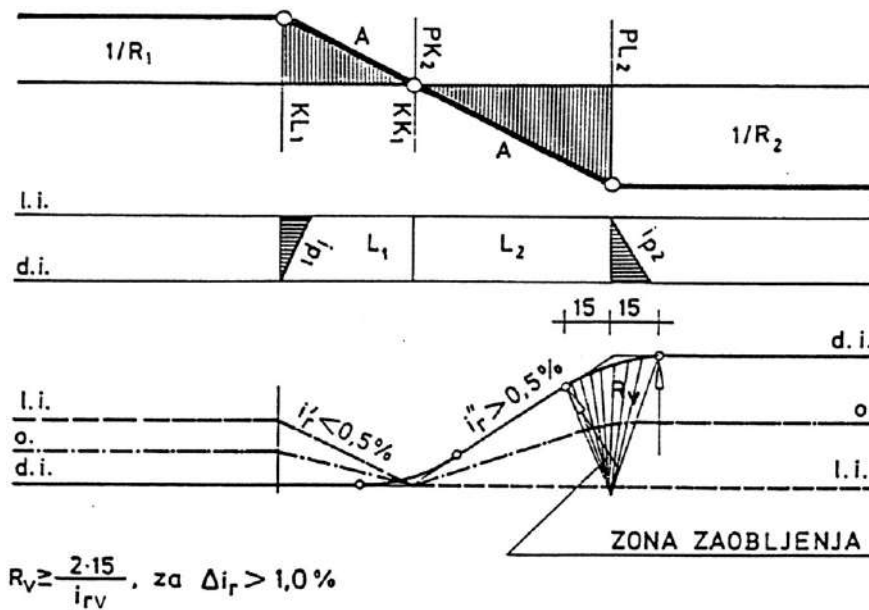


Slika 2. Vitoperenje kolovoznih ploča autoputa u zoni infleksije sa malim vrednostima rezultujućih nagiba kolovozne površine: a) dvostepeno vitoperenje; b) krovasto vitoperenje (Izvor: Autori)

Deonica autoputa prikazana kao primer na **Slici 2** ima veoma mali podužni nagib $i_n = 0.3 \%$, zbog čega su vrednosti rezultujućih nagiba u zoni infleksije, pre primene dvostepenog, odnosno krovastog vitoperenja, bile manje od kritičnih nagiba neophodnih za oticanje površinske vode. Upravo, kod ovako blagih nagiba nivelete, u slučaju primene strmijih nagiba rampi vitoperenja pri bržoj promeni poprečnog nagiba kolovoza, dolazi do stvaranja neestetickog izgleda linije ivice kolovoza („lepeza“) i pojave „testere“. Po domaćim propisima [1], kod svih preloma rampi vitoperenja oštine veće od 1.0% zaobljavaju se ivice kolovoza radijusom zaobljena definisanim sledećim izrazom:

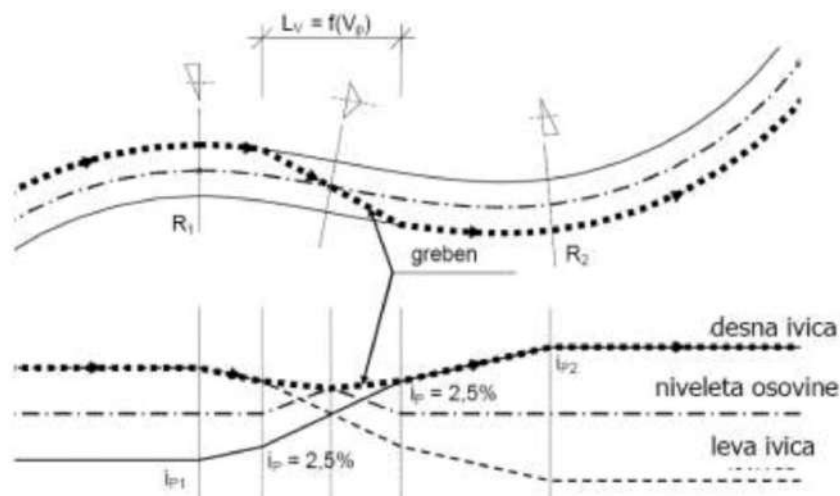
$$R_v = \frac{2 \cdot 15}{i_{rv}} \text{ [m]}$$

Primer zaobljenja krajnjih ivičnih linija kolovoznih ploča kada je oština preloma rampi vitoperenja veća od 1% dat je na **Slici 3**.



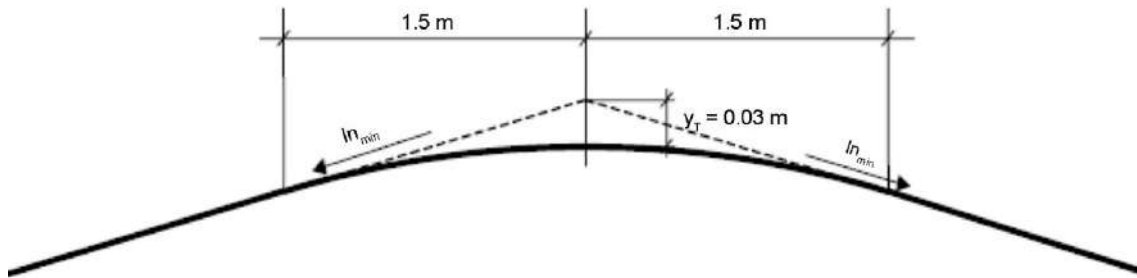
Slika 3. Zaobljene ivičnih linija kolovoza kada je oština preloma rampi vitoperenja veća od 1.0% (Izvor: [3])

Zaobljene oštrijih preloma ivičnih linija kolovoza usled strmijih nagiba rampi vitoperenja može da se izbegne ako se poprečni nagib kolovoza menja po dijagonalnoj osovini vitoperenja, odnosno, primenom krovastog profila kolovoza na određenoj dužini. Prelazni deo kolovoza u zoni infleksije, na delu između suprotno usmerenih poprečnih nagiba \pm **krit** $i_p = 2.5 \%$ (L_k), može da se izvede krovnim profilom kod kojeg se teme, opisujući greben krova, dijagonalno pomera sa jedne više ivice kolovoza do druge (**Slika 4**).



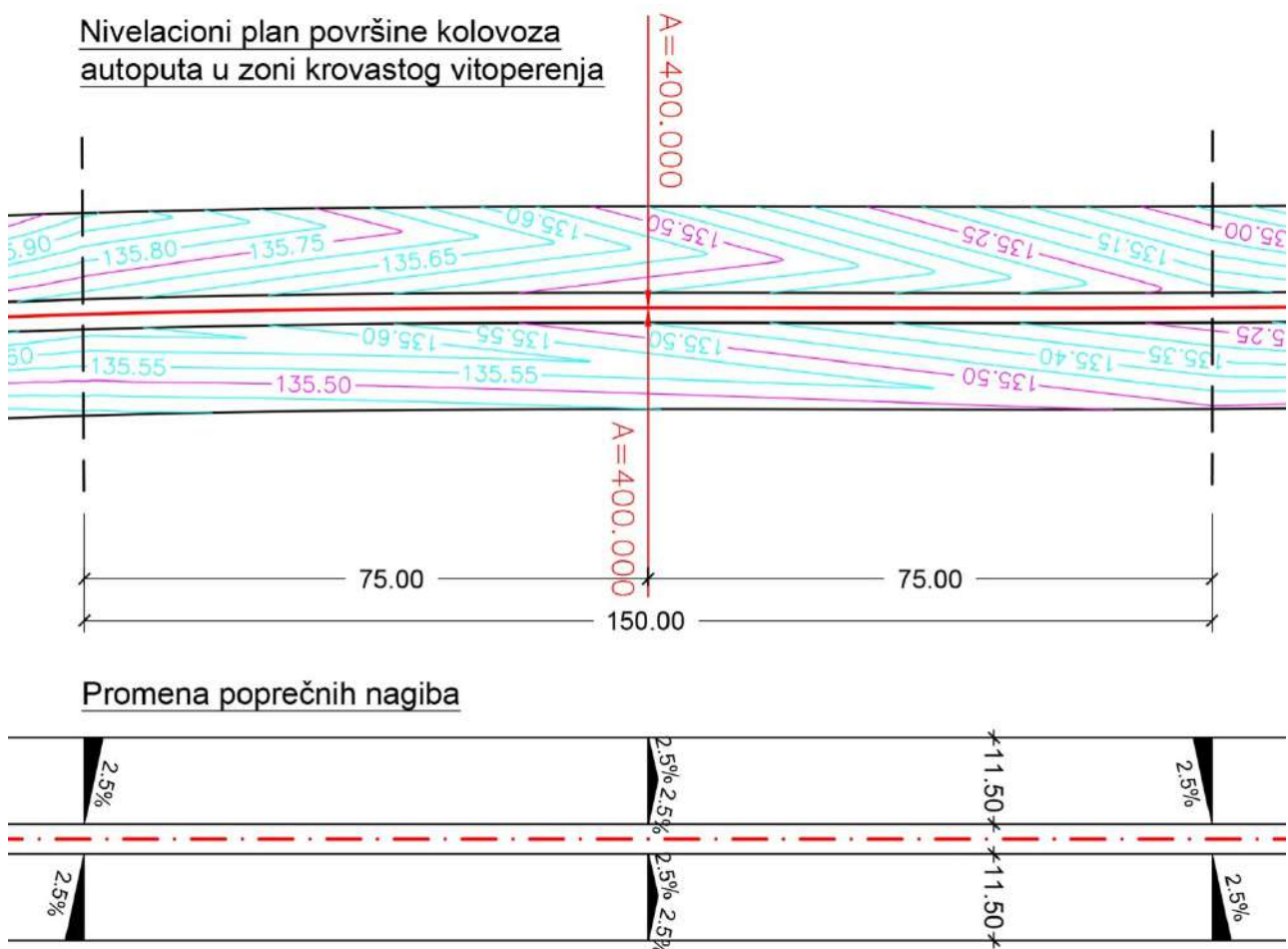
Slika 4. Vitoperenje kolovoza sa krovastim profilom (Izvor: [4])

Kako bi se ublažio prelom kolovoza na grebenu po dijagonali krova, zona sa krovnim profilom kolovoza treba da se zaobli u temenu kao na **Slici 5**.



Slika 5. Zaobljenje kolovoza po grebenu krova u zoni krovastog vitoperenja kolovoza (Izvor: [4])

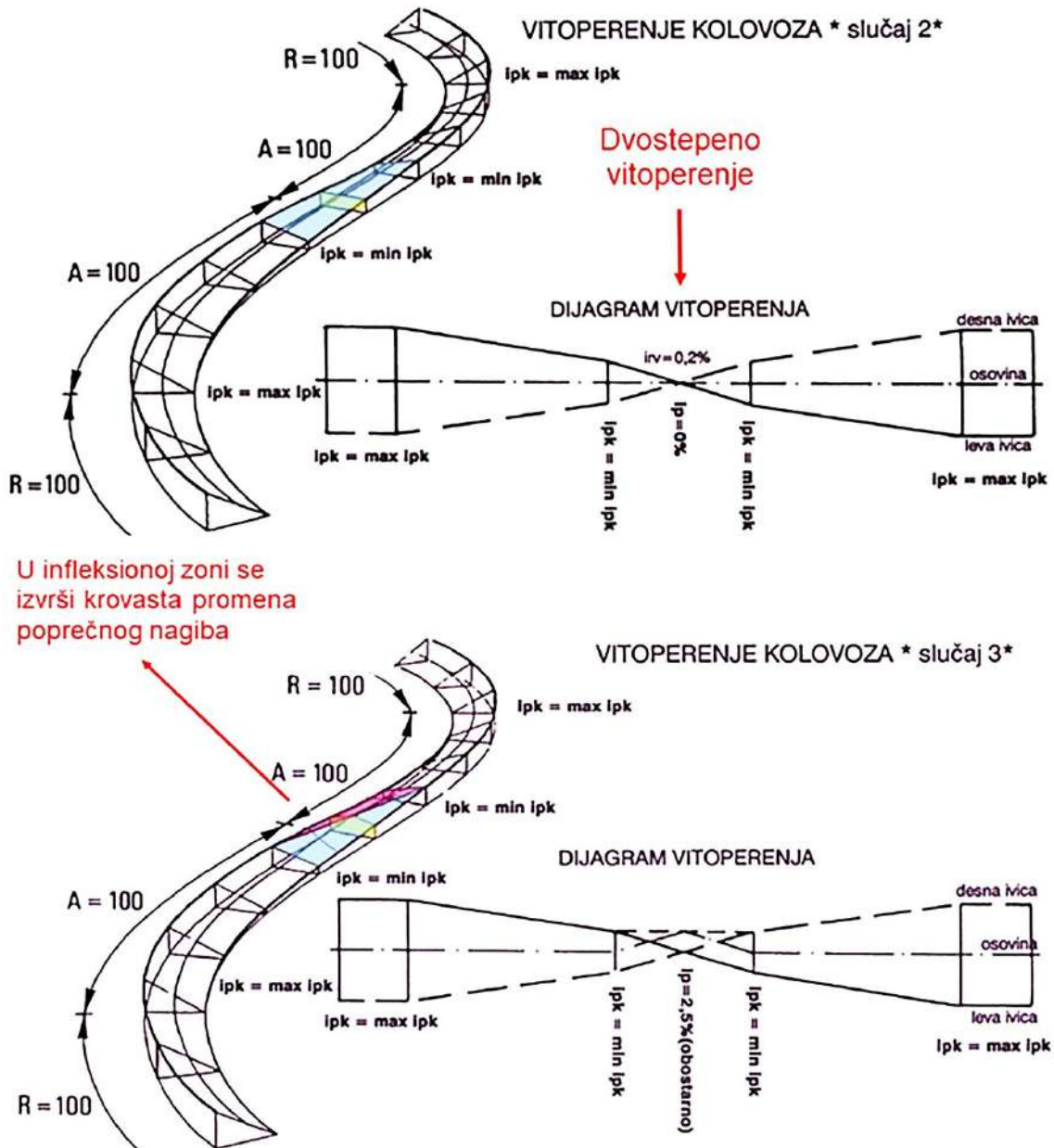
Uprkos zaobljenju kolovoza po grebenu, vožnja preko ovako vitoperenog kolovoza nije prijatna, naročito pri brzinama iznad 100 km/h, kakve su uobičajene na autoputu. Zbog dijagonalnog "lomljenja" površine kolovoza na dve ravni sa suprotno usmerenim poprečnim nagibom od 2.5%, na delu površine svake od dveju kolovoznih ploča autoputa u zoni infleksije saobraćajne trake nemaju jedinstven poprečni nagib. Ovo se jasno vidi po "lomovima" izohipsi na nivelacionom planu površine kolovoza autoputa u zoni infleksije gde je primenjeno krovasto vitoperenje. Nivelacioni plan površine kolovoza autoputa sa krovstom vitoperenjem prikazan je u krupnijoj razmeri na **Slici 6** na primeru autoputa iste geometrije osovine kao na **Slici 2b**.



Slika 6. Izohipse na nivelacionom planu kolovoza autoputa u zoni krovastog vitoperenja (Izvor: Autori)

Osim povećanih dinamičkih uticaja na sistem oslanjanja, a posredno i na vozača vozila pri većim brzinama, precizno izvođenje kolovoza sa krovstom profilom nije jednostavan građevinski poduhvat, pre svega zbog dijagonalnog "lomljenja" poprečnog nagiba kolovozne ploče autoputa.

Zbog nejedinstvenog nagiba saobraćajnih traka unutar područja koje je uređeno dijagonalnim „klizećim“ krovnim profilom, taj način promene poprečnog nagiba kolovoza ne preporučuje se na putevima za najveće brzine vožnje (> 100 km/h). Komfortnije rešenje u odnosu na krovasto vitoperenje svakako je dvostepeno vitoperenje (Slika 7). Međutim, ovaj vid vitoperenja kolovoznih ploča autoputa, zbog rezultujućih nagiba kolovoza manjih od 1.5% često nije moguće primeniti u dugačkim zonama infleksije autoputnih deonica u ravničarskom terenu. U Srbiji dosada još nije urađeno eksperimentalno istraživanje koje bi ponudilo jasan odgovor na pitanje, da li je rezultujući nagib od 1.5% zaista neophodan u infleksionim zonama autoputeva sa povoljnim površinskim karakteristikama kolovoza (mikrotekstura i makrotekstura) sa aspekta odvodnjavanja.

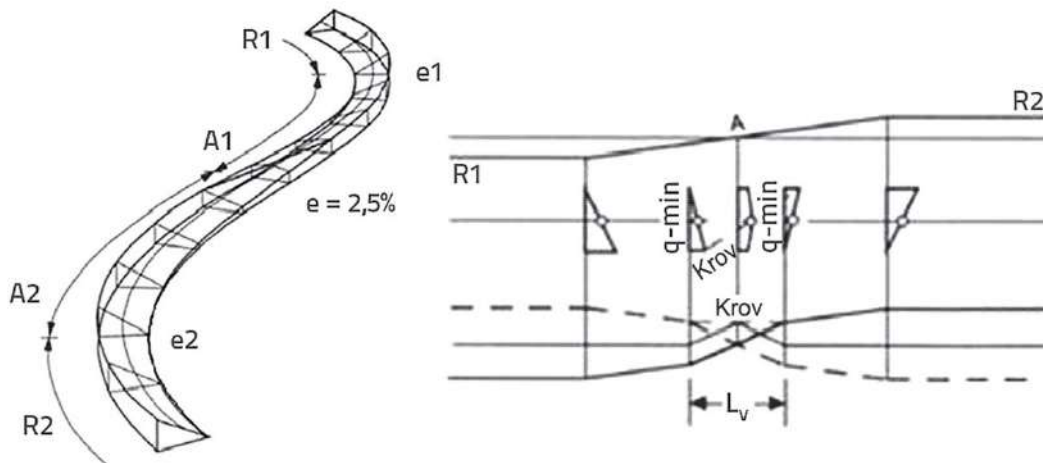


Slika 7. Trodimenzionalni prikaz dvostepenog i krovastog (dijagonalnog) vitoperenja kolovoza (Izvor: [1])

3. PRIMENA KROVASTOG VITOPERENJA U NEMAČKOJ, AUSTRIJI I ŠVAJČERSKOJ

Relevantne studije u razvijenim evropskim zemljama jasno su pokazale da je zona infleksija S krivih sa poprečnim nagibima bliskim nuli rizična zona sa stanovišta bezbednosti saobraćaja, odnosno zona koja je najviše podložana riziku od pojave "Aquaplaninga" efekta. Kako bi se u zoni infleksije eliminisao poprečni nagib kolovoza jednak nuli, u Nemačkoj i Austriji takođe se koristi krovasto vitoperenje kolovoza u zoni infleksije. I ovde se prilikom krovastog vitoperenja greben u preseku kolovoznih ravni sa poprečnim nagibom od 2.5% vodi po dijagonali koja spaja suprotne ivice kolovoza, tako da karakteristični poprečni profil, isečen

tačno na mestu tačke infleksije, ima oblik krova sa dvostranim poprečnim nagibom kolovoza od 2.5%. Primer krovastog vitoperenja zajedno sa šemom poprečnih nagiba kolovoza u zoni infleksije prikazan je na **Slici 8**.



Slika 8. Zona infleksije sa krovastim vitoperenjem kolovoza na nemačkim putevima (Izvor: [5])

Iako se krovasto vitoperenje kolovoza pominje u nemačkim propisima za projektovanje puteva RAS-L [6] i autoputeva RAA [7], samo je u propisima za projektovanje autoputeva RAA data formula za proračun dužine L_v na kojoj treba da se izvrši krovasto vitoperenje. Dužina L_v se računa u funkciji širine kolovoza i računске brzine V_r kao:

$$L_v = 0.1 \cdot B \cdot V_r$$

gde je:

L_v - dužina krovastog (dijagonalnog) vitoperenja [m];

B - širina kolovozne ploče autoputa [m];

V_r - računska brzina [km/h].

Za razliku od srpskih propisa, gde se minimalni podužni nagib ivica kolovoza puta ograničava na vrednost minimalnog hidrauličnog pada, odnosno 0.3%, u nemačkim propisima RAS-L [6], apsolutno minimalni podužni nagib ivica puta ograničava se na 0.2%. Takođe, u nemačkim propisima primena ovako malog podužnog nagiba ivica kolovoza dozvoljava se samo u izuzetnim slučajevima, dok se kao minimalna preporučena vrednost navodi podužni nagib od 0.5%.

U švajcerskim normama za poprečne nagibe i vitoperenje kolovoza puteva SN 40120 [8] minimalna dužina zone sa krovastim vitoperenjem data je u tabelarnoj formi:

Tabela 1. Dužine zone sa krovastim vitoperenjem

Računska brzina V_r [km/h]	120	100	80
$L_{\min-krov}$ ($p = 3\%$) [m]	12 B	10 B	8 B

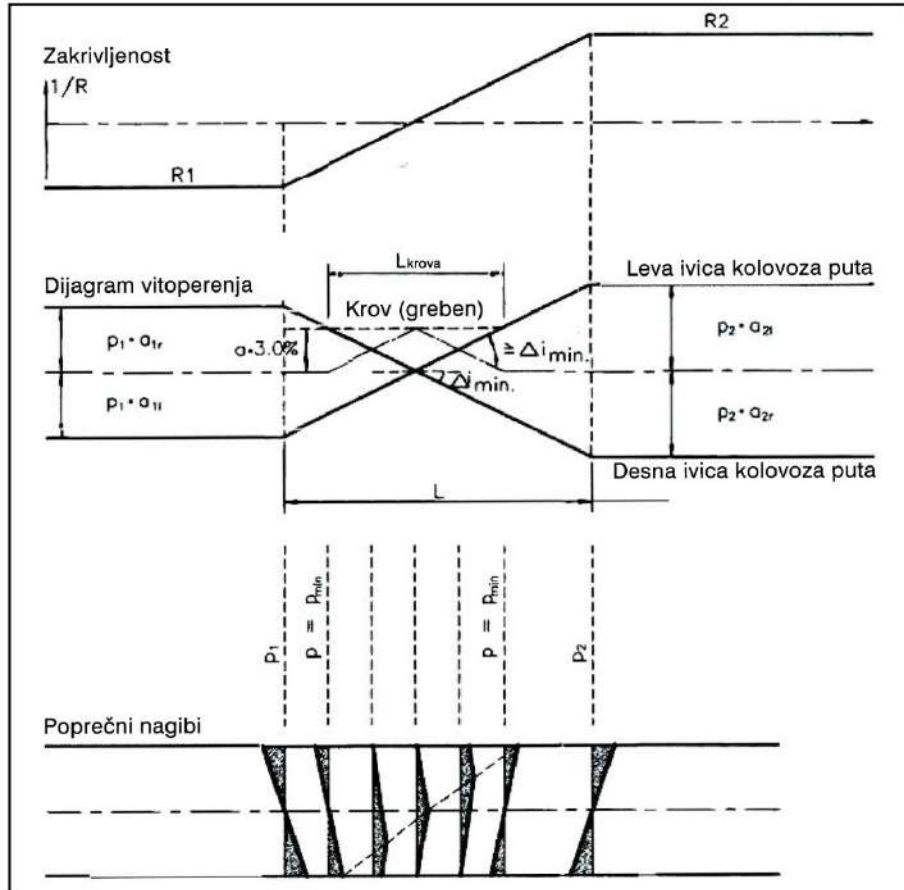
Izvor: SN 40120 [8]

gde je B širina kolovoza u [m].

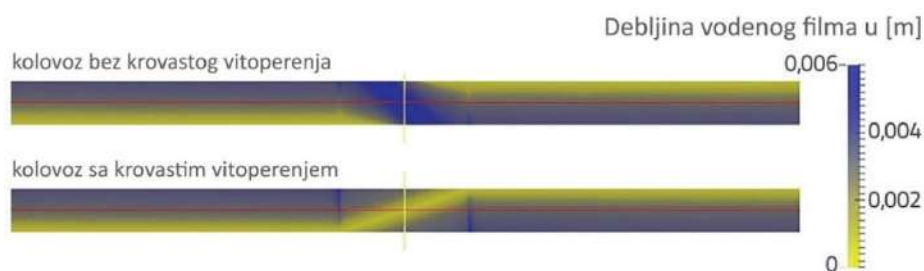
Kada se uporede dužine zone sa krovastim vitoperenjem dobijene na osnovu prethodne formula iz nemačkih propisa sa istim tim dužinama datim u **Tabeli 1** za švajcerske propise, vidi se da se u suštini dobijaju slične vrednosti dužina za izvođenje krovastog vitoperenja. Najveća razlika je što je u Švajcerskoj uslovljeno da poprečni nagibi kolovoza na početku i na kraju zone sa krovastim vitoperenjem moraju biti po 3 [%], kao što se vidi na **Slici 9**.

Grupa autora [9] uradila je kompjutersku simulaciju oticanja vode sa površine krovasto vitoperenog kolovoza autoputa u zoni infleksije koristeći softver PSRM (Pavement Surface Runoff Model). PSRM softver je razvijen na Tehničkom univerzitetu u Štutgartu i najviše se primenjuje za modeliranje oticaja vode sa kolovoznih površina različitih karakteristika, kao i za proračun debljine vodenog filma za onu količinu vode koja se

zadržava na kolovozu. Dobijeni rezultati simulacije pokazali su da je krovasto vitoperenje veoma povoljno za brzo uklanjanje viška vode sa površine kolovoza u zoni infleksije autoputa sa malim podužnim nagibima. Kao što se vidi i na **Slici 10**, debljina vodenog filma koji se zadržava na krovasto vitoperenom kolovozu autoput je mala, pogotovo u poređenju sa kolovoznim površinama u zoni infleksije autoputa gde nije izvedeno krovasto vitoperenje. Istovremeno, kao glavni nedostatak krovastog vitoperenja, autori su ukazali na brojne teškoće prilikom izvođenja kolovoza sa takvim sistemom vitoperenja na terenu.



Slika 9. Krovasto vitoperenje kolovoza u zoni infleksije po švajcerskim standardima (Izvor: [8])



Slika 10. Simulacija oticanja vode sa krovasto vitoperene površine kolovoza u zoni infleksije autoputa pomoću PSRM softvera (Izvor: [9])

4. ALTERNATIVNA TEHNIČKA REŠENJA ZA DRENIRANJE AUTOPUTNIH KOLOVOZA SA MALIM REZULTUJUĆIM NAGIBIMA

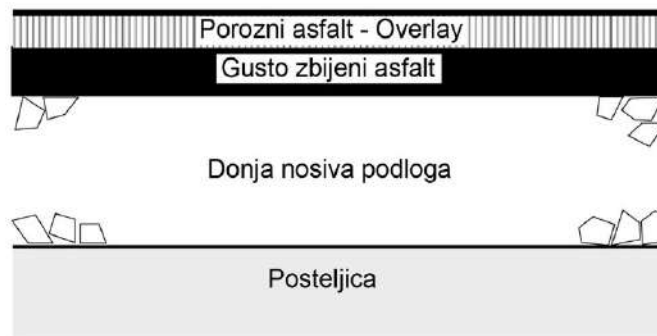
Pored primene posebnih sistema vitoperenja kolovoza kao što je krovasto vitoperenje, za poboljšanje dreniranja vode sa površine kolovoza autoputa u zonama sa malim rezultujućim nagibima koriste se i druga tehnička rešenja:

- Porozni asfalti
- Postavljanje poprečnih slivničkih rešetki
- Struganje kolovozne površine

4.1 Porozni asfalti

Sposobnost dreniranja kolovoza, odnosno, smanjenja površinskog oticaja sa saobraćajnih površina kvalifikuje porozne asfalte kao efikasno rešenje za dreniranje kolovoznih površina u zonama infleksije autoputa. Kroz sloj poroznog asfalta na površini kolovoza voda se drenira i odvodi van habajućih slojeva kolovozne konstrukcije, čime se povećava vidljivost u lošim vremenskim uslovima za vreme pljuskova, kao i trenje između pneumatika vozila i površine kolovoza. Pored toga, smanjuju se odsjaj i pojava efekta zaslepljivanja, koji mogu nastati odbijanjem i prelamanjem svetlosti od farova vozila na površini vodenog filma koji nastaje zbog dužeg zadržavanja vode na kolovozu.

Porozni asfalti projektovani za dreniranje kolovoznih površina u zonama infleksije autoputa postavljaju se kao habajući završni slojevi kolovoza na ranije izgrađenu, vodonepropusnu fleksibilnu ili krutu kolovoznu konstrukciju. Ovakav tip poroznih asfalta u literaturi često se naziva "overlay", a u SAD se dosta koristi i termin "Permeable Friction Course - PFC" (Slika 11).



Slika 11. Porozni asfalti izvedeni preko postojećeg fleksibilnog asfaltnog kolovoza - Overlay (Izvor: [10])

Zbog osetljivosti veze između starog nepropusnog kolovoza i novog "Overlay" asfaltnog sloja, ne preporučuje se primena ovog tipa porozne kolovozne konstrukcije u klimatskim područjima sa dugim i oštrim zimama. Troškovi gradnje poroznih asfalta, mereno po jediničnoj površini (1 m²), generalno su za 20 % - 50 % veći u odnosu na standardne gusto zbijene asfaltno mešavine. Takođe, zbog potrebe da se kolovoz redovno čisti, veći su i troškovi održavanja. Velika mana je i ograničena trajnost poroznih kolovoza, odnosno, životni vek poroznog "Overlay" sloja uz redovno održavanje ograničen je na najviše 8-10 godina.

4.2 Postavljanje poprečnih slivničkih rešetki

U zonama sa malim rezultujućim nagibima kolovoza, kao što su zone infleksije mogu da se postave poprečne rešetke preko cele širine kolovozne ploče autoputa, uključujući i zaustavne trake. Opravdanje za ovakvo rešenje leži u činjenici da se oticanje vode odvija po hidrauličkom padu koji postoji čak i pri potpuno horizontalnoj niveleti i uvek je veći od nule ako su prelivi (u ovom slučaju slivničke poprečne rešetke) postavljeni na relativno bliskom rastojanju [11]. Na Slici 12 prikazane su poprečne slivničke rešetke ugrađene u zonama infleksije na jednom od sektora autoputa A10 južno od Berlina.



Slika 12. Poprečne slivničke rešetke ugrađene u zoni infleksije na autoputu A10 u Nemačkoj (Izvor: [9])

Kanal sa profilisanim žlebovima za smeštaj rešetke napravljen je od betona, a sama rešetka je zbog težine vozila napvaljena od čelika. Širina rešetke je 30 cm i više, a obavezno se duž zone infleksije postavlja nekoliko rešetki u nizu na minimalnom rastojanju od 5 m kako bi se pojačao efekat susednih preliva. Autori [9] preporučuju da se u zonama infleksije autoputa, zbog njihove veće dužine, postavi 5 i više poprečnih slivničkih rešetki.

Poprečne slivničke rešetke obično se postavljaju na krutim betonskim kolovozima zbog same prirode materijala od kojih se izrađuju. Naime, ugrađivanje slivničkih rešetki na asfaltnim kolovozima može biti problematično zbog različite krutosti materijala od kojih je napravljeno ležište rešetke i asfaltnih slojeva, pa se na delovima habajućih slojeva asfaltnih kolovoza u zonama kontakta sa betonskom konstrukcijom ležišta rešetke vremenom mogu pojaviti ulegnuća i denivelacije kolovoza, koje negativno utiču na udobnost vožnje. Dodatni problem je samo čišćenje i održavanje rešetke i betonskog kanala ispod rešetke, jer je za takve radove potrebno privremeno zaustaviti ili na druge načine regulisati protok saobraćaja na voznim trakama autoputnog kolovoza.

4.3 Brazdanje kolovozne površine

Za brzo i efikasno odvođenje vode sa kolovozne površine, pogotovo kod betonskih kolovoznih konstrukcija, često se primenjuje brazdanje (žlebljenje) kolovozne površine. Pomoću specijalnih mašina (freza), opremljenih diskovima sa dijamantskim reznim zubovima, usecaju se uske brazde (žlebovi) na habajućem sloju kolovoza (**Slika 13**). Brazde mogu da se usecaju poprečno, podužno ili pod uglom od 45° u odnosu na pravac pružanja kolovoza. Za asfaltno kolovoze preporuka je da se u zonama infleksije sa malim rezultujućim nagibima usecaju poprečne ili brazde pod uglom od 45° u odnosu na osu kolovoza kako bi se voda što manje zadržavala na kolovozu i time sprečio razvoj aquaplaning-a.



Slika 13. Žlebljenje asfaltno kolovozne površine usecanjem uskih brazdi specijalnim mašinama (Izvor: [12])

Usecanje brazdi obavlja se na pravilnom razmaku po unapred definisanom šablonu, a zapremina materijala po metru dužnom kolovoza, nastala usecanjem žlebova, računa se kao:

$$V_c = B_c \cdot T_c \cdot \frac{1000}{S_c + B_c}$$

gde je:

V_c - zapremina žlebova [mm³/m];

B_c - širina žlebova [mm];

T_c - dubina žlebova [mm]

S_c - rastojanje između žlebova [mm].

Nemački standardi preporučuju maksimalnu širinu žlebova između 2.4 mm i 2.6 mm za podužne žlebove, zbog njihovog potencijalnog negativnog uticaja na bezbednost motociklista, dok je za poprečne žlebove preporučena maksimalna širina između 6 mm i 10 mm [9]. Ne postoje precizni zahtevi u standardima koji definišu minimalnu dubinu žlebova, ali je preporučena vrednost 3 mm. S druge strane, ograničava se maksimalna dubina oko 5 mm, pošto bi dalje povećanje dubine usecanja žlebova imalo za posledicu i značajno povećanje troškova.

Usecanjem žlebova na površini habajućeg sloja znato se smanjuje debljina vodenog filma u zonama sa malim rezultujućim nagibima kolovoza. Međutim, ovo korisno dejstvo žlebljenja kolovoza smanjuje se tokom zime

zbog mržnjenja sakupljene vode u usečenim žlebovima. Trajnost habajućih slojeva asfaltnih slojeva kolovoza sa usečenim žlebovima često je upitna, pogotovo u klimatskim sredinama da dužim i oštirijim zimama. Još nisu objavljena detaljna istraživanja ili izveštaji koji bi pokazali koliko dubina usecanja žlebovima, odnosno generalno postupak žlebljenja, utiče na trajnost fleksibilnih kolovoznih konstrukcija. Stoga se žlebljenje (brazdanje) kolovozne površine može razmatrati samo kao privremena mera za poboljšanje dreniranja kolovoza u infleksionim zonama autoputa, i treba je primenjivati samo na krutim, odnosno, cement-betonskim kolovozima.

5. ZAKLJUČAK

Iako u prvi mah deluje kao jednostavan zadatak, vođenje i oblikovanje geometrije trase autoputa na ravničarskim terenima zapravo je veoma složen poduhvat, pre svega zbog potrebe da se obezbedi efikasno dreniranje svih kolovoznih površina autoputa. Najveći problem predstavljaju dugačke infleksione zone S krivih, gde su mali poprečni nagibi u ravničarskim uslovima najčešće kombinovani i sa malim podužnim nagibima nivelete. To dalje ima za ishod i rezultujuće nagiba kolovoza koji su obično manji od minimalno zahtevanog rezultujućeg nagiba (min irez = 1.5%) za efikasno odvodnjavanje vangradskog puta u domaćim standardima. Za rešavanje ovog problema preporučuju se dve metode vitoperenja kolovoza u zoni infleksije: tradicionalno dvostepeno i krovasto vitoperenje sa dijagonalnim šlemenom. Primena dvostepenog vitoperenja u zonama infleksije sa podužnim nagibima manjim od 0.5% često ne može da obezbedi minimalno zahtevane vrednosti rezultujućih nagiba za efikasno odvodnjavanje, dok primena krovastog vitoperenja u geometrijskom smislu rešava problem i obezbeđuje minimalne vrednosti rezultujućih nagiba. Međutim, primena krovastog vitoperenja u praksi povezana je sa nizom praktičnih problema prilikom izvođenja radova na terenu, od ravnjanja pripreme posteljice, donje i gornje nosive podloge pa sve do izvođenja završnih slojeva kolovozne konstrukcije. Takođe, udobnost i komfor vožnje preko površien autoputnih kolovoza sa krovastim vitoperenjem niža je u odnosu na kolovoze sa klasičnim i dvostepenim vitoperenjem kolovoza, što je i jedan od razloga što se u brojnim zemljama ne preporučuje primena takvog sistema vitoperenje kolovoza na putevima gde se vozila kreću brzinama većim od 100 ili 120 km/h.

Postoje i alternativna tehnička rešenja za dreniranje autoputnih kolovoza u zonama infleksije sa malim rezultujućim nagibima kao što je primena poroznih asfaltnih kolovoza, postavljanje poprečnih slivničkih rešetki i žlebljenje površine kolovoza. Međutim, svako od nabrojanih rešenja, pored povećanja ukupne cene izgradnje, ima i druge nedostatke koji sužavaju polje njihove primene, naročito ako se autoput izvodi sa fleksibilnom kolovoziom konstrukcijom.

Ključni zadatak za buduće aktivnosti kako bi se ovaj problem rešio ili u dobroj meri ublažio u Srbiji, jeste organizovanje eskperimenta u laboratorijskim uslovima i na realnoj deonici puta, gde bi se testiralo da li je zaista neophodno imati rezultujući nagib kolovoza od 1.5% u zoni infleksije autoputa da bi se obezbedilo efikasno odvodnjavanje, ili taj nagib može biti i manji. Za organizovanje jednog ovako kompleksnog istraživanja neophodno je uključiti i inženjere drugih specijalnosti, pre svega hidrotehniku i hidaruliku, kao i profesionalce koji se bave projektovanjem kolovoznih konstrukcija i građevinskim materijalima. Rezultati istraživanja će moći da se iskoriste za revidovanje domaćih standarda za projektovanje vangradskih puteva i uveliko će biti od koristi domaćoj projektantskoj praksi.

Literatura

- [1] JP Putevi Srbije. (2011). Pravilnik o uslovima koje sa aspekta bezbednosti saobraćaja moraju da ispunjavaju putni objekti i drugi elementi javnog puta. Javno preduzeće Putevi Srbije, Beograd. (on-line) available at: https://www.putevi-srbije.rs/images/pdf/regulativa/Pravilnik_o_uslovima_koje_sa_aspekta_bezbednosti_saobracaja_moraju_da_ispunjavaju_putni_objekti.pdf (7.05.2020)
- [2] Anđus, V.; Maletin, M. (2000). Koeficijent trenja klizanja - osnovni parametar u dimenzionisanju elemenata projektne geometrije puta. Naučno-stručni skup „Pneumatici“, Zbornik radova, Vrnjačka Banja, 1.-3. juna 2000., str. 90-100.
- [3] Katanić, J.; Anđus, V.; Maletin, M. (1983). Projektovanje puteva. Građevinska knjiga, Beograd, str. 208.
- [4] JP Putevi Srbije. (2012). Priručnik za projektovanje puteva - SRDM 4.0: Projektni elementi puta. Javno preduzeće Putevi Srbije, Beograd. (on-line) available at: <https://www.putevi-srbije.rs/index.php/sr/srdm-priru%C4%8Dnik-za-projektovanje-puteva> (20.05.2020)
- [5] TUD. (2013). Vergleich und Bewertung von baulichen Lösungen für zur Vermeidung von abflussschwachen Zonen in Verwindungsbereichen, Technische Universität Dresden, Universität Stuttgart: Zwischenbericht im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Dresden, 2013.
- [6] FGSV. (1995). Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Linienführung (RAS-L), Ausgabe 1995. Köln:

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.

- [7] FGSV. (2008). Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA), Ausgabe 2008. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Arbeitsgruppe „Straßenentwurf“).
- [8] VSS. (2019). Quergefälle in Geraden und Kurven, Quergefälleänderung, Schweizer Norm (SN) 40 120, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich, Schweiz.
- [9] Burlacu, F.A.; Răcănel, C.; Burlacu, A. (2018). Preventing aquaplaning phenomenon through technical solutions. *Građevinar*, 70(12): 1109-1116. DOI: <https://doi.org/10.14256/JCE.1578.2016>
- [10] Ferguson, B.K.: *Porous Pavements*. CRC Press, Taylor&Francis Group, Boca Raton, Florida, USA, 2005, p. 39.
- [11] Maletin, M. (2019). Planiranje i projektovanje saobraćajnica u gradovima, III izdanje, Orion-Art, Beograd.
- [12] POSSEHL Spezialbau GMBH. (2022). Product Range and Services - Grooving & Grinding, Sprendlingen, Germany. (on-line) available at: <https://www.possehl-spezialbau.de/en/product-range-and-services/grooving-grinding/> (20.03.2022)

ANALIZA UTICAJA NEGATIVNOG BOČNOG TRENJA NA SLEGANJE VERTIKALNO OPTEREĆENE GRUPE ŠIPOVA

Dragana Slavković¹, Toplica Novaković², Vladimir Filipović³

^{1,2,3}Saobraćajni Institut CIP d.o.o., Nemanjina 6/IV, 11000 Beograd, email: dragana.slavkovic@sicip.co.rs

Rezime: Tokom i nakon ugradnje šipova u tlo pri fundiranju različitih objekata, duž omotača šipa dolazi do pojave sile trenja kao rezultat kontakta okolnog tla i konstrukcije šipa, odnosno kao rezultat različitog pomeranja šipa u odnosu na pomeranja okolnog tla. Bočno trenje nije uvek jednosmerno kako se često u praksi pri projektovanju posmatra, stoga je sile trenja koje deluju duž omotača šipa po potrebi neophodno sagledati kao antagonističke sile. U opštem slučaju kada je sleganje šipa veće od sleganja okolnog tla, bočno trenje učestvuje u otporu šipa pa je takvo trenje pozitivno i usmereno vertikalno naviše. Međutim, u slučaju kada je sleganje okolnog tla relativno veće od sleganja šipa, dolazi do pojave negativnog trenja po omotaču šipa koje je usmereno vertikalno naniže i koje deluje kao dodatno vertikalno opterećenje. U radu će biti prikazano na koji način i u kojoj meri negativno bočno trenje može uticati na sleganje grupe šipova i to na primeru projektovanja obalnih stubova mosta M15 u okviru Projekta autoputa E-763 na deonici Preljina – Požega.

Ključne reči: negativno bočno trenje, grupa šipova, sleganje grupe šipova

NEGATIVE SKIN FRICTION IMPACT ANALYSIS ON SETTLEMENT OF A VERTICALLY LOADED PILE GROUP

Dragana Slavković¹, Toplica Novaković², Vladimir Filipović³

^{1,2,3}Institute of Transportation CIP, Nemanjina 6/IV, 11000 Belgrade, email: dragana.slavkovic@sicip.co.rs

Abstract: For founding of different structures, during and after pile's installation in the ground, friction forces occur along the pile shaft as a result of contact between the surrounding soil and the pile construction, respectively as a result of different pile movement in relation to the surrounding soil movement. Shaft resistance i.e. skin friction is not always one-way, as often considered in design practice, so the pile shaft friction, if it is necessary, must be considered as a set of antagonistic forces. In general, when the settlement of the pile is larger than the settlement of the surrounding ground, the shaft friction participates in the resistance of the pile, so such friction is positive and directed vertically upwards. However, in the case when the settlement of the surrounding soil is relatively larger than the settlement of the pile, negative friction occurs on the pile shaft which is directed vertically downwards and which acts as an additional vertical load. The paper presents whether and to what extent negative skin friction can affect the settlement of pile group, on the example of designing the abutment piers of the bridge M15 within the Project of the highway E-763 on the section Preljina - Požega.

Keywords: negative skin friction, group of piles, settlement of a group of piles

1. UVOD

Na autoputu E-763: deonica Preljina – Požega (km 117+477.02 do km 147+675.00) u okviru poddeonice 4 (levo km 134+750.00 do km 142+012.31 i desno km 134+675.00 do km 141+996.11) na teritoriji opštine Lučani, projektovano je ukupno 12 mostova i 3 nadvožnjaka. Od pomenutih 12 mostova, jedan most (**M15**) je pri procesu projektovanja naročito privukao pažnju nakon što je utvrđeno da bi obalni stubovi mosta morali biti opterećeni visokim nasipima koji bi izazvali velika prognozna sleganja tla. Sračunato je da bi za obavljanje 90% konsolidacije bilo neophodno između 14 i 19 meseci, što predstavlja duži vremenski period od pretpostavljenog perioda gradnje autoputa. Visoki nasipi i velike vrednosti sleganja su jedni od kriterijuma koje je Nacionalni kooperativni istraživački program za autoputeve (NCHRP) definisao, naglasivši da ukoliko je bar jedan kriterijum zadovoljen (više o svim kriterijumima biće u poglavlju „Uopšteno o fenomenu negativnog trenja duž omotača šipova“), negativno trenje omotača šipa treba uzeti u obzir pri projektovanju. Iz tog razloga, kako za potrebe projektovanja tako i za potrebe izrade ovog rada, negativno bočno trenje duž omotača šipova razmatrano je u zoni obalnih stubova S1 i S11 u okviru mosta M15. U radu će na praktičnom primeru biti prikazano da li, kako i u kojoj meri negativno bočno trenje utiče na sleganje vertikalno opterećene grupe šipova. S obzirom da se negativno trenje često zanemaruje u praksi, te i da se iz pomenutog razloga mnogi inženjeri nisu bavili ovom problematikom, na samom početku će biti definisan fenomen negativnog trenja a potom i objašnjeni pojedini pojmovi neophodni za razumevanje istog. Nakon kratke teorijske osnove, rad će biti usmeren na prikaz rezultata analize negativnog trenja u praksi.

¹Dragana Slavković, email: dragana.slavkovic@sicip.co.rs

2. NEGATIVNO BOČNO TRENJE ŠIPOVA: TEORIJSKI OSVRT

Negativno bočno trenje nesumnjivo predstavlja jedan od najčešćih problema sa kojima se inženjeri u praksi susreću pri fundiranju objekata i to pretežno u slučajevima kada je šipove potrebno ugraditi u stišljivo tlo (najčešće meke konsolidovane gline) (Dey i Koch, 2017). Negativno bočno trenje ujedno predstavlja i poseban oblik vertikalnog opterećenja šipa. U opštem slučaju, šip se usled aksijalnog opterećenja sleže više od okolnog tla. Tada bočno trenje učestvuje u otporu šipa pa je trenje pozitivno. Međutim, u izvesnim slučajevima su dovoljna sasvim mala sleganja tla da izazovu dopunsko vertikalno opterećenje šipa, pa je tada trenje duž šipa usmereno naniže i negativno (Van et al., 2022).

Relativna veličina sleganja između tla i šipa potrebna da izazove negativno trenje po omotaču je manja od nekoliko milimetara. Ova mala relativna pomeranja mogu biti izazvana ponovnom konsolidacijom tla oko šipa usled promene prirodnog stanja u terenu izazvanog ugradnjom šipova (potresi, vibriranja, itd.) ili sleganjem tla kao rezultat nanošenja nasipa ili objekta na površinu terena. Dakle, mala relativna pomeranja između tla i šipa su sasvim dovoljna da bi se mobilisao ukupni otpor omotača šipa (Matyas i Santamarina, 2011).

Šipovi ugrađeni u stišljivo tlo izloženi su negativnom trenju omotača šipa, odnosno negativnom smičućem naponu uzrokovanom kretanjem tla naniže u odnosu na sam šip. Može se reći da je sleganje primarni „problem“ kojim se treba baviti pri projektovanju šipova (duž kojih se javlja negativno bočno trenje) dok je „problematika“ nosivosti šipa sekundarna (Basile, 2020).

Dakle, negativno trenje povećava opterećenje a smanjuje nosivost šipa. Mnogo je razloga koji dovode do pojave negativnog trenja. Uobičajeni razlog je što se šip postavlja u meko tlo. Konsolidaciju mekog tla u velikoj meri izazivaju opterećenja od npr. visokih nasipa i višespratnica, ali i obaranje nivoa podzemne vode (Van et al., 2022). Kako konsolidacija napreduje, okolno tlo se sleže u većoj meri u odnosu na sam šip i izaziva povlačenje nadole u pravcu gravitacije (Dey i Koch, 2017).

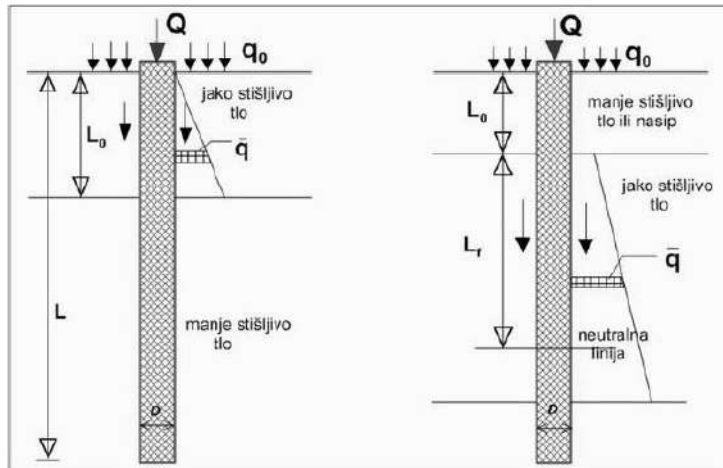
Jedna od prvih eksperimentalnih studija sprovedena je od strane Felenijusa 1972. godine u cilju razumevanja negativnog bočnog trenja u realnim terenskim uslovima. Posmatranja su vršena u periodu od 43 meseca na dva pobijena šipa fundirana kroz sloj meke gline debljine 40 m. Posle 5 meseci zabeleženo je povećanje aksijalnog opterećenja od 40 tona odnosno 400 kN. Na ovaj način je Felenijus potvrdio značaj negativnog trenja i naglasio važnost njegovog sračunavanja pri analizi pre svega prognoznog sleganja a potom i nosivosti šipova (Dey i Koch, 2017).

Pojava negativnog trenja predstavlja jedan kompleksni fenomen, s obzirom da sila negativnog trenja obično ne deluje duž celog omotača šipa već do neke određene dubine. Izuzetak je slučaj, kada je sleganje stišljivog tla dovoljno veliko da mobilise maksimalnu vrednost trenja po čitavoj njegovoj dužini. Međutim, skoro po pravilu se javlja u gornjem delu šipa, a često i u intervalu koji zahvata veći deo njegove ukupne dužine. Tada smičući naponi po omotaču menjaju znak, povećavajući tako opterećenje na bazu šipa. (Rakić, 1997) Najčešći faktori koji mogu da dovedu do pojave negativnog trenja su:

1. Nedovoljno konsolidovana tla koja se tokom vremena sležu a oslanjaju se na relativno čvrstu podlogu
2. Spuštanje nivoa podzemne vode čime se povećavaju vertikalni efektivni naponi koji pak izazivaju konsolidaciono sleganje
3. Naknadna opterećenja tla i to najčešće nasipanjem i stvaranjem deponija, pogotovo u blizini obalnih stubova mostova fundiranih na šipovima
4. Sabijanje tla kao rezultat potresa izazvanih pobijanjem šipova u neposrednoj blizini
5. Dinamička dejstva na tlo, najčešće vezana za industrijske objekte i teški saobraćaj (u literaturi okarakterisani kao industrijska i saobraćajna mikroseizmika)
6. Pojave različitih, nedovoljno proučenih prirodnih procesa koji doprinose postepenom sleganju vrlo mladih, slabo vodopropustljivih glinovitih tla (najčešće su to biohemijski procesi, kao što je razlaganje organskih ostataka, ali i procesi koji se mogu javiti kod zasićenih glinovito – prašiniastih tla sa dosta koloidnih čestica čije ispiranje izaziva njihovo rastresanje, pa pojava manje značajnih spoljašnjih uticaja ili čak i sopstvena težina izazivaju njihovo sabijanje) (Rakić, 1997)

Pri analizi negativnog trenja najčešće se posmatraju dva karakteristična slučaja (Slika 1) (Rakić, 1997):

1. Od površine terena do određene dubine pojavljuje se jako stišljivo tlo (nekonsolidovane gline, mulj, treset i sl.) koje leži preko sloja manje stišljivog tla (tvrde gline, granularna tla i sl.).
2. Jako stišljivo tlo se nalazi na određenoj dubini, a preko njega se nalazi nasip ili manje stišljivo tlo



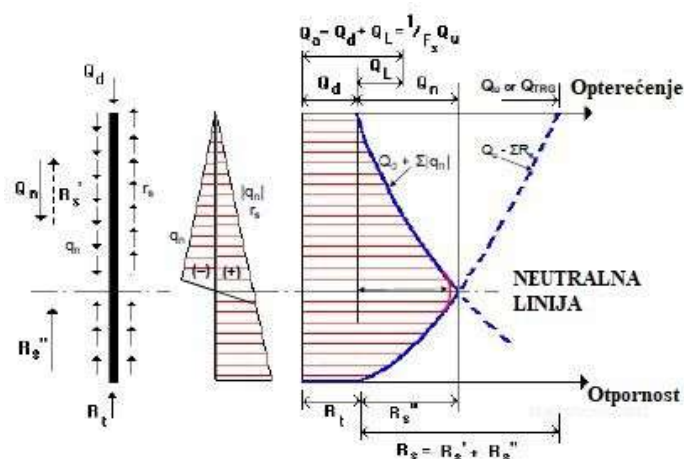
Slika 1. Dva karakteristična slučaja pri analizi negativnog trenja (Rakić, 1997)

2.1. Neutralna linija

Dugoročno posmatrano, uvek će postojati mali relativni pomaci koji se dešavaju između omotača šipa i tla a koji će pak biti dovoljni da razviju značajnu vrednost negativnog trenja po omotaču kao i otpor po omotaču (izrazi „negativan“ i „pozitivan“ se odnose na smer po kom smicanje deluje duž površine omotača šipa, dok razdvajanje pojmova „trenje“ i „otpor“ označavaju da li je smicanje izazvano dejstvom tla ili je nastalo kao odgovor na spoljašnje sile) (Fellenius, 2020).

Neutralna linija tj. neutralna ravan se nalazi na onoj dubini gde negativno trenje prelazi u pozitivan otpor po omotaču šipa. Ovaj položaj definiše i maksimalno opterećenje šipa a podaci o položaju neutralne linije i maksimalnom opterećenju su potrebni kako bi se izračunalo sleganje šipa (Matyas i Santamarina, 2011).

Fellenius ističe da šip vremenom formira ravnotežu između sila, s jedne strane zbirom sopstvene težine (opterećenja) nanete na naglavicu šipa (Q_{dead}) i vučne sile (Q_n) („drag force“) izazvane negativnim trenjem u gornjem delu omotača šipa i s druge strane, zbirom pozitivnog otpora omotača i otpora baze u donjem delu šipa. Mesto „ravnoteže sila“ se naziva neutralna linija (Slika 2) i predstavlja dubinu na kojoj se napon smicanja menja duž šipa iz negativnog trenja omotača u pozitivan otpor omotača. Pored toga, u nivou neutralne linije nema relativnih pomeranja između tla i šipa, pa neutralna linija predstavlja i „ravnotežu sleganja“ (Fellenius, 2020).



Slika 2. Konstruisanje neutralne linije za zadato opterećenje (Fellenius, 2020)

Treba imati na umu da će tamo gde su sleganja tla mala, dužina prelazne zone biti velika. Prelazna zona je mesto gde se jedinični otpor omotača menja iz negativnog u pozitivan smer, ali do prelaska ne dolazi iznenada, već duž zone određene dužine. Ključni aspekt svega prethodno navedenog je da je razvoj neutralne linije i sile koja povlači šip nadole usled negativnog trenja omotača, fenomen koji se uvek javlja u šipovima i nije ograničen samo na mesta u kojima se javljaju velika sleganja tla oko šipova (Fellenius, 2020).

Primećeno je da se negativno trenje razvija do neke dubine D_0 na kojoj je sleganje šipa jednako sleganju tla u njegovoj blizini. Ta dubina predstavlja gore pomenutu neutralnu liniju ispod koje je sleganje tla manje od sleganja šipa odnosno ispod nje deluje „pozitivno“ trenje, tj. menjaju se znaci smičućih napona po omotaču šipa. Njen položaj može se odrediti iz uslova da je zbir stalnog opterećenja i negativnog trenja jednak zbiru pozitivnog trenja i reakcije baze šipa (Rakić, 1997).

Takođe je naglašeno da se pri proračunu negativnog trenja mora voditi računa o vrsti tla koja dovodi do pojave negativnog trenja, dubine na kojoj se nalazi i karaktera opterećenja tla u blizini šipa. Ako se na vrh šipa, koji je opterećen negativnim trenjem, nanese neko privremeno ili pokretno (saobraćajno) opterećenje, elastične deformacije šipa su dovoljne da mobilišu pozitivno trenje, smanjujući na taj način ukupan uticaj negativnog trenja. Kada se ovo opterećenje ukloni ponovo se javlja negativno trenje jer je elastična deformacija šipa pri rasterećenju, uz odgovarajuće pomeranje najviše rasterećenog dela stabla šipa, dovoljna da promeni smer napona smicanja po stablu šipa (Rakić, 1997).

2.2. Uticaj sile negativnog trenja na šipove

Bowles objašnjava da će kada se nasip postavi na stišljivo tlo, doći do konsolidacije stišljivog materijala. Odnosno, kada se šip pobije kroz/u stišljivo tlo (pre ili posle postavljanja nasipa), pre nego što se konsolidacija završi, tlo će se pomeriti nadole prema šipu što će inicirati pojavu negativnog bočnog trenja duž omotača šipa (Bowles, 1997).

Prema merenjima koja su objavili Bjerrum i saradnici (1969), Bozozuk (1972) i Bozozuk sa saradnicima (1979), negativno trenje duž omotača može premašiti dozvoljeno opterećenje šipa. Felenius (1972) je takođe analizirao i komentarisao velike izmerene vrednosti negativnog trenja koje se javljaju duž omotača šipa. Glavni efekat negativnog trenja se ogleda u porastu aksijalnog opterećenja u donjem fiksiranom delu šipa. Ovo može dovesti do povećanja sleganja šipa usled elastične deformacije samog šipa i/ili dodatnog utiskivanja baze šipa pod povećanim aksijalnim opterećenjem (Bowles, 1997).

Negativno trenje po omotaču šipa može da izazove velike napone zatezanja kada se javi u ekspanzivnom, bubrivom tlu – naročito ako između naglavice i tla ne ostane, ili ostane ali nedovoljan zazor (šupljina), a tlo se širi (bubri) i prema šipu i prema naglavici. Negativno trenje po omotaču šipa, prema Bowles-u može nastati pri sledećim uslovima:

Kada se kohezivni materijal nasipa preko nekohezivnog tla: Nasip razvija otpor na smicanje (adheziju) između tla i šipa pod uticajem bočnih pritisaka, tako da se šip povlači nadole kako se nasip konsoliduje. U podinskom tlu bez kohezije se generalno javljaju mali efekti, osim što težina nasipa povećava bočni pritisak što obezbeđuje dodatni otpor omotača prema daljem prodiranju šipa (Bowles, 1997)

Kada se nekohezivni materijal nasipa preko stišljivog, kohezivnog tla: U ovom slučaju doći će do pomeranja šipa naniže u zoni nasipanja, ali će se glavna pomeranja odvijati u zoni konsolidacije. Kod stojećih šipova, bilo koje sleganje grupe će biti posledica elastičnih deformacija same konstrukcije šipa. Kod lebdećih šipova, doći će do dodatnog prodiranja sa odgovarajućim sleganjem, osim ako je šip dovoljno dugačak da njegov donji deo može razviti zadovoljavajuću vrednost pozitivnog otpora omotača kako bi se uravnotežio sa dodatnim opterećenjem nastalim od negativnog otpora omotača. U ovom slučaju se aproksimacijom, na mestu ravnotežnog položaja, može naći neutralna linija (Bowles, 1997)

Spuštanjem nivoa podzemne vode koje će izazvati sleganje tla. (Bowles, 1997)

Postupkom pobijanja šipova (i testom opterećenja) koji stvaraju negativne napone u gornjem delu omotača pri uklanjanju opterećenja kada se omotač šipa pomera na gore. Rezultujuće pomeranja i negativni otpor po omotaču moraju biti uravnoteženi izazivanjem pozitivnog otpora duž donjeg dela šipa i/ili koncentrisanim opterećenjem (Vesić, 1977) (Bowles, 1997).

Isto tako, Obradović i Najdanović objašnjavaju da ukoliko je šip pobijen u konsolidovano tlo, otpor trenja je usmeren naviše i u tom slučaju se kaže da je trenje pozitivno. Međutim, ako je šip pobijen u nekonsolidovano tlo, koje se posle pobijanja šipa sleže, ono pri sleganju trenjem povlači za sobom i šip, koji se, takođe, kreće naniže. U tom slučaju kaže se da je trenje negativno. Pojava negativnog trenja kod lebdećih šipova predstavlja opasnost naknadnog sleganja temeljne konstrukcije, jer dejstvuje kao povećanje opterećenja na šip (Obradović i Najdanović, 1999).

Veličina priraštaja negativnog jediničnog otpora po omotaču će verovatno biti niža od pozitivnog jediničnog otpora omotača kao posledica niza faktora od kojih neki uključuju promene efektivnog napona ili su pak rezultat ugradnje šipova ili rezultat konsolidacionog sleganja (Matyas i Santamarina, 2011).

2.3. Proračunski pristup za definisanje sile negativnog trenja

U „priručniku“ izdatom od strane Federal Highway Administration-a, može se naći podatak da proračune sleganja treba obaviti kako bi se utvrdila veličina sleganja okolnog tla oko šipa koja se očekuje da će se obaviti nakon izvođenja šipa. Veličina relativnog sleganja između tla i šipa koju je neophodno mobilisati negativnim otporom po omotaču šipa, iznosi od 10 do 12 mm. Pri tom iznosu pomeranja, maksimalna vrednost negativnog trenja po omotaču šipa je jednaka adhezionoju sili između tla i šipa. Negativni otpor (negativno trenje) ne može biti veće od adhezije jer se pri ovoj vrednosti adhezije javlja smicanje tla duž šipa. Posebno je važno pri projektovanju lebdećih šipova utvrditi dubinu na kojoj negativni otpor omotača neće uticati na šip. Jedino ispod te dubine se može javiti pozitivni otpor koji će pomoći šipu da se odupre vertikalnim opterećenjima (FHWA, 2006).

Kao što je ranije pomenuto, najčešća situacija u kojoj može doći do nastanka velike vrednosti negativnog trenja po omotaču je u slučajevima neposredno pre ili neposredno nakon pobijanja šipova u tlo koje naleže na stišljivi sloj. Negativni otpor po omotaču se takođe može razviti i kadgod se poveća efektivni pritisak nasipa iznad stišljivog sloja kroz koji se pobija šip (npr. pri spuštanju nivoa podzemne vode) (FHWA, 2006).

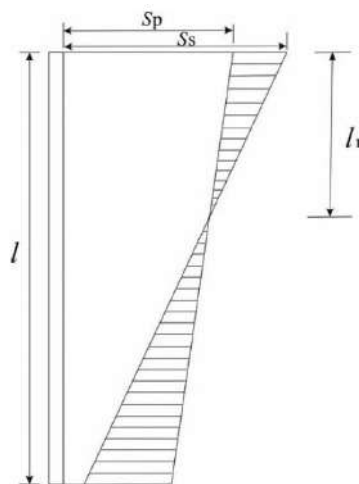
NCHRP (1993) - The National Cooperative Highway Research Program predstavlja sledeće kriterijume za utvrđivanje uslova u terenu kada je moguća pojava negativnog trenja duž omotača šipa. Ako je bilo koji od ovih kriterijuma zadovoljen, negativno trenje omotača šipa treba uzeti u obzir pri projektovanju (FHWA, 2006). Kriterijumi su sledeći:

1. Ukupno sleganje površine terena biće veće od 100 mm;
2. Sleganje površine terena nakon pobijanja šipova će biti veće od 10 mm;
3. Visina nasipa postavljenog na površinu terena prelazi 2 m;
4. Debljina mekog stišljivog sloja je veća od 10 m;
5. Nivo podzemne vode će se spustiti za više od 4 m;
6. Šipovi će biti duži od 25 m.

Prvi korak u analizi uticaja negativnog trenja je da se odredi položaj neutralne linije tj. neutralne ravni koja se nalazi na nivou gde se menjaju znaci smičućih napona po omotaču šipa. Fellenius je predočio nekoliko orijentacionih vrednosti dubina neutralnih linija u zavisnosti od tipa tla i načina projektovanja šipova. Na primer, za šipove koji su projektovani tako da faktori sigurnosti u pogledu nosivosti isključuju mogućnost loma, neutralna linija se nalazi neposredno ispod srednje tačke (polovine visine) šipa. U posebnim slučajevima, kada se šip oslanja na stenu, položaj neutralne ravni je u nožičnom delu šipa, odnosno na koti stene. Kod lebdećih šipova koji nisu opterećeni velikom aksijalnom silom i koji su fundirani u homogenom tlu sa izraženim linearnim porastom smičućih napona, neutralna ravan je obično pozicionirana na dubini koja je približno jednaka donjoj trećini ugrađene dužine šipa (Fellenius, 2020).

Fellenius ističe i da je važno imati na umu da što je veći otpor baze šipa, neutralna ravan je dublje pozicionirana. Isto tako, što je veće stalno opterećenje, neutralna linija je na manjoj dubini. Pored toga, važno je projektovanje šipova usmeriti na ispitivanje karakteristika stišljivog tla na većim dubinama kako bi se adekvatno izvršila analiza sleganja. Projektovanje zasnovano na principu „nosivost je zadovoljena sa faktorom sigurnosti preko 2, sleganje neće biti problem“ je neadekvatno i nažalost su mnogi u praksi na teži način ovo shvatili. Razlog je to što je sleganje samo delimično uzrokovano opterećenjem šipova a pored toga veliki uticaj ima izvođenje nasipa, spuštanje nivoa podzemnih voda, izvođenje susednih konstrukcija, regionalno sleganje i td. Stoga Fellenius izjavu „kada se pokaže da je nosivost u redu i sleganje će biti u redu“ demantuje i naglašava da je inverzni iskaz ispravniji, odnosno da kada se utvrdi da su sleganja u redu i nosivost će biti u redu (Fellenius, 2020).

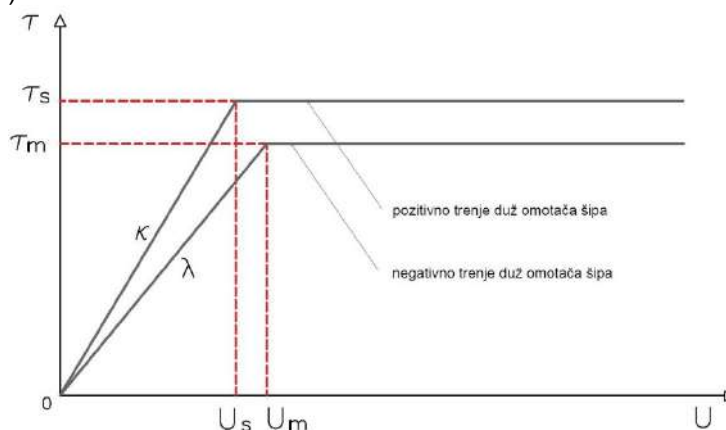
Kao što je ranije pomenuto, negativno bočno trenje se javlja u gornjem delu šipa, kao posledica većeg pomeranja tla u odnosu na sam šip. S druge strane, pozitivno trenje se javlja u donjem delu šipa gde je pomeranje samog šipa veće od pomeranja tla (Slika 3) (Ma i Wang, 2017).



Slika 3. Prikaz promene veličine sleganja tla i šipa po dubini (Lu Ma, Yu-Ke Wang, 2017)

- l – dubina vertikalnog pomeranja šipa
- l_1 – pozicija neutralne linije
- S_s – funkcija pomeranja pojedinačnog šipa
- S_p – funkcija pomeranja tla duž pojedinačnog šipa
- Funkcija realativnog pomeranja duž šipa i tla: $\Delta S = S_p - S_s$

Odnos između otpora trenjem po omotaču i relativnog pomeranja šipa u odnosu na tlo predstavljen je Kezdijevim modelom dvostruko izlomljene linije (Slika 4). Kada je relativno pomeranje šipa i tla malo, trenje po omotaču je proporcionalno relativnom pomeranju i nalazi se u elastičnom stanju. Kada su ova pomeranja veća, trenje po omotaču je konstantno i u plastičnom stanju. Ova pojednostavljena pretpostavka se, u određenom stepenu, kroz praksu pokazala kao tačna jer korespondira sa realnim uslovima u terenu. Kezdijev model dvostruko izlomljene linije je u skladu sa pomenutom pretpostavkom, dok je poboljšani model usvojen s obzirom na različite koeficijente negativnog (λ) i pozitivnog (κ) trenja omotača. Dakle, s obzirom da je veličina koeficijentata trenja povezana sa geostatičkim naponom, negativno trenje je bliže vrhu šipa pa je $\lambda < \kappa$ (Ma i Wang, 2017).



Slika 4. Kezdijev model dvostruko izlomljene linije (Lu Ma, Yu-Ke Wang, 2017)

Prema teoriji efektivnih napona, koeficijent trenja po omotaču je proporcionalan horizontalnom naponu, a horizontalni napon proporcionalan vertikalnom naponu. Dakle, pozicija negativnog trenja po omotaču je bliža vrhu šipa, dok je dubina negativnog trenja plića od pozitivnog, pa je kriva koja odgovara koeficijentu negativnog trenja šipa niže pozicionirana od krive pozitivnog trenja u elastičnom domenu (Ma i Wang, 2017).

2.4. Sila negativnog trenja grupe šipova

Najjednostavniji način da se odredi sila negativnog trenja za grupu šipova jeste sabiranjem sila Q_{nf} koje deluju na pojedinačni šip, odnosno:

$$Q_{nfg} = \sum Q_{nf}$$

Federal Highway Administration savetuje da za grupu šipova, ukupnu silu negativnog trenja odnosno silu koja naknadno uvećava sleganje („downdrag load“) ne bi trebalo računati sabiranjem sila negativnog trenja svakog pojedinačnog šipa iz grupe (FHWA, 2006). Umesto toga, opterećenje izazvano negativnim trenjem treba izračunati na osnovu površine ekvivalentnog bloka zadate grupe šipova (Rakić, 1997).

FHWA (2006) predstavlja nekoliko različitih metoda za smanjenje negativnog bočnog trenja šipova, odnosno za smanjenje negativnog otpora duž omotača šipa. U situacijama kada je negativno trenje po omotaču šipa relativno veliko, tako da je smanjenje projektovanog opterećenja šipa nepraktično, sile negativnog trenja omotača se mogu održavati ili smanjivati korišćenjem jedne ili više od sledećih tehnika:

- Smanjiti sleganje tla, npr. predopterećenjem tla
- Koristiti lak materijal za nasipanje
- Koristiti reduktori trenja, poput bitumena (bituminoznih premaza) i plastične folije (PVC). Ovi reduktori su skloni struganju tokom pobijanja pa se ne smatraju preterano pouzdanim
- Povećati dozvoljeni pritisak/naprezanje šipa
- Sprečiti direktan kontakt između tla i šipa, npr. korišćenjem „rukava“ – navlaka (Slika 5)



Slika 5. Navlake koje se postavljaju na šipove kako bi se redukovalo negativno trenje duž omotača šipa (<https://civildigital.com/wp-content/uploads/2016/05/PILE-SLEEVES-REDUCE-NEGATIVE-SKIN-FRICTION.jpg>)

3. NEGATIVNO BOČNO TRENJE ŠIPOVA: PRIMER IZ PRAKSE

Pojava negativnog trenja duž omotača šipa, razmatrana je pri definisanju geotehničkih uslova izgradnje mosta M15 u okviru autoputa E763 Beograd – Požega, na deonici Preljina – Požega i to km 135+288.94 levo i km 135+248.75 desno. Na delu autoputa km 135+288.94 projektom je predviđen prelaz trase mostom preko regulisanog Bezimenog potoka. Projektovan je most ukupne dužine (sa krilnim zidovima) 261.90 m u obe trake. Na istražnom prostoru predviđenom za izgradnju projektovanog objekta, teren je izgrađen od kvartarnih (Q) i miocenskih sedimenata ($M_3^{LG,LP}$) (Novaković, 2022). Analizom rezultata svih sprovedenih istraživanja i ispitivanja, definisan je inženjerskogeološki model terena za koji su usvojeni prognozni merodavni parametri neophodni za geostatičke proračune i dati su tabelarno:

Tabela 1. Usvojeni prognozni merodavni parametri za geostatičke proračune

Jedinica	Zapreminska težina γ (kN/m ³)	Ugao unutrašnjeg trenja ϕ' (°)	Kohezija C' (kN/m ²)	Modul stišljivosti $M_{s100-200}$ (MN/m ²)	Modul stišljivosti $M_{s200-400}$ (MN/m ²)
dl ^{glpr,p}	19	15-20 (14-18)*	5-15 (0-2)*	5.5	6.5
Lg,P	18-19	16-18	15-20	7.0-8.0	9.0-10
L,Lg,P*	19-20	17-18	20-25	8.0-10.0	10.0-12.0
L,Lg,p	19-21	18-20	25-35 $c_u=200-300$	10.0-20.0	20.0-35.0

Izvor: Elaborat o geotehničkim uslovima izgradnje mosta M15 (Autoput E-763, deonica Preljina – Požega, poddeonica 4); Projektant: Saobraćajni institut CIP d.o.o.

Napomena: Pretpostavlja se da je nivo podzemne vode u zoni kontakta deluvijuma i laporovite gline.

Deluvijalni sedimenti (dl^{glpr,p}) konstantovani su na površini terena. Debljine su 0.50-2.20m kod levog mosta, odnosno 0.5-6.5m u zoni desnog mosta. Predstavljani su glinovito-peskovitim prašinom, nisko plastičnom, meke konsistencije, lepljivom, sa dosta sekundarnih istaloženja hidroksida gvožđa, smeđe boje, slabo nosivom i veoma deformabilnom, sklonom klizanju (Novaković, 2022).

Laporovita glina (Lg,P) je veoma promenljive debljine, i to od 2.0 do 6.0 m. Glina je prašinasto – peskovita, nisko do visoko plastična, polutvrde konsistencije, malo šljunkovita, slabo nosiva, stišljiva, prslinsko – pukotinski izdijeljena u monolite centimetarskih dimenzija (Novaković, 2022).

Lapori, laporovite gline i peskovi (L,Lg,P) – kao podina deluvijumu i/ili laporovitoj glini, konstantovan je laporoviti kompleks. Neposredno ispod deluvijalnih sedimenata i laporovite gline lokalno je konstantovana **izmenjena oksidaciona zona laporovitog kompleksa (L,Lg,P*)**. Kompleks je u ovoj zoni fizičko-hemijski izmenjen, više ispucao i debljine 2.2 – 5.8m. Unutar laporovitog kompleksa javljaju se lapori i smenjuju se sa laporovitim glinama i prosljocima peska (Novaković, 2022).

Na nivou Građevinskog Projekta usvojeno je fundiranje mosta na šipovima prečnika $D=1.20\text{m}$ i dužine $L=20.0\text{m}$ i $L=22.0\text{m}$. Za usvojeni model terena urađeni su i tabelarno prikazani proračuni dozvoljene nosivosti pojedinačnog šipa (Q_a) i prognoznog sleganja grupe šipova (s_g) za zadato stalno opterećenje (Q). (Novaković, 2022).

Tabela 2. Rezultati proračuna nosivosti pojedinačnog i sleganja grupe šipova za stubove S1 i S11

Stubno mesto	L (m)	D(m)	Broj šipova u grupi	Q_a (kN)	Q_{max} (kN)	Q (kN)	S_g (cm)
S1L	20	1.20	8	4361	3135	2568	1.5*
S11L	20	1.20	8	4196	2820	2413	1.0*
S1D	20	1.20	8	4393	2820	2413	1.2*
S11D	20	1.20	8	4313	2820	2413	1.4*

Izvor: Elaborat o geotehničkim uslovima izgradnje mosta M15 (Autoput E-763, deonica Preljina – Požega, poddeonica 4); Projektant: Saobraćajni institut CIP d.o.o.

Mostovska konstrukcija će biti oslonjena na 11 stubova. Svi stubovi će prenositi opterećenje konstrukcije na tlo preko baterije (grupe) šipova. Prvi i poslednji stub (S1L i S11L) će biti oslonjeni na 8 šipova dužine od po 20m i prečnika 1.20 m. Svi ostali „unutrašnji“ stubovi će biti oslonjeni na po 4 šipa dužine 20m i/ili 22m takođe prečnika 1.20 m (Novaković, 2022).

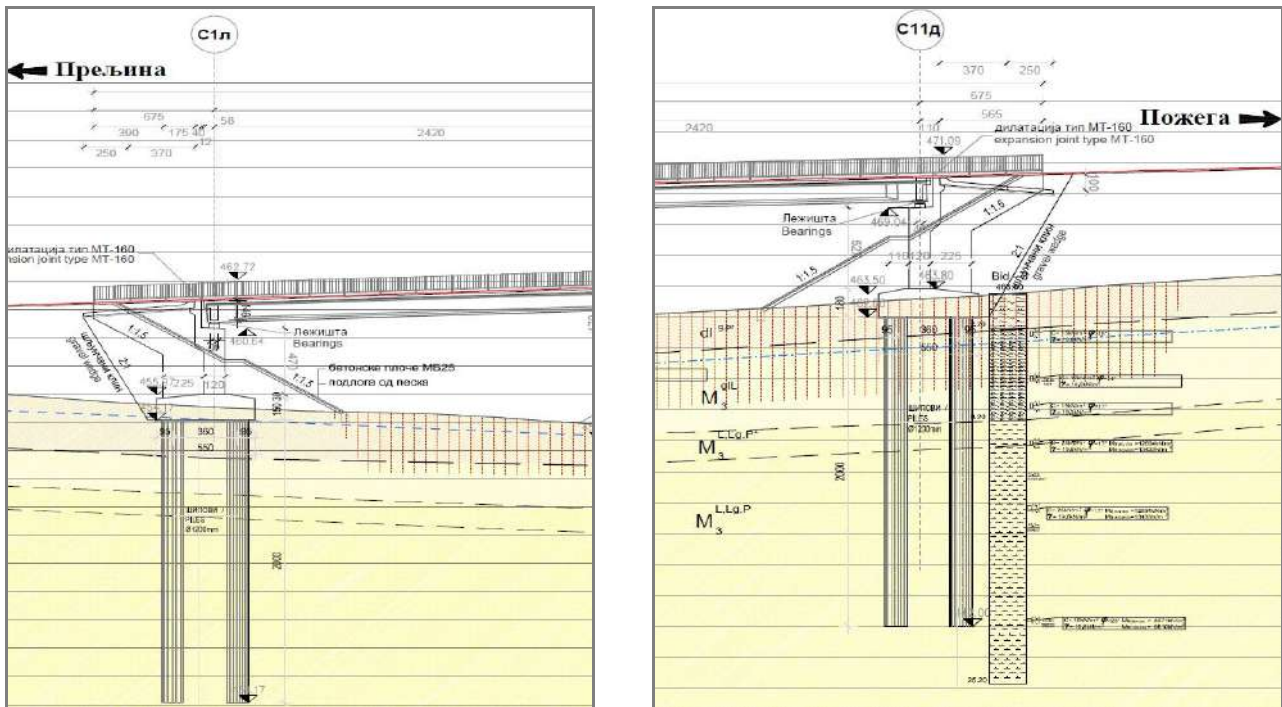
Projektovana visina nasipa na početku mostova u zoni obalnih stubova S1 iznosi oko 7.0 m, za koji je urađen proračun prognoznog sleganja tla ispod nasipa. Sračunato je prognozno sleganja tla od oko 19 cm, pri čemu će za 90 % konsolidacije prognozno biti potrebno oko 14 – 15 meseci (Novaković, 2022).

Projektovana visina nasipa na krajevima mostova u zoni obalnih stubova S11 iznosi 8.0 m, za koji je urađen proračun prognoznog sleganja tla ispod nasipa. Sračunato je prognozno sleganje tla od oko 22-23 cm, pri čemu će za 90% konsolidacije prognozno biti neophodno oko 18-19 meseci (Novaković, 2022).

Prognozno sleganje tla ispod nasipa (u zoni stubova S11) u blizini objekta je značajno veće od sračunatog prognoznog sleganja samog objekta koji je duboko fundiran na šipovima. Na osnovu rezultata proračuna, zaključuje se da je vreme potrebno da se završi veći deo konsolidacionog sleganja duže od pretpostavljenog perioda gradnje autoputa (godinu dana). Kako bi se analizirala mogućnost ubrzanja konsolidacionog sleganja predopterećenjem tla ispod nasipa, urađeni su proračuni prognoznog konsolidacionog sleganja tla ispod nasipa sa nadvišenjem od 2m (Novaković, 2022).

Za nasip (na početku mosta, u zoni stubova S1) ukupne visine 9 m, potrebno je oko 7 meseci kako bi se obavila prognozna konsolidaciona sleganja od 19cm (Slika 7) (Novaković, 2022).

Za nasip (na kraju mosta, u zoni stubova S11) ukupne visine 10 m, potrebno je oko 10-11 meseci kako bi se obavila prognozna konsolidaciona sleganja od 23 cm (Slika 7) (Novaković, 2022).



Slika 7. Podužni inženjerskogeološki preseци koji odgovaraju stubnim mestima S1 i S11 (Novaković, 2022)

Dinamika gradnje je uslovila da se pre izrade nasipa trase autoputa u zoni mosta M15 izgradi prvo mostovska konstrukcija (šipovi i obalni stubovi). Ovaj način i hronologija izvođenja će usloviti velika sleganja tla u zoni obalnih stubova mosta M15 nakon ugradnje šipova a potom i nakon izgradnje stubova i nasipanja. Kako ne bi došlo da neželjenih deformacija objekta, potrebno je prvo izvesti nasip trase sa nadvišenjem a tek nakon završetka većeg dela prognoznog konsolidacionog sleganja tla ispod nasipa započeti izgradnju obalnih stubova objekta. Time bi se umanjila diferencijalna sleganja objekta i samog trupa autoputa tokom gradnje. Ova diferencijalna sleganja mogu dovesti i do povećanja sleganja samog objekta u zoni obalnih stubova S1 i S11 kao rezultat pojave negativnog trenja po omotaču koje se javlja pri većim sleganjima tla oko šipova (ispod visokih nasipa usled sleganja samih šipova). Da bi se analizirao uticaj sleganja tla ispod nasipa na šipove obalnih stubova mosta S1 i S11, urađeni su proračuni za određivanje sile negativnog bočnog trenja koja će umanjiti nosivost šipova (Novaković, 2022).

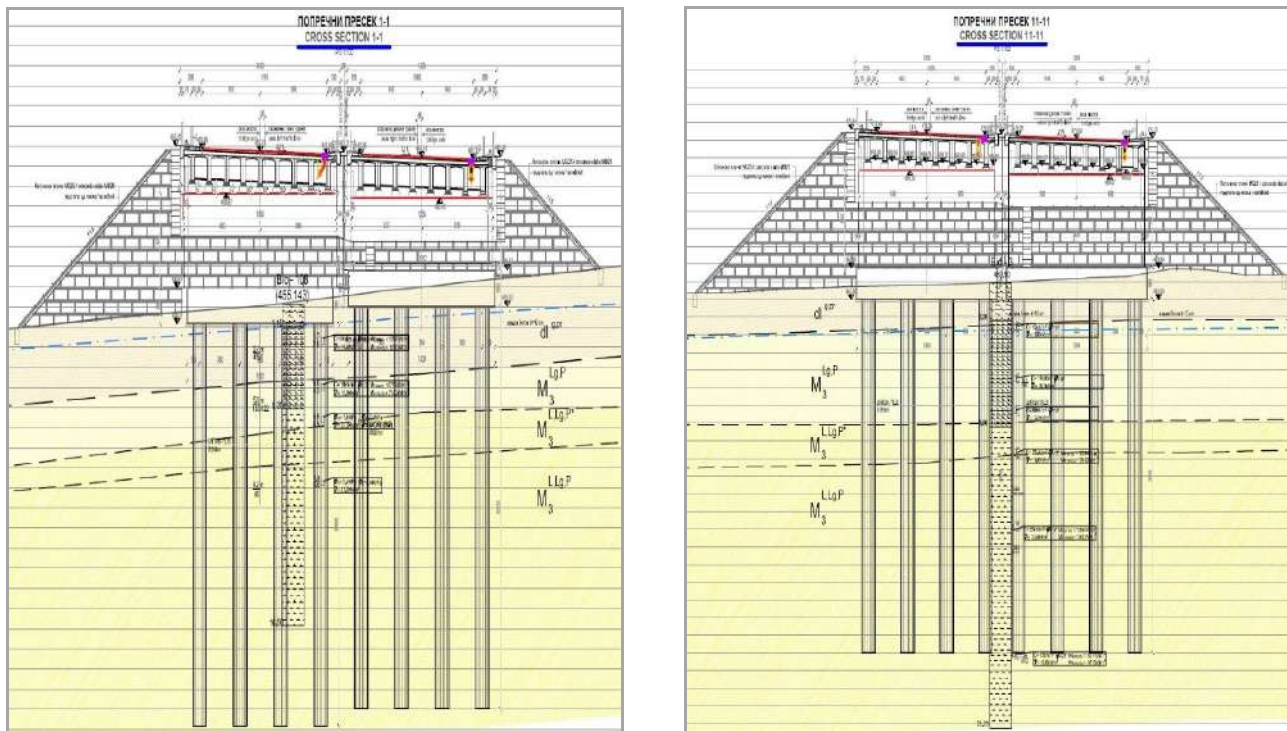
Sila negativnog bočnog trenja predstavlja graničnu vrednost trenja po omotaču šipa u okviru sredina u kojima se javlja. Ova sila ima dvostruko negativno dejstvo time što deluje kao dodatno opterećenje na šip, a pored toga umanjuje nosivost po omotaču šipa na delu gde se javlja. Veći deo šipa nalazi se u okviru neizmenjenog laporovitiog kompleksa (L,L_{g,p}) koji se može smatrati slabo stišljivom sredinom u kojoj će sleganje usled nasipanja biti zanemarljivo malo. Može se pretpostaviti da je malo verovatno da u laporovitom kompleksu dođe do pojave negativnog bočnog trenja. Na osnovu toga, u proračunima je usvojeno da sila negativnog bočnog trenja deluje samo u deluvijalnim naslagama (d^{gl,pr,d}), laporovitim glinama (L_g,P) i u okviru zone površinske izmene laporovitog kompleksa (L,L_g,P*). Na bazi usvojenih pretpostavki i vrednosti parametara fizičko – mehaničkih karakteristika izdvojenih sredina, za tehničke karakteristike šipa određena je sila negativnog bočnog trenja Q_{sn} (po istom principu po kom se određuje i sila pozitivnog trenja duž omotača šipa) i njom je umanjena granična nosivost omotača pojedinačnog šipa, a rezultati su prikazani u tabeli 3 (Novaković, 2022).

Tabela 3. Usvojene vrednosti negativnog trenja i granične nosivosti za stubna mesta S1 i S11

Stubno mesto	Šip		Sila negativnog trenja Q_{sn} (kN)	Granična nosivost		
	L (m)	R (m)		Omotač Q_{sp} (kN)	Baza Q_b (kN)	Ukupno Q_u (kN)
S1 L	20.0	1.20	789	4190	5620	9810
S11 D	20.0	1.20	1036	3713	5513	9226

Izvor: Elaborat o geotehničkim uslovima izgradnje mosta M15 (Autoput E-763, deonica Preljina – Požega, poddeonica 4); Projektant: Saobraćajni institut CIP d.o.o.

Sračunata umanjena granična nosivost pojedinačnog šipa mora biti veća od zbira opterećenja od objekta i sile negativnog trenja. Važno je i napomenuti da kod definisanja nosivosti šipova koji su pod dejstvom sile negativnog bočnog trenja ne treba uzimati u obzir povremena opterećenja jer ona deluju kratkotrajno i ne uzrokuju sleganja (Novaković, 2022).



Slika 8. Poprečni inženjerskogeološki preseki koji odgovaraju stubnim mestima S1 i S11 (Novaković, 2022)

Dejstvo negativnog bočnog trenja osim što smanjuje nosivost šipa, takođe uzrokuje povećano sleganje šipova obalnih stubova. Da bi se analizirao uticaj uvećanog sleganja obalnog stuba na konstrukciju mosta, urađeni su proračuni prognozno sleganja obalnih stubova S1 i S11, za različite faze nanošenja opterećenja tokom gradnje (Tabela 4):

- **Faza 1:** izveden obalni stub bez gornjeg stroja (Q')
- **Faza 2:** izveden obalni stub bez gornjeg stroja i nasip uz obalni stub, usled čega dolazi do pojave negativnog bočnog trenja ($Q' + Q_{sn}$)
- **Faza 3:** izveden obalni stub sa gornjim strojem i nasip oko obalnog stuba, uz dejstvo sile negativnog bočnog trenja ($Q + Q_{sn}$) (Novaković, 2022).

Tabela 4. Vrednosti opterećenja i prognozno sleganja grupe šipova prikazane po fazama

Stub	L (m)	D (m)	Br. šipova	Faza gradnje	Opterećenje pojedinačnog šipa			Opterećenje grupe šipova	S_g (cm)
					Q_{sn} (kN)	Q' (kN)	Q (kN)	Q_g (kN)	
S1L	20	1.20	8	1	-	2238	-	17 905	1.1
				2	789	2238	-	24 215	2.0
				3	789	-	2645	27 475	2.4
S11D	20	1.20	8	1	-	2125	-	17 000	1.0
				2	1036	2125	2505	25 290	2.1
				3	1036	2125	2505	28 330	2.3

Izvor: Elaborat o geotehničkim uslovima izgradnje mosta M15 (Autoput E-763, deonica Preljina – Požega, poddeonica 4); Projektant: Saobraćajni institut CIP d.o.o.

Iz sprovedenih analiza prognozno sleganja obalnih stubova tokom gradnje, može se zaključiti da su očekivana sleganja nakon postavljanja gornjeg stroja tj. povezivanja obalnih i srednjih stubova mosta veoma mala (2 – 4 mm) (Novaković, 2022).

Tabela 5. Sumarni prikaz rezultata dobijenih bez i sa razmatranjem uticaja sile negativnog trenja

Konstrukcija	Stubno mesto	Vrsta proračuna	Ukupno opterećenje (kN)	Sleganje(cm)	Korelacija
LEVI MOST	S1L	Sa negativnim trenjem	27475	2.4	60%
	S1L	Bez negativnog trenja	21160	1.5	
DESNI MOST	S11D	Sa negativnim trenjem	28330	2.3	64%
	S11D	Bez negativnog trenja	20040	1.4	

4. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Kao što je već pomenuto, fenomen negativnog bočnog trenja duž omotača šipa u domaćoj literaturi se izuzetno retko pominje, a još ređe razmatra u geotehničkoj praksi pri projektovanju šipova. Iz tog razloga je poželjno baviti se ovom tematikom u cilju što boljeg razumevanja ovog ne tako retkog fenomena.

Negativno bočno trenje se najčešće javlja u gornjem delu šipa kao posledica većeg pomeranja tla u odnosu na sam šip. S druge strane, pozitivno trenje se javlja u donjem delu šipa gde je pomeranje samog šipa veće od pomeranja tla. Dakle, negativno trenje povećava opterećenje a smanjuje nosivost šipa. Međutim, mnogi autori navode da je primarna problematika pri analizi negativnog bočnog trenja šipova pre svega sleganje, a potom i nosivost. U ovom radu akcenat je stavljen upravo na primarni problem - sleganje grupe šipova.

Ukoliko se pažljivo pogledaju rezultati prognoznog sleganja prikazanih u tabelama 2 i 4, postaće jasno da su vrednosti sleganja grupe šipova, u kojima nije razmatrano prisustvo i dejstvo sile negativnog trenja, znatno manje od vrednosti sleganja dobijenih uključivanjem negativnog trenja u proračun. Proračuni granične i dozvoljene nosivosti pojedinačnih šipova urađeni su prema Pravilniku o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata, s tim da otpori onih delova omotača koji su zahvaćeni dejstvom negativnog trenja nisu ulazili u zbirnu vrednost otpora po omotaču (zbirna vrednost je obuhvatila samo one delove otpora omotača šipa koji je zahvaćen pozitivnim trenjem). Iz ovog razloga, dozvoljena nosivost pojedinačnih šipova je smanjena, a vrednost „negativnog otpora“ po omotaču šipa je dodata već postojećem opterećenju. Stoga se u tabeli 5 može videti da je u proračunima koji razmatraju dejstvo negativnog trenja, aksijalno opterećenje na šipove veće, što rezultira i povećanjem prognoznog sleganja grupe šipova. Važno je napomenuti da je za potrebe izračunavanja vrednosti sile negativnog trenja, neutralna linija pozicionirana na kontaktu izmenjene oksidacione zone laporovitog kompleksa lošijih fizičko – mehaničkih karakteristika (L, Lg, P*) i svežeg laporovitog kompleksa boljih fizičko-mehaničkih karakteristika (L,Lg, P) koji je posmatran kao nestišljivi sloj.

U tabeli 4 koja obuhvata rezultate dobijene isključivo razmatranjem uticaja sile negativnog trenja, može se videti kako se po fazama izvođenja povećava sleganje grupe šipova. U prvoj fazi se obavlja veliki deo sleganja izvođenjem obalnih stubova. Nakon što se na površinu doda nasip, sleganje se skoro dvostruko povećava. U završnoj fazi pri postavljanju gornjeg stroja dolazi do ponovnog sleganja s tim da je vrednost u ovoj fazi znatno manja u odnosu na vrednosti sleganja u prve dve faze.

Međutim, uporednom analizom krajnjih vrednosti prognoznog sleganja grupe šipova (tabela 5) sa razmatranjem uticaja sile negativnog trenja i bez njega, dolazi se do zanimljivog zaključka koji nesumnjivo potvrđuje značaj uticaja negativnog trenja. U slučaju stubnog mesta S1 levog mosta, integrisanjem sile negativnog trenja u proračun sleganja, dobijena je **vrednost prognoznog sleganja grupe šipova za 60% veća** od one vrednosti u kojoj nije razmatran uticaj negativnog trenja. U slučaju stubnog mesta S11 desnog mosta, uključivanjem sile negativnog trenja u proračun sleganja dobijena je **vrednost prognoznog sleganja grupe šipova za 64% veća** od one vrednosti u čijem proračunu nije razmatrano negativno trenje. S obzirom da su prvobitna ukupna prognozna sleganja bila relativno mala, implementacijom sile negativnog trenja u proračun i dobijanjem za 60 do 64% većih vrednosti sleganja, objekat odnosno mostovska konstrukcija u budućnosti pri izvođenju i tokom veka eksploatacije u pogledu sleganja ne bi bila ugrožena. Međutim, da su prvobitna sleganja bila veća od 2.5 cm, ovom analogijom bi se uključivanjem sile negativnog trenja u proračun dobila ukupna sleganja veća od 4 cm, te bi uticaj sleganja na objekat bio upitan.

Literatura

- [1] Basile F. 2020. *Pile groups with negative skinfriction*. The **DFI-EFFC** International Conference on Deep Foundations and Ground Improvement (from June 5 to June 8) in Rome at the Sapienza University
- [2] Bjerrum L., Johannessen I.J., Eide O. 1969. *Reduction of negative skin friction on steel piles to rock*. 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City (from August 25 to August 29) Vol. 2, pp. 27-34
- [3] Bozozuk M. 1972. *Downdrag measurements on a 160-ft floating pipe test pile in marine clay*. Canadian Geotechnical Journal, May, Vol. 9, No. 2, pp. 127-136
- [4] Bozozuk M., Keenan G.H., Pheeney P.E. 1979. *Analysis of load tests on instrumented steel test piles in compressible silty soil*. ASTM (American Society for Testing and Materials) Symposium on the Behavior of Deep Foundations, Boston, ASTM Special Technical Publication 670, pp. 153-180
- [5] Bowles J. 1997. *Foundation Analysis and Design – fifth edition*. Mc Graw – Hill Book Companies, Singapore
- [6] Dey A., Koch M. 2017. *Numerical Study of the Effect of Pile Driving on the Position of a Neutral Plane*. Geotechnical Frontiers 2017 GSP 279: 101-111. DOI: 10.1061/9780784480465.011.
- [7] Fellenius B.H. 2020. *Basic of Foundation Design*. www.Fellenius.net. Electronic Edition, , 527 p., 2375 Rothesay Avenue Sidney, British Columbia Canada, V8L 2B9
- [8] Fellenius B. H. 1972. *Downdrag on piles in clay due to negative skin friction*. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 9, No.4, pp. 323-337
- [9] FHWA. 2006. *Soils and Foundations – volume II*. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Publication No. FHWA NHI-06-089
- [10] Ma L., Wang Y. 2017. *Calculation and analysis of negative skin of monopile applied for offshore wind turbine*. Marine Georesources & Geotechnology, 35:2, 275-280. DOI: 10.1080/1064119X.2016.1157112
- [11] Matyas E., Santamarina J. 2011. *Negative skin friction and the neutral plane*. Canadian Geotechnical Journal 31(4):591-597. DOI: 10.1139/t94-069.
- [12] Novaković T. 2022. *EL1-2; Elaborat o rezultatima geotehničkih istraživanja i ispitivanja terena – objekti; Geotehnički uslovi izgradnje mosta M15*. Objekat: Autoput E-763, deonica Preljina-Požega, km 117+477.02 do km 147+675.00, poddeonica 4. Projekat za Građevinsku dozvolu PGD, Saobraćajni institut CIP d.o.o. Nemanjina 6/IV, Beograd
- [13] Obradović R., Najdanović N. 1999. *Mehanika tla u inženjerskoj praksi*. Rudarski institut, Beograd, Zemun, Batajnički put br. 2
- [14] Rakić D. 1997. *Geotehnički činioci i njihov uticaj na nosivost i sleganje vertikalno opterećenih šipova*. (magistarska teza) Rudarsko – geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu
- [15] Van L., Keawsawasvong S., Hai D. et al. 2022. *Performance analysis of pile under negative skin friction by load - transfer method*. The Second International Conference on Sustainable Civil Engineering and Architecture 2021: 72-78. ISBN: 978-604-73-8455-6
- [16] Vesić A. S. 1977. *Design of Pile Foundations*. Nacional Cooperative Highway Research Program (NCHRP), Synthesis of Highway Practice No. 42, Transportation Research Board, Washington, D.C., 68 pp.

ULOGA I ZNAČAJ IZGRADNJE AUTOPUTA E-761 POJATE - PRELJINA

Aleksandra Lalić, dipl. inž. građ.¹

R

Aleksandra Savić, dipl. inž. građ.²

Miodrag Radeka, dipl. inž. građ.²

† Saobraćajni institut CIP, aleksandra.lalic@sicip.co.rs

‡ Saobraćajni institut CIP

a

Rezime: Predmet ovog rada je da ukaže na značaj, cilj i potrebu izgradnje autoputa E-761 Pojate - Preljina koji je dužine 112.32 km. Projektovana trasa povezuje Rasinski, Raški i Moravički okrug sa autoputem E-75 - državni put IA-A1 (koridor X) i autoputem E-763 - državni put IA-A2, Beograd - Južni Jadran. Ona najvećim delom prolazi dolinom Zapadne Morave, kroz opštine Čičevac, Varvarin, Kruševac, Trsenik, Vrnjačka Banja, Kraljevo i Čačak i obuhvata teritoriju 84 katastarske opštine. Cilj rada je da pruži osnovne informacije o trasi, njenim karakteristikama i značaju u mreži državnih puteva Srbije. U radu je dat osvrt na ograničenja koja su uslovila položaj trase.

R

ključne reči: Autoput E-761, Pojate - Preljina

j

a

ROLE AND IMPORTANCE OF THE CONSTRUCTION OF THE E-761 POJATE - PRELJINA HIGHWAY

Aleksandra Lalić, Grad.Civ.Eng.¹

R

Aleksandra Savić, Grad.Civ.Eng.¹

Miodrag Radeka, Grad.Civ.Eng.¹

† Institute of Transportation CIP

C

Abstract: The subject matter of this paper is to indicate the importance, objective and need for construction of the 112.32 km long motorway E-761 Pojate-Preljina. The designed route connects the Rasina, Raška and Moravica Districts to the motorway E-75 – state road IA-A1 (corridor X) and motorway E-763 – state road IA-A2, Belgrade-South Adriatic. Most of it passes across the Zapadna Morava valley, through the municipalities of Čičevac, Varvarin, Kruševac, Trsenik, Vrnjačka Banja, Kraljevo and Čačak, and it covers the territory of 84 cadastral municipalities. The objective of this paper is to provide fundamental information on the route, its characteristics and significance in the state road network of Serbia. The paper provides a review of constraints which have imposed the position of the route.

R

Keywords: Motorway E-761, Pojate - Preljina.

j

1. UVOD

G

Dužina autoputa od Pojata do Preljine je 112.32 km. On prolazi najvećim delom dolinom Zapadne Morave i povezuje sva veća naselja u regionu: Stalac, Kruševac, Trstenik, Vrnjačku Banju, Kraljevo i Čačak. Autoput je projektovan za brzinu od 130 km/h.

Od dokumentacije do sada su urađeni: Generalni projekat autoputa E-761, Pojata - Kraljevo - Preljina sa Prethodnom studijom opravdanosti (Institut za puteve 2009. godina), Idejni projekat autoputa E-761, deonica Pojata - Kruševac (Koševi) od km 0-229.75 do km 27+600.00 (CIP 2019. godina), Idejni projekat za izgradnju Državnog puta A5 (Autoput E-761): Pojata – Preljina, deonica: Adrani - Preljina, km 79+000 do km 109+663.80, (Institut za puteve 2019. godina), Idejni projekti hidrotehničkog uređenja Zapadne Morave od Pojata do Preljine (Institut za vodoprivredu Jaroslav Černi, 2018., 2019. i 2020. godina) i Prostorni plan područja posebne namene infrastrukturnog koridora autoputa E-761, deonica Pojata - Preljina („Službeni glasnik RS“, broj 10/20).

Trenutno je u toku izrada PGD-a za deonicu od Pojata do Kruševca.

2. POLOŽAJ KORIDORA AUTOPUTA I NJEGOV REGIONALNI ZNAČAJ

Širi značaj autoputa Pojata - Preljina IA-A5 se ogleda u povezivanju šireg uticajnog područja tj. Republike Turske, Republike Bugarske, Republike Srbije, Bosne i Hercegovine i Republike Hrvatske, kao i Koridora X

(Salzburg - Zagreb - Beograd - Niš - Skoplje - Solun) sa koridorom E-763 Beograd – Južni Jadran, tj. Jadranskim priobaljem i lukom Bar, kao značajnim robno-transportnim centrom.

U okviru Trans – Evropske putne mreže odnosno mreže međunarodnih puteva, koridor putnog pravca Pojate - Preljina pojavljuje se kao vezni put E-761 sekundarnog značaja, čijom će se realizacijom omogućiti bolji kvalitet usluge prevoza putnika i roba.



Slika 1. Prostorni razmeštaj Pan-evropskih koridora (PPPPN infrastrukturnog koridora autoputa E-761)

Posmatrajući mrežu državnih puteva u Republici Srbiji, uočava se da pravcem sever-jug prolaze dva puta međunarodnog značaja koji spadaju u kategoriju državnih puteva IA reda i to:

1. državni put IA reda A1 (međunarodna oznaka putnog pravca E-75, deo koridora X): državna granica Mađarske (granični prelaz Horgoš) – Novi Sad – Beograd – Niš – Vranje – državna granica sa Republikom Severnom Makedonijom (granični prelaz Preševo),
2. državni put IA reda A2 (međunarodna oznaka putnog pravca E-763, deo Rute 4 SEETO): Beograd – Obrenovac – Lajkovac – Ljig – Gornji Milanovac – Preljina – Čačak – Požega.

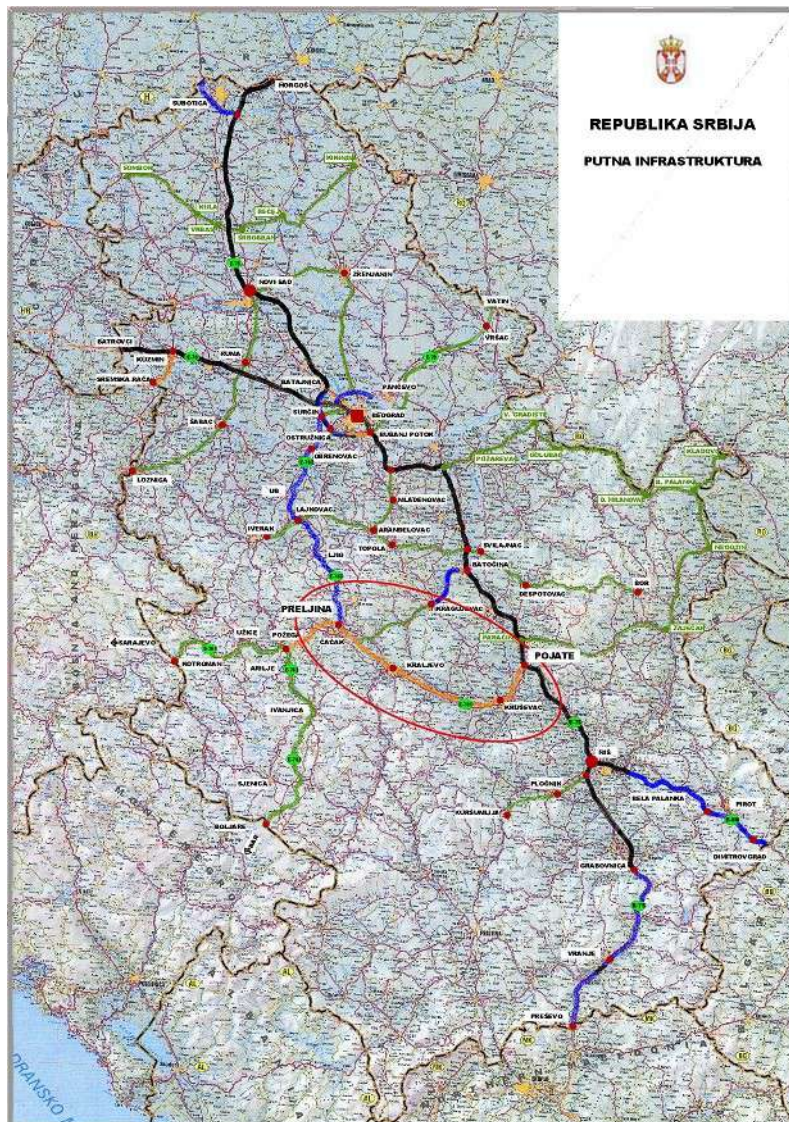
Državni put IA-A1 (E-75) prolazi istočnim, dok državni put IA-A2 (E-763) prolazi zapadnim delom Republike Srbije. Izgradnjom autoputa E-761 od Pojata do Preljine će se uspostaviti poprečna veza područja na istoku i zapadu zemlje. Stoga, na nivou Srbije, autoput Pojate - Preljina ima višestruko značajnu ulogu. On prolazi kroz 84 katastarske opštine koje pripadaju Rasinskom (Ćičevac, Varvarin, Kruševac i Trstenik), Moravičkom (Čačak) i Raškom (Kraljevo, Vrnjačka Banja) upravnom okrugu.

Autoput E-761 polazi od denivelisane raskrsnice Pojata gde se autoput E-761 priključuje na autoput E-75. Na ovaj način se, posredno, na severu ostvaruje veza sa Mađarskom, Slovačkom i Poljskom a preko Beograda i državnog puta IA reda A3 sa Hrvatskom i zemljama centralne i zapadne Evrope. Na jugu ostvaruje se veza sa

Republikom Severnom Makedonijom i Grčkom (luka Solun) a preko Niša i državnog puta IA reda A4 sa Bugarskom i zemljama Bliskog Istoka i Azije.

Trasa se završava u čvoru Preljina gde se vezuje na autoput E-763 Beograd - Južni Jadran koji je još u fazi izgradnje. Po završetku radova na autoputu E-763 će se uspostaviti najkraća veza područja kroz koji prolazi autoput E-761 sa zapadnom Srbijom, Crnom Gorom a preko luke Bar i sa južnom Italijom i pomorskim lukama Jadrana i Sredozemlja.

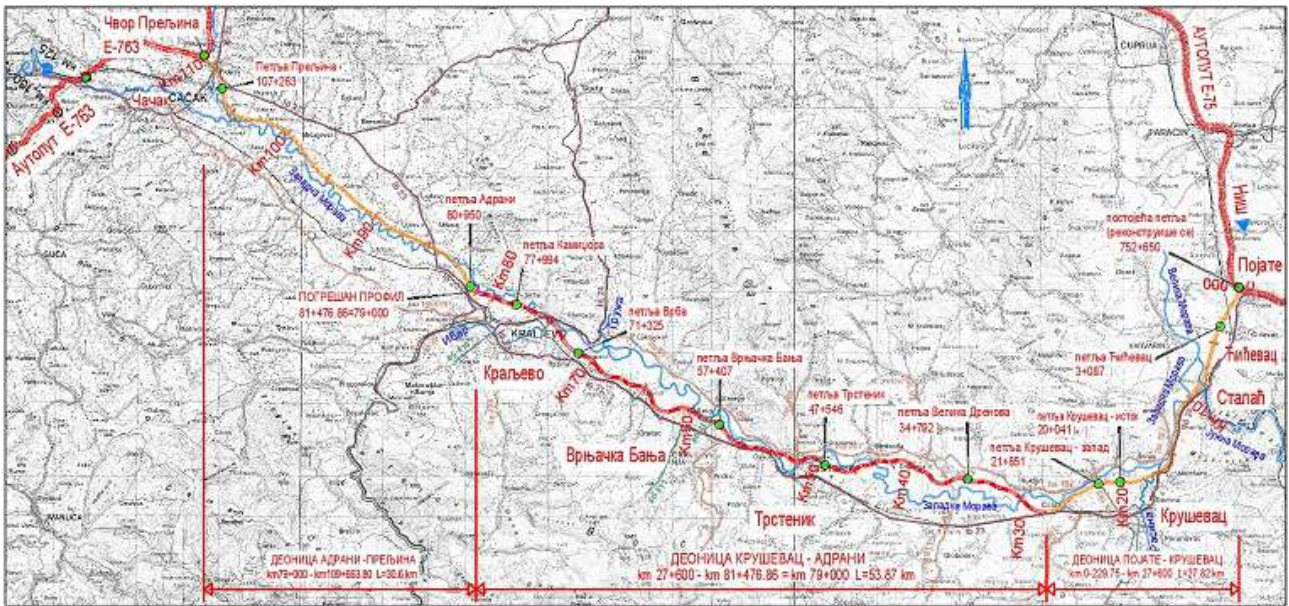
U toku je izrada projektne i planske dokumentacije deonice autoputa E-761 od Požege do Kotromana na granici sa BIH. Realizacijom ovog projekta i dalje vezom do Sarajeva bi se uspostavila veza i sa Koridorom Vc.



Slika 2. Putna infrastruktura u Republici Srbiji

Regionalni značaj saobraćajnice ogleda se i u obezbeđivanju efikasnijeg, ekonomičnijeg i bezbednijeg transporta putnika i roba iz pravca istočne i južne Srbije kao i Republike Severne Makedonije i Grčke (luka Solun) prema zapadnoj Srbiji, centralnoj Bosni i crnogorskom primorju.

Trasa autoputa povezuje mesta na teritoriji opštine Čičevac, opštine Varvarin, Grada Kruševca, opštine Trstenik, opštine Vrnjačka Banja, Grada Kraljeva i Grada Čačka. Realizacija autoputa na teritoriji ovih opština imaće značajne uticaje na bliže i dalje okruženje po pitanju režima korišćenja prostora, demografskih kretanja i uticaja na privredni razvoj.



**Slika 3. Pregledna karta autoputa E-761 Pojate - Preljina
(IDP autoputa E-761 deonica Kruševac - Adrani)**

Primarna funkcija predmetnog puta je obezbeđivanje saobraćajnice najvišeg ranga koja će zadovoljiti potrebe saobraćaja u budućem periodu, dok se sekundarna funkcija ogleda u podsticaju razvoja područja kroz koji autoput prolazi kao i regiona koji njemu gravitiraju, uz ostvarivanje maksimalnih komercijalnih efekata u direktnom okruženju autoputa. Sistem putne mreže Srbije izgradnjom autoputa Pojate – Preljina pruža znatno bolju uslugu tokovima ljudi i robe koji se trenutno odvijaju mrežom državnih puteva I i II reda.

U regionalnom smislu, stvoriće se uslovi za razvoj turizma usled postojanja prirodnih (Specijalni rezervat prirode „Osredak”) i kulturnih vrednosti (manastiri, crkve, arheološka nalazišta). Izvesno je za očekivati i dalji razvoj banjskog turizma usled postojanja termalnih i termomineralnih voda (Vrnjačka i Mataruška banja su svrstane u banje koje će perspektivno imati međunarodni značaj, a Gornja Trepča i Bogutovačka banja – nacionalni značaj), kao i planinskog turizma (Jastrbac, Kopaonik).

Izgradnjom ovakve saobraćajnice će se povećati kvalitet i bezbednost saobraćaja, poboljšaće se regionalna i lokalna pristupačnosti područja kao i regionalne veze. Obzirom na prirodne resurse, geografski položaj i druge karakteristike područja, povezivanjem sa pomenutim evropskim koridorima, poboljšaće se saobraćajni položaj područja i ostvariti kvalitetnije veze sa evropskim saobraćajnim pravcima, što će uticati na razvoj industrije, turizma i drugih privrednih grana čime se stvara realna mogućnost za njihovo uključivanje u svetsko tržište.

3. OPŠTE KARAKTERISTIKE TRASE

Trasa je izrazito ravničarskog karaktera jer od petlje Pojate do mosta preko Južne Morave prolazi dolinom Velike i Južne Morave (prvih 9 km), a od mosta preko Južne Morave do Preljine dolinom Zapadne Morave. Od Pojata do mosta preko Južne Morave, trasa autoputa je u području branjenom od poplava Velike Morave, dok se od mosta na Južnoj Moravi do kraja trase autoput nalazi u području gde su odbrambeni nasipi izgrađeni sporadično i to u zoni Kruševca, Trstenika i Kraljeva. Prilikom povlačenja trase, namera projekatnata je bila da smanje međusobni uticaj Zapadne Morave i autoputa na najmanju moguću meru uz poštovanje svih ostalih ograničenja. Težilo se, da što je moguće više, trasa bude vođena obodom plavne zone, da se gde je to moguće "popne" na viši deo terena kao i da se uvede u područja koja su od izlivanja branjena odbrambenim nasipima.

Projektom je predviđena izgradnja:

- 135 objekata (78 mostova, 24 nadvožnjaka, 12 podvožnjaka i 21 pločast propust),
- 10 denivelisanih raskrsnica,
- 2 baze za održavanje,
- 3 parkirišta,
- 3 odmorista,
- regulacija Zapadne Morave na kritičnim lokacijama kao i regulacija određenog broja pritoka,

- devijacija puteva sa izgradnjom denivelisanih ukrštaja (podvožnjaci i nadvožnjaci) čime je uspostavljena veza saobraćajnica koje se nalaze sa različitih strana autoputa a koja je njegovom izgradnjom prekinuta,
- prateće infrastrukture u zoni autoputa.

3.1. Geološke karakteristike terena

Ravničarske delove terena duž rečne doline Zapadne Morave izgrađuje kompleks aluvijalnih sedimenata, u kome preovlađuju različito složeni i neravnomerno granulirani šljunkovito-peskoviti sedimenti. Mestimično u njima ima nagomilavanja glinovitih materijala, ređe muljeva. Površinske delove aluvijalnih sedimenata po pravilu čine prašinsto-peskoviti, ređe zaglijljeni sedimenti facije povodnja male debljine. U dubljim delovima obično preovlađuju šljunkovi i šljunkoviti peskovi facije korita, u površinskim krupnozrni do prašinsti peskovi. Aluvijalne šljunkovito-peskovite naslage se odlikuju potpunom rastresitošću peskova i šljunkova i velikim variranjem fizičkih osobina u zavisnosti od granulometrijskog sastava, oblika, veličine i složenosti zrna.

Eksploatacija peska i šljunka iz korita i priobalja je prisutna na celoj dužini reke. Međutim, najveći obim eksploatacije materijala se odnosi na priobalje vodotoka, dok je znatno manji obim bagerovanja u rečnom koritu.

3.2. Granični elementi plana i profila

Granični elementi podrazumevaju proračun minimalnih i maksimalnih vrednosti u funkciji računске brzine od $V_r = 130 \text{ km/h}$.

Situacioni plan:

- | | |
|--|------------------|
| • maksimalna dužina pravca | max L = 2 400 m |
| • minimalni radijus horizontalne krivine | min R = 800 m |
| • maksimalni radijus horizontalne krivine sa ipk | min R' = 5 000 m |
| • minimalna dužina prelazne krivine | min L = 115 m |

Podužni profil:

- | | |
|---|-------------------------------|
| • maksimalni podužni nagib | max $i_n = 4\%$ |
| • maksimalni nagib rampe vitoperenja | max $i_{r_v} = 0,90$ |
| • minimalni radijus konkavnog zaobljenja | min $R_v = 11\ 250 \text{ m}$ |
| • minimalni radijus konveksnog zaobljenja | min $R_v = 22\ 500 \text{ m}$ |

3.3. Opis trase u situacionom i nivelacionom planu

Trasa autoputa počinje kod petlje Pojate, na mestu postojećeg nadvožnjaka koji je predviđen za rekonstrukciju, zbog širenja kraka postojeće petlje u pun profil novoprojektovanog autoputa. Petlja "Pojate" takođe se rekonstruiše, a postojeća naplatna rampa na izlasku sa autoputa E-75, isključenje ka Čičevcu i Kruševcu, se ukida. Trasa dalje ide jugozapadno i prelazi objektom dužine oko 500 m Jovanovačku reku i dvokolosečnu železničku prugu Beograd - Niš. Zatim je predviđena denivelisana raskrsnica "Čičevac", u okviru koje je projektvan nadvožnjak. Trasa potom prelazi preko pomenutog državnog puta, a zatim i odbrambenog nasipa. U cilju izbegavanja izvorišta "Moravište", trasa je vođena zapadno, bliže Velikoj Moravi. odn. bliže odbrambenom nasipu. Na km 7+200 se nalazi parkiralište Moravište. Trasom se dalje dolazi do mosta na Južnoj Moravi dužine 265 m. Od Pojata do mosta preko Južne Morave, trasa autoputa je u području branjenom od poplava Velike Morave. Zaštitu pružaju desnoobalni nasipi Velike i Južne Morave: Donji Katun i Čičevac.

Posle ~ 1120 m od kraja mosta na Južnoj Moravi, autoput prelazi sa desne na levu obalu Zapadne Morave mostom dužine 335 m. Prelaskom na levu obalu reke, trasa dalje prolazi između postojećeg magistralnog gasovoda i postojećeg vodovoda sve do arheološkog nalazišta sa desne strane autoputa. Autoput je zatim postavljen u uzanom pojasu između korita reke Zapadne Morave i postojećeg maistralnog gasovoda, tj. državnog puta IIA reda 187 (Vitanovac - Ugljarevo - Velika Drenova - Jasika - Varvarin - Mijatovac). Nakon toga, na delu gde se autoput približava Zapadnoj Moravi, predviđena je izgradnja potporne konstrukcije. Na ovom delu je predviđena obaloutvrda leve obale Zapadne Morave.

Posle ~ 16 km od početka trase, autoput mostom ukupne dužine $L=597 \text{ m}$ prelazi ponovo na desnu stranu reke Zapadne Morave, posle čega je trasa autoputa najvećim delom definisana izgrađenom obilaznicom oko Kruševca, koja nakon rehabilitacije postaje desna traka budućeg autoputa. Na delu rehabilitacije, zadržavaju

se postojeći objekti. Stacionaža km 17+600.00 je izjednačena sa stacionažom km 0+000.00 po osovini desnog kolovoza i odatle su vođene dve zasebne osovine. Geometrija obilaznice je projektovana sa širinom kolovoza od 10.70 m. Takođe je predviđena i fazna izgradnja autoputa, i to tako što će se u prvoj fazi izvoditi pun profil autoputa do km 18+000.00, a dalje samo leva strana, dok će se u drugoj fazi izvršiti rehabilitacija desne strane postojeće obilaznice. Na delu od Makrešana do Koševa, projektovani su nadvožnjak za denivelisanu raskrsnicu "Kruševac istok", nadvožnjak za denivelisanu raskrsnicu "Kruševac zapad" i nadvožnjak na državnom putu IIA reda broj 183 Jasika - Kruševac - veza sa državnim putem IB reda br.23.

Na stacionaži 24+664.38 (7+063.16) se završava deonica sa desnom rehabilitovanom trakom autoputa i počinje ponovo autoputni profil sa punom širinom od $B=2 \times 11.5$.

Na delu od mosta preko Južne Morave pa sve do reke Rasine, trasa autoputa prolazi kroz nebranjeno područje. Od reke Rasine, predviđena je rekonstrukcija desnoobalnog nasipa Zapadne Morave kod Kruševca (kasete Čitluk) kao i rekonstrukcija postojećeg uspornog nasipa uz Rasinu koja je sastavni deo pomenute kasete.

Trasa autoputa kod Kukljina ponovo prelazi Zapadnu Moravu mostom dužine 507 m, da bi posle 3.3 km izašla iz plavne zone i ostala van nje sve do Medveđe. Odmah po izlasku iz plavne zone, sa leve strane odn. sa desne strane, smaknuto, ostavljen je prostor za odmorište "Bela Voda". Van plavne zone projektovana je i denivelisana raskrsnica "Velika Drenova", a posle naplatne stanice za izlazak sa autoputa, sa leve strane i baza za održavanje.

Naselje Medveđa autoput obilazi sa južne strane, zatim prelazi i Zapadnu Moravu i odbrambeni nasip mostom dužine oko 654 m tako da ponovo ulazi u područje koje je desnoobalnim nasipom koji se rekonstruiše (kasete Trstenik) branjeno od izlivanja Zapadne Morave. U branjenom području je parkiralište "Donji Koševi" a posle 2.7 km je predviđena i denivelisana raskrsnica "Trstenik". Petlja je projektovana u prostoru pre odbrambenog nasipa. Veza prema Trsteniku se ostvaruje preko postojeće saobraćajnice koja prolazi kroz industrijsku zonu i zatim se posredno priključuje na državni put IB reda 23 Stopanja - Trstenik - Vrnjci.

Nakon petlje, autoput se ukršta sa odbrambenim nasipom i Zapadnom Moravom i zajedničkim mostom dužine oko 735 m (najduži most na trasi) prelazi na levu obalu reke čime se vraća u plavnu zonu. Naselje Grabovac, autoput obilazi sa južne strane. Položaj autoputa je direktno uslovljen stambenim objektima u naselju čija je ambijentalna celina sačuvana, kao i neposrednom zonom zaštite vodoizvorišta "Zvezdan". U zoni vodoizvorišta, autoput se nalazi van plavnog područja jer je projektom predviđena rekonstrukcija levoobalnog nasipa Zapadne Morave (kasete Zvezdan). Takođe predviđena je izgradnja i novog nasipa od ušća Ljubostinjske reke do gvoždenog mosta kao i izgradnja uspornih nasipa na Ljubostinjskoj i Maloj reci čime bi se sprečio prodor velikih voda u kasetu Zvezdan iz zaleđa.

Nadalje, autoputa prvo prelazi mostom preko Male reke, a odmah zatim, još jednom i preko Zapadne Morave mostom dužine 505 m i ostaje na desnoj obali Zapadne Morave sve do Adrana. Posle mosta na Zapadnoj Moravi pa sve do ušća Ibra u Z. Moravu težilo se da trasa autoputa što više ide obodom plavne zone, što je postignutom njenim podizanjem na viši deo terena koji predstavlja terasu Zapadne Morave. Međutim, posledica toga je da na teritoriji opštine Vrnjačka Banja trasa prolazi kroz naselja Vrnjci, Novo Selo, Gračac, Podunavce i Vraneše, tako da je bilo potrebno pronaći optimalan položaj trase da bi se broj kuća koje se ruše sveo na minimum.

U blizini Vrnjačke Banje, radi uspostavljanje veze sa ovim značajnim turističkim centrom, projektovana je denivelisana raskrsnica "Vrnjačka Banja". Ukrštaj između autoputa i zajedničke rampe denivelisane raskrsnice ostvaren je nadvožnjakom dužine $L=495.70$ m. 6.6 km posle petlje, sa obe strane autoputa, ostavljen je prostor za odmorište "Gračac".

U zoni naselja Vrba, autoput se ukršta sa projektovanom poprečnom vezom između državnog puta IB reda br.24 Vitanovac - Kraljevo (Kamidžora) i državnog puta IB reda br.23 Novo Selo - Ratina. Na poprečnoj vezi je planirana izgradnja mosta preko reke Zapadne Morave, kao i podvožnjak ispod železničke pruge Stalać - Kraljevo i državnog puta IB reda br.23 Novo Selo - Ratina. Preko poprečne saobraćajnice se saobraćaj sa autoputa, a preko denivelisane raskrsnice "Vrba" vezuje na pomenute državne puteve. Posle 2.1 km, obostrano, projektovano je parkiralište "Donja Ratina". Trasa autoputa, zatim prelazi preko reke Ibar mostovskom konstrukcijom dužine od oko 215 m.

U zoni gde se autoput ponovo ukršta sa državnim putem IB reda br.24 Vitanovac - Kraljevo, planirana je devijacija predmetnog puta, tako da je u nastavku postojećeg drumskog mosta preko reke Zapadne Morave

predviđen nadvožnjak preko autoputa što obezbeđuje kontinuitet ove saobraćajnice. Dalje, je predviđena izgradnja kružne raskrsnice koja omogućuje ostvarenje saobraćajnih veza sa gradom Kraljevom.

Pedesetak metara posle nadvožnjaka, autoput podvožnjakom prolazi kroz trup železničke pruge Lapovo - Kraljevo. Neposredno nakon ovog ukrštaja, trasa autoputa je smeštena u zonu gde reka Zapadna Morava meandrira i preseca trasu autoputa. Iz tog razloga planirani su "proseci" odnosno regulacija korita reke. Autoput prolazi Magnohrom u Kraljevu sa njegove desne strane, i ubrzo zatim je projektovana denivelisana raskrsnica "Kamidžora".

Na km 81+476.86 se završava deonica koju je projektovao CIP i ova stacionaža je izjednačena sa stacionažom 79+000 na kojoj počinje deonica Instituta za puteve.

Posle 1.95 km od početka deonice Instituta za puteve, predviđena je denivelisana raskrsnica "Adrani" kojom se ostvaruje veza sa državnim putem IB reda 22 Mrčajevci - Kraljevo, gde je u zoni naplatne stanice sa desne strane planirana baza za održavanje "Adrani". Ubrzo posle petlje "Adrani", autoput prelazi Zapadnu Moravu mostom dužine 329 m i ostaje na levoj obali reke sve do Preljine.

Deonicu od Adrana do Mrčajevaca karakteriše nenaseljen prostor, široka i opružena rečna dolina sa vrlo blagim poprečnim i podužnim nagibima, blizina korita Zapadne Morave, presecanje Musine reke, relativna opterećenost prostora infrastrukturom, i uglavnom povoljni geološki uslovi. Prostor je pokriven kvalitetnim obradivim zemljištem. Cela zapadnomoravska dolina se nalazi u rejonu ratarske proizvodnje, ali u vodoprivredno neuređenom prostoru.

Trasu od Mrčajevaca do Konjevića karakteriše takođe nenaseljen prostor, široka i opružena rečna dolina sa vrlo blagim poprečnim i podužnim nagibima, blizina korita Zapadne Morave odnosno Čemernice (na kraju), neopterećenost prostora infrastrukturom, i uglavnom povoljni geološki uslovi. Prostor je pokriven kvalitetnim obradivim zemljištem koje doseže do prvih naseljenih prostora uz državni put IB reda 23 u širini do 2.5 km. Na ovom delu trase, ostavljen je prostor sa desne, odn. sa leve strane autoputa za odmorište "Donja Gorevnica" koje je smaknuto.

Denivelisanom raskrsnicom "Preljina" koja je locirana bliže naselju Konjevici ostvaruje se veza sa državnim putem IB reda br. 22 Preljina - Mrčajevci i IB reda br. 23 Preljina - Konjevici. Denivelisana raskrsnica "Preljina" podrazumeva izgradnju poprečne veze kojom bi se povezali državni putevi IB reda br. 22 i br. 23 međusobno i sa novim autoputom.

Od Konjevića pa do kraja trase složenost prostora se ogleda pre svega u velikoj izgrađenosti i posledično tome, značajnom prisustvu infrastrukture. Vrlo su nepovoljni prostorni odnosi između perifernog područja grada Čačka i okolnih sela, gde se seoska i gradska naselja povezuju i formiraju izgrađena područja duž postojećih putnih pravaca državnih puteva IB reda 22 i IB reda 23. Na mestu ukrštaja sa državnim putem IB reda br. 23 Preljina - Konjevici, lokalnom saobraćajnicom, razvodnim gasovodom, rekom Čemernicom i trupom stare pruge uzanog koloseka, projektovan je most dužine 420 m.

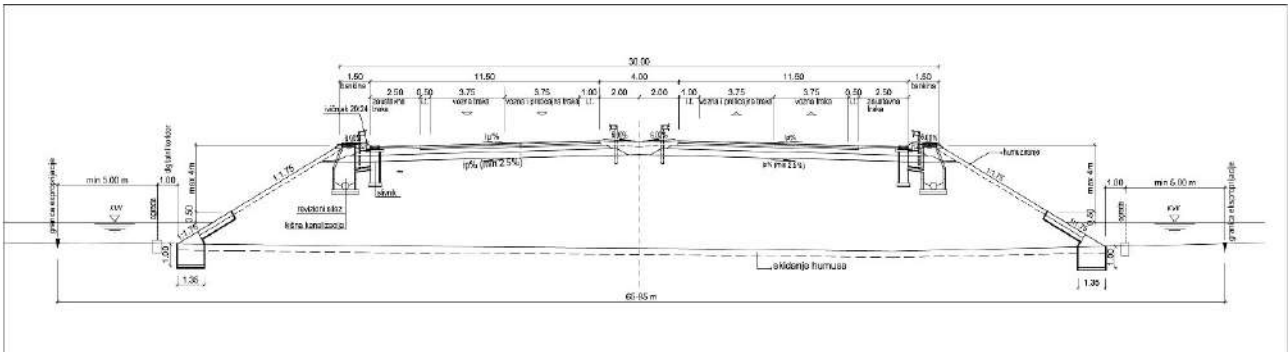
Predmetna deonica se završava ispred čvora "Preljina" na autoptu E-763 Beograd – Požega koji se modifikuje tako što se ukida postojeća veza puta IA-A2 sa državnim putem IIA br. 22 Gornji Milanovac - Preljina (veza sa A2).

Blizina reke je imala direktnu posledicu na niveletu, tako da u područjima gde se autoput nalazi u plavnoj zoni, niveleta je projektovana tako da se posteljica nalazi min 0.5 m iznad kote stogodišnje vode. Primenjeni nagibi nivelete su od 0.3% (izuzetno 0.2%) do 2.5%.

3.4. Normalni poprečni profil

Autoput je projektovan za brzinu od 130 km/h. Usvojen je normalni poprečni profil sa sledećim elementima:

vozne trake	4 x 3.75 m	15.00 m
zaustavne trake	2 x 2.50 m,	5.00 m
ivične trake	2 x (1.00 m + 0.50 m)	3.00 m
bankine	2 x 1.50 m	3.00 m
razdelna traka		4.00/3.00 m



Slika 4. Normalni poprečni presek autoputa E-761 Pojate - Preljina

Poprečni nagib kolovoza na pravcu je simetrično dvostran i iznosi $i_p=2.5\%$, a u krivini jednostran, usmeren ka centru krivine i iznosi: $2.5\% \leq i_{pk} \leq 7\%$. Nagib bankina je 6% kako na višoj tako i na nižoj strani kolovoza i usmereni su ka spoljnim stranama. Posteljica je u istom nagibu kao i kolovoz, osim u zoni vitoperenja kada za $i_{pk} < 2.5\%$ nagib posteljice ostaje 2.5%.

Nagib razdelne trake je dvostran i iznosi najmanje 6%, a usmeren je ka njenoj sredini. U zoni razdelne trake postavlja se jednostruka elastična ograda za svaku traku autoputa posebno. Površina razdelne trake se humuzira humusom debljine 20 cm i zatravljuje uz mogućnost zasađivanja parternog zelenila na deonicama gde ovo zelenilo ne remeti preglednost puta.

U područjima gde je trasa autoputa projektovana u plavnoj zoni Zapadne Morave, predviđeno je obostrano oblaganje kosina nasipa betonskim pločama do visine 0.5 m iznad stogodišnje kote visoke vode (Q1%). Na delovima trase gde se ne vrši oblaganje kosina betonskim pločama, kontakt kosina konstrukcije donjeg stroja sa prirodnim terenom potrebno je geometrijski oblikovati u vidu zaobljenja kružnim lukom.

U razdelnoj traci na pravcu, pri dvostranom nagibu kolovoza, nisu predviđeni elementi za odvodnjavanje jer voda otiče ka spoljašnjim ivicama kolovoza. U krivinama, pri jednostranom nagibu, voda sa kolovoza otiče ka razdelnoj traci preko asfaltirane površine širine 1.5 m ka betonskoj kanaleti širine 1.0 m. Za dalje prihvatanje vode predviđena je kišna kanalizacija sa slivnicima i revizionim šahtovima.

Sa obe strane puta na celoj njegovoj dužini predviđena je zaštitna žičana ograda koja se postavlja na rastojanju od 1.0 m od najudaljenije tačke poprečnog profila.

Sa spoljne strane zaštitne žičane ograde predviđen je prostor širine 1.0 m za "digitalni koridor". Prostor je rezervisan sa obe strane autoputa iako se kabl polaže samo sa jedne strane i to najvećim delom sa leve, ali se gde je to neophodno provodi i ispod trupa autoputa na desnu stranu.

Iza prostora za "digitalni koridor" ostavljen je prostor od 5.0 m koji je namenjen za lokalnu komunikaciju duž autoputa, pre svega poljoprivredne mehanizacije i pešaka, za prilaz obradivim površinama uz autoput.

Predviđena je izrada nasipa od nekoherentnih materijala.

3.5. Odvodnjavanje autoputa

Koncept odvodnjavanja autoputa obuhvata: prikupljanje, kontrolisano sprovođenje, tretman i ispuštanje atmosferskih voda sa kolovoza autoputa u najbliži recipijent. Prikupljanje atmosferskih voda vrši se tako što je na nižoj strani ivice kolovoza predviđen ivičnjak koji onemogućava oticanje vode sa kolovoza na bankinu. Uz ivičnjak na propisanom rastojanju, predviđeni su slivnici ili revizioni silazi sa rešetkastim poklopcima koji primaju atmosferske vode. Raspored slivnika je zavisn od površine sa koje se skuplja vodu i od poprečnih i podužnih nagiba kolovoza.

Voda iz slivnika preko slivničkih veza ide zatvorenom (cevnom) kanalizacijom do objekta za tretman kišnih voda. Kao uređaj za prečišćavanje vode sa kolovoza usvojeni su tipski separatori. Nakon tretmana kišnih voda u separatoru voda se izliva u najbliži recipijent. Recipijenti su vodotoci, kanali koji vode do vodotoka i upojna polja.

3.6. Regulacije vodotoka

Duž cele trase autoputa predviđeno je 40 regulacija reka i potoka ne uzimajući u obzir Zapadnu Moravu. Regulacije su predviđene na mestima gde autoput ide po trasi prirodnih vodotoka kao i na mestima gde je ugao njihovog ukrštaja sa autoputom nepovoljan.

Obzirom da je trasa autoputa najvećim delom vođena dolinom Zapadne Morave, izvršena je analiza sadašnjeg stanja hidrotehničke uređenosti reke. Ono se ne može smatrati zadovoljavajućim, kako sa aspekta stabilnosti i hidrauličke funkcionalnosti rečnog korita, tako i sa stanovišta zaštite priobalja od poplava. Duž toka Zapadne Morave samo su parcijalno izgrađeni odbrambeni nasipi (Kruševac, Trstenik, delovi Kraljeva). Oni su neujednačenih karakteristika i nemaju potreban stepen zaštite priobalja duž vodotoka. Veliki problem je i nedovoljno kontrolisana eksploatacije materijala iz rečnog korita, koja mestimično ugrožava stabilnost rečne trase i dovodi u pitanje zaštitu priobalja od poplava.

Projektom su predviđeni radovi na Zapadnoj Moravi na kritičnim lokacijama u smislu međusobnog položaja reke i autoputa. Radovi na Zapadnoj Moravi podrazumevaju prosecanje rečne krivine, zaštitu stabilnosti obale i rekonstrukciju postojećih odbrambenih nasipa. Na potezu od Popovića do ušća reke Čemernice je izražen proces meandriranja i lutanja korita koje bi moglo dovesti do pojave novih kritičnih lokacija duž autoputa. Zbog toga bi stalno bilo potrebno vršiti zaštitu tih lokacija da ne bi došlo do rušenja trupa autoputa. Iz tog razloga predviđeno je integralno rešenje regulacije Zapadne Morave gde se formira novo korito delom po trasi postojećeg korita, a delom prosecanjem rečnih krivina u zonama kritičnih lokacija.

3.7. Denivelisane raskrsnice

Pristupačnost i veza drumske mreže iste ili niže kategorije sa budućim deonicama međunarodnog putnog pravca E-761 između Pojata i Preljine će biti omogućena izgradnjom novih odn. rekonstrukcijom postojećih denivelisanih raskrsnica. Planirana je izgradnja 10 novih denivelisanih raskrsnica: Čičevac, Kruševac - istok, Kruševac - zapad, Velika Drenova, Trstenik, Vrnjačka Banja, Vrba, Kamidžora, Adrani i Preljina. Petlja Pojate se rekonstruiše a Preljina AP se modifikuje tako što se ukida postojeća veza puta IA-2 sa državnim putem IIA br. 22.

Tabela 1. Spisak denivelisanih raskrsnica

putni pravac	naziv čvora	stacionaža	rastojanje (km)	priključak
E-761/E-75	Pojate	0-465 (752+650)	3,552	IA-1 (E-75)
E-761	Čičevac	3+087	16,954	IIA-190
E-761	Kruševac - istok	20+041	1,810	gradska saobraćajnica i planirana nova deonica drž. puta IB-23
E-761	Kruševac - zapad	21+851	12,941	IIA-183
E-761	Velika Drenova	34+792	12,754	IIA-187
E-761	Trstenik	47+546	9,861	opštinski put (posredno IIA-188, te IB-23)
E-761	Vrnjačka Banja	57+407	13,918	IIA-411
E-761	Vrba	71+325	6,669	opštinski put (posredno IB-23 i IB-24)
E-761	Kamidžora	77+994 (81+476.86=79+000.00)	(2,477) 5,433	opštinski put (posredno IB-23)
E-761	Adrani*	80+950	11,930	IB-22
E-761	Katrga*	92+880	14,383	planirana veza sa autoputskim koridorom Batočina - Kragujevac - Knić
E-761	Preljina*	107+263	2,657	opštinski put (posredno IB-22 i IB-23)
E-761/E-763	Preljina (AP)*	109+664		IA-2 (E-763)

Izvor: (PPPPN infrastrukturnog koridora autoputa E-761 Pojate - Preljina Sl. gl 10/20)

3.8. Prateći sadržaji

Prateće sadržaje koji su sastavni deo autoputa čine funkcionalni sadržaji i sadržaji za potrebe korisnika puta.

3.8.1. Funkcionalni sadržaji

Od funkcionalnih sadržaja projektovane su baze za održavanje i naplatne stanice. Planirane su 2 baze za održavanje u Velikoj Drenovi i Adranima.

Tabela 2. Makrolokacije baza za održavanje puteva i delokrug rada

naziv čvora	deonice	dužina po smeru	ukupna dužina
Velika Drenova	Ćičevac - Kruševac istok - Kruševac zapad - Velika Drenova	31,71	54,33
	Velika Drenova - Trstenik - Vrnjačka Banja	22,62	
Adrani	Vrnjačka Banja - Ratina - Kamidžora - Adrani	26,02	52,33
	Adrani - Katrga – Preljina	26,31	

Izvor: (PPPPN infrastrukturnog koridora autoputa E-761 Pojate - Preljina Sl. gl 10/20)

Na autoputu E-761 sistem naplate putarine će biti zatvoren, tako da su predviđena sporedne naplatne stanice na denivelisanim raskrsnicama: Ćičevac, Kruševac - istok, Kruševac - zapad, Velika Drenova, Trstenik, Vrnjačka Banja, Vrba, Kamidžora, Adrani i Preljina. Petlje Pojate i Preljina AP, predstavljaju ukrštaje dva autoputa tako da na njima nema naplatnih stanica. Na denivelisanim raskrsnicama Ćičevac, Kruševac - istok, Kruševac - zapad, Velika Drenova, Trstenik, Vrnjačka Banja i Vrba predviđene su naplatne stanice sa pet naplatnih mesta na bočnom naplatnom platou, uz formiranje četiri ostrva. Na denivelisanoj raskrsnici Kamidžora predviđeno je osam naplatnih mesta na bočnom naplatnom platou, uz formiranje sedam ostrva, dok su na denivelisanim raskrsnicama Adrani i Preljina predviđena po četiri naplatna mesta sa tri ostrva.

3.8.2. Sadržaji za potrebe korisnika puta

Na autoputu od Pojata do Preljine od sadržaja za potrebe korisnika predviđena su 3 parkirališta i 3 odmorišta.

Tabela 3. Makrolokacije i tip sadržaja za potrebe korisnika

redni broj	naziv i tip sadržaja	stacionaža desno	stacionaža levo	tip sadržaja (des./levo)	međurastojanje (desno/levo)
1.	Moravište parkiralište	7+200	7+700	P-1 / P-1	
2.	Bela Voda odmorište	33+550	33+917	O-1 / O-1	26,350 / 26,200
3.	Donji Koševi parkiralište	44+875	44+875	P-1 / P-1	11,325 / 10,975
4.	Gračac odmorište	64+000	64+000	O-2 / O-2	19,125 / 19,125
5.	Donja Ratina parkiralište	73+450	73+450	P-1 / P-1	9,450 / 9,450
6.	Donja Gorevnica odmorište	99+350*	99+825*	O-1 / O-1	28,377 / 28,852

Izvor: (PPPPN infrastrukturnog koridora autoputa E-761 Pojate - Preljina Sl. gl 10/20)

4. ZAKLJUČAK

Izgradnja državnog puta IA-A5, između Pojata i Preljine, autoputskog profila, sa pripadajućim denivelisanim raskrsnicama u cilju omogućavanja veza sa drumskim saobraćajnicama nižeg ranga, odnosno denivelisanih ukrštaja sa železničkom prugom i postojećim i planiranim delovima putne mreže, predstavlja osnovu budućeg transportnog razvoja posmatranog područja. Time se ostvaruju preduslovi za omogućavanje bezbednijeg, bržeg, jeftinijeg i pouzdanijeg prevoza ljudi i dobara-čime se stiču uslovi i za brži sveobuhvatni razvoj područja u celini.

Literatura

- [1] Saobraćajni institut CIP: Idejni projekat autoputa E-761, deonica Pojate – Kruševac, od km 0-229.75 do km 27+600, Beograd 2019.
- [2] Institut za puteve: Idejni projekat za izgradnju Državnog puta A5 (Autoput E-761): Pojate – Preljina, deonica: Adrani - Mrčajevci, km 79+000 do km 97+000, Beograd 2019.
- [3] Institut za puteve: Idejni projekat za izgradnju Državnog puta A5 (Autoput E-761): Pojate – Preljina, deonica: Mrčajevci - Preljina, km 97+000 do km 109+663.80, Beograd 2019.
- [4] Institut za vodoprivredu Jaroslav Černi: Idejni projekti hidrotehničkog uređenja Zapadne Morave, Beograd 2018, 2019. i 2020. godina.
- [5] Institut za vodoprivredu Jaroslav Černi: Hidrotehnička studija koridora autoputa E-761, deonica Pojate-Preljina, Beograd 2016.
- [6] Prostorni plan područja posebne namene infrastrukturnog koridora autoputa E-761, deonica Pojate - Preljina („Službeni glasnik RS“, broj 10/20)
- [7] Važeća zakonska regulativa na teritoriji Republike Srbije

GEOTEHNIČKI USLOVI IZGRADNJE TUNELA „DEBELO BRDO“ NA AUTOPUTU E-80 NIŠ - PLOČNIK

Dragoslav Rakić¹, Radojica Lapčević², Irena Basarić Ikodinović³, Dragan Lukić⁴

¹ Univerzitet u Beogradu – Rudarsko-geološki fakultet, Đušina 7, Beograd, dragoslav.rakic@rgf.bg.ac.rs

² Univerzitet u Beogradu – Rudarsko-geološki fakultet, Đušina 7, Beograd, radojica.lapcevic@rgf.bg.ac.rs

³ Univerzitet u Beogradu – Rudarsko-geološki fakultet, Đušina 7, Beograd, irena.basarić@rgf.bg.ac.rs

⁴ Univerzitet u Novom Sadu – Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a, drlukic.lukic@gmail.com

Rezime: Tunel „Debelo brdo“ nazvan je po najizraženijem reljefnom obliku na ovoj drugoj deonici autoputa E-80 Niš – Pločnik. Osnovnu geološku građu na lokaciji tunela čini Mio-Plioceni kompleks heterogenog litološkog sastava. Izgradnja tunela je predviđena delom u otvorenom iskopu dužine 240 m, a delom sa podzemnim iskopom dužine 190 m. U zoni tunela, padina je okarakterisana kao uslovno stabilna, pa bi neadekvatna zasecanja mogla da izazovu klizanja terena. Iz tih razloga, u okviru rada posebno su prikazani geotehnički uslovi izgradnje tunela u otvorenom iskopu (predviđeno je osiguranje privremenog iskopa ugradnjom šipova), a posebno geotehnički uslovi tunelskog iskopa sa delimično modifikovanim modelom u odnosu na predloženo projektno rešenje.

Ključne reči: Tunel „Debelo brdo“, Geotehnički parametri, Privremene kosine, Šipovi, Podgrada.

GEOTECHNICAL CONDITIONS FOR THE CONSTRUCTION OF „DEBELO BRDO“ TUNNEL ON THE HIGHWAY E-80 NIŠ - PLOČNIK

Dragoslav Rakić¹, Radojica Lapčević², Irena Basarić Ikodinović³, Dragan Lukić⁴

¹ University of Belgrade – Faculty of Mining and Geology, Djusin 7, Belgrade, dragoslav.rakic@rgf.bg.ac.rs

² University of Belgrade – Faculty of Mining and Geology, Djusin 7, Belgrade, radojica.lapcevic@rgf.bg.ac.rs

³ University of Belgrade – Faculty of Mining and Geology, Djusin 7, Belgrade, irena.basarić@rgf.bg.ac.rs

⁴ University of Novi Sad – Faculty of Civil Engineering Subotica, Kozaračka 2a, drlukic.lukic@gmail.com

Abstract: The "Debelo brdo" tunnel is named after the most pronounced relief form on this second section of the E-80 Nis - Pločnik highway. The basic geological structure at the location of the tunnel consists of the Mio-Pliocene complex of heterogeneous lithological composition. The construction of the tunnel is partly planned in an open excavation 240 m long, and partly with an underground excavation 190 m long. In the tunnel zone, the slope is characterized as conditionally stable, so inadequate cuts could cause sliding of the terrain. For these reasons, the paper presents separately the geotechnical conditions for the construction of the tunnel in open excavation (temporary excavation securing by installing piles is provided), and the geotechnical conditions for tunnel excavation with a partially modified model in relation to the proposed design solution.

Keywords: „Debelo brdo“ tunnel, Geotechnical parameters, Temporary slopes, Piles, Tunnel support.

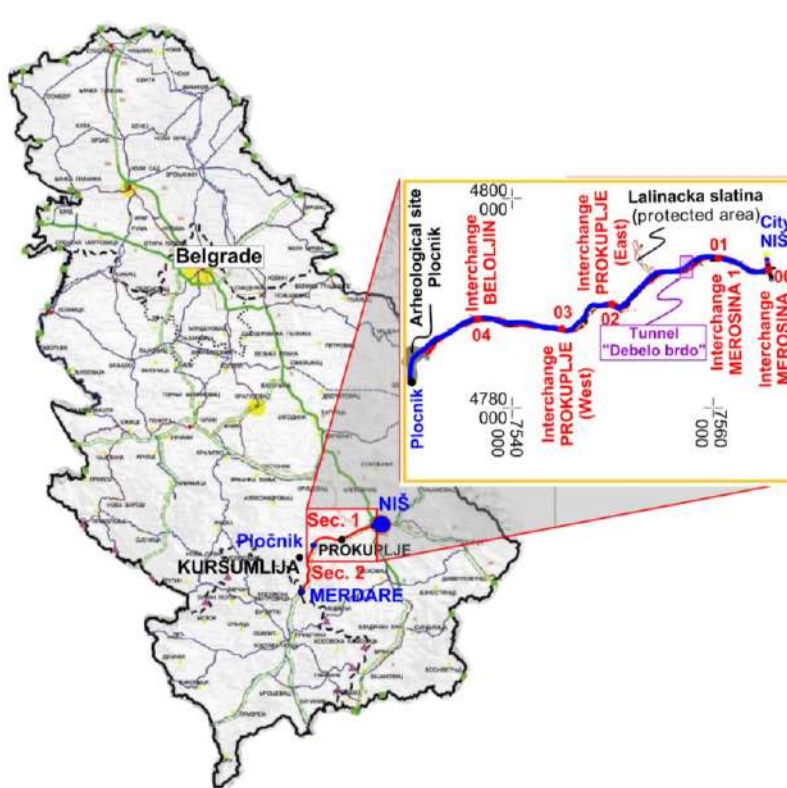
1. UVOD

Izgradnja autoputa E-80 od Niša do Merdara, a time i deonice od Niša do Pločnika, je od posebnog ekonomskog i društvenog interesa za R. Srbiju i Toplički kraj. Ovaj autoput predstavljaće saobraćajno čvorište zapadnog Balkana i biće deo glavne regionalne transportne mreže jugoistočne Evrope. Ukupna dužina trase autoputa je 77 km, i podeljena je na dve deonice. Prva deonica kreće od isključenja sa autoputa E-75 (petlja Merošina), a završava se kod neolitskog naselja Pločnik (Beloljin). Preostali deo trase pripada drugoj deonici od Pločnika do Meradara.

Tunel „Debelo brdo“ se gradi u sklopu prve deonice autoputa Niš (Merošina) – Pločnik (Beloljin) čija je ukupna dužina 36.3 km. Nazvan je po samom brdu koje predstavlja najizraženiji reljefni oblik na drugoj sekciji autoputa Merošine 1 – Prokuplje istok, dužine 8.63 km (km: 5+670 – km: 14+300), sa stacionažom tunela na km: 9+380 do km: 9+810 (Slika 1). Približne kote površine terena u zoni ulaznog portala su oko 300 m, a na izlaznom delu oko 318 m, dok je najviša kota iznad tunelske cevi oko 328 m (približna stacionaža km: 9+700). Na padini, u zoni tunela, usečene su jaruge, dubine 3-4 m. Generalni nagib padine je oko 8 do 10°. Pružanje padine je približno paralelno tunelskoj osovini, izuzimajući priportalne zone tunela. Uopšteno se može reći da je jedan deo padine na kome je planirana izgradnja tunela okarakterisan kao uslovno stabilan, pa bi neadekvatna zasecanja mogla da izazovu klizanja terena.

¹ Dragoslav Rakić: dragoslav.rakic@rgf.bg.ac.rs

Projektom je predviđena izgradnja jedne tunelske cevi sa približnim poprečnim presekom oko 85 m². Kolovozna konstrukcija u tunelu je projektovana pod nagibom od oko 4%. Visina otvorenog dela tunela u odnosu na kolovoznu konstrukciju je oko 8.3 m, dok se konstruktivna visina kreće od 10.9 – 11.9 m, ne računajući zaštitnu potpornu konstrukciju. Izgradnja tunela predviđa se delom u otvorenom iskopu (km: 9+390 do km: 9+580 i od km: 9+770 do km: 9+800), a delom sa podzemnim iskopom (km: 9+580 do km: 9+770).



Slika 1. Trasa autoputa sa karakterističnim detaljima na deonici Niš-Pločnik

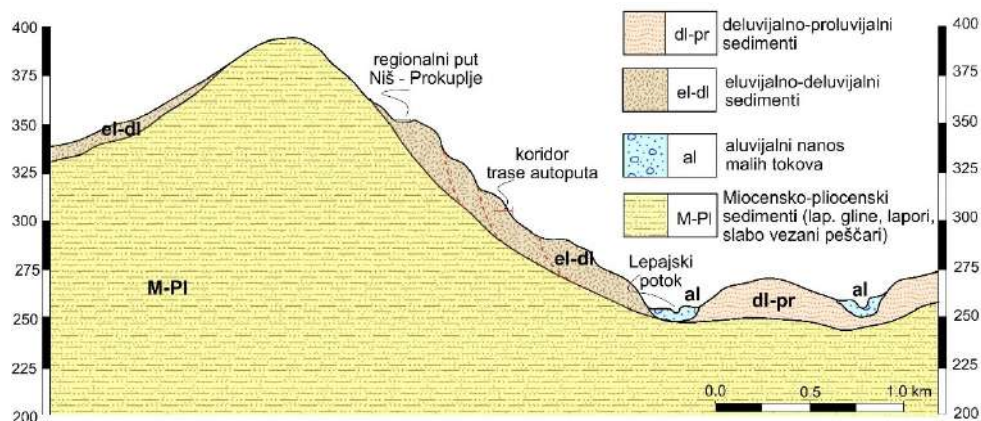
2. OPŠTI PRIKAZ GEOTEHNIČKIH KARAKTERISTIKA TERENA

Za definisanje geološke građe i geotehničkih karakteristika terena na lokaciji tunela, izveden je zavidan obim terenskih i laboratorijskih istraživanja [1,2,7]. Od terenskih istraživanja, značajno je pomenuti istraživanja koja se odnose na šire područje trase autoputa koja su omogućila registrovanje krupnih – regionalnih struktura i dali ulazne podatke za ocenu seizmičke aktivnosti i njen uticaj na građenje tunela „Debelo brdo“. To se pre svega odnosi na: fotogeološku analizu satelitskih snimaka sa izradom studije rupturnog sklopa i geomorfoloških pojava na čitavoj trasi autoputa i prikazom eventualnih pojava nestabilnosti, neotektonsku i seizmogeološku analizu, definisanje seizmičkog hazarda i određivanje projektnih parametara seizmičnosti, reinterpretaciju postojeće inženjerskogeološke karte i izradu inženjerskogeološke karte ograničenja u razmeri 1 : 25000.

Geološku građu na lokaciji tunela „Debelo brdo“ čine mlađi Neogeni brežuljkasti tereni nizvodno od Prokuplja. Kompleks je lociran severoistočno od Prokuplja, i odgovara gornjem Miocenu i donjem Pliocenu, pa je izdvojen kao Mio-Plioceni kompleks heterogenog litoškog sastava. U površinskom delu dominiraju laporovite gline zone raspadanja (u zoni tunela „Debelog brda“ debljina kore površinskog raspadanja je preko 10 m), a osnovu čine lapori sa ređim proslojcima prašine i sitnozrnog peska, dok se povremeno javljaju i tanji proslojci peščara [3,4]. U zoni ulaznog portala tunela, na severnim padinama Debelog Brda, utvrđene su pojave aktivnog klizanja kao i uslovno nestabilni tereni, čije su reljefne forme karakteristične za umirena klizišta (Slika 2). Nestabilnosti su karakteristične za mekše neogene terene koji su u površinskom delu zahvaćeni procesima površinskog raspadanja, tako da u slučaju većih zemljanih iskopa može doći do reaktiviranja procesa klizanja, pa i uticaja na projektovanu trasu tunela.

Širi prostor lokacije tunela prekriven je kvartarnim sedimentima različitog genetskog porekla: deluvijalno-proluvijalnog, eluvijalno-deluvijalnog i proluvijalnog. Površina terena je ispresecana potočnim dolinama koje

su u donjim tokovima po pravilu odlagale proluvijalne sedimente izrazito heterogenog i nesortiranog materijala sa karakterističnim haotičnim ili ukrštenim smenama unutar različitih litoloških članova (prašinate peskove i prašinate gline, a znatno ređe peskove i šljunkove).



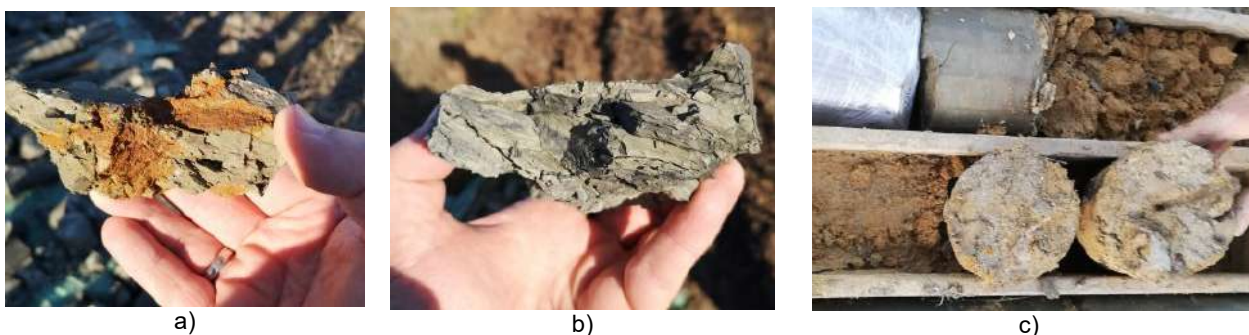
Slika 2. Karakterističan inženjerskogeološki presek neogenih brežuljkastih terena (km: 9+000 - km: 12+000)

Duž trase tunela sa podzemnim iskopom dužine oko 190 m (st. km 9+580 do st. km 9+770), izdvojene su dve geotehničke kvazihomogene zone: GTZ-1 i GTZ-2 [5,6].

Prva geotehnička zona (GTZ-1) predstavlja koru površinskog raspadanja lapora i peščara u kojoj dominiraju prašinate laporovite gline. Povremeno se javljaju i karbonatne konkrecije kao i tanji proslojci prašinstog materijala, a registrovane su i organske materije sa mogućim pojavama tankih fragmenata uglja. Ova sredina izgrađuje teren u povlatnom delu iznad tunela, debljine je od 10 – 13 m, a njena granica približno prati površinu terena. Sredina je intenzivno limonitisana sa dominantnom mrvičastom strukturom, ređe masivnom (Slika 3a). U pitanju je sredina tvrdo-plastičnog do polutvrđog konzistentnog stanja izrazito visoke plastičnosti. Kada je duže izložena atmosferskim uticajem, lako se raspada, drobi i mrvi.

Druga geotehnička zone (GTZ-2) izgrađena je od lapora glinovitog lokalno prašinsto-peskovitog, i predstavlja osnovnu stensku masu u kojoj će se izvesti kompletan iskop za tunel. U prirodnim uslovima teško se lomi, a prelom je različit, uglavnom hrapav i bez sjaja zbog većeg sadržaja prašinstih i peskovitih frakcija. Najčešće je polutvrđog konzistentnog stanja, teško gnječiv, većim delom prslinski je izdijeljena u sitne monolite cm dimenzija po kojima se lako cepa i odvaja (Slika 3b), lokalno je masivan. Kada je sloj duže izložen atmosferskim uticajem, lako se raspada i drobi do fragmenata mm-cm dimenzija.

Ono što posebno karakteriše lokaciju tunela, jeste da je samo u jednoj bušotini utvrđena pojava čistog zasićenog peska na dubini od oko 12 m (Slika 3c), dok su u drugim bušotinama konstatovane zone sa povećanim sadržajem prašinstih frakcija, a povremeno se na većim dubinama, vrlo retko javljaju i sitni komadi čistog laporca, odnosno „lakog“ peščara koji zbog svoje mase podseća na tuf, a konstatovan je na samoj površini terena.

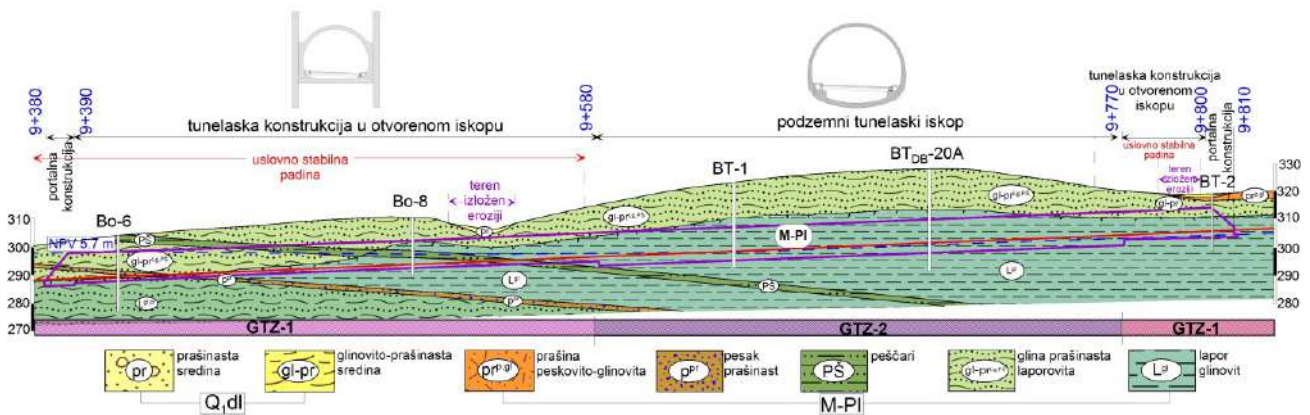


Slika 3. Makroskopski izgled laporovitih gline, glinovitih lapora i proslojka peska

U dve istražne bušotine ugrađene su pijezometarske konstrukcije, u kojima su redovno vršena osmatranja, tako da je utvrđen nivo podzemne vode. Pijezometarski nivo kretao se u intervalu od 5.5 – do 13.5 m, što

ukazuje da se filtracija vode obavlja niz padinu ka Lepajskom potoku i Krajkovačkoj reci (uopšteno morfologija terena je promenljiva, a NPV se kreće u intervalu kota 300 – 307 m). U vreme izvođenja terenskih istražnih radova (novembar-decembar 2019. god), nivo podzemne vode bio je približno u visini nivelete tunela ili neposredno ispod nje. U jednoj bušotini je ustanovljeno da je voda pod pritiskom, što može biti i jedan od razloga aktivnog klizanja terena na ovoj padini (u nožici registrovanih klizišta koja su van trase tunela, utvrđeno je i dreniranje vode iz padine, a konstatovana su i manja zabarenja, bez obzira na duži sušni period tokom 2019 god).

Podužni geotehnički presek terena, sa izdvojenim geotehničkim zonama, prognoznim nivoom podzemne vode, položajem nivelete tunela kao i predloženim načinom iskopa, prikazani su na Slici 4.



Slika 4. Podužni geotehnički presek duž ose tunela „Debelo brdo“

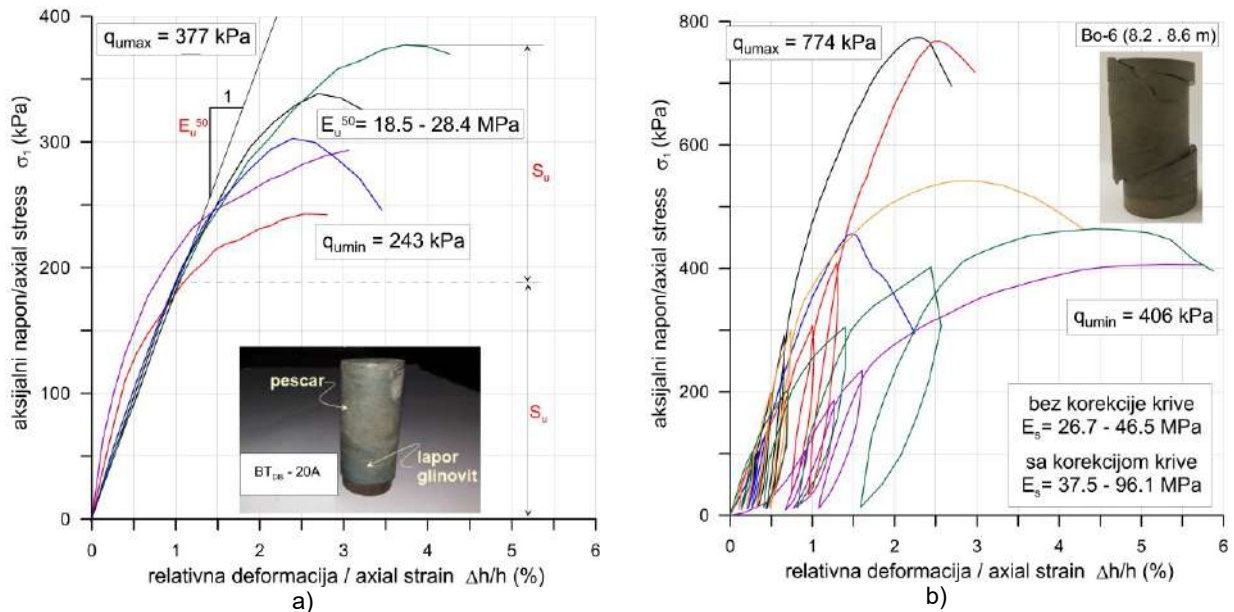
3. DEFINISANJE FIZIČKO-MEHANIČKIH PARAMETARA

Najznačajniji istražni radovi koji su izvedeni duž trase tunela, prikazani su u Tabeli 1.

Tabela 1. Geotehnička istraživanja izvedena na lokaciji tunela „Debelo brdo“

Inženjerskogeološko kartiranje	Detaljna inženjerskogeološka karta (1 : 2500)
Istražno bušenje – 6 bušotina	Ukupne dužine bušenja od 146 m (min. dubina bušotine 12 m, a maksimalna 36.5 m)
Uzet je 31 uzorak tla i mekših stenskih masa, i na njima su urađena laboratorijska geomehanička ispitivanja	
Opiti standardne penetracije – 8 SPT opita	
Dilatometarski opit - 1 opit	
Izvedene su dve pijeziometarske konstrukcije	
Geofizička istraživanja	10 geoelektričnih sondi (ES-23 do ES 32), Refrakciona ispitivanja su urađena duž 3 profila (SP-7 do SP-9)
Izvršena su mineraloško - petrološka ispitivanja	
Urađena su i hemijska ispitivanja na uzorcima podzemnih voda	

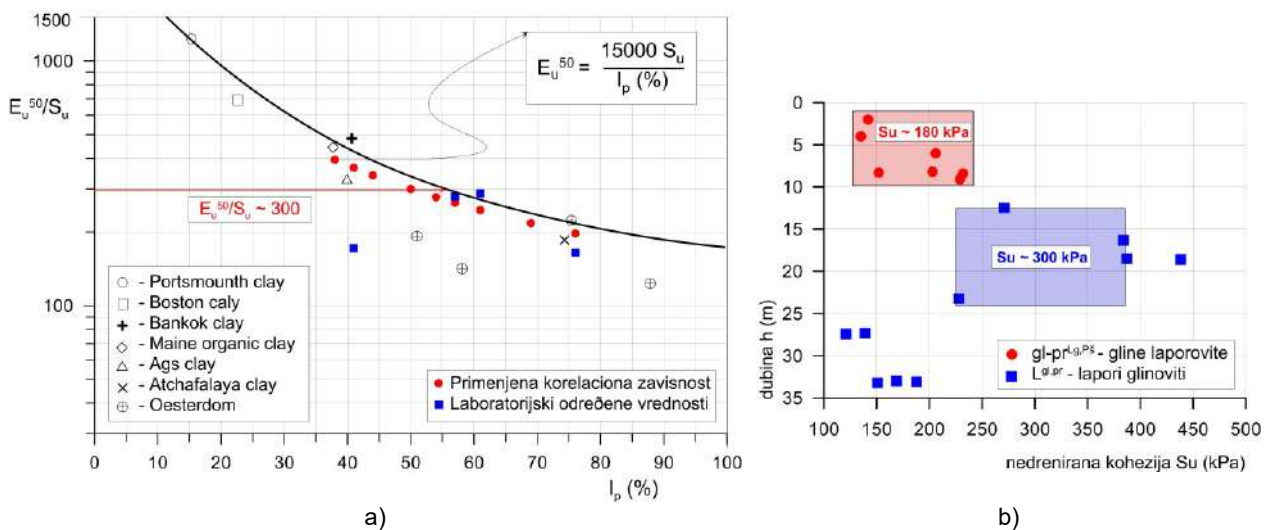
Laboratorijskim ispitivanjima je za glinovito-laporoviti Mio-Plioceni kompleks utvrđeno da se radi o materijalima ekstremno visoke plastičnosti sa granicom tečenja koja je na nekim uzorcima iznosila i preko 110%. S obzirom da je kod većine uzoraka indeks konzistencije bio veći od 1 ($I_c > 1.0$), može se reći da su materijali uglavnom u čvrstom stanju konzistencije, sa jednoaksijalnom čvrstoćom pritiska $q_u > 250$ kPa. Međutim, povremene pojave lamina peščara (debljine 10 – 20 cm), kao i zone slabije raspadnutog lapora, kao i pojave tanjih lamina laporca, imale su znatan uticaj na povećanje vrednosti jednoaksijalne čvrstoće na pritisak. Ispitivanja su obavljena u skladu sa odgovarajućim standardom (Slika 5a), ali je primenjena i nestandardna metoda, koja je podrazumevala nekoliko ciklusa rasterećenja i ponovnog opterećenja pri nižim vrednostima aksijalnog pritiska (Slika 5b). Iz tih razloga utvrđen je i znatno širi interval vrednosti q_u koji se krtao od $q_u = 243 - 774$ kPa.



Slika 5. Karakteristični dijagrami za standardne i nestandardne jednoaksijalne opite

Nedrenirana čvrstoća smicanja, dobijena je iz rezultata jednoaksijalnih opita, kao i na osnovu određenih korelacionih zavisnosti sa rezultatima SPT opita. Nedrenirana čvrstoća smicanja s_u za laporovite gline prašinate ($gl-pr^{Lg,Ps}$) kreće se u intervalu od $S_u = 121 - 237$ kPa, a za lapore glinovite lokalno prašinate ($L^{gl,pr}$) $S_u = 228 - 387$ kPa.

Zbog izrazite heterogenosti sredine, vrednost nedreniranog modula elastičnosti kretale su se u veoma širokom intervalu od $E_u = 29.7$ do preko 70 MPa. Usvajanjem nedrenirane čvrstoće smicanja za laporovite gline prašinate ($gl-pr^{Lg,Ps}$) od $s_u = 180$ kPa, a za lapore glinovite lokalno prašinate ($L^{gl,pr}$) $s_u = 300$ kPa, na osnovu veze koju su predložili Duncan i Buchignami (1976), dobijaju se vrednosti nedreniranog modula elastičnosti u rasponu od $E_u = 33.0 - 57.0$ MPa za laporovite gline, odnosno od $E_u = 55.0 - 89.0$ MPa za lapore glinovite (Slika 6). Treba napomenuti da su na lokaciji tunela izvedena i geofizička ispitivanja, i da su na osnovu određenih korelacionih zavisnosti između brzine prostiranja talasa i gustine tla, za tri geodinamička profila terena, dobijene vrednosti modula elastičnosti u intervalu od $E_{u1} = 35 - 69$ MPa; $E_{u2} = 35 - 82$ MPa i $E_{u3} = 45 - 69$ MPa, koje se dosta dobro slažu sa prikazanim vrednostima dobijenim na osnovu korelacionih zavisnosti. Deformabilne karakteristike ovih Mio-Pliocenih sredina (parametri stišljivosti i konsolidacije), definisane su i u edomaterskaom aparatu. Primenom poznate veze M_v i E_u dobijene su vrednosti modula elastičnosti od $E_u = 45 - 66$ MPa, tako da i one odgovaraju već prikazanim vrednostima.



Slika 6. Karakteristične vrednosti nedrenirane čvrstoće smicanja i nedreniranog modula elastičnosti

Efektivni parametri čvrstoće smicanja na materijalima iz laporovitog kompleksa, određeni su iz opita direktnog smicanja i triaksijalnih opita. Ono što je posebno interesantno to je izražena subhorizontalna

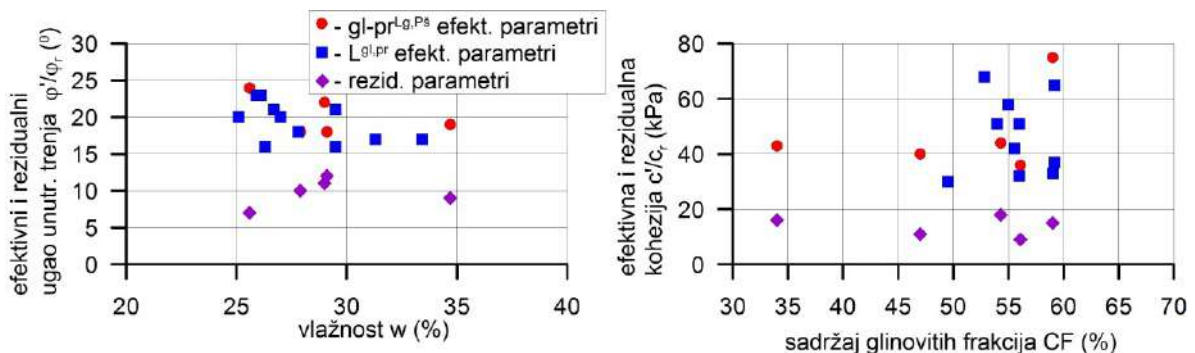
ispucalost (anizotropija), bez jasno izraženih kliznih površina prilikom triaksijalnih ispitivanja, što je predstavljalo poseban problem prilikom interpretacije ovih rezultata (Slika 7).



Slika 7. Izgled uzoraka bez jasno definisanih površina smicanja nakon ispitivanja u triaksijalnom aparatu

Parametri čvrstoće smicanja, bez obzira na korišćenu metodu ispitivanja, su dosta različiti, i kreću se u veoma širokim intervalima, kako za sloj laporovite gline prašinate (gl-pr^{Lg,Ps}) tako i za sloj lapora glinoviti lokalno prašinate (L^{gl,pr}). Ovo se naročito odnosi na efektivnu koheziju, čije su se vrednosti za laporovite gline prašinate (gl-pr^{Lg,Ps}) kretale u intervalu $c' = 40.0 - 75.0$ kPa sa uglovima unutrašnjeg trenja od $\varphi' = 18-22^\circ$ odnosno, za lapor glinoviti lokalno prašinate (L^{gl,pr}) $c' = 32.0 - 58.0$ kPa, a $\varphi' = 21-23^\circ$.

Kako je u neposrednoj zoni lokacije tunela utvrđeno i aktivno klizište, a teren je u jednom većem delu okarakterisan kao potencijalno nestabilan, na ovim materijalima je ispitana i rezidualna čvrstoća smicanja, i dobijene su sledeće vrednosti rezidualne kohezije $c_r = 10-18$ kPa, odnosno rezidualnog ugla unutrašnjeg trenja $\varphi_r = 10-12^\circ$ za laporovite gline prašinate (gl-pr^{Lg,Ps}), tj. $c_r = 9-14$ kPa, i $\varphi_r = 7-11^\circ$ za sloj lapora glinoviti lokalno prašinate (L^{gl,pr}). Zavisnosti parametara čvrstoće smicanja od vlažnosti i sadržaja glinovitih frakcija, prikazane su na Slici 8. Može se primetiti da se ugao unutrašnjeg trenja kreće u jednom uskom intervalu, dok to nije slučaj sa kohezijom, tako da se neka opšta zavisnost za koheziju ne može uspostaviti. Ono što je evidentno, to je da se sa povećanjem vlažnosti delimično smanjuje ugao unutrašnjeg trenja, što je i dokazano od strane više autora.



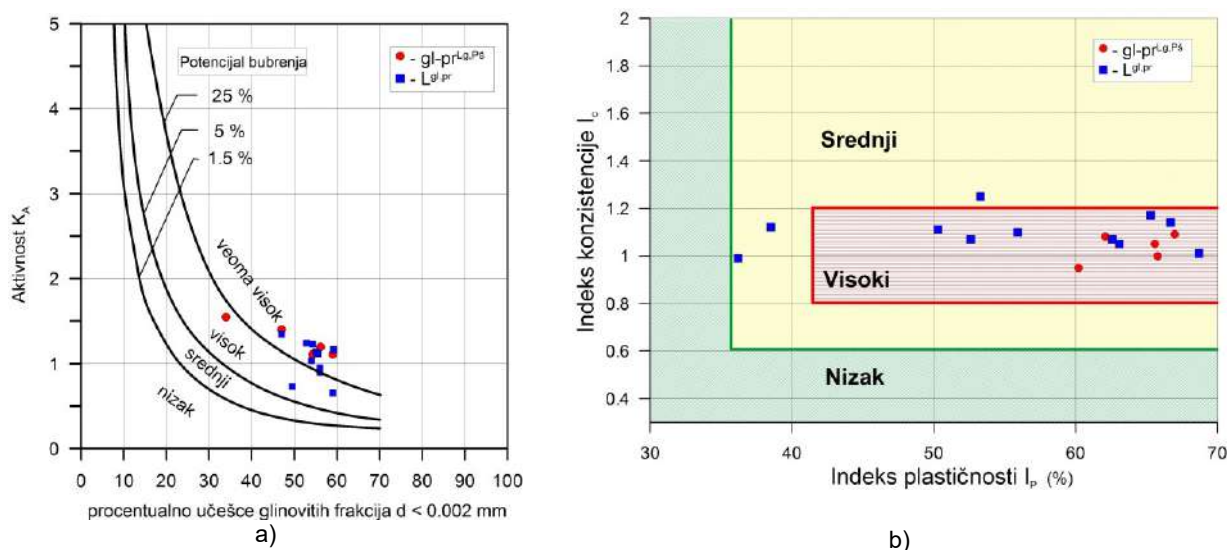
Slika 8. Međuzavisnosti čvrstoće smicanja, vlažnosti tla i sadržaja glinovitih frakcija

Navedene geotehničke karakteristike ukazuju da je neophodno predložiti parametre za dva različita sistema iskopa. Prvi se odnosi na slučaj da se podzemni radovi i zaštita padine potpornim konstrukcijama, izvode relativno brzo u kratkim vremenskim intervalima nakon iskopa, i tada se predlaže korišćenje „kritičnih“ parametara čvrstoće smicanja, koji su definisani za odgovarajuću vrednost pomeranja. Međutim, ukoliko se izgradnja tunela ne može izvesti u relativno kratkom vremenskom roku, onda se moraju uzeti u obzir i nepovoljni sezonski vremenski uslovi, ali i činjenica da je u neposrednoj zoni tunela, utvrđeno aktivno klizanje. U tom slučaju odgovarajuće geostatičke proračune, tj. analize stabilnosti kosina treba sprovoditi sa rezidualnim parametrima čvrstoće smicanja.

Karakteristično je da su na osnovu edometarskih ispitivanja, svi uzorci iskazali potencijal bubrenja, bez obzira na to iz koje sredinu su uzeti (laporoviti gline prašinate ili lapora glinoviti lokalno prašinate). Na nekim uzorcima iz ove laporovite serije napon bubrenja bio je veći od $\sigma_{sw} > 300$ kPa, tako da se može reći da se radi o sredinama sa veoma visokim potencijalom bubrenja u prisustvu vode (Slika 9a). Ovi rezultati ukazuju da je pri dimenzionisanju tunelske podgrade neophodno uračunati i dodatni pritisak usled bubrenja. Treba napomenuti da je postupak laboratorijskih ispitivanja bio različit, pa je tako u većini slučajeva voda

dodavana na početku ispitivanja pri stupnju opterećenja od 50 kPa, ali u nekim slučajevima i pri opterećenju od 200 kPa, tako da su dijagrami kompresije bili različiti. S obzirom da se radi o ekstremno plastičnim sredinama, ovo je posebno značajno jer podrazumeva da se nakon iskopa vrše i obavezne zaštite od podzemnih kao i tehnoloških voda koje se moraju odstranjivati, a sam iskop ne bi trebalo dugo da ostane nezaštićen.

Kako duž trase tunela dominiraju meke stene, postoji određeni rizik od lepljenja tj. začepljenja glave mašine za iskop jako plastičnim materijalima. U ovakvim uslovima proces čišćenja mašine može da bude dugotrajan i da na taj način uspori radove. Mogućnost lepljenja materijala može se proceniti na osnovu odnosa karakteristika tla, tj. indeksa konzistencije i indeksa plastičnosti. Kao što se može videti na slici 9b, bez obzira na dominaciju čvrstih i polučvrstih materijala u prirodnom stanju vlažnosti, postoji izvesni rizik od lepljena materijala. U tim slučajevima se koristi glava sa većim brojem otvora u sredini i sa sistemom za ispiranje.



Slika 9. a) Potencijal bubrenja Mio-Pliocenog kompleksa b) rizik od začepljenja glave za iskop

Na osnovu sagledavanja terenskih uslova i zbirne analize svih laboratorijskih ispitivanja, usvojene su merodavne vrednosti prametera fizičko-mehaničkih svojstava geotehničkih sredina, koje su korišćene prilikom geotehničkih analiza (Tabela 2).

Tabela 2. Merodavne vrednosti fizičko-mehaničkih parametara na lokaciji tunela „Debelo brdo“

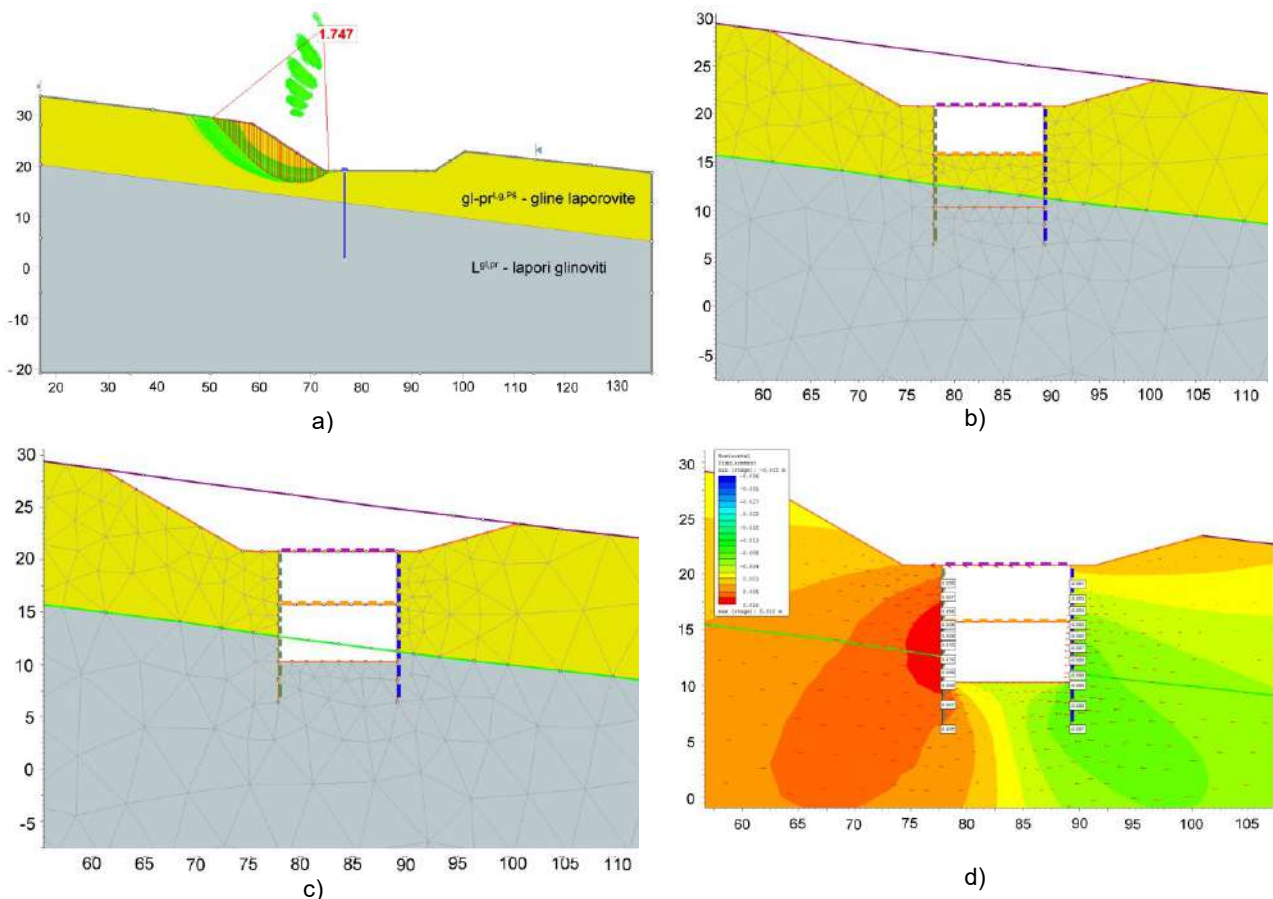
Geotehnička sredina	Fizičko-mehanički parametri							
	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (^o)	c_r (kPa)	ϕ_r (^o)	E_s (MPa)	E_r (MPa)	ν
Laporovita glina prašinstava (gl-pr ^{L-g})	18.5	28	18	12	10	20	60	0.35
Lapor glinovit lokalno prašinstav (L ^{gl,pr})	19.0	40	20	12	11	25	75	0.33

4. GEOTEHNIČKE PREPORUKE VEZANE ZA IZGRADNJU TUNELA

Imajući u vidu svojstva i stanje ovodnjenosti stenskih masa, za izgradnju tunela u otvorenom iskopu predviđeno je osiguranje privremenog iskopa, ugradnjom šipova. U vezi sa tim sprovedene su odgovarajuće geotehničke analize u skladu sa predloženim fazama iskopa i to: prva faza obuhvata iskop vršnog dela kosine, a druga faza iskop za izradu tunelske konstrukcije.

Prva faza podrazumeva manji obim zemljanih radova potrebnih za formiranje privremene kosine i radnog platoa za ugradnju šipova. Radovi će se izvoditi u laporovitim glinama prašinstim, tako da su za analize stabilnosti korišćeni predloženi fizičko-mehanički parametri za ovu geotehničku sredinu. S obzirom na već pomenute nestabilnosti na padini ispod lokacije tunela, analiza je prvo urađena korišćenjem rezidualnih

parametara čvrstoće smicanja, za projektovani nagib kosine 1:2, i tom prilikom je dobijen faktor sigurnosti $F_s < 1.0$. Iz tih razloga je predloženo da se iskop izvede sa jednom bermom širine 4 m na visini od oko 5 m u odnosu na kotu radnog platoa. Za predloženi način iskopa, dobijen je zadovoljavajući faktor sigurnosti koji je nešto veći od 1 ($F_s = 1.014$), uz napomenu da je analiza urađena sa rezidualnim parametrima čvrstoće smicanja. Međutim, u slučaju da se zemljani radovi i zaštita padine potpornom konstrukcijom, izvedu u kratkom vremenskom periodu i bez uticaja eventualnih atmosferskih promena (intenzivne padavine i sl.), analiza je urađena i sa „kritičnim“ parametrima čvrstoće smicanja, tako da je dobijen znatno veći faktor sigurnosti ($F_s = 1.747$). Ovde treba napomenuti da se radi o materijalima u kojima se pod određenim uslovima promene vlažnosti, mogu značajnije da smanje otporna svojstva i da im se poveća zapremina tj. da dođe do bubrenja, što bi podrazumevalo i posebne mere zaštite. U okviru druga faze iskopa izvešće se zaštitni šipovi koji će biti osigurani razuporom (Slika 10).



Slika 10. Geotehničke analize stabilnosti tokom prve faze iskopa: a) kratkoročna stabilnost sa kritičnim parametričima čvrstoće smicanja; b) prva faza iskopa sa razuporom; c) druga faza iskopa za tunel; d) očekivana horizontalna pomeranja šipova

Izgradnja tunela na delu sa podzemnim iskopom izvešće se po principima NATM (New Austrian Tunneling Method). Predviđa se iskop sa faznom razradom profila: kalote, oporaca, a nakon toga podnožnog svoda. Za zaštitu kalotnog iskopa predviđa se primarna podgrada: krovni-cevni štit, remenate, armaturne mreže i slojevi torkreta. Da bi se sprečila prekomerna sleganja predviđena je slonova stopa, ugradnja mikro šipova i ankera, i izrada privremenog podnožnog svoda. Za osiguranje iskopa u predelu oporaca takođe je predviđena konstrukcija od remenata, mreža, slojeva torkreta i ankera. U cilju smanjenja sleganja i stabilnosti iskopa, i na nivou oporaca predviđena je izrada druge slonove stope, ugradnja drugog reda mikro šipova i drugog privremenog podnožnog svoda. Za osiguranje iskopa u predelu podnožnog svoda predviđena je konstrukcija od remenata, armaturnih mreža i slojeva torkreta. Sekundarnu podgradu treba dimenzionisati imajući u vidu vremensko slabljenje i smanjenje nosivosti elemenata primarnog podgradnog sistema, pre svega torkreta i ankera.

Kako bi se prilagodio sistem primarne podgrade i dokazala stabilnost iskopa tunela u različitim fazama građenja, obavljene su naponsko-deformacijske analize. Za analizu naponsko-deformacijskih stanja u

tunelskoj podgradi i okolnoj stenskoj masi, najpouzdanija je trodimenzionalna analiza, kojom se simulira napredovanje radova sa praćenjem naponskih promena i deformacija u okolini privremenog radnog čela. Međutim, kada se čelo iskopa udalji dovoljno daleko od posmatranog poprečnog preseka, granični problem prelazi u dvodimenzionalne uslove ravnog stanja deformacija (2D), tako da se proračuni stabilnosti tunela načelno vrše primenom 2D modela ali, uz posredno uvođenje 3D efekata.

Nosivost nepodgrađene stenske mase u zavisnosti od stepena relaksacije napona je najbitniji faktor stabilnosti tunelskog iskopa. Faktor stabilnosti nepodgrađenog tunelskog iskopa definiše se kao odnos napona oko tunelskog iskopa (p_0) i jednoaksijalne čvrstoće stenske mase (σ_{cm}):

$$N_s = \frac{2p_0}{\sigma_{cm}}$$

Kada je faktor stabilnosti $N_s \leq 1$, odziv stenske mase biće elastičan, dok u slučaju da je faktor stabilnosti $N_s > 1.0$ stenska masa će se ponašati elasto-plastično, tj. deo stenske mase će se plastificirati. Da bi se definisala granica elastičnog ponašanja stenske mase, koristi se kritični stepen relaksacije koji se definiše koeficijentom λ_{cr} , na osnovu sledećeg izraza:

$$\lambda_{cr} = 1 - \left[\frac{2}{1+K} \cdot \frac{N_s - 1}{N_s} \right]$$

gde je $K = \text{tg}^2 (45 + \varphi/2)$

Da bi se stenska masa oko tunelskog iskopa na određenom rastojanju od čela iskopa ponašala elastično i pri faktoru stabilnosti $N_s > 1$, relaksacija napona usled iskopa tunela ne sme biti veća od vrednost λ_{cr} . To znači da je neophodno ugraditi oblogu (primarnu podgradu) na određenoj udaljenosti od čela iskopa, dovoljne nosivosti i krutosti koja obezbeđuje da 3D efekat još uvek zadržava potrebni nivo relaksacije napona. U skladu sa principima NATM, dozvoljen je određeni nivo plastifikacije oko tunelskog iskopa, ali on ne sme preći dužinu sidara. U idealnim okolnostima plastifikacija ne bi trebalo da prelazi dužinu od 3-6 m.

Simuliranje iskopa tunela i podgrađivanje, izvedeno je u devet koraka (Tabela 3).

Tabela 3. Fazni prikaz simulacije iskopa i podgrađivanja tunela „Debelo brdo“

Korak 1	Definisanje konturnih uslova, geometrije iskopa i geotehničkih sredina, polja primarnih napona
Korak 2	Formiranje površine terena
Korak 3	Inicijalno stanje – poništavanje deformacija
Korak 4	Relaksacija stenske mase u predelu kalote tunela
Korak 5	Formiranje zone poduhvatne podgrade, ugradnjom i injektiranjem cevnih ankera, iskop kalote tunela,
Korak 6	Postavljanje primarne podgrade u kaloti, izrada privremenog podnožnog svoda, u podini kalote, relaksacija stenske mase u predelu oporaca
Korak 7	Iskop oporaca, postavljanje primarne podgrade u predelu oporaca, izrada privremenog podnožnog svoda, na nivou oporaca, relaksacija stenske mase u zoni oporaca-bokovima
Korak 8	Iskop podnožnog svoda, izrada podnožnog svoda, potpuno rasterećenje

Usvajanjem određenih pretpostavki o svojstvima, stanju i ponašanju stenskih masa (geostatički naponi, koeficijent bočnog pritiska, Kulon-Morov kriterijum loma, različite vrednosti modula elastičnosti za opterećenje E_s i rasterećenje E_r , cevni štit je simuliran materijalom sa ekvivalentnim svojstvima, relaksacija napona u fazi iskopa za $\lambda = 0.3$, simulirana je progresivnim omekšavanjem stene, nakon ugradnje cevnog štita, naponi u stenskoj masi su relaksirani na $\lambda = 0.7$), sprovedene su geotehničke analize i dobijene su vrednosti određenih parametara koje su prikazane u Tabeli 4.

Tabela 4. Vrednosti parametara koji se koriste pri simulaciji uticaja na iskop čela tunela „Debelo brdo“

N_s	λ_{cr}	r_p	λ_0	r_{p0}	K_0
9.8	0.41	24.7	0.7	10.1	0.65

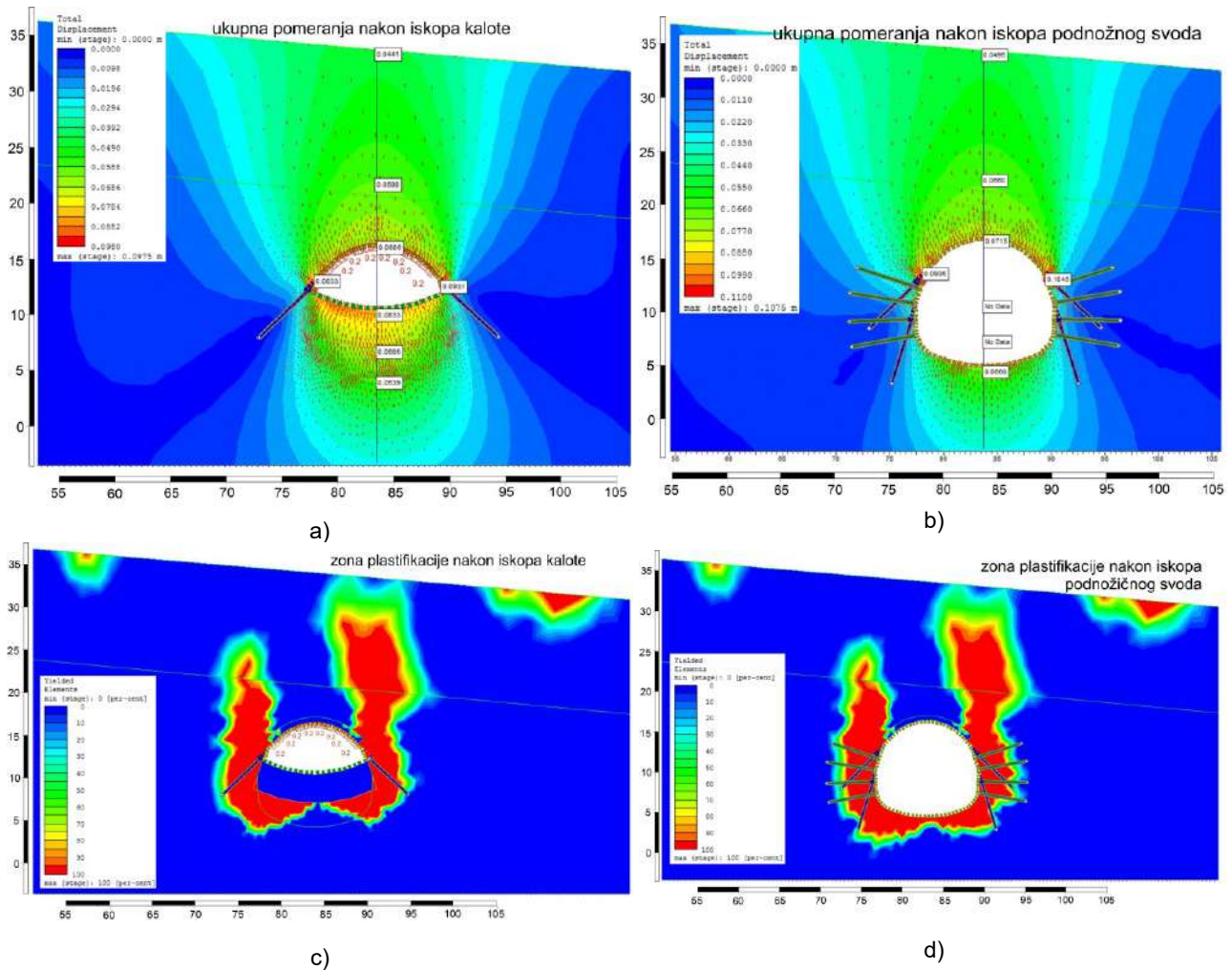
r_p - poluprečnik zone plastifikacije za slučaj nepodgrađenog iskopa

r_{p0} - poluprečnik zone plastifikacije za slučaj relaksacije $\lambda_0 = 0,7$

Verifikacija podgrade tunela je izvršena pomoću programskog paketa *Phase2*. Softver *Phase2* koristi metod konačnih elemenata i omogućava numeričku analizu svih vrsta tunela i drugih podzemnih objekata u dve dimenzije. Faze izrade modela pratile su uobičajenu građevinsku praksu, tj. iskop i primenu mera osiguranja.

Rezultati proračuna ukazuju da će iskop izazvati znatna pomeranja stenske mase u zoni tunelskog iskopa ali, određena pomeranja će se manifestovati i na površini terena (Slika 11a i 11b). Takođe, i zona plastifikacije stenske mase javlja se do same površine terena (Slika 11c i 11d), pa iz tih razloga sve aktivnosti u toku izgradnje treba izvoditi obazrivo. Sile u ankerima i podgradnim elementima su unutar graničnih, dopuštenih vrednosti.

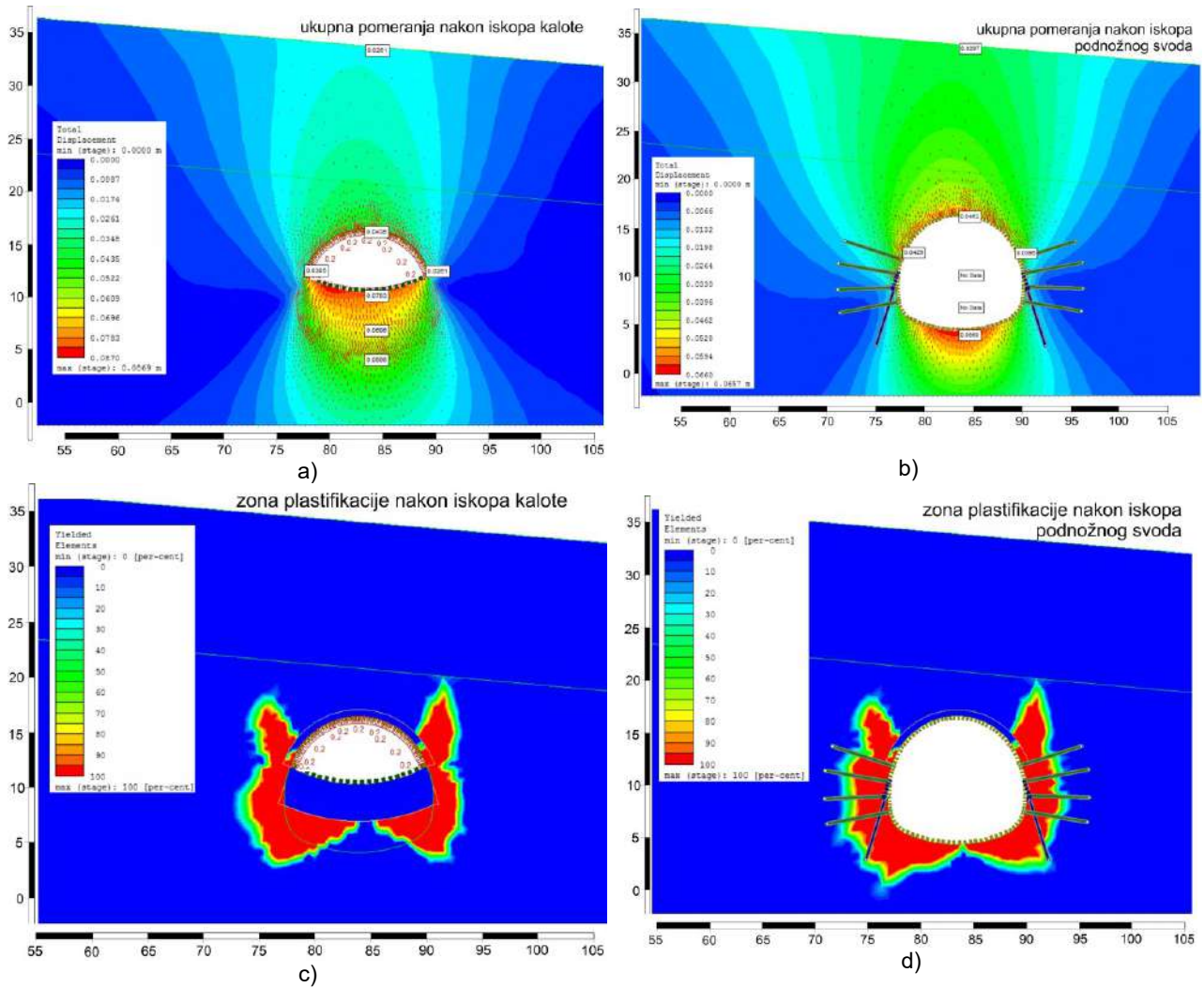
Rezultati geotehničkih proračuna, za predloženo rešenje načina izgradnje tunela „Debelo brdo“ prikazani su na Slikama br. 11.



Slika 11. Naponsko deformacijske analize za predloženo rešenje: a) ukupna pomeranja nakon iskopa kalote; b) ukupna pomeranja nakon iskopa podnožnog svoda; c) zona plastifikacije nakon iskopa kalote; d) zona plastifikacije nakon iskopa podnožnog svoda

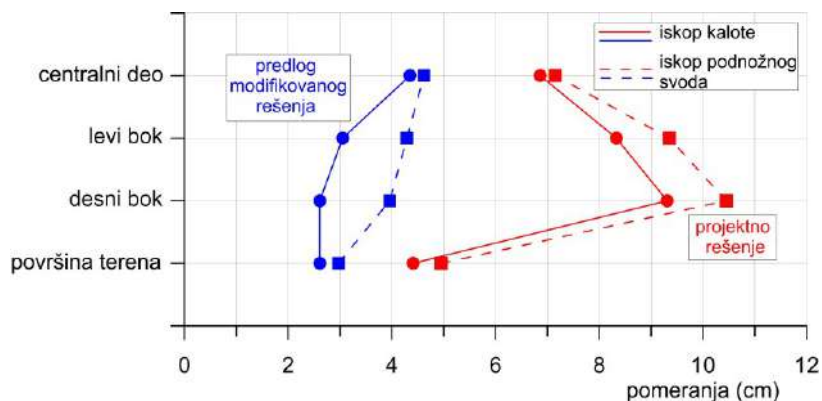
Najveće naponsko-deformacijske promene nastaju u fazi izvođenja kalote i to ispod cevnog štita, u zoni slonovih stopa. Stanje se može poboljšati ako se luk cevnog štita produži, tj. spusti do nivoa poda kalote. Međutim to je praktično nemoguće izvesti jer, u tom slučaju, za ugradnju cevnog štita smeta slonova stopa.

Iz tih razloga, mogući efekti spuštavanja cevnog štita do poda kalote, razmatrani su na modifikovanom modelu, bez slonove stope i mikrošipova na nivou kalote. Proračunski modeli sa rezultatima proračuna, koji ukazuju na efekte koji se ostvaruju modifikacijom projektnog rešenja prikazani su na Slikama 12, dok je zbirni prikaz svih pomeranja za predloženo projektno rešenje kao i rešenje sa predloženom modifikacijom, prikazano na Slici 13.



Slika 12. Naponsko deformacijske analize za modifikovano rešenje: a) ukupna pomeranja nakon iskopa kalote; b) ukupna pomeranja nakon iskopa podnožnog svoda; c) zona plastifikacije nakon iskopa kalote; d) zona plastifikacije nakon iskopa podnožnog svoda

Za laporovito glinovite sredine, u kojima se predviđa izgradnja tunela, po pravilu je problematična nosivost ankera. U ovakvim stenskim masama, kao najadekvatniji pokazali su se swellex ankeri, a po potrebi se mogu koristiti i ibo ankeri. Za privremeno osiguranje čela iskopa mogu se koristiti fiberglass ankeri i tanji sloj torkreta. Predloženo je da se iskop kalote izvodi faznom razradom čela, sa formiranjem potpornog tela, ostavljanjem prizme koja će doprinositi stabilnosti čelu iskopa.



Slika 13. Zbirni prikaz pomeranja kalote i podnožnog svoda za projektno i modifikovano rešenje

4. ZAKLJUČAK

Prognoza geotehničkih uslova izgradnje tunela "Debelo brdo", izvršena je na osnovu sveobuhvatne analize izvedenih geotehničkih istraživanja duž trase tunela. Interpretacija rezultata laboratorijskih ispitivanja je bila relativno složena, s obzirom da su obavljani i određeni nestandardni opiti, pa je iz tih razloga detaljno prikazan i način na koji su usvojeni fizičko-mehanički parametri sa kojima su izvršene odgovarajuće geotehničke analize (analize stabilnosti i naponsko deformacijske analize). Posebno su analizirani geotehnički uslovi vezani za iskop tunela (način iskopa, moguće pojave, konvergencija profila), a posebno geotehnički uslovi osiguranja iskopa (primarno, finalno, hidroizolacija).

Imajući u vidu svojstva i stanje ovodnjenosti stenskih masa, za izgradnju tunela u otvorenom iskopu predviđeno je osiguranje privremenog iskopa, ugradnjom šipova. S obzirom na registrovane pojave nestabilnosti u zoni tunela kao i relativno nepovoljne hidrogeološke uslove u terenu (na delu iskopa koji je planiran u otvorenom, može se očekivati podzemna voda jer je utvrđen proslojak peska debljine oko 1 m), predloženo je korišćenje rezidualnih parametara čvrstoće smicanja. Geotehničke analize su pokazale da se privremene kosine, iznad nivoa radnog platoa, gde će se izvesti šipovi, izvedu sa predloženim nagibom, ali sa bermom širine 4 m na visini od oko 5 m iznad radnog platoa.

Kada je u pitanju način iskopa, analizirano je predloženo projektno rešenje, a rezultati su pokazali da će u zoni tunelskog iskopa doći do znatnih pomeranja stenske mase, koje će se manifestovati i na površini terena. Iz tih razloga, analizirana je i delimično izmenjena varijanta iskopa, sa produženim cevnom štitom, tj. spuštenim do nivoa kalote, ali bez slonove stope i mikrošipova na nivou kalote, i tom prilikom su dobijene znatno manje deformacije oko tunelskog iskopa, sa deformacijama na površini terena koje su zanemarljive.

Zahvalnica

Ovaj rad je realizovan na osnovu „Ugovor o realizaciji i finansiranju naučnoistraživačkog rada NIO u 2022. godini“, br. 451-03-68/2022-14/200126, koji je potpisan sa Ministarstvom prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Literatura

- [1] Rakić, D. i dr. (2017). Idejni projekat i studija izvodljivosti sa procenom uticaja na životnu sredinu za izgradnju autoputa E-80 (SEETO Ruta 7): od administrativnog prelaza Merdare do Niša preko obilaznice Prokuplja, deonica Niš – Pločnik, Sveska E21: Elaborat o geotehničkim uslovima izgradnje trase autoputa, 202 p.
- [2] Rakić, D. i dr. (2017). Idejni projekat i studija izvodljivosti sa procenom uticaja na životnu sredinu za izgradnju autoputa E-80 (SEETO Ruta 7): od administrativnog prelaza Merdare do Niša preko obilaznice Prokuplja, deonica Niš – Pločnik, Sveska E22: Elaborat o geotehničkim uslovima izgradnje objekata – mostovi i nadvožnjaci, 230 p.
- [3] Rakić, D.; Berisavljević, Z.; Basarić, I.; Lazić, M.; Stevanović, M. (2017). Opšti geotehnički uslovi izgradnje autoputa E-80 Niš – Merdare, Deonica: Niš – Pločnik, I Deo, Zbornik radova VII naučno-stručnog međunarodnog savetovanja: Geotehnički aspekti građevinarstva, 75-82.
- [4] Rakić, D.; Berisavljević, Z.; Basarić, I.; Lazić, M.; Stevanović, M. (2017). Opšti geotehnički uslovi izgradnje autoputa E-80 Niš – Merdare, Deonica: Niš – Pločnik, II Deo, Zbornik radova VII naučno-stručnog međunarodnog savetovanja: Geotehnički aspekti građevinarstva, 83-92.
- [5] Rakić, D.; Berisavljević, Z.; Basarić, I.; Lazić, M.; Stevanović, M. (2018). Inženjerskogeološki uslovi izgradnje prve deonice autoputa Niš – Merdare, Zbornik radova - CD (Book of papers - CD), Treći Srpski kongres o putevima, Beograd, str. 12-23.
- [6] Rakić, D.; Berisavljević, Z.; Basarić, I.; Bogdanović, S.; Janković, J. (2019). Geotechnical zoning of the terrain along the first section of E-80 highway in Serbia – SEETO route 7”, *Proceedings of the XVII European Conference of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering ECSMGE-2019*, Geotechnical Engineering foundation of the future, Reykjavik, Iceland, 2019.
- [7] Rakić, D. i dr. (2020). Projekat za građevinsku dozvolu za izgradnju autoputa E-80 u Srbiji (SEETO Ruta 7): od Niša (Merošina) do Pločnika (Beloljin) – I faza izgradnje; Deonica 2 km: 5+670.055– km: 14+300.00; WB18-SRB-TRA-02-TXT-E21, Sveska E21. Elaborat o geotehničkim istraživanjima terena za izgradnju autoputa, 1947 p.

METODOLOGIJA PLANIRANJA I PROJEKTOVANJA PUTNE INFRASTRUKTURE U PROSTORU

Sanja Fric, dipl.građ.inž.¹

¹ Docent, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, sfric@grf.bg.ac.rs

Dejan Gavran, dipl.građ.inž.

Vanredni profesor, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, gavran@eunet.rs

Vladan Ilić, mast.inž.građ.

Docent, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, vilic@grf.bg.ac.rs

Filip Trpčevski, mast.inž.građ.

Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, frpcevski@grf.bg.ac.rs

Stefan Vranjevac, mast.inž.građ.

Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, svranjevac@grf.bg.ac.rs

Miloš Lukić, mast.inž.građ.

Asistent, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, mlukic@grf.bg.ac.rs

Rezime: U procesu planiranja i projektovanja putne infrastrukture postoji niz zadataka koji se realizuju kroz planiranje neposrednih aktivnosti sa ciljem da se reše ili makar ublaže problemi u funkcionisanju saobraćaja u celini. Tako se pod pojmom planiranja saobraćaja podrazumevaju različiti nivoi, počevši od strateškog planiranja na nivou države, pa sve do planiranja i organizacije gradnje, eksploatacije pa u krajnjoj liniji i održavanja svih objekata putne infrastrukture. Dosadašnja iskustva u domaćoj putnoj praksi, nažalost ukazuju na česte probleme koji nastaju kao posledica nerazumevanja pre svega hijerarhijske usklađenosti i celovitosti procesa. Ono što treba da posluži kao aksiom u realizaciji putne infrastrukture je da ne postoji proces planiranja bez procesa projektovanja (i obratno) i da se sva složenost realizacije objekata putne infrastrukture ogleda upravo u međuzavisnosti ova dva procesa i njihovog relativnog učešća u samom procesu realizacije.

Ključne reči: metodologija, planiranje, projektovanje, tehnička dokumentacija, prostor

METHODOLOGY OF THE ROAD INFRASTRUCTURE PLANNING AND DESIGN IN SPACE

Sanja Fric, dipl.građ.inž.²

¹ Assistant professor, University of Belgrade – Faculty of Civil Engineering, sfric@grf.bg.ac.rs

Dejan Gavran, dipl.građ.inž.

Associate professor, University of Belgrade – Faculty of Civil Engineering, gavran@eunet.rs

Vladan Ilić, mast.inž.građ.

Assistant professor, University of Belgrade – Faculty of Civil Engineering, vilic@grf.bg.ac.rs

Filip Trpčevski, mast.inž.građ.

University of Belgrade – Faculty of Civil Engineering, frpcevski@grf.bg.ac.rs

Stefan Vranjevac, mast.inž.građ.

University of Belgrade – Faculty of Civil Engineering, svranjevac@grf.bg.ac.rs

Miloš Lukić, mast.inž.građ.

Teaching assistant, University of Belgrade – Faculty of Civil Engineering, mlukic@grf.bg.ac.rs

Abstract: In the process of planning and designing the road infrastructure, there are a number of tasks that are realized through the planning of immediate activities in order to solve or at least mitigate the problems in the functioning of traffic in general. Thus, the concept of road planning and design implies different levels, starting from strategic planning at the state level, all the way to planning and organization of construction, exploitation and, ultimately, maintenance of all road infrastructure facilities. Experiences so far in domestic road practice, unfortunately, indicate frequent problems that arise as a result of misunderstanding, above all, hierarchical coherence and integrity of the process. What should serve as an axiom in the realization of road infrastructure is that there is no planning process without the design process (and vice versa) and that all the complexity of the realization of road infrastructure is reflected in the interdependence of these two processes and their relative participation in the realization process.

Keywords: methodology, planning, design, technical documentation, the space

¹ Autor zadužen za korespondenciju: sfric@grf.bg.ac.rs

² Autor zadužen za korespondenciju: sfric@grf.bg.ac.rs

1. UVOD

Nesporno je da saobraćaj predstavlja sastavni deo savremene civilizacije. Svedoci smo da njegov razvoj drastično menja način života (pristupačnost lokaciji, izbor mesta stanovanja, rada, školovanja i sl.), postaje sredstvo integracije društva i tako direktno obezbeđuje veći stepen slobode u svakodnevnim migracijama čoveka kao jedinke.

Tako se može konstatovati da ne postoji razvoj društva bez razvoja saobraćaja i obratno. Društvena uloga razvoja saobraćajne infrastrukture je tako oduvek bila pod direktnim uticajem stepena razvoja društva ali i političkih ciljeva koji tim razvojem upravljaju. Time društvo kroz process *planiranja* preuzima ulogu upravljača razvojem pojedinih saobraćajnih infrastrukturnih sistema (putevi, železnica, aerodromi), sa ciljem obezbeđivanja ravnoteže u svim područjima razvoja.

Jasno je da neposredan interes najšire javnosti treba da predstavlja politika razvoja saobraćajne infrastrukture, utemeljena pre svega na činjenicama i argumentima i njena dosledna primena u praksi kroz sve faze planiranja i projektovanja, a potom i eksploatacije i održavanja saobraćajnih infrastrukturnih sistema.

U radu će biti prikazani ključni izazovi koji proističu u domaćoj putnoj praksi kada se osnovna načela zaobiđu ili se neki od metodoloških koraka u prosecu planiranja i projektovanja preskoče.

2. KRITIČKI OSVRT NA METODOLOGIJU IZRADE TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

Poglavlje V važećeg *Zakona o planiranju i izgradnji* ("Sl. glasnik RS", br. 72/2009, 81/2009 - ispr., 64/2010 - odluka US, 24/2011, 121/2012, 42/2013 - odluka US, 50/2013 - odluka US, 98/2013 - odluka US, 132/2014, 145/2014, 83/2018, 31/2019, 37/2019 - dr. zakon, 9/2020 i 52/2021), definiše sadržinu i vrstu tehničke dokumentacije. Tehnička dokumentacija se tako u skladu sa odredbama Zakona, sastoji od [1]:

- Generalnog projekta
- Idejnog rešenja
- Idejnog projekta
- Projekta za građevinsku dozvolu
- Projekta za izvođenje
- Projekta izvedenog objekta

2.1 Generalni projekat – neophodan ili ne?

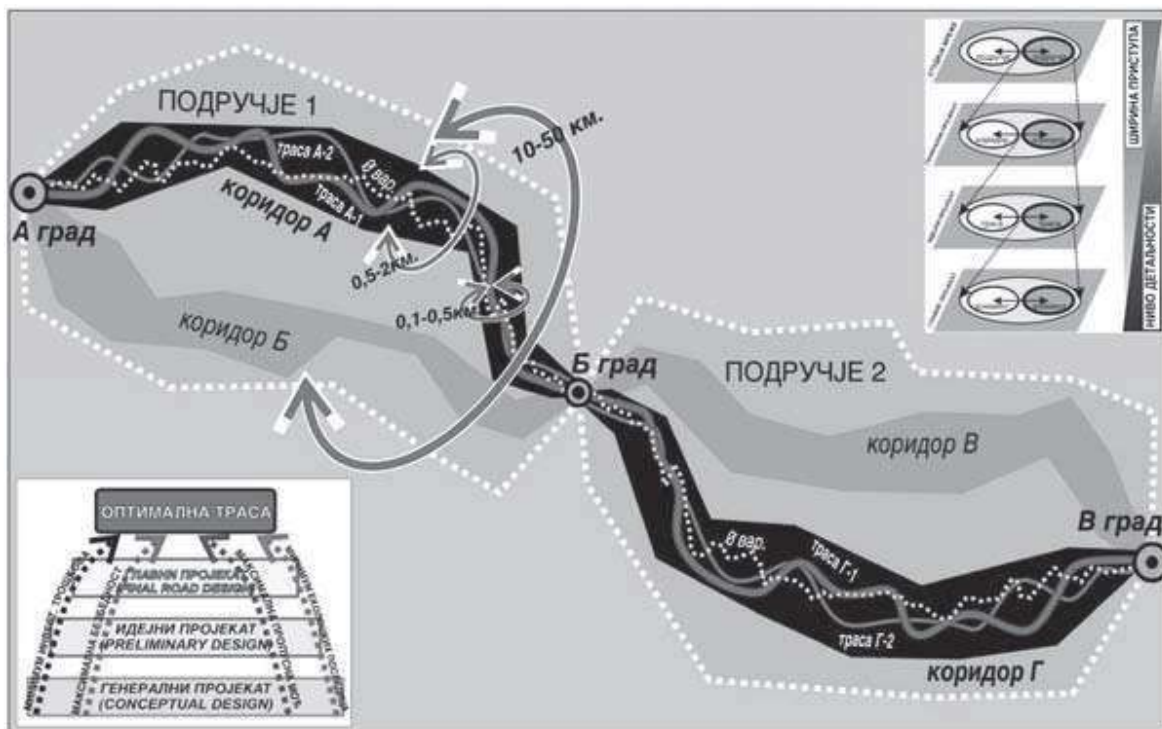
U *Zakonu o planiranju i izgradnji*, u članu 111. definisano je da se je za sve objekte koji se finansiraju iz budžeta Republike Srbije, neophodno pristupiti izradi prethodnih radova na osnovu kojih se izrađuje Prethodna studija opravdanosti, čiji je sastavni deo Generalni projekat.

U članu 14. *Pravilnika o sadržini, načinu i postupku izrade i načinu vršenja kontrole tehničke dokumentacije prema klasi i nameni objekata* ("Sl. glasnik RS", br. 73/2019), definisano je da Prethodna studija opravdanosti sa Generalnim projektom ima za cilj da izvrši izbor optimalne varijante koridora budućeg puta na osnovu seta *prirodnih, tehničkih, tehnoloških, ekonomskih, funkcionalnih, ekoloških i drugih uslova* [2].

Propisano je da se na osnovu zaključaka Prethodne studije opravdanosti sa generalnim projektom donosi planski dokument ali i konačna odluka, Investitor o realizaciji objekta (odnosno o opravdanosti ulaganja u narednu fazu razrade projektne dokumentacije), o faznosti i etapnosti realizacije, uslovima eksploatacije i sl.

U ovoj početnoj, ključnoj fazi, suštinski se, na osnovu seta analiza, donosi odluka o tome **da li nešto uopšte treba graditi i, ako treba, kada i gde treba**, kao što je to još davne 1877.g. akcentovao Arthur Mellen Wellington u svojoj knjizi "The economic theory of location of Railways".

Poštujući zakonom definisanu proceduru, u narednim fazama izrade tehničke dokumentacije (Idejni projekat pre svega), osnovni zadatak projektantskog tima podrazumeva da unutar prethodno izabranog optimalnog koridora, kroz proces vrednovanja varijantnih rešenja izabere optimalnu trasu koja će se dalje razrađivati na nivou Projekta za građevinsku dozvolu.



Slika 1. Izbor optimalne lokacije u zavisnosti od faze izrade projekta puta
Source: ([4])

Međutim, u članu 111. *Zakona o planiranju i izgradnji* definisano je da se Prethodna studija opravdanosti sa generalnim projektom ne izrađuje ako se na osnovu planskog dokumenta mogu izdati Lokacijski uslovi za dalje postupanje i aktivnosti.

Na ovaj način može se izvesti zaključak o prvoj nedoslednosti zakonske regulative u ovoj oblasti, s obzirom da je u Zakonu, član 113. navedeno da se na osnovu Prethodne studije opravdanosti sa Generalnim projektom donosi planski dokument, a u članu 111. je definisano da se ista ne izrađuje ako se na osnovu postojećeg planskog dokumenta mogu izdati Lokacijski uslovi.

Otvoreno je pitanje da li je u procesu donošenja tog postojećeg planskog dokumenta koji će biti osnov za Idejni projekat izvršen proces vrednovanja varijantnih rešenja na osnovu koga je izabran optimalan koridor budućeg puta? Ako su varijantna rešenja i postojala, da li su ulazni podaci za njihovo definisanje podrazumevali i primenu geografskih informacionih sistema u svrhu prikupljanja podataka o predmetnom prostoru, dobijanja podataka o topografiji terena, analizu inženjersko-geoloških i geotehničkih uslova terena, analizu hidrografskih, hidroloških i klimatskih parametara?

Gore navedeno svakako nije i ne treba da bude oblast delovanja kolega prostornih planera niti su to aktivnosti koje izrada planskog dokumenta podrazumeva. Naša dužnost kao građevinskih inženjera je da kolegama planerima pribavimo set svih neophodnih informacija o topografiji, inženjerskoj geologiji, hidrološkim i hidrografskim karakteristikama optimalnog koridora budućeg puta, kako bi znali da plan koji oni izrade a država usvoji neće prepeti značajne izmene u detaljnoj razradi dokumentacije, što bi nas vraćalo na ponovnu procedure izmena i usvajanja plana.

Domaća praksa i donekle negativno iskustvo su nam sigurno pokazali da je potrebno da poštujemo stav da **ne postoji proces planiranja bez procesa projektovanja** i da svakoj od ovih faza treba da opredelimo vremenski okvir za realizaciju koji ona i zaslužuje. Pre donošenja ključnih planova neophodno je razraditi projektnu dokumentaciju na zahtevanom nivou detaljnosti, kako bi bili sigurni da ono što je planom definisano, može biti u tom koridoru i izgrađeno.

Prethodna studija opravdanosti sa generalnim projektom, kao ključna faza u izboru optimalnog koridora puta, upravo daje sve neophodne podatke za definisanje planskog osnova za dalju razradu tehničke dokumentacije i kao takva bi trebalo da bude **apsolutno obavezujuća** u procesu novogradnje svakog državnog puta u mreži.

Ako se ova faza preskoči i, usled nepostojanja dovoljno neophodnih informacija na samom početku donese pogrešna odluka o pružanju koridora budućeg puta, Zakon nam ne ostavlja mogućnost da se u narednim fazama ta odluka koriguje i možemo biti sigurni da će se posledice takve odluke sigurno osetiti u fazi građenja i eksploatacije puta, kada više tu grešku ne možemo korigovati, a troškovi građenja i održavanja puta će samo rasti.

Ako je neophodno, iz raznoraznih razloga, ubrzati proceduru izrade tehničke dokumentacije, poštujući neophodnost izrade Generalnog projekta, potrebno je uvesti mogućnost da činjenica da je Generalni projekat definisao koridor u prostoru i da je kroz Prethodnu studiju opravdano dalje investiranje, bude sasvim dovoljan osnov za izdavanje Lokacijskih uslova.

2.2. Konflikt Idejnog projekta i Prostornog plana područja posebne namene

U skladu sa važećim *Zakonom*, posle Generalnog projekta, sledi razrada Idejnog rešenja u kojem se prikazuju samo podaci neophodni za izdavanje lokacijskih uslova, odnosno podaci neophodni za utvrđivanje usklađenosti sa planskim dokumentom, bez detaljne razrade tehničkih rešenja.

U članu 16. *Pravilnika o sadržini, načinu i postupku izrade i načinu vršenja kontrole tehničke dokumentacije prema klasi i nameni objekata* ("Sl. glasnik RS", br. 73/2019), za linijske infrastrukturne objekte, pa samim tim i za puteve, definisano je da se Idejnim projektom vrši izbor **optimalne trase** budućeg puta. Na osnovu ovoga se može konstatovati da faza Idejnog projekta mora podrazumevati i proces vrednovanja varijantnih rešenja trase budućeg puta u mreži.

Ovaj proces bi, u skladu sa Zakonom, trebalo da bude sastavni deo Studije opravdanosti na osnovu koje se donosi odluka o prostornoj, ekološkoj, društvenoj, finansijskoj, tržišnoj i ekonomskoj opravdanosti investicije za izabranu alternativu od svih projektnih alternativa razmatranih na nivou Idejnog projekta.

Međutim, *Zakon o planiranju i izgradnji* u članu 21. uvodi *Prostorni plan područja posebne namene* u domaću putnu praksu. Definisano je da se, između ostalog, ovakvi planovi donose za sve objekte za koje Vlada utvrdi da su od značaja za Republiku Srbiju.

Zakon o putevima ("Sl. glasnik RS", br. 41/2018 i 95/2018), u svom članu 9. kao opšti interes definiše upravljanje javnim putevima, a kao prva aktivnost u upravljanju prepoznato je *planiranje, projektovanje, izgradnja, rekonstrukcija, održavanje i zaštita javnog puta* [3].

Uzevši navedeno u obzir, svedoci smo da su u proteklom periodu svi pravci državnih puteva I reda odlukom Vlade Republike Srbije proglašavani za objekte od posebnog značaja za državu. Nesporno je da je razvoj saobraćajne infrastrukture jedan od pokretača razvoja društva u celini, kao što je to i naglašeno u Uvodu ovog rada.

Međutim, ova činjenica zajedno sa važećom zakonskom regulativom, dovodi do značajnih poteškoća kako u procesu planiranja, tako i u procesu projektovanja pa i u procesu revizije tehničke dokumentacije.

Naime, praktično od ključnih izmena *Zakona o planiranju i izgradnji* u pogledu sastava tehničke dokumentacije, pa sve do danas, razrada Idejnog projekta se razvija paralelno sa Prostornim planom područja posebne namene (PPPPN) za državne puteve I reda. Uglavnom su u pitanju Prostorni planovi sa direktnom primenom, što između ostalog podrazumeva i činjenicu da se eksproprijacija zemljišta neophodnog za izgradnju budućeg puta, vrši na osnovu PPPPN.

Zakonska procedura i sama dinamika izrade podrazumeva da prvo kreću aktivnosti na izradi plana i da se, nakon usvajanja PPPPN, u kratkom roku Investitoru predaje Idejno rešenje za dobijanje Lokacijskih uslova za izradu Idejnog projekta, Projekta za građevinsku dozvolu i Projekta za izvođenje.

Upravo ovako definisana procedura je ona koja Projektantima zadaje najviše problema u razradi Idejnog projekta. Naime, s obzirom da su PPPPN najčešće definisani kao planovi sa direktnim sprovođenjem (obavezno makar na jednoj deonici budućeg puta, uz indirektno sprovođenje na preostalim deonicama), kako bi se na osnovu tog plana moglo eksproprijirati zemljište za izgradnju puta, u građevinskom projektu puta je neophodno u izuzetno kratkom roku jednoznačno definisati put u sve tri projekcije, odnosno precizno definisati osovinu puta, njegovu niveletu i sve detalje karakterističnih poprečnih profila puta [4].



Slika 2. Prostorna i fizička struktura autoputa
Source: ([4])

Kako bi projektant mogao sa sigurnošću da tvrdi da je položaj trase u sve 3 projekcije optimalan, podrazumeva se da je ceo set inženjersko-geoloških i geotehničkih istraživanja već završen, zajedno sa geodetskim snimanjem terena. Sve ove aktivnosti su, u izuzetno kratkim rokovima izrade tehničke dokumentacije koji su propisani tenderskim procedurama, gotovo nemoguće. Takođe, s obzirom da se na osnovu PPPPN vrši eksproprijacija zemljišta u tom planu se prikazuje samo jedna varijanta trase do koje se došlo prethodnim aktivnostima.

Ovde dolazimo do prve **nedoslednosti** u važećoj zakonskoj regulativi kada je u pitanju ova faza razrade tehničke dokumentacije. Naime, nakon usvajanja plana sledi razrada Idejnog projekta, koji mora da ispuni između ostalog, i 2 zakonski definisana uslova:

- Da se Idejnim projektom vrši izbor optimalne trase (što podrazumeva proces vrednovanja varijantnih rešenja)
- Da je Idejni projekat u skladu sa važećim planskim dokumentom (PPPPN), koji podrazumeva jedno optimalno rešenje trase na delu gde je planirana direktno sprovođenje plana.

Odmah se može konstatovati da su ova dva uslova **kontradiktorna** i da je nemoguće Projektant oba da ispoštuje u procesu projektovanja.

Pokušavajući da ispoštuje prvo proceduru a potom i jako kratku dinamiku u izradi tehničke dokumentacije, nemoguće je da Projektant može sagledati sve aspekte pružanja trase na način koji neće u daljoj razradi rezultirati izmenama i osovine i nivelete puta. Ovakve ali često opravdane izmene projekta za posledicu imaju izmenu PPPPN i ponavljanje cele procedure od početka do kraja usvajanja izmenjenog plana.

Gore navedeno nas opet vraća na početni postulat – da je vrednovanje varijantnih rešenja na nivou Idejnog projekta **obavezujuće** i da nam upravo tako definisana optimalna trasa budućeg puta, prilikom čijeg definisanja je Projektant raspolagao sa dovoljno vremena da sagleda sve neophodne aspekte pružanja buduće trase, daje sve neophodne podatke za definisanje prostornog plana sa direktnom primenom. Praksa nam je pokazala

da nepoštovanje ovog, jedino inženjersko logičnog kriterijuma, rezultira izuzetno velikim problemima prilikom realizacije objekata, pa na kraju i do produženja ugovorenih rokova za izgradnju istih.

Ako bi se na osnovu Generalnog projekta izdavali Lokacijski uslovi, ostavila bi se mogućnost da se faza Idejnog projekta i naredna planska dokumentacija (PPPPN) rade simultano ali prikladnom dinamikom i ne bi dolazili u situaciju da su usvajanje PPPPN i Idejno rešenje osnov za izdavanje Lokacijskih uslova. Trenutno se dinamika izrade Idejnog projekta znatno ubrzava u cilju ishodovanja Lokacijskih uslova i to na uštrb kvaliteta projektnih rešenja. Kao što je prethodno objašnjeno, rešenja prikazana u PPPPN je praktično nemoguće izmeniti u fazi detaljne razrade Idejnog projekta, kako u pogledu pružanja trase tako i u pogledu granice eksproprijacije.

Trenutnom domaćom praksom se potpuno obesmišljava i faza Projekta za građevinsku dozvolu. Naime, ako je planskim dokumentom u potpunosti definisana eksproprijacija, a u fazi Idejnog projekta nije bilo prostora za vrednovanje varijantnih rešenja (s obzirom da je planom usvojena jedna varijanta trase) postavlja se pitanje zašto se faza Projekta za građevinsku dozvolu uopšte i sprovodi? Sudeći po ovome, posle Idejnog projekta treba odmah preći na razradu Projekta za izvođenje, jer trenutno u PGD fazi nije moguće napraviti nikakvu suštinsku novu odluku, s obzirom da je osovina u sve tri projekcije već potpuno definisana prethodnim fazama.

2.3 Revizija Generalnih i Idejnih projekata

Po članu 131. *Zakona o planiranju i izgradnji*, Generalni i Idejni projekat podležu stručnoj kontroli tehničke dokumentacije od strane Revizione komisije koju obrazuje nadležno Ministarstvo. U članu 5. *Pravilnika o načinu i postupku izbora članova komisije, pravu i visini naknade za rad u komisijama, uslovima, metodologiji, načinu rada i odlučivanja revizione komisije i sadržaju izveštaja o stručnoj kontroli*, definisano je da "Reviziona komisija stručnom kontrolom proverava **konceptiju objekta naročito sa stanovišta: pogodnosti lokacije u odnosu na vrstu i namenu objekta; uslova građenja objekta u pogledu primene mera zaštite životne sredine; seizmoloških, geotehničkih, saobraćajnih i drugih uslova; obezbeđenja energetske uslova u odnosu na vrstu planiranih energenata; tehničko-tehnoloških karakteristika objekta; tehničko-tehnoloških i organizacionih rešenja za građenje objekta; savremenosti tehničkih rešenja i usklađenosti sa razvojnim programima u toj oblasti, kao i drugih propisanih uslova izgradnje objekta, u skladu sa Zakonom.**[5]"

Uzimajući prethodno navedeno u obzir, kao i vremenski trenutak u kojem se Reviziona komisija uvodi u proces revizije, u kojem je PPPPN već usvojen i Idejni projekat (bez varijantnih rešenja) potpuno završen, Revizionoj komisiji su oduzeti mehanizmi da postupa u skladu sa važećim Zakonom i Pravilnikom koji reguliše njen rad, s obzirom da su koncepcija objekta naročito sa stanovišta pogodnosti lokacije u odnosu na vrstu i namenu objekta kroz PPPPN već potvrđene kao takve od Komisije koja nema te nadležnosti.

Ovo je još jedna **nedoslednost i kontradiktornost** u važećoj zakonskoj regulativi, kojom se praktično izjednačavaju nadležnosti Revizione komisije i Tehničke kontrole i sam proces stručne kontrole svodi na kontrolu usklađenosti projekta sa važećim planskim dokumentom, Lokacijskim uslovima i tehničkom regulativom.

3. ZAKLJUČAK

Cilj ovoga rada je bio da akcentuje neophodnost jedinstvenog pristupa procesu planiranja i projektovanja puteva u početnim, ključnim fazama projektovanja, odnosno u fazi Generalnog i Idejnog projekta puta.

Nesporan je značaj razvoja saobraćajne infrastrukture za društvo u celini, ali je važno imati pri svakom koraku svest o tome da svaki pogrešan korak koji se napravi u prethodnoj fazi projektovanja je praktično nemoguće ispraviti u narednoj, a da te korekcije ne iziskuju značajne investicione troškove.

Navedeni deo nedoslednosti i kontradiktornosti samo pokazuje potrebu za organizovanjem javnih rasprava, okruglih stolova i stručnih diskusija koje treba da rezultiraju setom konkretnih predloga za izmenu i unapređenje važeće zakonske regulative, koja bi svakako donela konkretna poboljšanja u domaćoj putnoj praksi.

Literatura

- [1] Zakona o planiranju i izgradnji ("Sl. glasnik RS", br. 72/2009, 81/2009 - ispr., 64/2010 - odluka US, 24/2011, 121/2012, 42/2013 - odluka US, 50/2013 - odluka US, 98/2013 - odluka US, 132/2014,

- 145/2014, 83/2018, 31/2019, 37/2019 - dr. zakon, 9/2020 i 52/2021),
- [2] Pravilnika o sadržini, načinu i postupku izrade i načinu vršenja kontrole tehničke dokumentacije prema klasi i nameni objekata ("Sl. glasnik RS", br. 73/2019),
 - [3] Zakon o putevima ("Sl. glasnik RS", br. 41/2018 i 95/2018),
 - [4] Pravilnik o uslovima koje sa aspekta bezbednosti saobraćaja moraju da ispunjavaju putni objekti i drugi elementi javnog puta ("Sl. glasnik RS", br. 50/2011),
 - [5] Pravilnik o načinu i postupku izbora članova komisije, pravu i visini naknade za rad u komisijama, uslovima, metodologiji, načinu rada i odlučivanja revizione komisije i sadržaju izveštaja o stručnoj kontroli

IZBOR KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE PRI IZGRADNJI PUTEVA NA TERITORIJI SRBIJE

Autor: Branislav Krsmanović, dipl. ing. građ.

Team Leader SWEROAD Kazakhstan, email: branislav_krsmanovic@yahoo.co.uk

Rezime: *Dilema oko izbora tipa kolovozne konstrukcije u smislu optimalnog rešenja po svim aspektima (tehničko rešenje, cena građenja, trajnost izgrađene saobraćajnice, klimatski uslovi, bezbednost saobraćaja). Pitanje zadire u sve aspekte novog infrastrukturnog projekta i treba da rezultira usvojenim rešenjem i visinom investicije. Visina investicije, obim saobraćaja, planirani rok eksploatacije i troškove održavanja određuju tip kolovozne konstrukcije i njen uticaj na odvijanje saobraćaja u svim vremenskim uslovima uz minimum negativnog uticaja na životnu sredinu.*

Ključne reči: *kolovozna konstrukcija (KK), fleksibilna KK, kruta KK, bitumen, cement*

TYPE PAVEMENT SELECTION IN ROADS CONSTRUCTION IN SERBIA

Branislav Krsmanović, dipl. ing. građ

Abstract: *Optimal selection dilemma of the pavement type according to all aspects (technical solution, cost construction, durability of constructed road, climate conditions, traffic safety). The question interfere in all aspects of the new infrastructural projects and should result with adopted solution and the level of investment. Level of investment, traffic quantity, planned term of exploitation and maintenance cost should determine the type of pavement and its influence to the traffic in different weather condition and minimal negative influence to environment.*

Keywords: *pavement, flexible pavement, rigid pavement, bitum, cement*

UVOD

U današnje vreme, uzimajući u obzir veličinu nase zemlje, Srbija se nalazi u fazi velikog progressa u izgradnji i rekonstrukciji puteva, ranga KORIDORA, brzih saobraćajnica i aerodroma.

Svakako da ovaj pozitivni trend treba da je u korelaciji sa kvalitetom izgrađenih saobraćajnica, objekata i opreme na njima, uključujući elemente sigurnosti i bezopasnost saobraćaja, što se potvrđuje tehničkom kontrolom tokom građenja i tehničkim prijemom.

Međutim, osnovni cilj kvaliteta i kvantiteta građenja treba da rezultira projektovanim i ostvarenim periodom eksploatacije saobraćajnice sa ciljem dugotrajnosti perioda do remonta već razmera, što je i tema ovog priloga.

1. Nivo državnih institucija u fazi opredelenja tipa kolovozne konstrukcije

Planiranje izgradnje glavnih državnih saobraćajnica, sa ulaganjem ogromnih finansijskih sredstava, dešava se na nivou VLADE i resornog Ministarstva, gde bi i trebalo da bude prezentovana TEHNIČKO EKONOMSKA ANALIZA ili IDEJNI PROJEKAT, sa podacima za upoznavanje i opredelenje tehničkog rešenja o čemu se i govori u ovom naslovu.

Jedno od pitanja, koje je pitanje svih generacija graditelja i projektanata puteva i aerodroma u poslednjem periodu Jugoslavije pa sve do danas, uključujući i KONGRESE DRUŠTVA za puteve, je izbor optimalne kolovozne konstrukcije (KK), smanjenje troškova građenja i redovnog održavanja, sve do dana kada se javlja potreba kapitalnog remonta.

Analiza optimalnog izbora – fleksibilna ili kruta kolovozna konstrukcija, za puteve i aerodrome, u periodu Jugoslavije, razmatrano je veoma često i bilo predmet diskusija i na Kongresima Društva za puteve. Generalno, za puteve je preovladalo rešenje sa fleksibilnom kolovoznom konstrukcijom a za aerodrome rešenje sa krutom konstrukcijom. U periodu samostalnosti Republike Srbije, ovo rešenje za puteve je zadržano, bez posebnih obrazloženja u široj stručnoj javnosti. Međutim usvojeno rešenje bilo je uglavnom zasnovano na imajućoj tehničkoj bazi naših putnih preduzeća (koja je sada svedena na minimalne mogućnosti) i svakako posedovanjem sopstvenog državnog izvora za proizvodnju bitumena. Mada ni mogućnost proizvodnje cementa na našoj teritoriji nije zanemarljiva, već naprotiv dosta visoka u slučaju potrebe.

2. Osnovne razlike u tehničkom rešenju

Ovakvo rešenje o preimućtvu asfaltne KK podržavali su i Projektanti, bez posebnih obrazloženja. Svakako da razmatranje ovog pitanja, ako bi se postavilo za predmet sveobuhvatne analize, ne bi bilo ni lako i brzo i zaključak bi zahtevao podrobno obrazloženje.

Koji su elementi osnov za razmatranje:

- Cena građenja po km saobraćajnice (bez objekata i opreme) vezano za tip kolovozne konstrukcije;
- Analiza mogućih izvora materijala koji ulaze u sastav građenja kao funkcija planskih rokova i troškova;
- Dugovečnost kolovozne konstrukcije i to u potrebnim količinama;
- Brzina građenja kao funkcija planskih rokova;
- Dugovečnost kolovozne konstrukcije u fukciji saobraćajnog opterećenja;
- Intezitet transporta i granice osovinskog opterećenja;
- Klimatske promene u poslednjem periodu sa prognozom za budućnost i uticajem na eksploataciju saobraćajnice;
- Iskustva i informacije po navedenim pitanjima iz drugih zemalja.

Svi navedeni elementi trebalo bi da se razmotre i komparativno analiziraju, za isti nivo saobraćajnog opterećenja, sa zanemarivanjem cene donje noseće podloge (subbase) i uticaja terena kroz koji saobraćajnica prolazi.

U cilju pojednostavljenja predlažu se za analizu dva tipska rešenja, podjednake nosivosti, kao na primer:

Kruta kolovozna konstrukcija

- Betonska ploča $d = 25 - 30\text{cm}$, B-35-40, Btb 4,0 - 5,2, otpornosti na mraz F150, vodonepropustnost W-6, sa početkom vezivanja betona od 2h, ugrađena u jednom sloju i u punoj širini kolovoza puta;
- Gornja podloga - cementom stabilizovani sloj, B 7-10 (do 7% cementa), debljine 30 cm. (base coarse)

Fleksibilna kolovozna konstrukcija

- Habajući sloj AB $d = 6-8\text{ cm}$, bit 40-60, Marshal >900 , tečenje 1-4,5, mod. kr. 300 – 700, vezivo 75-82, zaostale šupljine – na nižoj granici, max 5%, $V = 2,45 - 2,5\text{ t/m}^3$;
- Vezni sloj AB $d = 8 - 10\text{ cm}$, bit 60-90;
- Donji noseći sloj $d = 10 - 15\text{ cm}$;

- Gornja noseća podloga od cementom stabilizovanog agregata sa 7 % cementa, d= 30 cm (ili podloga od bitumeniziranog sloja iste debljine (base coarse).

Obe ove kolovozne konstrukcije, dijametralno suprotnog tehničkog rešenja, treba da daju u tehničkom rešenju jednak rezultat po nosećim karakteristikama, ali sa drugim odnosom ka parametrima cene po kvadratnom metru kolovozne konstrukcije, pogodnosti primene i trajnosti u eksploataciji.

3. Iskustva iz naše zemlje i inostranstva

Autor ovog teksta ima iskustvo u paralelnoj primeni ova dva tipa kolovoznih konstrukcija u periodu do 1990 godine u našoj zemlji, a potom u izgradnji Koridora poznatog pod imenom CAREC PROGRAM – AUTOPUT ZAPADNA EVROPA – ZAPADNA KINA, deonica u Kazahstanu.

Do 1990 godine u Srbiji je postojao i koristio se put sa betonskim kolovozom Batajnica – Novi Sad, ugrađen mašinski 1936. godine i korišćen u saobraćaju do 1986. godine uz neophodne popravke, tj. oko 50 godina kada je postepeno rekonstruisan.

Takođe je indikativno da je u Jugoslaviji bilo izgrađeno u ranom posleratnom periodu, od 1947 - 1955 god. 11 aerodroma sa betonskim kolovozom na PSS, RS i platformama, i isti se koristili do perioda 1980 - 1986 god. odnosno oko 25 – 30 godina kada je došlo do velike promene u opterećenju od aviona, posebno uvođenjem aviona B-727 sa svega dva točka po nozi i pritiskom u gumama od 12 bara, kada je došlo do loma betonskih ploča. Za protekli period u eksploataciji troškovi održavanja bili su minimalni (uglavnom zamena mase u spojnica).

U Kazahstanu je u periodu 2012 – 2019 godine izgrađeno na magistralnom koridoru ZAPADNA EVROPA – ZAPADNA KINA (WESTERN EUROPE – WESTERN CHINA) oko 2300km autoputa, širine 2 x 11 m, od čega oko 1500km sa krutom kolovoznom konstrukcijom i oko 800 km sa fleksibilnom. Betonski zastor je našao svoju primenu u činjenici da Kazahstan ima svoju proizvodnju Portland cementa dobrog kvaliteta marke 400 – 500, dok je problem sa korišćenjem bitumena veoma složen (uvoz iz Rusije maršrutnim vozovima u toplom stanju, koji se izliva u jame a potom iznova topi za upotrebu na asfaltnoj bazi. Za prvih 8 godina betonski kolovozi se nalaze u normalnoj eksploataciji uz redovno održavanje, dok se na asfaltnim zastorima posle 4-5 godina pojavljuju kolotrazi usled negativnih uticaja viših temperatura u letnjem periodu, zbog čega kapitalne popravke postaju neophodne i ranije.

U drugim razvijenim zemljama Zapada, odakle mi oduvek crpimo i primamo tehnička rešenja i standarde, situacija je drugačija. Asfaltna kolovozna konstrukcija nema apsolutno preimućstvo, već je verovatno to rešenje uvek doneto na bazi analize za svaki slučaj posebno. U zapadnoj Evropi magistralni autoputevi imaju veliki procenat primene betonskih kolovoza, posebno u Nemačkoj, Austriji, Belgiji. U SAD taj procenat je takođe na strani krute kolovozne konstrukcije.

U tim zemljama kao osnova za usvajanje rešenja kapitalnih infrastrukturnih projekata, koji se finansiraju iz budžeta i međunarodnih kredita, je optimizacija koja se vrši kroz tzv VALUE ENGINEERING, tj. proces sravnivanja rezultata alternativnih rešenja (tip objekata, varijante tehničkih rešenja, materijali, oprema, mogući izvođači, trajnost i rentabilnost)

Za tačniju analizu ili opredelenje i ocenu ekonomske opravdanosti jednog od rešenja potrebno je razmotriti i primeniti sledeći postupak:

- U fazi izrade planskih dokumenata za budžet izraditi Tehničko ekonomsko analizu (TEA) uporednih rešenja kroz imajuće uporedne troškove građenja opredeliti tip kolovozne konstrukcije uzimajući u obzir i lokaciju i terenske uslove;

- U fazi pripreme i usvajanja tenderske dokumentacije potencijalni Izvođači imaju mogućnost na eventualnu dopunu tehničkog rešenja bez promene eksploatacionih karakteristika;
- Zaključak Investitora zasnivaće se na pomenutim iscrpnim analizama usvojenog tehničkog rešenja a izbor izvođača će garantovati kvalitet i trajnost tehničkog rešenja u usvojenom eksploatacionom periodu.

4. Faktori za opredelenje i primenu fleksibilne ili krute kolovozne konstrukcije

4.1. Cena

Faktor cene i ukupnih finansijskih ulaganja neće ovom prilikom biti razmatran iz razloga da se u našoj zemlji u poslednjem periodu kapitalni objekti u putogradnji (sa tunelima i mostovima) ugovaraju sa davaocima kredita iz pojedinih prijateljskih zemalja sa uslovom da se njima prepušta i vođenje Projekta. Svakako cena se određuje na nivou Vlade i resornog Ministarstva, verovatno na osnovu TEA i Idejnog projekta. Nema suprotstavljanja mišljenja po pitanju izbora kolovozne konstrukcije i nastavlja se praksa da je jedino kvalitetna za potrebe Koridora i brzih saobraćajnica – asfaltna kovažna konstrukcija. Cena i visina finansijskih ulaganja bila bi razmotrena jedino u uslovima suprotstavljenih varijanti, što je i cilj ovog teksta.

4.2. Mogućnost primene raznih rešenja

Svoju stabilnost kao tehničko rešenje - fleksibilna kolovozna konstrukcija se opravdala i dokazala u dugogodišnjoj primeni, uključujući i postepeno unapređenje i modernizaciju receptura upotrebom modifikovanih polimernih bitumena (PMB) što je znatno unapredilo kvalitet i dugotrajnost zastora i otpornost na zamor i pucanje na niskim temperaturama.

Za analizu mogućnosti primene krute kolovozne konstrukcije potrebno je prvo ubediti stručnu javnost i službene organe o eventualnim prednostima i kvalitetu i mogućnosti njene primene, a to su:

- Trajnost kolovozne konstrukcije u eksploataciji
- Niži troškovi održavanja
- Ekološki aspekt
- Bezbednost u saobraćaju
- Jednostavnost tehničkog rešenja
- Cena

4.3. Trajnost u eksploataciji kolovoza

Ovo pitanje mora da se razmatra komparativno, sa podacima i iskustvom za fleksibilnu kolovoznu konstrukciju.

Tekuća praksa kod nas i u drugim zemljama pokazuje da se na deonicama autoputeva na asfaltnom zastoru u letnjem periodu sa visokim temperaturama od preko 30 stepeni, javlja pojava "plastičnog tečenja" u vidu kolotruga. Ova pojava je značajnija na deonicama sa usponima, pod dejstvom opterećenja od kamiona i autobusa, a takođe pred semaforima i naplatnim rampama. Treba napomenuti da je problem uticaja temperature, frekvencije i pojave zamora na promenu modula krutosti (STIFFNESS MODULUS) u asfaltnim slojevima ispitivan na Građevinskom fakultetu u Beogradu sa akcentom na elastično ponašanje asfaltna mešavine odnosa vozila i puta, karakteristike materijala i rasprostiranje temperature po dubini, sa promenom modula krutosti, što i potvrđuje ovu pojavu. Pored normalne,

uobičajene pojave pukotina u asfaltnim zastorima, koje se javljaju usled gubljenja lakih ulja iz bitumena i temperaturnih promena u zastoru i koje postepeno uzrokuju razaranje kolovoza, kolotrazi su pojava u prvih 4-5 godina eksploatacije puta, i u zavisnosti od dubine, predstavljaju opasnost za bezbednost saobraćaja i stabilnost cele kolovozne konstrukcije po dubini, prvenstveno u krajnjoj desnoj traci puta. Ova pojava se uočava u svim zemljama, posebno u južnoj Evropi, a rešava se frezovanjem habajućeg sloja i zamenom novim slojem u punoj debljini sa materijalom koji nikad nema kvalitet prve ugradnje prilikom građenja i to u periodima od 4-5 godina.

Pored troškova remonta kolovozne konstrukcije, ometanje saobraćaja je značajno, naročito u tzv špicevima u toku dana i godine u celini.

Koliko se puta ova operacija može ponoviti je pitanje za eksploatirujuće organizacije i projektante, kao i za koji period se može smatrati da je izgrađena deonica u upotrebi u svom optimalnom roku eksploatacije. Za autora ovog teksta, taj rok je maksimalno 15 godina, posle čega dolazi do destrukcije kolovozne konstrukcije i potrebe za kapitalnim remontom.

Kruta kolovozna konstrukcija sa kvalitetnim betonskim zastorom (Quality Concrete Pavement – QCP), uz normalno redovno održavanje i pravilnu zimsku eksploataciju i kontrolu osovinskog opterećenja, pokazuje u praksi trajnost od minimum 25 godina, zbog čega kruta kolovozna konstrukcija ima prednost i u Koncesionim ugovorima jer se troškovi eksploatacije mogu tačnije predvideti a predaja puta Klijentu na kraju tog perioda, u početnom kvalitetu daleko je lakša, a što je ključni uslov koncesionih ugovora.

Slika 1 *Finišer za betonski kolovoz sa mašinom za prskanje emulzije, širine 9 – 11m, sa automatskom ugradnjom moždanika i ankera*



U razmatranju trajnosti betonskog zastora svakako treba uzeti u obzir mogućnost njegove kvalitetne izrade za šta je ključno pitanje obezbeđenje čistog Portland cementa bez dodataka (ili eventualno sa zgurom do 15%) i sa ograničenjima u sastavu komponenti cementa koje obezbeđuju nisku hidratacionu toplotu u fazi stvrdnjavanja. Druge potrebne karakteristike, povećana ugradljivost i lakša obrada, povišeni sadržaj uvučenog vazduha radi otpornosti na štetno dejstvo mraza i soli, obezbeđuje se aditivima u fazi mešanja u fabrici betona.

Slika 2 Dve spregnute fabrike betona u radu



Mogućnost obezbeđenja aditiva (superplastifikatora, aeranta i dr.) se ne postavlja, jer ih ima na tržištu u svakom momentu. Kao rezultat primene pomenutog cementa sa potrebnim aditivima, dobija se visoka čvrstoća pri zatezanju savijanjem (ispitivanje na betonskim gredicama), nizak nivo habanja tj. otpornost na klizanje, što je od najveće važnosti u vlažnim uslovima, za razliku od asfaltnog zastora. Međutim, uticaji na zamor materijala kod krutih kolovoznih konstrukcija ne može biti zanemaren usled promene termičkih napona u toku dana i godine, po dubini ploče, što je predmet rada projekatana kada je potrebno dokazati prednost betonskog zastora, i to u početnoj fazi dimenzionisanja i odluke za debljinu i dužinu betonske ploče s postizanjem koeficijenta sigurnosti.

Slika 3 Uzimanje kontrolne gredice na mestu ugradnje



Za realizaciju projekata sa primenom krute kolovozne konstrukcije u Srbiji bi trebalo da se sačini poseban ugovor sa jednom od cementara – Popovac, Kosjerić ili Beočin, za isporuku potrebne količine čistog Portland cementa, mada postoje mogućnosti nabavke iz cementara Split i Anhovo (Slovenija). Cementara Anhovo upravo proizvodi takav tip cementa jer ima osnovnu proizvodnju cevi većih prečnika a sa tankim zidovima, kada je takav cement najpovoljniji. Za poslednji aerodrome izgradjen u Jugoslaviji sa betonskim zastorom – Banja Luka 1988. godine, upotrebljen je cement Anhovo, a za izgradnju pristanišne platforme na aerodromu Podgorica upotrebljen je cement iz Splita (2005. god.).

Slika 4 *Kompletna garnitura za izradu betonskog zastora na startu. Dovoz betona, kamion sa otvorenom karoserijom, finišer širine 11m, prskalica za kjurung, oprema za urezivanje spojnica*



4.4. Niži troškovi održavanja

Otpornost u zimskim uslovima, tj. na mraz, je poseban aspekt za oba tipa kolovoznih konstrukcija.

Za fleksibilnu kolovoznu konstrukciju ovaj aspekt se podrazumeva i smatra rešenim problemom uz upotrebu odgovarajuće mehanizacije za čišćenja snega i topljenje leda upotrebom raznih vrsta soli.

Za betonski zastor javlja se veći problem iz razloga nemogućnosti upotrebe tehničke soli – NaCl usled egzotermne reakcije pri topljenju snega i leda, tj. u toku odmrzavanja leda na betonu koristi se toplota iz betona i dolazi do zamrzavanja zaostale vode u betonu što dalje dovodi do razaranja betona.

Iz tog razloga za zimsko održavanje betonskog zastora upotrebljavaju se druge soli i vesačko đubrivo UREA izmešani sa krupnim peskom i rizlom, ali ključnu ulogu ima organizacija zimskog održavanja gde čišćenje snega započinje u samom početku padanja snega, plugovima sa gumenim naplaticima i četkama, kako bi se potreba za korišćenje soli svelo na minimum.

4.5. Ekološki aspekt

Prednost primene betonskog zastora ogleda se u izbegavanju upotrebe fosilnih goriva na asfaltnim bazama i zagađivanju terena na mestima instalacije asfaltna baze, koje nije zanemarljivo.

Količina goriva za pogon asfaltna baze (dizel, gas, tečni gas idr.) i za dogrevanje rezervoara sa bitumenom, je za proizvodnju od oko 200 t/h asfaltna mase je oko 10 t/dan što predstavlja ozbiljan ekološki problem na svim gradilištima da se izbegne zagađivanje okolnog terena i s dodatnim problemom oslobađanja dima i gara. (Sl.6)

Nasuprot tome, proizvodnja betona je suočena sa oslobađanjem cementne prašine, ali u znatno manjoj meri i sa manje štetnih posledica, kao neorganskog materijala.

4.6. Bezbednost u saobraćaju

Nesumnjivo je da je prohodnost oba tipa KK u suvim vremenskim uslovima izjednačena.

Razlika nastupa u vlažnim uslovima kao negativni faktor klizanja, kada u početnoj fazi kiše asfaltni zastor postaje klizav i opasan i zbog čega se uvek preporučuje pažnja u početnoj fazi pojave vlage.

Slika 5 Urezivanje spojnica posle 8-10h, testerama sa dijamantskim diskovima



Na betonskom zastoru u vlažnim uslovima adhezija se uopšte ne smanjuje i time ne ugrožava bezbednost saobraćaja.

U noćnim uslovima betonski zastor je svetliji i vidan uz minimalno prirodno osvetljenje.

Negativni uticaj kolotruga na bezbednost saobraćaja je već pomenut.

4.7. Jednostavnost tehničkog rešenja

Polazeći od pretpostavke završene gornje noseće podloge (base coarse) putem cementne stabilizacije, betonski zastor ugrađuje se u jednom prelazu, u punoj širini kolovoza (debljine 20 – 30 cm), sa prosečnim učinkom od 300 - 400 m/dan u pogodnim uslovima sa temperaturama ne nižim od + 5 st. a sa upotrebom određenih aditiva i do 0 st.

Početna zaštita ugrađenog sloja, u trajanju od 24 h, vrši se u odnosu na kišu ili vetar, a sečenje spojnica u svežem betonu u periodu 8-10 h posle ugradnje. Prskanje svežeg betona posle ugradnje specijalnim sredstvom – kjtingom, isključuje dalju negu betona (u smislu održavanja vlage u procesu hidratacije). Kontrolom prirasta marke betona može se dozvoliti laki transport po betonu već posle 7 dana a normalna upotreba betonskog zastora moguća je za potrebe gradilišta posle 15 dana.

Zalivanje spojnica specijalnom zaptivnom bitumenskom masom može se obaviti u dužem vremenskom periodu, u suvim vremenskim uslovima.

Slika 6 Komplet opreme za urezivanje spojnica, poprečnih i podužnih



Za asfaltnu kolovoznu konstrukciju radovi se obavljaju po slojevima i vraćanje na istu deonicu je 3-4 puta, uz promenu receptura na asfaltnoj bazi, ako se ne organizuje gradnja sa dve asfaltne baze u isto vreme.

4.8. Cena

Pitanje cene koštanja autoputa sa betonskim zastorom po 1 km s tehničko-tehnološkog aspekta vezano je za:

- Državnu politiku u smislu upošljavanja domaće građevinske operative za ugradnju betonskog zastora;
- Politiku opremanja određenih izvođača neophodnom opremom (finišeri sa dodatnom opremom za sečenje i ispunu spojnica) i eventualnim pokretnim šatorima za mogućnost rada u svim vremenskim uslovima;
- Obezbeđenje cementa pomenutih karakteristika u periodu građenja i mogućnost njegovog skladištenja u periodu intezivnih radova

Jasno je da je ovo pitanje lobija, odnosno položaja proizvođača bitumena i cementa. U današnje vreme obe grupe proizvođača imaju svoju klijentelu i samo direktan uticaj resornih Ministarstva za građevinarstvo i proizvodnju nafte može regulisati ova pitanja od nacionalnog značaja. Okvirno za 1 km autoputa potrebno je oko 2000 t cementa ili oko 1000 t bitumena i derivata.

Međutim mora se imati u vidu da Srbija uvozi svu svoju sirovu naftu, a potražnja bitumena će u narednim godinama rasti a rentabilnost rešenja opadati.

Sa druge strane cement nam je dostupan, ali je predmet državnog planiranja i politike.

Po pitanju održavanja, komparativna analiza funkcionalnog – redovnog održavanja za oba tipa KK pokazuje sličnost u postupku u letnjem i zimskom periodu i to: za fleksibilnu KK održavanje podrazumeva uglavnom popravku udarnih rupa i promptno zalivanje pukotina, a za krutu KK opravku eventualno ostećenih površina parcijalnim isecanjem ili celih ploča i čišćenje stare zaptivne mase i zalivanje novom u periodu 4-5 godine, za mase na bazi bitumena.

Slika 7 Deonica autoputa sa krutom kolovoznom konstrukcijom u završnoj fazi građenja



Nije za zanemarivanje iskustvo prevoznika iz SAD gde se često, duž autoputeva smenjuju oba tipa KK, gde je potrošnja goriva kod prevoznika u letnjem periodu veća na asfaltnoj deonici u odnosu na betonsku deonicu.

ZAKLJUČAK

Za izgradnju novih magistralnih saobraćajnica u Srbiji i Republici Srpskoj trebalo bi pri izboru tehničkog rešenja da budu uzete u obzir sve komparativne karakteristike u troškovima i organizaciji izgradnje, načinu i obimu održavanja, mogućnosti upošljavanja domaće građevinske operative i isporučioća ključnih materijala i na kraju u trajnosti puta posle garantnog roka, sve do kapitalne rekonstrukcije. Što se tiče naše domaće operative, ista je sposobna za realizaciju oba tipa zastora.

Slika 8 Deonica u izgradnji – oficijalna tabla Investitora u Kazahstanu



Autor nije želeo da ponavlja tehničke detalje za oba tipa KK koji su poznati našim specijalistima, kao i brojna i uspešna ispitivanja reoloških osobina oba tipa KK u svetu i kod nas, već da ukaže na razlike, koje mogu i treba da utiču izbor kolovozne konstrukcije u samoj početnoj fazi, u vreme odluke o izboru tipa.

LITERATURA

- (1) Cvetanović A - Kolovozne konstrukcije, Naučna knjiga 1992
- (2) Cvetanović A - Proračun napona u cementno-betonskim kolovozima usled promene temperature, Put i saobraćaj, 1-2, 1997
- (3) Pravilnik o tehničkim normativima za beton i armirani beton, SI.L. SFRJ 15/90
- (4) Cenovnik radova na redovnom održavanju puteva, JP PUTEVI SRBIJE, 2019
- (5) Cvetanović, Radojković, Vojnić - Projektovanje fleksibilnih kolovoznih konstrukcija, VIA VITA, 1984
- (6) Uzelac, Radojković, Radović - Rekonstrukcija KK autoputa E-75 - Deonica Novi Sad, Put i saobraćaj, 2-3, 2000
- (7) Kuzović, Tubić, Radunović - Uloga vrednovanja u definisanju optimalnih projekata puteva i optimizacija programa ulaganja u putnu mrežu, Saobraćajni fakultet, 2000
- (8) Građevinski fakultet Beograd - Tretman redovnog održavanja kolovoznih konstrukcija, 2016

- (9) Ari Kaliokoski - Life cycle of road structures in Road construction practice, Finland, 2001
- (10) USA Department of Transportation – Flexibility in Highway Design, 1997
- (11) USA Department of Main Roads Planning and Design Manual, 2005
- (12) ASHTO 1997 - Highway safety design and operational Guide
- (13) Kumar Praveen - Indian Roads Congress 2005
- (14) GOSSTROI ROSSII, 2003 – AVTOMOBILNIE DOROGI
- (15) Tipovi kolovoznih konstrukcija koje se koriste u izgradnji puteva, GRAĐEVINARSTVO, 2015
- (16) Kolovozne konstrukcije - Predavanja na Građevinskom fakultetu, sk.g.2018/19 - Prof.
Dr. Goran Mladenović

ИСКУСТВА НА ПРВИХ 100 km АУТОПУТЕВА У РЕПУБЛИЦИ СРПСКОЈ

mr грађ. Боро Здјелар¹, дипл. инж.

Резиме: Почетак градње аутопутева у Републици Српској везује се за политичку одлуку Владе из 2002. године. Сада је у саобраћају 105 km. Градило се у четири дионице, четири уговора, четири пројектанта. Због неискуства нису постављени јасни захтјеви кроз пројектни задатак. Имамо различита рјешења нивелете, објеката, коловозне конструкције, заштите околине и опреме пута. Намјера аутора, директног учесника у руковођењу изградњом, је да упоредно прикаже различита рјешења са оцјеном истих. Оцјена је заснована на резултатима понашања појединих елемената пута под саобраћајем. Различити приступи захтијевају различиту организацију свих учесника у градњи. Овај рад би требао помоћи приликом пројектовања да наредне дионице аутопута буду једнако квалитетне али јефтиније за одржавање. Колику пажњу посвећујемо одржавању?

Кључне ријечи: искуство, пројектовање, примјењена рјешења, градња, одржавање.

EXPERIENCES ON THE FIRST 100 km OF MOTORWAYS IN THE REPUBLIC OF SRPSKA

Boro Zdjelar¹, Civil Eng.

Summary: The beginning of the construction of highways in Republic of Srpska is related to the political decision of the Government from 2002. Now, the highway available to traffic stretches 105 km in distance. It was built in four sections, four contracts, four designers. Due to inexperience, no clear requirements were set through the terms of reference. We have various solutions for levels, buildings, road construction, environmental protection and road equipment. The intention of the autor, a direct participant in the management of construction, is to present different solutions in parallel with the evaluation of the same. The assessment is based on the results of the behavior of certain elements of the road under traffic. Different approaches require different organization of all participants in construction. This work should help in the design, so that the next sections of the highway are of the same quality but cheaper to maintain. How much attention do we pay to maintenance?

Keywords: experience, design, applied solutions, construction, maintenance.

1. УВОД

Градња аутопута за сваку државу представља инвестицију највећег значаја. Грандиозност самог објекта који вишеструко мијења околину, начин кретања, радне навике, додводи нове инвеститоре, технологије, отвара нова радна мјеста, захтијева потпуну пажњу и контролу из више углова. Институције које заступају државни интерес, у даљем тексту зваћу га јавни интерес, су ресорна министарства и ЈП. Одлуком Владе Републике Српске одређено је да почне градња дионице аутопута Е-661, ГРАДИШКА – БАЊА ЛУКА. Градња се инвестира из властитих извора. Реализација одлуке почела је крајем 2004. год. на секцији Маховљани – Гламочани у дужини од 5600 m. Каснија догађања показала су огорман значај те одлуке, како за развој локалних грађевинских предузећа, тако и за развој мреже аутопутева. Отпочела је реализација пројекта зацртаног 70-их година 20. вијека.

Став у одлуци да се гради властитим средствима усмјерио је услове тендера према могућностима домаћих предузећа. Указану прилику искористила су домаћа предузећа и у слабој конкуренцији добили посао. У старту нико од учесника није био потпуно спреман за такав градитељски подухват. Упорност, одлучност и визија неколицине учесника пресудили су да пројекат уз огромне тешкоће, кашњења, сумњичења и оспоравања буде доведен до краја.

У име владе, односно, ресорног министарства, инвестицију је водило ЈП „Путеви Републике Српске“. Логично понашање за вријеме кад је то био пионирски посао, кад се није знало којом брзином и колико аутопута ће се уопште радити.

Пројектант је био „Урбанистички завод Републике Српске“, одговорни пројектант дипл. инж. Вук Суботић. Надзор је вршио „Ј&В, ИМК“, Бањалука и „Завод за изградњу“, Бањалука. Руководилац надзорног тима био је дипл. инж. грађ. Пуцар Рајко, а тим су чинили: mr Белеслин Радован, дипл. инж. грађ., надзор за

¹“Бетон“ Градишка, пројектменаџер: betonzd@yahoo.com

²ЈП – јавно предузеће

Објекте, дипл. инж. Цвијановић Александар, надзор за Хидротехничке радове, дип. инж. Малиновић Весна, надзор за Трасу, дипл. инж. Николић Марица, надзор за Контролу квалитета, дипл. инж.ел. Топић Влајко, надзор за Електротехничке радове. Извођач је био „Интеграл инжењеринг“, Лакташи. Одговорни руководилац радова дипл. инж. грађ. Здјелар Боро. У градњи на свим странама учествовао је већи број инжењера и техничара. Горе, појединачно наведени инжењери носили су формалну и професионалну одговорност за овај пионирски посао у Републици Српској. Заслужили су да се не забораве. Наведена предузећа и појединци, заједничким ангажовањем, успјели су пребродити многобројне препреке и недостатке храбре и визионарске одлуке да се крене у реализацију пројекта који није био довољно припремљен.

Поред огромних недостатака у пројектној документацији, проблеми су били и у нерјешеним имовинско - правним пословима. Овдје су разлози продуженог рока изградње као и повећане цијене у односу на уговорену.

Лекција научена на властитим грешкама отворила је врата кредитним аранжманима са EBRD и EIB. Овим средствима завршен је аутопут Градишка – Бања Лука у дужини 34,5 km, као и аутопут „9. Јануар“ Бањалука – Добој.

Ради бољег разумијевања, на почетку рада, рећи ћемо неке важне чињенице о учесницима изградње, а онда прећи на разматрање техничких рјешења. Кроз закључке биће изнесене основне препоруке за пројектовање и градњу наредних километара аутопута.

2. НАРУЧИОЦ ГРАДЊЕ И НАДЗОР

2.1. Инвеститор

У уводу је речено да је инвеститор на првој дионици аутопута било ЈП „Путеви РС“ у име ресорног министарства. У оквиру предузећа које је посједовало инфраструктуру формирано је одјељење које је водило ту инвестицију. Број извршиоца који су радили само на том пројекту било је минимално и рационално рјешење на први поглед. Главни недостатак овакве организације је био у чињеници да су поједини чланови одјељења имали и друге обавезе у оквиру основног описа послова. Пословима из области аутопута посвећивали су преостали дио времена, који често није био довољан за благовремено рјешавање великог броја проблема који су пратили тај пројекат. Основни проблем којим су требали у то вријеме да се баве је рјешавање имовинских односа. Законско рјешење које није ваљано уважавало јавни интерес, било је главна кочница за напредак радова.

Измјене законских прописа из ове области омогућили су инвеститору увођење извођача у посјед уз разумну надокнаду власнику. Своје незадовољство надокнадом власници некретнина имају прилику надокнадити у каснијем судском спору. За разлику од ранијег, овај спор не одлаже реализацију пројекта. Илустрације ради, прва изграђена дионица имала је четири парцијалне грађевинске дозволе, иако је дуга само 5,6 km, а наредна од 26,60 km имала је само двије, и није било кашњења радова због чекања на увођење у посјед.

Почетком изградње друге дионице аутопута Е-661, Градишка - Бањалука, Влада Републике Српске доноси одлуку о оснивању новог ЈП „Аутопутеви Републике Српске“. Временом је ово предузеће кадровски попуњено и настаје видљива промјена у активностима. Пословима на изградњи аутопутева сада се баве људи којима је то једини задатак. У релативно кратком времену припремљен је пројекат изградње аутопута Бањалука - Добој. Оправданост постојања, ова установа показује не само кроз припрему нових пројеката већ и кроз квалитетну припрему истих. Примјер је одлука да се аутопут Бањалука - Добој гради по принципу „Испројектуј и изгради“. Овај принцип инвеститора поставља у далеко повољнији положај него кад се гради по принципу „Изгради према пројекту“. Принцип по коме се сада гради, инвеститору оставља више простора за контролу пројектног рјешења и немало сву одговорност за пројекат пребацује на извођача. Овакав приступ од инвеститора захтјева темељиту припрему и организацију, израде пројектног задатка и идејног пројекта.

2.2. Надзор

Огроман напредак видљив је и у одабиру надзорног инжењера и његовог тима. На првој дионици надзор је повјерен домаћем ЈВ³. Уз мноштво објективних проблема, контрола квалитета и извођења доведена је до краја. На наредном тендеру посао надзора повјерен је иностраном ЈВ. Доласком искусних иностраних

³JB (енг. Joint venture – заједнички подухват)

инжењера, сви учесници у реализацији имали су прилику да науче нове ствари. Организација контроле квалитета била је највећа новост.

Први пут на овим просторима, посао у званичној лабораторији организује извођач према упутствима и под надзором инжењера одговорног за квалитет. Неке тестове који су углавном везани за мјерења врше „његови“ техничари, остале тестове ради извођач у оквиру унутрашње контроле. Резултате тих тестова редовно провјеравају инжењер за квалитет и његови сарадници. Само поједине врсте тестова, специфичне и ријетке, повјеравао је специјализованим лабораторијама. Сви трошкови контроле квалитета иду на рачун извођача, осим плаћања надзорног особља. Научене су и многе процедуралне ствари које олакшавају контролу квалитета, а резултати се трајно документују. Најважнија промјена која је уведена је писани захтјев за одобрење наредне фазе рада. Уз овај захтјев прилаже се методологија рада са пописом материјала и средстава којим ће се радови изводити. Такође се прилаже атест за материјал и тражи одобрење за примјену. Тек након одобрења од стране инжењера да је претходна фаза коректно одрађена, приступа се разматрању и одобрењу захтјева.

Могућност грешке, поштовањем наведених процедура, сведена је на минимум. Заштићен је и интерес извођача, само квалитетно одрађен посао омогућава наставак радова, а тако и поштовање рокова.

3. ИЗВОЂАЧКЕ КОМПАНИЈЕ

Послије рата у Републици Српској постојала су мала грађевинска предузећа, осиромашена ратом, са застарјелом механизацијом, без финансијске моћи, расутих кадрова свих профила. Инвеститори су биле разне међународне организације које су, нормално, имале своје услове за додјелу послова. Државна предузећа нису могла учествовати на конкурсима.

Приватна предузећа функционишу по принципу инжењеринга често и несвјесно, јер неки власници тај појам нису ни разумијевали. Нешто механизације, колико је било исправно, налазило се у власништву државних предузећа, а посебно каменоломи и асфалтна постројења са опремом за уградњу и производњу. У таквим условима, предузећа која имају опрему, знање, искуство, традицију, постају подизвођачи, нових предузећа, која често имају, тада само власника, који је и директор и једини запослени. Овакво стање на тржишту поставља темеље за нешто што ће пратити друштвена збивања и до данас, али то није тема овог рада.

У оваквом амбијенту, међу предузећима и прије проведене приватизације, долази до раслојавања. Квалитетом организације, контролом извршених радова, окупљањем кадрова свих профила, а посебно улагањем у механизацију и инжењерски кадар, одваја се мањи број предузећа из масе настале у првим годинама послје рата. Постају способни да самостално изводе радове уз куповину материјала којима још не располажу, као што су асфалти, камени агрегати и сл. Временом израстају у способна предузећа да самостално изводе радове на путевима највишег ранга у то вријеме.

Значај одлуке да се гради аутопут је у чињеници да су домаће компаније стекле прва искуства из ове области, финансијски ојачали, те тако испунили неке од услова међународних кредитора за учешће на тендерима, гдје они прописују услове. Овај посао тјера на нова инвестициона улагања, кадровско јачање и нови облик организације, како унутрашње тако и вањске. Успјешни менаџери повлаче тада одлучујући потез и изналазе партнера који омогућава ново учешће на тендеру као равноправног учесника кроз ЈВ (партнерство). Повољан ЈВ споразум омогућава даљи развој и испуњење нових услова за учешће на наредним тендерима, са амбицијом стицања статуса водећег партнера у ЈВ, а можда и самосталног учешћа у наредном периоду. Вријеме је показало да само оне компаније, које су улагале у инжењерски кадар, су успијеле да повећају своје могућности за учешће на највећим пословима.

Направиле су први корак према компанији која има регионалне амбиције.

4. ПРОЈЕКТАНТ

Кључни учесник у изградњи. На првој дионици као што је наведено, радила је домаћа компанија. Приватизација која је у то вријеме била у пуном замаху обрисала је ту компанију из грађевинског живота Републике Српске. Наведени недостаци у пројекту који су споменути у уводу, у већини нису били њихова грешка, већ посљедица пројектног задатка и непримјерено кратког рока за израду пројекта. У то вријеме политика је још под утицајем ратних збивања, била неко коме се не супротставља.

За наредну дионицу расписан је међународни тендер и побиједила је страна компанија. Домаће нису могле ни испунити основне услове тендера. Пројектовано је на основу пројектног задатка у чојој изради су асистирали страни консултанти ангажовани од стране ресорног министарства. Одлука је била да се

дионица гради према условима тзв. „Црвеног FIDIC-а“. У дањем тексту износим основна искуства утицаја пројекта на ову варијанту као и на варијанту „Испројектуј и изгради“, или тзв. „Жутог FIDIC-а“.

4.1. Утицај пројектовања на варијанту „Изгради по пројекту“

Пројекат је израђен према пројектном задатку који саставља инвеститор. Ревизију врши овлаштена институција према избору инвеститора. На основу оваквог пројекта расписује се конкурс за подношење понуда за изградњу аутопута. Пројектантски предмјер радова основа је за израду предрачуна. Све грешке у њему најчешће буду на штету инвеститора. За разлику од принципа „Испројектуј и изгради“, гдје је ризик грешака у пројектовању пренесен на извођача, овдје је већи или скоро сав ризик на инвеститору. Да не буде забуне, и у једном и другом случају, пројекат мора бити без грешака техничке природе. Ријеч је о грешкама које су могуће и не тако ријетке, у подацима који су базирани на истражним теренским радовима, прије свега геолошке и хидролошке студије. Грешке настају због недовољног обима истражних радова или неискуства извршиоца.

Друга врста грешака по учесталости су грешке у предмјеру радова које могу дати погрешну слику о укупној вриједности радова, а знају одлучити и побједника на тендеру. Искусан извођач (понуђач) вјешто, уочене грешке те врсте, претвори у своју предност још у процесу нуђења. Извођачу је дато право да поднесе захтјев за одштету по много више основа него у случају „Испројектуј и изгради“ гдје је једини основ „разлози који нису могли бити познати извођачу“ или очити пропусти инвеститора, који су у правилу неоствариви. Шта може извођачу бити непознато кад је обавезан испројектовати објекат на основу постојећег идејног пројекта? Врло мало или готово ништа, ако још инвеститор својим посебним захтјевима, елиминише и онемогући грешке у геологији.

Одлука инвеститора да гради на основу властитог пројекта, мора имати за посљедицу и одабир искусних ревидената који ће елиминисати већину грешака. Овдје се крије опасност коју диктира поступак „јавних набавки“, гдје су пресудни фактори за додјелу посла по правилу само цијена и услови плаћања. Погрешно постављање услова на основу којих се додјељује посао, отвара могућност додјеле посла некоме ко нема довољно искуства или располаже са мање квалитетним кадровима. Грешка у одабиру ревидента коју диктира само цијена, може на крају многоструко више коштати него што би се платило ангажовање најскупљег понуђача за вршење ревизије. У атмосфери која је створена у јавности око „јавних набавки“ не треба замјерити инвеститорима кад се овако понашају у одређивању критерија. Препорука је да инвеститор ангажује властиту супервизију сачињену од искусних стручњака, по властитом избору.

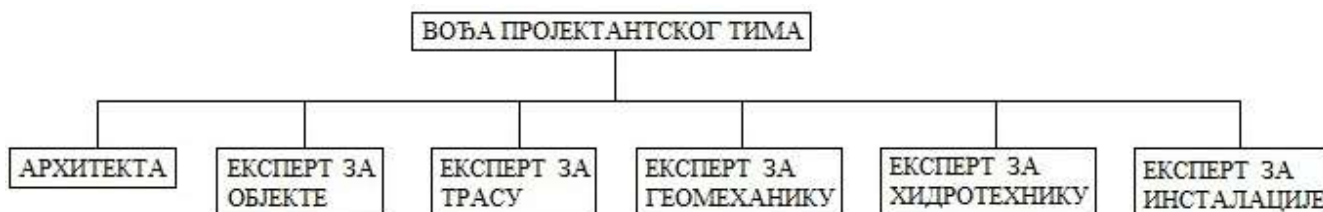
Ревизија о којој сам говорио је законска обавеза и њоме се могу бавити лиценциране пројектантске компаније, што није увијек гаранција да ће посао обавити без грешке. Понављам, цијена ревизије или супервизије на оваквим пројектима је занемарива у односу на цијену која може бити плаћена због грешака у пројекту. Овдје се не мисли на грешке које би угрозиле стабилност објекта или неког његовог дијела. Ми у Републици Српској смо имали прилику да сагледамо и научимо овакву лекцију на првој дионици аутопута који смо градили. Грешке пројектанта и њихово не отклањање од стране ревидента довели су до стварања лажне слике о вриједности посла. Накнадни и непредвиђени радови били су већи него основни уговор. Цијена непредвиђеног продужетка радова никада није обрачуната као ни цијена нарушеног угледа учесника у извођењу, па и самог инвеститора. Касније вођење послова на изградњи наставка аутопута Градишка - Бањалука, а посебно аутопута Бањалука - Добој, показују да је инвеститор врло добро научио како штитити властите интересе.

4.2. Утицај пројектовања на варијанту „Испројектуј и изгради“ („жути FIDIC“)

Жеља аутора овог рада је да укаже на специфичност када се реализује пројекат по начину „Испројектуј и изгради“, тзв. „жути FIDIC“. Овај начин примјењен је сада први пут у Републици Српској на реализацији пројекта изградње Аутопута „Бањалука - Добој“.

Инвеститор је претходно израдио идејни пројекат, ревидовао га и усвојио као основу за рјешавање имовинско - правних односа, подлогу која дефинише и усмјерава основне елементе новог Аутопута. Пројектовање оваквог објекта изузетно је захтјеван посао, посао којим се у правилу баве специјализоване компаније. Извођач је у обавези израдити пројекат за извођење и према њему саградити објекат, набавити опрему и ставити у функцију. Инвеститор и извођач, у оваквој ситуацији морају имати у својој организацији одјељења која су способна активно учествовати у овим пословима у интересу свог

послодавца. Имају заједнички циљ, а различите интересе. Улогом пројектанта, извођач преузима велику одговорност.



Слика 1.

Одјелјење треба да се бави анализом пројектних рјешења по фазама (сл.1.). Одјелјење за анализу и управљање пројектовањем састоји се од инжењера различитих специјалности. Инвеститор може ангажовати и неку консултантску кућу која би анализирали пројектована рјешења и штитила интересе инвеститора.

Ово је осјетљиво питање у Републици Српској која данас има у саобраћају само 100 km аутопута, односно нема властитих искустава како се поједина рјешења понашају у кориштењу и какви су њихови утицаји на трошкове одржавања.

Извођач има интерес различит од инвеститора у смислу да пројектом обезбједи технички адекватна рјешења уз најмању цијену коштања. Ове уштеде требају бити прије свега у оквиру свих елемената и садржаја идејног пројекта, у домену рационализације рјешења како уштеда не би била предмет посебног одобрења инвеститора. Према општим условима уговорних докумената садржаних у „FIDIC-у“ измјене које су одobreне од стране инвеститора, а имају за посљедицу смањење тошкова градње, подлијежу финансијској анализи.

Нето износ остварених уштеда дијели се између извођача и инвеститора на једнаке дијелове. Интерес извођача у оваквим ситуацијама најбоље остварују искусни инжењери разних специјалности који добро познају могућности и потребе извођача. Ова група или одјелјење за управљање пројектовањем може и пожељно је да буде дио техничке групе компаније, а не управљачке структуре пројекта. Компанија треба овакво одјелјење стално и за анализу свих пројеката које изводи или учествује у процесу нуђења за извођење. Није занемарив ни сегмент уштеда на пројекту, настао као посљедица измјена које захтијевају одобрење инвеститора. Ови износи могу бити значајни тако да се извођачу исплати труд на доказивању погодности за инвеститора и прибављање његове сагласности на измјене у пројекту који је основа за израду детаљног пројекта за извођење. Најбитније је доказивање смањења трошкова на одржавању дионице кроз вријеме експлоатације. Ово је највећи интерес инвеститора који заступа интерес државе.

Због непотпуног сагледавања улазних параметара код израде идејног пројекта могуће је да се десе одређене грешке које знатно утичу на коначна рјешења. Прије свега потребно је преконтролисати тачност геодетских подлога, хидролошке подлоге, те направити опсежна геомеханичка истраживања. Ово је изузетно важан посао, јер може постати основа за накнадна потраживања од инвеститора, поготово из разлога рада по принципу „Испројектуј и изгради“, гдје су могућности испостављања ових захтијева сведена на минимум, јер је одговорност пребачена на извођача.

Пошто смо изнијели основна искуства и ставове о главним учесницима у градњи, а који истовремено имају главну улогу у одабиру и примјени техничких рјешења, приказаћемо поједина рјешења и мишљења о њима. Оцјена се даје на основу искуства у примјени тих рјешења и резултата који се могу сагледати досадашњим кориштењем аутопута у саобраћају.

Ради лакшег праћења извршићемо основну подјелу објекта на фазе. Одлучио сам се на сљедећу подјелу: а) **Траса и Нивелета**; б) **Коловозна конструкција**; в) **Објекти**; г) **Одводњавање коловоза**; д) **Сигнализација и Опрема пута**; њ) **Уређење околине и Заштита животне средине**.

За сваку фазу објекта наводим основне варијанте примјењене на појединим дионицама. Након тога наводим разлике међу њима и утицај у ток градње. На крају приказ понашања у саобраћају и утицај на кориштење и оржавања.

а) ТРАСА и НИВЕЛЕТА

Пројектовање аутопутева је међу најсложенијим пословима у грађевинској дјелатности. То су објекти који дугорочно мијењају и околину и начин живота у региону којим пролазе. Планирање трасе аутопута је ствар Генералног урбанистичког плана сваке државе. У правилу мора бити усклађен са сусједним државама како би у потпуности испунио своју сврху. У изради мора учествовати тим искусних стручњака из разних дисциплина. Након Идејног пројекта слиједи израда главног пројекта и конкретно рјешавање техничких проблема. Први посао је полагање трасе на усвојену путању по Идејном пројекту.

Увијек је одређујући параметар рељеф терена на коме се поставља пут и категорија пута. Вјештина и искуство пројектанта морају помирити у складну цјелину кључне параметре. На рељеф који је задала природа, рационално са становишта трошка грађења, сигурности кориштења у различитим временским условима, поставити нивелету која ће обезбиједити и угодну и јефтину вожњу.

Ово је врло сложен посао који тражи тимски рад инжењера путарске, конструкторске и хидротехничке струке, прије свега.

У Републици Српској оба аутопута простиру се равничарским и брдовитим тереном што спада у лаке теренске услове. На аутопуту „9. Јануар“, који је углавном положен на брдовитом терену, витоперење коловоза урађено је на краћим дужинама и показало се као боље рјешење од витоперења на дужим секцијама. Бржа и ефикаснија је одводња са коловоза, а не осјети се тзв. „удар“ возила при великим брзинама, што је основна бојазан неких пројектаната и разлог избегавања витоперења на краћим дионицама .

б) КОЛОВОЗНА КОНСТРУКЦИЈА

На два аутопута примјењене су двије врсте коловозне конструкције. На аутопуту Градишка - Бањалука до чвора Маховљани преко тампонског слоја положена је „геомрежа“, а на њу битоносиви слој асфалта дебљине 2 слоја по 10 cm и хабајући слој од полимерног битумена са додатком целулозних влакана. На првој дионици која је рађена од чвора Маховљани до Бањалуке, рађен је слој цементне стабилизације преко тампонског слоја у дебљини 20 cm. Асфалтни слојеви су били исти само што у хабајући слој није било додатка целулозних влакана. Рјешење примјењено на овој дионици поновљено је на аутопуту „9. Јануар“, али са додавањем целулозних влакана у хабајући слој. Карактеристично за асфалтне слојеве је и то што су агрегати од стијене еруптивног поријекла. У хабајућем слоју кориштено је зрно до 16 mm.

На прво изграђеној дионици од km 38+000 до km 44+000 након десет година оштећења хабајућег слоја су уочљива. На другим дионицама које су у саобраћају од три до девет година нема још уочљивих оштећења. На једној је рађено са „геомрежом“, а на другој са „цементом стабилизованим слојем“ и ни једна ни друга немају оштећење, па закључујем да је узрок у хабајућем слоју. На поменутој дионици са оштећењима кориштен је полимеризовани битумен без додатка целулозног влакна. Други разлог је што дионица није кориштена у саобраћају четири године, а завршен је хабајући слој. Дошло је до деградације битумена услјед не кориштења, није било радне температуре услјед саобраћаја. Послије двије зиме у мировању појавиле су се ситне једва уочљиве прслине искључиво на битумену око зрна агрегата. Под саобраћајем је овај слој без еластичности почео да се одваја од зрна агрегата и исти чини лако подложним испадању.

На релативном кратком потезу од неких 400 m појавиле су се и карактеристичне пукотине за лоше изведену стабилизацију цементом. Попречне пукотине, окомите на осовину пута у правилним размацима, последица прекрутог слоја стабилизованог цементом. Грешка у извођењу, пошто је појава на мање од 6% дионице рађене у тој 2007. години.

Добра страна зрна до 16 mm у хабајућем слоју је повећана храпавост коловоза што повећава приоњивост пнеуматика и продужава вијек трајања овог слоја. Лоше је што производи повећану буку у вожњи и исту чини мање угодном. Мислим да је важнија сигурност и дуговјечност слоја од удобности вожње.

Параметар равности коловоза је знатно бољи на аутопуту „9. Јануар“ прије свега због кориштења најсавременије менанизације.

в) ОБЈЕКТИ

Најважнији објекти налазе се на аутопуту „9. Јануар“, мостови на р. Босни дужине $L=540$ m, мост на р. Врбас $L=340$ m, вијадукт „Пураћи“ $L=466$ m, вијадукт „Богдановац“ $L=250$ m, на дионици чвор Маховљани - Бањалука, као и сам чвор Маховљани. Постоје и два тунела у зони Маховљани - Бањалука, али како се ради о малим тунелима дужине до 500 m искуства нису предмет овог разматрања. Не зато што нису важна већ из разлога скученог простора и мање могућности да се поново појаве. Прије ће бити тунели средње величине, преко 1000 m, а то су други услови и особине. Изграђен је и велик број надвожњака на различите начине и типове конструкције, па заслужују пажњу због своје бројности и незаобилазног објекта.

Чвор „Маховљани“ је доминантан објект на укрштању аутопута Градишка - Бањалука и аутопута „9. Јануар“. Објект је премостио аутопут Градишка - Бањалука у два висинска нивоа како би направио везу са аутопутем за Добој. Конструкција је од преднапрегнутих монтажних АБ гредних носача посложених у кривинама и вертикално и хоризонтално, захтјевна геометрија, успјешно реализована. Осјетљиве фазе су израда хидроизолације и одабир, те постављање дилатација. Први извођач није успио на задовољавајући начин реализовати ни један ни други задатак. Због лоше изведене хидроизолације појавиле су се рупе на коловозу преко објекта при занемаривом саобраћају, тако рећи без саобраћаја само услјед зиме и смрзавања. Ни равност коловоза није била задовољавајућа. Извођач који је ангажован да отклони недостатке посао је урадио на задовољавајући начин и у трећој години активног кориштења нема никаквих оштећења, што и је нормално.

Мост на ријеци Босни је преднапрегнута сандучаста конструкција у вертикалној и хоризантној кривини. Прво поље на десној обали је надвожњак над магистралним путем Дервента - Добој. Мост још није у саобраћају пошто је ту дионица стала. Тренутно је у градњи наставак према насељу Руданка, гдје се уједно формира и чворна веза са коридором V_c , према Сарајеву. Конструкција је изведена „нагуравањем“. Метод примјерен локацијским условима, дужини објекта и његовој геометрији. Обзиром на монолитност конструкције, чиме су избјегнута „лоша“ мјеста, није очекивати проблеме у кориштењу уколико буде одржаван на исправан начин.

Овакву претпоставку потврђује досадашње понашање моста на Врбасу који је у саобраћају, а пројектован и изведен на исти начин, нешто је краћи и буквално као „флизанац“ моста на Босни. За сада не показује никакве мане.

Вијадукт „Пураћи“ рађен је као преднапрегнута конструкција бетонирањем „ин ситу“. На овај начин рађена је већина надвожњака на дионици Маховљани - Прњавор.

Вијадукт „Богдановац“ рађен је од преднапрегнутих гредних носача и послјије чвора Маховљани највећи је објект на аутопуту који је рађен као монтажни. Осим поправке дилатационих направа, ни послјије петнаест година не показује никаква оштећења па ни естетска. Доказ да коректно изведена монтажна конструкција може бити дуговјечна као и монолитна. Кад користим израз „изведена“, осим извођења, мислим и на пројектовање и надзор над извођењем. Врло важан сегмент је коректно пројектантско рјешење детаља. Прије свега везе носача, стубова и лежишних греда. Ништа мање важна ствар је одабир лежишта и дилатационх направа. Правилан одабир ових елемената у старту смањује или елиминише грешке у самом извођењу.



Слика 2. Цурење кроз оштећену дилатацију (Извор: лична фотидокументација са градилишта)

Супротна оцјена је за мале надвожњаке на аутопуту Градишка - чвор Маховљани гдје су без потребе мали надвожњаци пројектовани са дилатационом направом које су лоше и одабране, а лоше и уграђене,

па се већ након прве године појавило цурење воде које ће временом изазвати корозију бетона на осјетљивим мјестима, ослонци преднапрегнутих греда на крајње стубове. Доказ су и два дужа надвожњака која су пројектована као монтажни, са истим преднапрегнутим гредама али као „интегрални рамови“, без дилатационих направа. Саобраћајем најоптерећенији и први стављени у саобраћај понашају се изврсно без било каквих оштећења, па ни естетских.

г) ОДВОДЊАВАЊЕ КОЛОВОЗА

За сигурност саобраћаја један од најважнијих елемената. Једнако опасне ситуације и у лјетном периоду као и у зимским условима. Климатске промјене, које у задње вријеме учестало доказују да подаци о количинама падавина који су годинама обрађивани, више нису релевантни. Пројектантска рјешења која су ишла у правцу што бржег одвођења воде са коловоза сада долазе до изражаја као боља, па иако су понекада скупља или саму возњу у свом периоду чине мање удобном.

Неодвојив дио ове области је третман тих отпадних вода. Посебно је важан због инцидентних ситуација које су могуће при саобраћају који се одвија оваквим објектима. На до сада изграђеним дионицама аутопута примјењене су методе пречишћавања у таложницима са биологунама и пречишћавање коалесцентним филтерима. На дионици аутопута Градишка - Бањалука, на територији Општине Градишка није пројектовано, а није ни изведено никакво пречишћавање отпадних вода са коловоза. Оправдање је било сулудо: „Није било захтјева локалне заједнице када је давала сагласност на урбанистичко техничке услове за пројекат“. Могуће је, али питање је колико је озбиљно пречишћавање на пола дионице, а на пола не. Ко треба бити одговорнији: стручно лице, пројектант који пројектује или нестручни политичари? Тако је било у почетку градње аутопутева у Републици Српској.

Поменути дионица је већим дијелом равничарска што за последицу има минималне подужне нагибе, а и витоперење је изведено на већим дужинама па је одвођење оборинске воде успореније. На дионици аутопута „9. Јануар“ рјешење је много боље што због брдовитог терена којим се простира, те због витоперења на крајним дионицама. Успјешно пројектовано, а онда и добро изведено, тако да се очекивани „удари“ при великим брзинама уопште не осјете у возилу на мјестима витоперења.



Слика 3. Просјечена бетонска цијев
(Извор: лична фотодокументација са градилишта)

Начини сакупљања и евакуације оборинске воде су различити. Важно ми је напоменути да није кориштен централни колектор ни на једном од изграђених аутопутева у ових првих 100 km. Углавном је кориштен цијевни колектор за сваки возни правац. Настојало се максимално избјећи попречно повезивање цијевовода испод коловоза. Ово су увијек потенцијално лоша мјеста, а уштеда у количини цијеви је мала, претворено у новац. Осигурање попречних веза изискује и доста времена и другачију технологију рада. Ефикасним начином сакупљања и одвођења оборинске воде показао се систем отворених бетонских канала у ножици насипа. Врло брз за извођење, лак и јефтин за одржавање. Једина мана је захтијевна опрема за извођење која захтјева и висок ниво стручности руковоаца и техничког особља. У задње вријеме стручна радна снага постаје проблем као и искусни инжењери који треба да брину о квалитету.

На једној дионици дужине око 12 km примјењен је систем „просјечене“ бетонске цијеви. Због климатских прилика у тој регији гдје зиме знају имати доста дуго ниске температуре, могуће је да залеђено стање потраје дуже и да дође до задржавања воде на коловозу. Вријеме ће показати да ли су предности јефтиног извођења оправдане и квалитетом.

д) СИГНАЛИЗАЦИЈА И ОПРЕМА ПУТА

Саставни дио пута који обезбјеђује сигурну вожњу и обавјештава возаче и путнике о важним елементима за успјешно и сигурно путовање. Како је стицано искуство у пројектовању, тако је расла пажња усмјерена на ефикасну опрему и сигналаизацију. Први аутопут Градишка - Бањалука изграђен је и пуштен у саобраћај обилежен само фиксном, класичном сигнализацијом. Није се планирало ни идејним пројектом наплата путарине, нити довољан број асфалтних веза између два возна правца, који служе у случају потребе за преусмјерење саобраћаја. Свјетлосна сигнализација и аутоматско управљање саобраћајем нису били ни предмет расправе. На аутопуту „9. Јануар“ примјењене су мјере и стандарди према европским нормама.

При пројектовању сигнализације одмах је предвиђена и свјетлосна сигнализација којом се управља из Центра за контролу саобраћаја. Из самог назива види се да је успостављен и видео надзор на овом аутопуту. Са уградњом свјетлосне сигнализације и успоставом видеонадзора, почело се и на аутопуту Градишка - Бањалука. Радови су почели 2019. год. и очекујемо да ове године буду завршени. Предуслов је била изградња другог чворног Центра за контролу саобраћаја у Маховљанима.

Одбојне оградне пројектоване су у складу са тадашњим прописима у БиХ који су увијек корак или два иза савремених прописа из ове области у Европи. Касније су пред пуштање у саобраћај неке ствари кориговане и покушало се подићи за степен више заштиту учесника у саобраћају. Не постоје ни данас озбиљне анализе у БиХ колико заједницу кошта изгубљен људски живот или неки степен инвалидности. Није се чудити тако олаком приступу овој врсти заштите у саобраћају. У овој области стваран напредак је учињен на аутопуту „9. Јануар“. Одбојна ограда је потпуно усклађена са ЕН стандардом посебно на објектима те на прилазним дијеловима објеката унутар путног појаса.

Заштитна ограда око аутопута је постављена у складу са прописима и претпостављеним опасностима од којих треба заштитити учеснике у саобраћају на аутопуту. Препоручујем не стављати ограду нижу од 2.20 m јер сам видио исказање срне у путни појас преко оградне висине 1.80 m, на аутопуту Градишка – Бањалука.

ђ) УРЕЂЕЊЕ ОКОЛИНЕ И ЗАШТИТА ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

У овој области ситуација је врло слична оним претходним. Аутопут Градишка - Бањалука који је први изграђен, а посебно прва дионица, далеко је сиромашније опремљен елементима за заштиту од буке или комуникацију животиња. Кроз насеље Клашнице гдје се аутопут до Лакташа протеже врло близу насељених кућа, постављен је пројектом само један зид за заштиту од буке. Нису мјерени ефекти тог зида али обзиром на искуство и димензије зидова на аутопуту „9. Јануар“, убијеђен сам да је ефекат овог зида занемарив. Нешто боља ситуација је на другој дионици од Градишке до чвора Маховљани гдје се

штитило свако насеље које је по прорачуну изложено

њеном нивоу буке.

Аутопуту „9. Јануар“ ови проблеми су рјешавани далеко није. Након пројектом дефинисаних зона које су е недозвољеном нивоу буке, мјерењем на терену ни су пројектовани резултати. Одабир боја и изглед дају додатну удобност путовања овим м.

ви су за животиње непремостива барикада која утиче на животињски свијет. Кад не бисмо ама створили нове могућности за комуникацију аутопута настале би несагледиве последице на природу, а тим и на нашу животну средину. Пролази животиње су обезбјеђени у довољној мјери на свим вима кроз разне пропусте или уз водотокове, испод обраћајнице. Проблеми настају на дионицама које изван насеља и на којима нема водотока.



Слика 4. Примјер заштите од буке (Извор: лична фотодокументација са градилишта)

Природом ствари тим регионима „царују“ животиње и дужни смо им обезбједити кретање и након изградње овако велике и непремостиве препреке. Познато је грађење објеката у

облику надвожњака. Ови објекти морају бити добро заштићени од буке са аутопута и заштићени од свјетла возила како би временом животиње створиле навику да се крећу тим коридором. Подлога преко тих објеката такође мора бити врло слична оној из природне околине тог објекта. О овом се водило рачуна и саграђен је такав прелаз за животиње у околини Прњавора, на мјесту које је препоручило ловачко удружење које води бригу о дивљим животињама у тој регији.

5. ОДРЖАВАЊЕ

Након пуштања првих километара у саобраћај, појављује се потреба одржавања аутопута. Извођач је у склопу предаје објекта на кориштење уз пројекат Изведеног стања обавезан предати и Упутство за одржавање и кориштење аутопута. Овај документ је инвеститору полазиште за уговарање Одржавања аутопута.

Упутства садрже тачно дефинисане радње на одржавању појединих елемената пута. Овим документом дефинише се и минимална учесталост прегледа и потребних захвата овисно о затеченом стању приликом прегледа.

За некога ко нема никаквог искуства у одржавању оваквих саобраћајница, може се дати висока оцјена за прве двије сезоне овог посла. Посебно је задовољавајући ниво одржавања у зимским условима. Има у овом послу и недостатака које је потребно хитно отклонити. Безбиједност учесника у саобраћају при одржавању је на врло ниском нивоу, осим зимског. Компанија која сада врши одржавање, безбједности својих радника и учесника у саобраћају мора неминовно посветити далеко већу пажњу. Недопустиво је истовремено одвијање саобраћаја и извођење радова у истој саобраћајној траци. Само стицајем срећних околности и због малог саобраћаја није било трагичних посљедица.

Мали саобраћај не може бити разлог за неодговорно понашање при одржавању. Средства за одржавање прикупљају се углавном из наплате путарине.

Нисам сигуран да се већ у почетку посвећује довољна пажња другом сегменту по важности, након одржавања, а то је евидентирање и припрема за обраду података о понашању појединих техничких рјешења у експлоатацији. База оваквих података, у наредном периоду, треба бити пресудан параметар за постављање пројектног задатка за пројектовање неке наредне дионице аутопута. Драгоцјена су искуства из регије и на њих се треба ослањати али само док немате властита. Ово је неопходно из разлога што су локални услови експлоатације пута само ваши, микроклиматски услови који су постали доминантан фактор за безбједност саобраћаја. Климатске промјене које све израженије показују своје лоше стране, у стварности показују да су неки параметри одређени на основу постојећих правилника „погрешни“. Само као примјер „количина падавина“. На крају крајева, углавном, већина уграђеног материјала је из локалног налазишта.

Сваки грађевински објект у стварности се понаша са неким елементима живог бића, има своје вријеме консолидације, сазријевања, скупљања, пузања, течења, одговара на утицаје, деформише се, истеже, савија, извија, оксидира и стари. Укратко има свој ЖИВОТНИ ВИЈЕК. Како су различита жива бића, тако су различити и објекти, и када су од истог материјала и када су грађени од истог извођача.

Ово је чињеница коју не смијемо никада заборавити, и посебно је важно да је на уму имају младе колеге. Зато морамо имати евиденцију како се понашају наши објекти и како их одржавамо.

Мостови и тунели су објекти на путу који својим оштећењима могу изазвати катастрофалне удесе. Због брзина и густине саобраћаја на аутопутевима, брига о њиховом беспријекорном стању је тиме већа. Неке мјере у одржавању се проводе свакодневно, а неке периодично. Морају се имати подаци о тим објектима, о стању појединих њихових дијелова по дефинисаним периодима како би се могле планирати мјере и захвати за њихов поправак или замјену.

Понашање коловозне конструкције највише утиче на трошкове одржавања. Пројектовање коловозне конструкције зависно је од захтијеваног вијека трајања, односно од одлуке колико дуго намјеравамо одложити почетак инвестиционог одржавања. Осим овога параметра битно утиче и саобраћајно оптерећење, а затим и прилагођеност одабраних материјала микроклиматским условима. Прилагођеност техничким захтјевима и стандардима се подразумемијева, али познато је да се исти материјал у времену не понаша једнако на различитим просторима иако је изложен истом саобраћајном оптерећењу. Различите резултате имамо у регији код истих техничких рјешења. У Хрватској се исто рјешење, за разлику од Словеније, показало одлично, са безначајним трошковима одржавања. Због оваквих ствари и због смањења трошкова одржавања у будућности, кад буде мрежа аутопутева далеко већа, неопходно је одмах почети стварање властите базе података.

Анализу ових података морају радити тимови инжењера различитих специјалности. Колико знам, данас то не постоји у ЈП „Аутопутеви Републике Српске“. Озбиљан инвеститор мора рећи: „Ово рјешење не желим на мом аутопуту“, или „На овом рјешењу инсистирам“.

Нисам сигуран и ако гријешим извињавам се колегама, али колико знам да једна озбиљна евиденција није уопште успостављена. Овом приликом апелујем да се то учини јер крајње је вријеме, неке објекте смо изградили прије 15 година.

6. ЗАКЉУЧАК

Након изнесених чињеница, у виду препорука, изнијећу ставове по појединим фазама градње:

ПРОЈЕКТОВАЊЕ

У наредним дионицама аутопута радити по принципу: „Испројектуј и изгради“. Прије тога припремити у сарадњи са искусним стручњацима квалитетне ИДЕЈНЕ пројекте.

НАДЗОР

Повјерити искусним и угледним компанијама. Задржати високе критеријуме подобности за учешће на конкурсима за ове послове.

ТРАСА И НИВЕЛЕТА

Уз уобичајене захтјеве код полагања трасе обавезно захтијевати што брже одвођење воде са коловоза. При усвајању одређених параметара код пројектовања инсистирати на усвајању екстремних, како би ублажили утицај климатских промјена.

ОБЈЕКТИ

Мање објекте, гдје год је могуће, пројектовати као ИНТЕГРАЛНЕ. Избјегавати дилатационе направе које временом начине лоша мјеста у конструкцији. Није важно да ли је то због не одржавања или лоше уградње. Инсистирати код објеката од монтажних носача да везе и спојеви буду монолитни. Посветити посебну пажњу квалитети хидроизолације, контролом материјала и начином уградње. ХИТНО и обавезно сачинити ЛИЧНЕ КАРТОНЕ за све веће објекте на траси аутопута.

КОЛОВОЗНА КОНСТРУКЦИЈА

Наставити са примјеном до сада кориштене врсте коловозне конструкције. Код израде хабајућег слоја користити савремена знања за спрјечавање колотрага и продужење вијека трајања. Без изузетка инсистирати на равности коловоза.

ОДВОДЊАВАЊЕ КОЛОВОЗА

Примјењивати рјешења која утичу на што бржу евакуацију воде са коловоза. Гдје год је могуће користити отворене риголе и канале за одводњу до пречистача. Које и какве пречистаче користити требало би закључити из понашања до сада кориштених начина.

СИГНАЛИЗАЦИЈА И ОПРЕМА ПУТА

Настојати користити сва савремена достигнућа из области сигурносних система на аутопутевима. Потпуно усагласити захтјеве сигурности са онима који важе у ЕУ. Посебну пажњу посветити одбојним оградама у близини објеката, а поготову на самим објектима. Наставити са улагањем у опрему за контролу саобраћаја, а тиме и у опрему за свјетлосну сигнализацију и обавјештавање.

УРЕЂЕЊЕ ОКОЛИНЕ И ЗАШТИТА ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

Више пажње посветити побољшању услова кретања животиња како би умањили штетне посљедице нарушених станишта изградњом аутопута. Заштита од буке мора остати елемент коме се придаје посебна пажња. У будућности посветити већу пажњу заштити од „загађености свијетлом“. Све више се користити освјетљавање појединих мијеста на аутопутевима са оправдањем повећања безбједности вожње. Питање је колико је то оправдано, а колико је штетно за околно становништво, а посебно за остали живи свијет. Природа је регулисала дневну измјену тамних и освјетљених часова. Питамо ли се зашто?

ОДРЖАВАЊЕ

Поразна чињеница би била ситуација да се не прикупљају и системски слажу мјеродавни подаци са дионице која је у саобраћају. Након неког времена одређене анализе ових података могу указати да је потребно нека рјешења одбацити као неприхватљива, односно да су друга дала добре резултате што значи да инвеститор ултимативно инсистира на примјени истих, у пројектовању наредних дионица. За ове послове нису потребни инжењери вични пројектовању, него инжењери са склоностима аналитичком посматрању појединих рјешења са становишта безбиједности саобраћаја, трошкова одржавања, обезбјеђења трајности и функционалности свих дијелова аутопута.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] др Жељко Поповић дип. инж. грађ. publication, Parsons Brinckerhoff.
- [2] Б.Вукмир В.Скендеровић: Концесије и уговарања пројеката, Загреб, 1999.год.
- [3] Trivunić M., Dražić J., Matijević Z.: „Modeliranje procesa građenja“, Fakultet tehničkih nauka Instituta za građevinarstvo, Novi Sad, 2005, skripta.

METODE PROCENE I PROGNOZE PROSTORNE RASPODELE PUTOVANJA DUŽ KORIDORA

Ivan Ivanović¹

Saobraćajni fakultet Univerzitet u Beogradu, i.ivanovic@sf.bg.ac.rs

Dragana Petrović

Saobraćajni fakultet Univerzitet u Beogradu, dragana.petrovic@sf.bg.ac.rs

Vladimir Đorić

Saobraćajni fakultet Univerzitet u Beogradu, v.djoric@sf.bg.ac.rs

Rezime: Procena budućih saobraćajnih tokova na planiranim koridorima putne mreže je veoma značajna i zasnovana je na istorijskim podacima i istraživanjima u postojećem stanju. Pojam „koridorska studija“ se odnosi na analize kojima se utvrđuje ukupan obim saobraćaja koji postoji ili se očekuje na koridoru, kao i prostorna raspodela putovanja, tj. izvori i ciljevi putovanja, u uticajnoj oblasti koridora tokom određenog vremenskog perioda. Izvorno-ciljna istraživanja su jedini način za utvrđivanje prostorne raspodele putovanja koja se realizuju duž koridora u regionima koji nemaju razvijene transportne modele. Metode koje se koriste za utvrđivanje izvora i ciljeva kretanja su brojne: ankete u domaćinstvu i spoljnom kordonu, brojanja saobraćaja, prepoznavanja registarskih tablica, internet ankete, primena GPS uređaja, podaci mobilne telefonije itd. Kriterijumi za izbor metode istraživanja mogu biti: ometanje saobraćaja, obezbeđivanje neophodnih podataka, visoka stopa odgovora i geografska pokrivenost, statistička pouzdanost, troškovi/isplativost. Ovakva istraživanja su neophodna osnova za razvoj nacionalnih ili regionalnih transportnih modela koji se tek nakon validacije mogu koristiti za opštu procenu budućih putovanja (izvornih, ciljnih i ukupnih) duž planiranog koridora. U ovom radu biće prikazane metode izvorno-ciljnih istraživanja i perspektiva primene u Srbiji.

Ključne reči: prostorna raspodela putovanja, koridorske studije, transportni modeli

METHODS FOR ASSESMENT AND FORECAST OF TRIP DISTRIBUTION ON ROAD CORRIDOR

Ivan Ivanović

Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, i.ivanovic@sf.bg.ac.rs

Dragana Petrović

Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, dragana.petrovic@sf.bg.ac.rs

Vladimir Đorić

Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, v.djoric@sf.bg.ac.rs

Abstract: The forecast of future traffic flows on the corridors of road network is very important and it is based on historical data and current state survey. The term "corridor study" refers to the analysis that determines the total traffic volume (existing or expected) on the corridor, as well as the spatial distribution of travel, i.e. origin and destination of trips, in the influence area of the corridor during a certain period. In regions without adequate transport model, survey of origin and destination of trips is the only way to determine the trip distribution on a corridor. There are many available methods to determine origin/destination travel: household and external cordon surveys, traffic counts, license plate recognition, internet surveys, use of GPS devices, mobile data, etc. Criteria for choosing a research method are: traffic flow disruption, type of necessary data, response rate and geographical coverage, statistical reliability, cost-effectiveness. This type of surveys represent necessary data base for national and regional transport models. Just after the validation process, the models can be used for general forecast of future trips (the origin, destination and total) along the planned corridor. This paper will present the survey methods to determine origin and destination of trips along corridors and perspective of application in Serbia.

Key words: trip distribution, corridor study, transport models

¹ Autor zadužen za korespondenciju: i.ivanovic@sf.bg.ac.rs

1. UVOD

Transportni koridori predstavljaju okosnicu transportne mreže povezujući susedne zemlje ili značajne centre atrakcije. Ono što karakteriše koridore su izraženi putnički i teretni tokovi. Pri analizi koridora, pa čak i kada su u pitanju samo određene koridorske deonice sveobuhvatnost analize ima širi karakter od lokalnog. Tako na primer za ocenu potencijalnog saobraćajnog toka na određenoj novoj koridorskoj deonici obuhvat analiziranih uticajnih elemenata može da ide do nacionalnog nivoa, a često i šire.

Značaj izrade koridorskih studija je višestruk. Planeri saobraćaja kroz izradu koridorskih studija spoznaju karakteristike saobraćajnih tokova što omogućava kvalitetno upravljanje postojećim saobraćajnim tokovima i analizu različitih prognoznih scenarija budućih tokova robe i putnika. Sa druge strane, koridorske studije predstavljaju značajnu podršku donosiocima odluke kada je reč o strateškim smernicama razvoja transportne mreže.

Kroz koridorske studije se utvrđuju:

- odnosi između saobraćajnice i namene površina
- korelacija između karakteristika tokova putnika i robe i ekonomskih aktivnosti na određenom području.
- lokacije i vrsta kontrole na pristupnim tačkama
- operativni nedostaci u cilju unapređenja operativne efikasnosti

Cilj koridorskih studija je maksimalno iskorišćenje postojeće infrastrukture, kao i odgovor na: buduće transportne zahteve, unapređenje mobilnosti i nivoa usluge za korisnike, unapređenje nivoa bezbednosti saobraćaja i zaštite životne sredine [1]. Pri tome, mora postojati balans između društveno prihvatljivog nivoa ulaganja i koristi koji se ostvaruju izgradnjom ili rehabilitacijom kompletnog koridora ili njegove deonice.

Od karakteristika tokova kod ovakve vrste studija najznačajniji pokazatelji su struktura saobraćajnog toka i prostorna raspodela korisnika koji se na analiziranom koridoru pojavljuju. Ukoliko je reč o rehabilitaciji ili rekonstrukciji postojećeg koridora, značajno je poznavati izvore i ciljeve putovanja koji se na koridoru pojavljuju kako bi strategija razvoja transportnog sistema mogla da se prilagodi karakteristikama transportnih zahteva. Ukoliko je reč o budućoj koridorskoj deonici, pored stope generisanog i indukovano saobraćaja koju će usloviti trend razvoja ekonomije, promena demografskih podataka i trgovinske saradnje sa zemljama iz regiona tokom analiziranog vremenskog perioda, značajno je analizirati i karakteristike tokova na postojećim alternativnim trasama.

Transportni modeli su se pokazali kao dobar alat u izradi koridorskih studija. Transportni modeli mogu biti kreirani namenski za određeni koridor ili deonicu koridora. Takođe, postoje primeri u kojima su transportni modeli koji obuhvataju kompletnu osnovnu putnu infrastrukturu formirani na nacionalnom nivou. U tom slučaju se za potrebe ispitivanja različitih scenarija na konkretnim delovima mreže vrši fino podešavanje i kalibrisanje postojećeg modela sa povećanim nivoom detaljnosti analize uticajnih faktora na karakteristike saobraćaja duž analiziranog dela putne mreže. U slučaju postojanja nacionalnog transportnog modela svaka kasnija analiza karakteristika saobraćaja na delovima putne mreže realizuje se jednostavnije i zahteva kraće vreme. Transportni model sadrži sve elemente karakteristika kretanja od raspodela po vidovima, preko prostorne raspodele kretanja do opterećenja putne mreže.

U ovom radu, akcenat će biti na značaju utvrđivanja izvorno ciljnih kretanja u koridorskim studijama odnosno na metodama kojima se do takvih podataka dolazi.

2. ZNAČAJ UTVRĐIVANJA IZVORNO CILJNIH KRETANJA

Istraživanja kojima se utvrđuju izvori i ciljevi kretanja korisnika na određenom području omogućavaju razumevanje šablona kretanja putnika i tereta što može da doprinese boljem iskorišćenju postojeće infrastrukture, kvalitetnijem upravljanju postojećom infrastrukturom i relevantnijoj prognozi i modeliranju budućih transportnih zahteva.

Ukoliko se pri modeliranju transportnih potreba primenjuje klasičan agregatni pristup (na nivou saobraćajne zone) izvorno - ciljna kretanja su predstavljena takozvanom I-C matricom, gde svako polje matrice predstavlja intenzitet razmene kretanja između formiranih zona. Veličina i broj zona koje se uzimaju u obzir zavise od obuhvatnosti analize, veličine populacije, namene površina itd. U praksi, prilikom izrade koridorskih studija, zonski sistem se uglavnom formira od internih i eksternih zona. Interne zone su locirane u području analizirane trase koridora i prevashodno se koriste za analizu izvorno-ciljnih kretanja i lokalnih kretanja, dok se eksternim zonama pokrivaju i tranzitni tokovi koji prolaze analiziranom trasom.

Pored značaja zonskog sistema za analizu postojećih izvora i ciljeva kretanja, zonski sistem ima važnu ulogu kada je u pitanju prognoza budućih kretanja. Zonskim sistemom se omogućava analiza razvoja i prognoza trenda budućih kretanja na nivou zone, a ne na nivou čitavog područja analize, što unapređuje proces prognoze transportnih zahteva.

2. TEHNIKE UTVRĐIVANJA I-C KRETANJA

Podaci o izvorno-ciljnim kretanjima mogu se prikupljati na različite načine, međutim nije uvek jednostavno odrediti koji je metod najbolji za dobijanje preciznih podataka uz minimiziranje troškova i raspoloživa sredstva. Svaki metod ima jedinstveni set karakteristika u odnosu na organizaciju prikupljanja i analizu podataka.

2.1 Metoda snimanja registarskih tablica

Suština ove tehnike, kako sam naziv kaže, je beleženje registarskih tablica na definisanim lokacijama kako bi se preklapanjem tablica u kasnijoj analizi i obradi podataka došlo do izvora i ciljeva pojedinih kretanja kao i do vremena putovanja između lokacija na kojima se registarske tablice beleže. Prednost ove metode je nepostojanje direktne interakcije sa vozačima (kao kod direktnih intervjuja), već se istraživanje realizuje bez ometanja uslova u saobraćaju i saobraćajnog toka. Takođe, vremenski je kraća od metoda u kojima se koriste upitnici i omogućava ostvarenje većeg uzorka. Za realizovanje ove metode praktično ne postoje ograničenja kada su u pitanju različite kategorije saobraćajnica i puteva, i zahteva relativno jednostavnu opremu.

Može se izdvojiti nekoliko osnovnih tehnika kada je reč o snimanju registarskih tablica, a unapređenje tehnika se prilagođava tehnološkom razvoju:

1. *Ručno snimanje registarskih tablica (Clipboard metoda)* – u ovoj tehnici registarske tablice se beleže na papiru od strane istraživača na definisanim lokacijama. U zavisnosti od specifičnosti registracionih oznaka na posmatranom području posmatrač beleži kompletan zapis registarske tablice ili samo onaj deo registarske tablice koji će omogućiti kvalitetno preklapanje u slučaju da je tablica zabeležena i na nekoj drugoj lokaciji. Prema Martinu (1993.), anketari mogu snimiti prosečno 170 potpunih registarskih tablica u periodu od jednog sata ili 800 delova registarskih tablica u periodu od jednog sata (tri ili četiri karaktera) [2]. Uz beleženje registarske tablice beleži se vreme prolaska vozila i kategorija vozila. Podudaranjem identične tablice na dve definisane lokacije i logičkom kontrolom može se generisati podatak o aproksimativnom vremenu putovanja između te dve tačke. Dobra stvar kod ove metode je relativno jednostavna obuka istraživača, a preporuka je da zbog čitljivosti rukopisa pri obradi istraživač sa terena unosi podatke u računar pre nego se pristupi algoritmu preklapanja tablica.
2. *Metoda snimanja zvuka* – u ovoj metodi, anketari izgovaraju delove registarskih tablica od vozila koja prođu što skraćuje vreme unosa. Kao u ručnom unosu vreme bi trebalo biti ažurirano tokom intervala u kojem nema prolaska vozila. Saobraćajni protok takođe mora biti beležen istovremeno ili istraživači mogu glasovno zabeležiti i prolazak vozila koja su nedefinisana (npr., kazati "bez identifikacije" u snimač). Prema Martinu (1993.), između 1000 i 1200 registarskih tablica na čas mogu biti snimljene od strane jednog istraživača [2]. Ovi snimci zvuka moraju biti preslušani nakon završetka perioda snimanja i preneseni u softver u kojem se vrši obrada preklapanja registarskih tablica sa lokacija snimanja. U današnje vreme postoje i specijalizovani softveri za pretvaranje zvuka u tekst što može olakšati proceduru unosa zabeleženih podataka u bazu za obradu.
3. *Snimanje tablica uz pomoć prenosivog računara* – kod ove tehnike snimanja u računar se unosi registraciona oznaka i kategorija vozila, dok se vreme prolaska precizno beleži tako što se svakom

- unosu automatski pripisuje tačno vreme na računaru. Potrebna je obuka istraživača o unosu registarskih tablica u računar kako bi se minimizirala verovatnoća greške.
4. Metoda fotografija – u ovoj metodi fotografijom su beležene registracione tablice kada vozilo prođe pored istraživača. Precizno vreme, kao i ostale karakteristike vozila se beleže na fotografiji. Osnovna prednost fotografije je smanjeno vreme ukucavanja i eliminacije greške pri beleženju.
 5. *Video zapis sa ručnom obradom* – u ovoj situaciji tok vozila na definisanim lokacijama se beleži video kamerama. Kasnije se video zapis obrađuje beležeći sve od prethodno pomenutih informacija. Pozitivne karakteristike ove tehnike su maksimiziranje uzorka i mogućnost upravljanja snimkom prilikom obrade u smislu prilagođavanja brzine i rezolucije. Sa druge strane, ova tehnika iziskuje dodatni napor jer se nakon snimanja na terenu kompletan proces analize i pregledanja snimka mora ponoviti kako bi se formirala baza za obradu.
 6. Video zapis sa automatskim procesiranjem snimka – ovo je tehnika u kojoj se kompletan proces realizuje automatski. Snimak sa terena se obrađuje uz pomoć specijalizovanog softvera koji identifikuje vozila sa snimka, beleži kategoriju vozila, vreme prolaska i automatski kreira bazu podataka za obradu.

Pored navedenih prednosti primene metode snimanja registarskih tablica postoje i određene specifičnosti o kojima treba voditi računa pri realizaciji:

- Vremenske prilike - u zavisnosti od primenjene tehnike, vremenske prilike značajno mogu uticati na realizaciju ove metode. Na primer, nepovoljne vremenske prilike nakon određenog vremenskog perioda mogu uticati na smanjenu koncentraciju istraživača koji radi na beleženju registarskih oznaka, ali i na otpornost elektronske opreme koja se koristi u istraživanjima.
- Kvalitetno beleženje registarskih oznaka – prilikom korišćenja ove metode važno je podjednako kvalitetno beleženje registarskih oznaka na svim definisanim lokacijama, s obzirom da prilikom propusta na jednoj od dve lokacije na trasi kretanja vozila postojeći taj podatak postaje neupotrebljiv.
- Brzina vozila i formiranje kolona – prilikom malih brzina vozila i formiranja kolona onemogućava se kvalitetno beleženje registarskih oznaka. Takođe, intenzivni saobraćajni tokovi sa velikim brzinama na višetraknim putevima zahtevaju veliki nivo koncentracije beleženja tablica i složeniju organizaciju istraživanja.
- Izvore i ciljeve kretanja kao i vremena putovanja je moguće zabeležiti samo između definisanih lokacija istraživanja.
- Pitanje napajanja elektronske opreme tokom istraživanja - kod upotrebe elektronske opreme na punktovima potrebno je rešiti problem napajanja ukoliko se istraživanje realizuje tokom dužeg vremenskog intervala.
- Automatska obrada video zapisa - ukoliko je reč o automatskoj obradi video zapisa dobijeni rezultati se značajno oslanjaju na kvalitet snimka i softvera koji se u obradi koristi.
- Prilikom definisanja lokacija treba imati u vidu da su ovom metodom pokrivena tranzitna kretanja, odnosno kretanja koja nemaju za izvor ili cilj područje između definisanih lokacija.

2.2 Direktno intervjue (Anketa) učesnika u saobraćaju

Osnovno što karakteriše ovu metodu prikupljanja podataka o izvorima i ciljevima kretanja je preciznost lokacije izvora i cilja kretanja. U prethodno opisanoj metodi koja se tiče snimanja registarskih tablica vrlo je teško dobiti podatak o krajnjem cilju kretanja, kao i o tačnoj lokaciji početne tačke, već su ti delovi kretanja rekonstruisani na bazi pretpostavki. Postoji mogućnost da se podaci o registracionim oznakama konvertuju u adrese ali je pitanje da li ograničenja koja su definisana Zakonom o zaštiti podataka o ličnosti to omogućavaju.

U zavisnosti od potrebnog nivoa detaljnosti anketni obrazac može sadržati značajan broj pitanja. Pored izvora i ciljeva, korisnik može biti pitan za svrhu kretanja, kao i za pojedine karakteristike planiranog povratnog kretanja koje se uz odgovarajuću veštinu može rekonstruisati, za vrstu i količinu robe ako je u pitanju teretno vozilo, itd. Treba imati u vidu da se obimom upitnika utiče i na vreme ispitivanja i zadržavanja korisnika što može uticati na nezadovoljstvo ispitanika, a indirektno i na kvalitet odgovora.

Istraživanja ove vrste su finansijski i vremenski zahtevna za organizaciju, sprovođenje i obradu [3]. Pre započinjanja ovakve vrste istraživanja moraju pažljivo da se analiziraju postojeći izvori podataka, ukoliko su odgovarajući i novijeg datuma potrebno je uzeti ih u obzir.

Osnovni izazov kod ovakve vrste ispitivanja je lokacija istraživačkih punktova. Ona treba da bude takva da ne ugrožava bezbednost u saobraćaju, bezbednost istraživača i da ima što manji uticaj na remećenje saobraćajnog toka. U prethodnoj praksi ovakva vrsta istraživanja se uglavnom realizovala uz podršku policijske patrole koja je na sebe preuzimala odgovornost zaustavljanja vozila. Najveći problem kod primene ove metode predstavlja činjenica da trenutno u Republici Srbiji policija ne bi smela da zaustavlja vozila u cilju sprovođenja ankete. Kada je reč o putnoj mreži, naplatne rampe se vrlo često koriste kao lokacije istraživanja s obzirom da na tim tačkama dolazi do zaustavljanja vozila. Pored toga stanice za snabdevanje gorivom i odmorišta predstavljaju potencijalne lokacije za ovu vrstu istraživanja.

Kao nedostaci ove metode izdvajaju se:

- remećenje saobraćajnog toka
- složen proces obezbeđivanja podrške policije za ovu vrstu istraživanja
- vrlo često se dovodi u pitanje da li je ovakva vrsta istraživanja u skladu sa Zakonom o zaštiti podataka o ličnosti.
- sve veći broj korisnika primenjuje elektronsku naplatu putarina pri čemu se ne zaustavlja na naplatnim stanicama.

Kada je reč o uzorku, jasno je da primenom ove metode ne može biti obuhvaćeno svako vozilo u saobraćajnom toku. Uzorak zavisi od organizacije istraživačkog punkta, kao i od obučenosti anketara da za što kraći vremenski period dobiju kvalitetan odgovor od ispitanika.

2.3 Metod istraživanja uručivanjem ankete

Metoda istraživanja uručivanjem ankete podrazumeva zaustavljanje vozila, uručivanje i samostalno popunjavanje ankete. Po popunjavanju anketu je potrebno poslati na odgovarajuću adresu. Pozitivan element je taj što je vreme zadržavanja kraće u odnosu na klasičnu anketu, ali imajući u vidu prethodna iskustva procenat vraćenih popunjenih anketa mali s obzirom da se ispitanik ne obavezuje da će popunjenu anketu postali na odgovarajuću adresu. Jedan od nedostataka ove metode je što ne postoji ni način da se ispitanik podseti da dostavi popunjenu anketu koji može da se eliminiše ostavljanjem kontakt telefona ili e-mail adrese od strane ispitanika. Na taj način, ispitanik bi mogao da se podseti da popuni anketu, kao i da mu se pruži odgovarajuća pomoć kako bi to uradio na pravi način. U metodama koje se oslanjaju na komunikaciju i saradnju sa učesnicima u saobraćajnom toku pokazalo se da se bolji uzorak i relevantniji podaci mogu prikupiti ukoliko postoji mogućnost organizovanja neke vrste sistema nagrađivanja za davanje traženih informacija uz prethodnu najavu sprovođenja istraživanja.

Metoda uručivanja ankete može da se kombinuje i sa kratkim intervjuom od nekoliko pitanja. To svakako doprinosi dodatnom vremenu zadržavanja korisnika. Sa druge strane, postavljanje inicijalnog pitanja da li zaustavljeni korisnik pripada ciljnoj grupi koja treba da bude predmet istraživanja može da predstavlja osnovni kriterijum da li anketu uopšte dodeliti korisniku.

2.4 Internet istraživanja

Istraživanje izvora i ciljeva putovanja posredstvom interneta ima svoje prednosti ali svakako i nedostatke kada je u pitanju ova svrha istraživanja. Osnovna prednost je što se ne ometa saobraćajni tok na području odnosno deonici na kojoj se istraživanje realizuje. Takođe, reč je o pristupačnoj metodi istraživanja za koju nisu neophodna velika ulaganja. Veliki nedostatak predstavlja definisanje ciljne grupe nad kojom istraživanje treba da se sprovede. Kada je reč o formiranju transportnog modela za jedno prostorno ograničeno područje, posebnom metodologijom je moguće realizovati internet anketu korisnika koji pripadaju tom području. Na taj način se dobijaju podaci o izvorno-ciljnim kretanjima, ali tranzitna kretanja ostaju nepoznanica. Takođe,

ovakvom vrstom istraživanja se fokus stavlja na korisnike interneta što ne obuhvata kompletnu populaciju. Zbog toga se ova vrsta istraživanja vrlo često kombinuje sa nekom od već pomenutih metoda.

2.5 Istraživanje uz pomoć GPS - a i pametnih telefona

Kada je reč o samom GPS uređaju preko njega se mogu dobiti podaci od izuzetnog značaja za ovakvu vrstu analize. Međutim, postavlja se pitanje na koji način ciljnu grupu korisnika opremiti GPS uređajima da bi se dobile informacije o izvorima i ciljevima kretanja. Ukoliko je reč o istraživanju parametara saobraćajnog toka kao što su vreme putovanja ili brzina moguće je ciljano opremiti određen broj vozila GPS uređajem i metodom plutajućeg vozila istražiti pomenute parametre.

Kao varijacija ove metode mogu se iskoristiti pametni telefoni. Većina pametnih telefona danas je opremljena GPS - om, a postoji i veliki broj aplikacija koje mogu dati podatke o brzinama i vremenu putovanja. Kad je reč o pametnom mobilnom telefonu jednostavno je kreirati aplikaciju koja će pored podataka koji se dobijaju sa mobilnog telefona podrazumevati i dodatna pitanja na koja korisnik telefona može dati odgovor a tiču se konkretnog kretanja, na primer svrha putovanja ili kada je u pitanju transport robe o vrsti robe. S obzirom da većina korisnika ima mobilni telefon koji omogućava prikupljanje podataka na ovakav način nisu potrebna velika ulaganja za realizaciju ove vrste istraživanja. Problem u ovom slučaju može da predstavlja definisanje ciljne grupe, i Zakon o zaštiti podataka o ličnosti.

2.6 Mobilni operateri

Korišćenje podataka mobilnih operatera je tehnologija koja se intenzivno primenjuje poslednjih godina u različitim oblastima pa i u saobraćaju. Ova metoda je bazirana na beleženju pozicije mobilnog telefona od strane bazne stanice koju trenutno koristi. Kretanjem korisnika mobilnog telefona, menjaju se i bazne stanice koje korisniku omogućavaju najkvalitetniji signal, pa se tako indirektno beleži i promena pozicije korisnika mobilnih telefona. Jedno od prvih istraživanja na temu upotrebe podataka sa mobilnih telefona kako bi se snimili parametri saobraćajnog toka na deonici u saobraćaju realizovano je pre dvadeset godina [4]. Kasnije su istraživanja na ovu temu počela da se inteziviraju. Jedna od prvih primena podataka mobilnih operatera u utvrđivanju izvorno ciljnih kretanja realizovana je u Masačusatsu (USA) 2011 godine. U pomenutoj studiji su dobijeni podaci o izvorima i ciljevima kretanja sa baznih stanica mobilnih operatera poređeni sa podacima dobijenim iz popisa i ostvarena su dobra poklapanja [5]. Nakon toga usledio je niz primera primene podataka mobilnih operatera u istraživanju izvorno - ciljnih kretanja [6][7][8].

Osnovna prednost ove metode utvrđivanja izvorno-ciljnih kretanja je što nije potrebno izdvojiti dodatne napore u beleženje izvora i ciljeva kretanja jer mobilni operateri svakako te podatke već beleže. Princip na kojem je bazirana ova metoda posebno je pogodan za analizu izvora i ciljeva kretanja na koridorskim pravcima, odnosno na transportnoj mreži na kojoj ne postoji veliki broj alternativa za izbor trase kretanja. U zavisnosti od kvaliteta i prostorne raspodele baznih stanica zavisiće i kvalitet dobijenih podataka. Podaci dobijeni na ovaj način mogu se iskoristiti za unapređenje gravitacionog modela u prognozi prostorne raspodele kretanja. Takođe, i ova metoda se u cilju dobijanja preciznijih podataka može realizovati u kombinaciji sa nekim dodatnim izvorom podataka. Tako je na primer u istraživanjima iz 2014. godine ovaj metod istraživanja izvorno - ciljnih kretanja ukršten sa raspoloživim podacima iz sistema javnog gradskog prevoza putnika [9].

U uslovima zastupljenosti više različitih mobilnih operatera na istom području korišćenjem podataka jednog od operatera uzima u obzir samo kretanje korisnika mobilnih telefona u okviru mreže izabranog operatera. S obzirom da su podaci anonimni ne postoji mogućnost da se direktno dobije nikakva dodatna karakteristika o izvorno - ciljnom kretanju u smislu svrhe kretanja, starosne strukture osobe koja realizuje kretanje, načinu kretanja itd. Pojedine od navedenih karakteristika bi sa izvesnom dozom sigurnosti mogle da se rekonstruišu: način kretanja na osnovu brzine, svrha kretanja u odnosu na lokaciju i vreme zadržavanja itd. Korišćenje ove vrste podataka u komercijalne svrhe iziskuje dodatna finansijska sredstva i određenu procedure potraživanja podataka što treba imati u vidu ako je reč o transportnoj studiji sa strogo definisanim vremenskim ograničenjima i malim budžetom. Prateći trend razvoja mobilne telefonije i kretanje cena usluga za očekivati

je da će ovaj izvor podataka i na našem području vrlo brzo postati jedan od primarnih izvora podataka o izvorno - ciljnim kretanjima što će značajno doprineti kvalitetu izrade koridorskih studija.

3. DISKUSIJA

U narednoj tabeli su rezimirane osnovne karakteristike predstavljenih metoda istraživanja o izvorno – ciljnim kretanjima (Tabela 1)

Tabela 1: Osnovne karakteristike metoda istraživanja izvorno - ciljnih kretanja

Metodologija	Remećenje saobraćajnog toka	Potencijalni obuhvat uzorka	Troškovi realizacije	Karakteristike podataka
Snimanje registarskih tablica	Nema uticaja	Visok	Niski	Bez preciznih podataka o konačnim izvorima i ciljevima kretanja, ali vrlo upotrebljiva baza podataka
Direktan intervju	Remeti saobraćajni tok	Nizak/srednji (veliki značaj promocije istraživanja)	Visoki	Visok nivo preciznosti podataka o izvorima i ciljevima kretanja i kao i podataka o ostalim karakteristikama kretanja
Uručivanje ankete	Remeti saobraćajni tok	Nizak (velika verovatnoća da ispitanik ne pošalje tražene podatke)	Relativno visoki	Postoji mogućnost dobijanja vrlo preciznih podataka o izvorima i ciljevima kretanja, a i o ostalim karakteristikama kretanja
Internet istraživanje	Nema uticaja	Relativno nizak (veliki značaj promocije istraživanja; u pitanju je deo računarski pismene populacije)	Niski	Postoji mogućnost dobijanja vrlo preciznih podataka o izvorima i ciljevima kretanja, a i o ostalim karakteristikama kretanja
GPS	Nema uticaja	Ograničen na učesnike sa opremom	Visoki	Visok nivo preciznosti podataka o izvorima i ciljevima kretanja za grupu učesnika sa GPS uređajem, kao i o brzini i vremenu putovanja
Pametni telefoni	Nema uticaja	Srednji	Niski	Postoji mogućnost dobijanja vrlo preciznih podataka o izvorima i ciljevima kretanja a i o ostalim karakteristikama kretanja
Mobilni operateri	Nema uticaja	Korisnici određenog operatera	Srednji	Prilično visok nivo preciznosti podataka o izvorima i ciljevima kretanja (zadovoljavajući za agregatni pristup modeliranja transportnih zahteva na nivou saobraćajnih zona)

Ovim radom akcenat je stavljen na metode za koje postoji prethodno iskustvo ili praksa na našim prostorima. Izbor metode zavisi od mnogo faktora i vrši se u odnosu na konkretnu situaciju. Vrlo često se ova vrsta istraživanja realizuje i u kombinaciji više različitih metoda.

S obzirom na pojedine zakonske norme koje ograničavaju realizaciju nekih od navedenih metoda i tehnika, trend ove vrste istraživanja ići će u pravcu primene metoda u kojima se ne ostvaruje direktan kontakt sa učesnicima u saobraćajnom toku i ne remeti saobraćajni tok. Ovakav način dobijanja podataka favorizuje metode beleženje registarskih oznaka, internet ankete, upotrebu GPS - a i pametnih telefona, kao i metodu prikupljanja podataka od mobilnih operatera.

U odnosu na potrebni obuhvat izvora i ciljeva kretanja razvijane su i metode koje su usko fokusirane na koridor i kod kojih se na osnovu detektora identifikuju izvorne tačke pristupanja koridoru i ciljne tačke napuštanja koridora i tako se formira izvorno - ciljna matrica kretanja na nivou koridora [10].

Bez obzira o kojoj metodi da je reč vrlo je značajno imati podatke o brojanju saobraćaja na pojedinim tačkama u okviru područja istraživanja. Podaci o brojanjima se u ovom slučaju prvenstveno koriste za kalibraciju dobijene izvorno- ciljne matrice kretanja. Kalibrisana matrica podleže postupku validacije nakon koje se ista usvaja kao konačna ili se proces kalibracije ponavlja kroz više iteracija.

4. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je isticanje značaja utvrđivanja izvora i ciljeva kretanja pri izradi koridorskih studija. Formiranje ove baze podataka je pored analize postojećeg stanja vrlo značajno i kada je u pitanju prognoza budućih transportnih zahteva, pogotovo ako je reč o testiranju opravdanosti izgradnje novih delova putne mreže.

Izbor metode za ovu vrstu istraživanja se prilagođava konkretnoj situaciji i ostalim ograničenjima kao što su finansijska sredstva, vreme realizacije, materijalni ili nematerijalni resursi, itd. Često se događa da se kombinuje nekoliko metoda na takav način da se međusobno dopunjavaju. Imajući u vidu brzinu razvoja tehnologije, vrlo je verovatno da će se u bliskoj budućnosti pojaviti nove tehnike i metode za realizaciju ove vrste istraživanja kao što su snimanje iz dronova ili neka vrsta satelitskih snimanja.

U Republici Srbiji ne postoji transportni model na nacionalnom nivou koji sadrži podatke o karakteristikama kretanja na putnoj mreži. U odnosu na to naše trenutne aktivnosti su usmerene ka kreiranju metodologije formiranja transportnog modela koji bi na širem obuhvatu mogao da posluži u analizi trendova kretanja saobraćajnih tokova na putnoj mreži Republike Srbije.

Literatura

- [1] Florida Department of Transportation, online available at: www.fdot7studies.com
- [2] Martin, P.T.; M.C. Bell. 1993. Vehicle Tracking Through Unsampled Registration-Plate Observation. Traffic Engineering and Control, v34, n 1, London, pp. 8-12.
- [3] Đorić, V.; Petrović, D.; Ivanović, I.; Jović J. 2018. Planiranje saobraćaja analiza transportnih zahteva, Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet
- [4] Bolla, R.; Davoli, F.2000. Road traffic estimation from location tracking data in the mobile cellular network, 2000 IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Conference Record (Cat. No.00TH8540), Chicago, IL, 2000, pp. 1107-1112 vol.3, doi: 10.1109/WCNC.2000.904783.
- [5] Calabrese, F.; Di Lorenzo, G.; Liu, L.; Ratti, C.; 2011. Estimating Origin-Destination Flows using Mobile Phone Location Data, IEEE Pervasive Computing, 10(4):36–44
- [6] Lenormand, M. et al. (2014) Cross-checking Different Sources of Mobility Information, PLoS ONE, 9 (8): e105184. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105184>
- [7] Nanni M. et al. (2014) Transportation Planning Based on GSM Traces: A Case Study on Ivory Coast. In: Nin J., Villatoro D. (eds) Citizen in Sensor Networks. CitiSens 2013. Lecture Notes in Computer Science, vol 8313. Springer, Cham
- [8] Ma, J. et al. 2013. Deriving Operational Origin-Destination Matrices from Large Scale Mobile Phone Data, International Journal of Transportation Science and Technology, 2(3):183–203
- [9] D. Zhang, D. et al. (2014) Exploring Human Mobility with Multi-Source Data at Extremely Large Metropolitan Scales, ACM MobiCom, 201-212, <https://doi.org/10.1145/2639108.2639116>
- [10] Nguyen, V. T., et al. (2014) Route estimate method based on detector data, SUMO2014 - Modeling Mobility with Open Data /Proceedings

EFFICIENCY AND SAFETY OF ROAD TRAFFIC IN THE CITY OF SKOPJE

Ivona Nedevska

Email: ivona.nedevska@gmail.com
Civil Engineering Institute, Macedonia A.D. Skopje
Drezdenska 52, Skopje, Macedonia

Zlatko Zafirovski

Email: zafirovski@gf.ukim.edu.mk
UKIM Faculty of Civil Engineering, Skopje
Blvd. Partizanski Odredi 24, Skopje, Macedonia

Slobodan Ognjenovic

Email: ognjenovic@gf.ukim.edu.mk
UKIM Faculty of Civil Engineering, Skopje
Blvd. Partizanski Odredi 24, Skopje, Macedonia

Ivana Nedevska

Email: ivana_nedevska@live.com
Eskavatori MK, Skopje

Vasko Gacevski

Email: vaskogacevski@yahoo.com
UKIM Faculty of Civil Engineering, Skopje
Blvd. Partizanski Odredi 24, Skopje, Macedonia

Abstract: Road safety is essential to the well-being of people and societies, and vital for economic growth and prosperity. In any responsible society, the safety of all traffic participants, their health and life, should be a priority for every individual. But we are faced with situations on a daily basis where due to disregard of traffic regulations, low level of traffic culture, ethics, traffic behavior habits, human lives are injured or lost. Traffic is one of the existential functions of humanity in today's modern life. However, road safety is one of the most complex problems in human society, which rises to a very high level in terms of the negative effects it brings with it and its speed of development.

In addition to the basic purpose of traffic - connecting to certain locations, it is also important to consider the "traffic with less negative effects". The relatively large number and variety of entities involved in traffic (drivers, pedestrians, cyclists, motorcyclists, etc.) undoubtedly cause disadvantages for road safety. They are often manifested as a variety of situations and emergencies of danger, resulting in traffic accidents.

In many cases, road accidents are predictable and preventable. Raising awareness about the cause of accidents, on abiding by and using standards correctly, and in exchanging best practice, are an important part of a holistic approach to road safety. The best way to avoid future accidents is to be conscious of the dangers and risks of road traffic and the consequences that might occur if we do not respect road safety regulations, even if we are a pedestrian, driver or passenger.

Keywords: safety, traffic, traffic accidents, vehicles, speed.

1. INTRODUCTION

Traffic safety requires seriousness, responsibility and maximum compliance with traffic rules and regulations. Observance of traffic rules is not a right of choice, therefore, everyone should drive responsibly without excuses!

According to WHO data, about 400,000 young people die in traffic accidents worldwide each year. This means that 1,100 young people under the age of 25 die every day in road accidents worldwide, which is the leading cause of death among people aged 15 to 19, and the second leading cause of death among people age 10 to 25 years.

Given the above facts, we can rightly say that traffic accidents are the black plague of the 21st century. The traffic will be safe and uninterrupted only if all traffic participants are maximally responsible.

2. REASONS FOR TRAFFIC ACCIDENTS

Macedonia in the statistics for road safety in Europe, at the very end! Why?

1. Management

No responsible state body for improvement of road safety. "Shared" responsibility between Ministries, Public Enterprises and Council for road safety. Everyone responsible and at the end no one responsible.

2. Infrastructure

No regulation for road safety inspections on existing road and no regulation for road safety audit on new designs for new roads. Low level of maintenance on existing roads. No data available for place (with gps coordinates) of road crashes on the roads in the country.

3. Cars Average age of cars on the roads is 18 years.

Many private entities that "control" with technical inspections of cars.

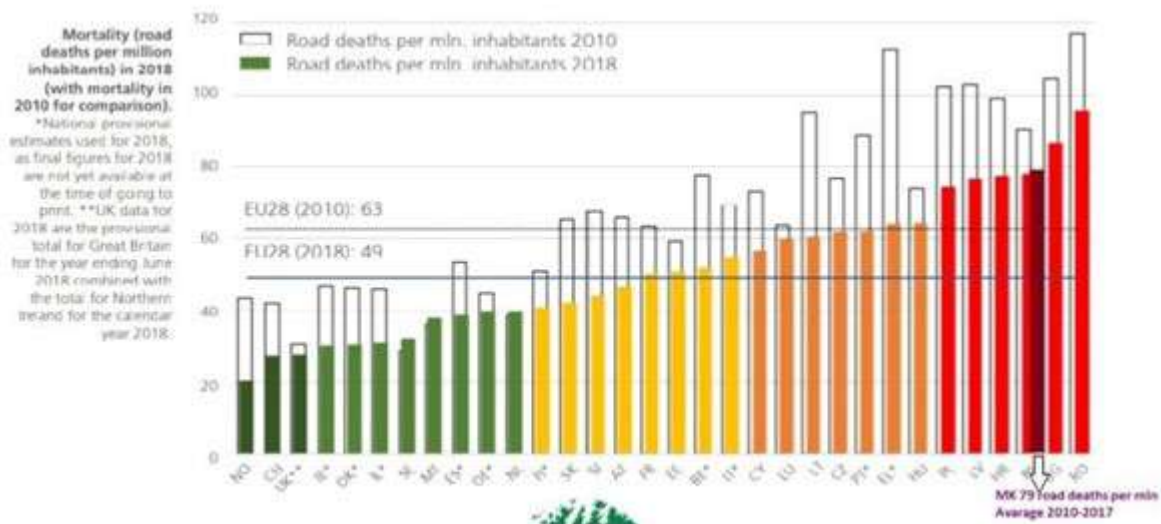
4. Drivers

If you drive at 50 km/h on the road in the city (which is the allowed speed by the law), most of drivers "blow the horn" with the attitude "Are you on sightseeing?".

5. Enforcement

No regulation or infrastructure for automatic "punishment" with taking pictures of "speeding drivers".

Recently, young driver with double digits of legal fines for speeding, killed 2 people on the streets in road crash.



Picture 1. Timetable Mortality (road deaths per million inhabitant) in 2018

Source: (personal research)

The most common excuses, i.e. causes of traffic accidents are: speeding, driving under the influence of alcohol, use of mobile phones and many others.

Some drivers may say, "It's my decision not to use a seatbelt while driving", or "It's my decision not to stop at a pedestrian crossing." These are just some of the bizarre excuses. But is it their decision to take part in a traffic accident that can result in serious injuries or death? Safe and responsible traffic participation is not a right of choice but responsibility, and they do not take any excuses or apologies.

Statistics, unfortunately, show that excuses are still our bad habit. The large number of accidents that occur on a daily basis are an indication of this.

When asked how often you exceed the maximum speed limit, with never responded only 14% of the drivers. 20% of the drivers responded with often, always - 3%, and 63% rarely do.

Asked if they had driven under the influence of alcohol, 85% of drivers said they had ever driven a motor vehicle under the influence of alcohol, of which 5% did it frequently. According to statistics, young people aged 20 to 29 are the most common victims in traffic accidents caused by driving under the influence of alcohol.

The most worrying data in the whole survey is the data on using a mobile phone while driving a motorized vehicle. 63% of drivers use their mobile phone while behind the wheel.

3. THE SITUATION IN THE CITY OF SKOPJE

Citizens play an important role in traffic as well. The problem in the streets in Skopje is that everyone behaves as they have exceptional rights. There is little thought about transportation alternatives, and most on the need to get from one place to another quickly.

Skopje has excellent prerequisites for cycling, but the authorities are not taking any steps to improve and promote sustainable transport. In Skopje there are lanes that cannot be counted as bicycle lanes by any characterization. What has been categorized as a bicycle lane is in fact a sidewalk for pedestrians. Red lines across Skopje are something that in no way improves cycling. It's just that the situation is the same, cyclists are back on the streets.

The competent entities are advocating and making efforts, but still there is no reduction in the number of traffic accidents, nor any decrease in the number of casualties and injured individuals in them. Children, as the most vulnerable category of traffic participants, remain victims of traffic accidents in the country. The traffic safety conditions in the Republic of Macedonia are quite serious and the situation is alarming. The unlawful behaviour of the citizens has achieved stagnation at all fields, especially in traffic.

On 30.09.2015 a new law for traffic safety has been introduced. The traffic safety law ordines the following:

- Road safety and protection;
- The basic principles and mutual relations of the participants and other entities in the road traffic;
- The rules of the road traffic;
- The system of road signs, equipment and road signalization;
- Duties in case of a traffic accident;
- Candidates for drivers, drivers, driving schools, examination centers and driver's licenses;
- Training for driving and acquiring the right to drive a motor vehicle and the misdemeanour procedure for children;
- special security measures;
- Tasks and organization of the road traffic safety councils;
- Records and data protection;
- Misdemeanour provisions and
- Authorizations for bylaws.

The penalties themselves will not give the desired results if the other institutions do not fulfill their obligations. Preventive measures should be taken in parallel. The penalties are not high and it is good that the law provides for more penalties depending on the type of offense. But we are concerned about the phenomenon that more of the victims we have in traffic are in populated areas. We have more victims on pedestrian crossings, bicycle paths. There is a lack of bicycle paths in Skopje, harmonization of vertical and horizontal light signaling. There is a lack of intersections that are not well resolved, the chaos in the parking lot. It is therefore necessary to work on preventive measures. The Ministry of education should prepare children from an early age, the Ministry of health must have greater insight in the issuance of psychotropic substances by the doctors, and the Ministry of local self-government should take care of the conditions inside the municipalities and the last is the Ministry of internal affairs which is repressive, and the rest are preventive.

The problem also lies in the infrastructure. The infrastructure in Skopje is self-centered, and cars are ranked first. The consequences of building 3.5-meter-wide lanes are visible. There are countless studies showing that wide lanes in urban areas are detrimental to human lives and how they psychologically affect drivers, giving them a sense of false security. But unfortunately, we do not learn from others, but from our mistakes. The approach should not be, how many more cars can pass, but how many more people can pass. And people travel by car, bus, bicycle and on foot. When we have an adapted infrastructure in which all these types of transport will coexist with each other equally, then we will have safe traffic.

Namely, all traffic participants need to understand that compliance with traffic rules and regulations is the only guarantee for safe traffic. Each traffic participant should take individual responsibility for their behavior in traffic because everyone has the right to be safe in traffic, but also everyone has an obligation to contribute

to greater traffic safety. In addition to individual responsibility, each competent institution should take responsibility for its share of obligations.

Every participant in the traffic (driver, pedestrian, cyclist, etc.) can contribute at the same time to endanger and improve road safety, which means that his responsibility is twofold. Irresponsible behaviours, activities and processes of the road traffic participants, from which traffic accidents and harmful consequences can happen, can be in the form of:

- Significant exceeding of the speed limit;
- Non-compliance of the priority of passage;
- Overtaking in forbidden places and in dangerous situations;
- Bypassing in forbidden places and in dangerous situations;
- Non-compliance with light signalisation;
- Non-compliance with vertical and horizontal signalisation;
- Improper movement and turning;
- Non-use of protective equipment;
- Driving under the influence of alcohol;
- Talking on a mobile phone while driving;
- Not holding the side and the direction of movement;
- Insufficiently longitudinal safe distance;
- Insufficient lateral safe distance;
- Improper lane change;
- Sliding off the road;
- Improper passing by;
- Improper use of lights;
- Improper braking and parking;
- Crossing the road outside the marked pedestrian crossing.

The number of traffic accidents with fatal consequences and serious injuries in R. Macedonia is significantly greater, and the citizens are exposed on greater risk than in most of the countries in northern or western Europe. However, road safety in our country is not an impossible mission.

4. ANALYSES OF ALL TYPES OF TRAFFIC ACCIDENTS IN CITY OF SKOPJE

The national traffic strategy specifies exactly what and which institution should do in terms of traffic in all aspects. It is a document whose time dynamics has been determined by 2020, according to which the number of victims in traffic should be reduced by 50%. In the region and beyond, Macedonia is at the top in terms of the number of victims, about 90 per million inhabitants, or twice as many as in developed European countries.

If we take into account the indicators that in the EU countries there are on average 5.2 victims in traffic per 100,000 inhabitants, and in Macedonia there are 7.1 victims in traffic per 100,000 inhabitants, it was necessary for concrete steps to be taken. According to the analysis, compared to 32 countries in Europe, Macedonia is among the last 5 countries in terms of traffic safety.

In order to gain scientific knowledge about the characteristics of traffic accidents, an extensive database on traffic accidents on the territory of the city of Skopje was used, and the following results were obtained:

- 1) Most accidents occur in May, April, August and July. Skopje is not a tourist city and in the summer months there is reduced traffic, but still there is a high number of traffic accidents during this period;
- 2) Tuesday is the day with the most accidents, followed by Wednesday.
- 3) The afternoon peak period is the period of the day with the highest number of traffic accidents by far. The high number of accidents in the evening from 18:00 to 22:00 is surprising;
- 4) Traffic accidents when moving on a two-way street and in a zone of non-traffic junction are locations that are especially distinguished by a high number of traffic accidents and where more than 50% of accidents occur. Then follow the boulevards and traffic light containing cross roads, and surprises the significant number of traffic accidents in the parking lots or the entrance and exit of the parking lots;
- 5) Regarding the manner of occurrence of accidents far above all, the number of accidents during the longitudinal movement of the road and due to non-compliance with the right of way (together with over 50% of accidents). The significant number of accidents when pedestrians are crossing a crosswalk is evident;
- 6) By far the biggest cause of traffic accidents are car drivers (nearly 90%);

- 7) One-half of those responsible for traffic accidents are between the ages of 18 and 50, and one-third are between the ages of 18 and 30;
- 8) 9.3% of traffic accidents occurred due to alcohol-related driving by the person who caused the accident. In addition, 1.3% had more blood alcohol than 2 ‰, 2.5% between 1.5 and 2‰ and 2.3% between 1.1 and 1.5 ‰.
- 9) The person who caused the traffic accident has usually passed without injury (83.9%) or with a light bodily injury (15.4%)
- 10) Car drivers (34.6%) and car passengers (22.3%) suffered the most in traffic accidents. The high number of injured pedestrians is worrying (in 23% of the traffic accidents or approximately every fourth accident is with an injured pedestrian);
- 11) The highest percentage of traffic accidents are those in which casualties are people from the age group of 30 to 50 years (37.4%) and the age group from 18 to 30 years (33.6%), which is expected given the number of participants from these age groups as motor vehicle drivers. But the high percentages of young people under the age of 18 (11.5% in total) or 2% of children aged 0 to 5, 6.8% of children aged 6 to 14 and 2.7% of young people aged 15 to 18 are worrying.
- 12) The victims of the traffic accidents suffered severe bodily injuries or deaths in 10.5% of the accidents.

5. MEASURES AND CAMPAIGNS FOR IMPROVEMENT OF THE CURRENT STATE AND INCREASING THE SAFETY

A leading institution has been established, ie an executive body that has the ultimate responsibility and task to improve safety and reduce the number of road casualties in the Republic of Macedonia, the Republic Council for Traffic Safety. The Republic Council for Road Traffic Safety RCRTS believes that by bringing traffic education closer to the regular educational process, will create conditions for long-term and permanent improvement of road traffic safety in the Republic of Macedonia.

RCRTS continuously conducts educational campaigns to raise awareness among all traffic participants. The campaigns are implemented in cooperation with the Ministry of Interior Affairs, as well as with other institutions responsible for improving road traffic safety. The involvement of several ministries and state and public bodies and organizations in the preparation and implementation of the planned activities for raising public awareness of all traffic participants is envisaged.

The priority target group are the drivers and raising their awareness of compliance with traffic rules and regulations that will protect other vulnerable groups participating in traffic. The main goal of these campaigns is to raise awareness about the responsible participation in the traffic of pedestrians, cyclists and motorcyclists, as vulnerable groups of road participants, who unfortunately, regardless of the guilt for the accident, are always victims, in most cases with fatal consequences.

- Campaign – “The roads need responsible drivers”!



Campaign for educating participants about the harmful effects of using a mobile phone while driving.

The idea is to raise awareness among drivers, i.e. to point out that even with a little carelessness when sending a message or making a call, there is a high risk of a car accident.

The driver of a motorized vehicle must not use a mobile phone or other devices during the driving of the vehicle in a way that would reduce the possibility of reacting and safe driving of the vehicle. The usage of a mobile phone while driving a motorized vehicle is becoming the number one reason for distracting drivers.

Picture 2. *Billboard for the campaign – The roads need responsible drivers*
Source: (web page of RCRTS)

- Campaign – “Life does not give a second chance – Drive responsibly”!

Through real-life examples of traffic accidents and personal destinies, it aims to raise awareness of the harmful effects of speeding and alcohol-related driving.

Speed and alcohol extort mistakes that often result in fatal consequences. Namely, through tragic pictures and texts, which reflect real examples, efforts are made to attract attention and to raise awareness for more responsible participation in traffic among all participants.



Picture 3. *Bilboard for the campaign – Life doesn't give a second chance – Drive responsibly*
Source: (web page of RCRTS)

□ Campaign “Welcome to the land of champions – Drive responsibly”!

ДОБРЕДОЈДОВТЕ ВО ЗЕМЈАТА НА ШАМПИОНИТЕ



ВОЗИ ОДГОВОРНО!

Picture 4. *Bilboard for the campaign – Welcome to the land of champions – Drive responsibly*
Source: (web page of RCRTS)

The campaign promotes careful and responsible participation in traffic, educates about the importance of complying with traffic rules and regulations. With this campaign, the handball club Vardar, as a socially responsible brand, has contributed to raising the traffic culture of all traffic participants.

The campaign “Welcome to the land of champions – #Drive responsibly” communicates with the public through the slogans:

“The champions drive responsibly”,

“Red card for the lack of traffic culture”,

“Be a team player – give pedestrians a priority”,

“Time out – hit the brakes before it's too late.”

□ Campaign “Drive womanly – drive responsibly”

If driving with maximum precautions is womanly, than I want to drive womanly. Ако возењето со максимална претпазливост е женски, тогаш јас сакам да возам женски. #DriveWomanly #DriveResponsibly!

Being a female driver is not easy at all because the number of people who think that driving is a "man's job" is still very high. The stereotype that women are bad drivers is unfortunately still present. The truth is that there is a "driving womanly" or a "female driving style". That's correct! There is! But, in essence, they are very careful drivers and when they find themselves in a traffic jam full of irresponsible and aggressive drivers, it is inevitable that they will be perceived as someone who does not fit into that system!



Picture 5. Billboard for the campaign – Drive womanly – Drive responsibly
Source: (web page of RCRTS)

The aim of this campaign is to send a common message that women are a positive example of how traffic rules and regulations should be followed and how we should behave in traffic. In this way, on the one hand, we will break the stereotypes that women are bad drivers, and on the other hand, we will raise awareness of responsible participation in traffic by all participants. And the message to all traffic participants is:

- If driving at a lower speed is womanly...
 - If stopping at any STOP sign is womanly...
 - If giving a priority to every pedestrian at a crosswalk is womanly...
 - If longer and more careful parking is womanly...
 - If double checking each intersection is womanly...
 - If keeping an eye on the driver on the opposite side is womanly...
 - If compliance with all traffic rules is womanly...
 - If sticking to your lane is womanly...
 - If driving with maximum caution is womanly...
- ... Then, let's all drive womanly!
#DriveWomanly #DriveResponsibly

5. CONCLUSION

Traffic safety can no longer be treated only as a matter of compliance with the legislation in that area, or only as an expert observation of the quality of traffic infrastructure, but above all as a priority issue, which is broader in scope, of undisputed public i.e. social interest. The challenge is clear: we must not allow traffic to become from a necessity to necessary evil in modern life, a kind of lottery in which at risk will be at least one human life, but sorely the numbers itself indicate the worryingly situation in this area.

The need for responsible participation in traffic is clear and there are no excuses. That means complying with traffic rules and regulations, always and everywhere!

By conducting such and similar educational campaigns to raise awareness among all traffic participants, and of course strong and intensive control of traffic participants, it is possible to improve road safety. With joint, coordinated, continuous and strong action of all competent entities, the goal for fewer casualties and lesser number of injured people on the roads can be achieved.

Life gives only one opportunity, and traffic does not forgive mistakes, so be responsible, follow the rules for speed limit, do not drive under the influence of alcohol, travel rested and prepared. Don't underestimate the risks and dangers of traffic because they follow you every moment behind the wheel.

References

- [1] RCRTS. 2017. *Study of safety of vulnerable categories of participants in the Road traffic in Macedonia*. Skopje. 212 p.
- [2] Bliss T (2011), *Global Directions in Road Safety, Strategic Road Safety Forum, Monash University Accident Research Centre, Melbourne*
- [3] Bliss T & Breen J (2011), *Improving Road Safety Performance: Lessons From International Experience a resource paper prepared for the World Bank*
- [4] World Health Organization WHO (2018), *Global Status Report on Road Safety, World Health Organization, Geneva*.
- [5] Peden M, Scurfield R, Sleet D, Mohan D, Hyder A, Jarawan E & Mathers C eds. (2004), *World Report on Road Traffic Injury Prevention, World Health Organization and World Bank, Geneva*.
- [6] OECD (2008). *Towards Zero: Achieving Ambitious Road Safety Targets through a Safe System Approach*. OECD, Paris.
- [7] ETSC (1995) *Reducing Traffic Injuries resulting from excess and inappropriate speed. European Transport Safety Council, Brussels*.
- [8] Haglund M. & Åberg, L. (2000) *Speed choice in relation to speed limit and influences from other drivers. Transportation Research Part F, 39-51*.
- [9] European Commission (2009), *Public consultation of the European Road Safety Action Programme 2011-2020, Brussels*.
- [10] <https://www.rsbsp.org.mk/>
- [11] <https://skopje.gov.mk/>

UTICAJ ZEMLJOTRESA NA VISOKE NASIPE

Dragan Lukić¹, Nenad Milosavljević², Elefterija Zlatanović³, Nazim Manić⁴

¹Univerzitet u Novom Sadu, Građevinski fakultet u Subotici, email: drlukic.lukic@gmail.com

²Exting d.o.o., Beograd, email: nenmil@yahoo.com

³Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, email: elefterija2006@yahoo.com

⁴Državni univerzitet Novi Pazar, email: nazimmanic@hotmail.com

Rezime: *Intenzivna izgradnja autoputeva, sa primenom većih radijusa, uslovila je izgradnju većeg broja visokih nasipa. Visoki nasipi mogu prouzrokovati više problema vezanih za stabilnost kosina, sleganje, nosivost tla i dr. Jedan od značajnijih problema koji se mogu javiti kod ovih nasipa su oštećenja izazvana dejstvom zemljotresa. U okviru ovog rada, pored analize uticaja zemljotresa na nasipe, razmatra se stabilnost kosina nasipa pri uticajima zemljotresa. Analiziran je uticaj visine nasipa na vrednosti koeficijenata sigurnosti za stabilnost kosine nasipa.*

Ključne reči: *zemljotres, autoput, visoki nasip, kosine nasipa, koeficijent sigurnosti*

INFLUENCE OF EARTHQUAKES ON HIGH EMBANKMENTS

Dragan Lukic¹, Nenad Milosavljevic², Elefterija Zlatanovic³, Nazim Manic⁴

¹ University of Novi Sad, Faculty of civil Engineering Subotica, email: drlukic.lukic@gmail.com

² Exting d.o.o. Belgrade, email: nenmil@yahoo.com

³ University of Nis, Faculty of Civil Engineering and Architecture, email: elefterija2006@yahoo.com

⁴ State University of Novi Pazar, email: nazimmanic@hotmail.com

Abstract: *The intensive construction of highways, with the use of larger radii, has led to the construction of a number of high embankments. High embankments can cause many problems related to slope stability, settlement, bearing capacity of soil, etc. One of the major problems that can occur in case of high embankments is the damage caused by an earthquake excitation. In addition to analyzing the influence of earthquakes upon embankments, the paper deals with the stability of embankment slopes considering the effects of earthquakes, whereby the influence of the height of the embankment on the values of the safety factors for the stability of the slope of the embankment was analyzed.*

Keywords: *earthquake, highway, high embankment, slopes of embankments, safety factor*

1. UVOD

Savremene saobraćajnice, pored aspekta ekonomičnosti, treba da zadovolje i uslove sigurne i udobne vožnje. Sigurna i udobna vožnja, sa aspekta projektovanja saobraćajnica, može se ostvariti samo ako projektni elementi saobraćajnice ispunjavaju uslove stabilnosti i bezbednosti. Nasipi, kao elementi saobraćajnica, se mogu svrstati u najnebezbednije elemente. Na stabilnost nasipa utiču mnogi faktori: temeljno tlo nasipa, materijal od koga se gradi nasip, visina podzemne vode, blizina raseda i dr. Pri normalnim vremenskim uslovima stabilnost nasipa se analizira pri raznim faktorima izazvanim dejstvom čoveka i dejstvom vremenskih prilika-nepriklada, smrzavanje, kiša i slično. Saobraćajnica je linijski objekat u tesnoj interakciji sa terenom. Sam teren koji je zastupljen na prostoru zauzetom saobraćajnicom je definisan pri njenoj izgradnji. Teren je izložen promenama usled uticaja inženjersko - geoloških procesa koji dovode do različitog tipa inženjersko - geoloških pojava. Zato, kada govorimo o uticaju zemljotresa na saobraćajnice, potrebno je uvažiti i njegov uticaj na teren na kome je izgrađena saobraćajnica. Posebnu pažnju treba posvetiti stabilnosti nasipa pri dejstvu zemljotresa. Pri tome na prvom mestu uzeti u obzir vrednost magnitude zemljotresa i udaljenosti nasipa od raseda.

Uticaj seizmičkog dejstva na nasip puta može se razmatrati sa nekoliko aspekata: uticaja na podtlo, uticaja na kosine nasipa i mogućnosti pojave likvefakcije. Na podtlo puta dominantan uticaj je u podužnom pravcu, tj. kada se pravci rasprostiranja talasa i puta poklapaju (ili sa malim uglom odstupanja). U tom slučaju može doći do pojave deformacija u posteljici koje se prenose na gornji stroj saobraćajnice. Imajući napred navedeno u vidu, projektanti budućih saobraćajnica, posebno autoputeva, u obavezi su da, pored standardnog projektnog zadatka, izvrše i ocenu osetljivosti donjeg stroja na seizmička dejstva. Ovo je od vitalnog uticaja na funkcionisanje putne mreže posle dejstva zemljotresa i obezbeđenje redukovanog saobraćaja za normalizaciju života ljudi.

¹Dragan Lukić: drlukic.lukic@gmail.com

Drugi značajan uticaj zemljotresa je na stabilnost kosina nasipa. Pri tome treba naglasiti da je visina nasipa, pored ostalih karakteristika nasipa, dominantna za ovaj uticaj. Imajući to u vidu, pri projektovanju treba izbegavati visoke nasipe.

Nije retka pojava da se kod saobraćajnica, posebno značajnijih puteva, trasa projektuje u blizini rečnih korita, često i uz samo korito, gde je zbog geotehničkih karakteristika tla moguća pojava likvefakcije usled dejstva zemljotresa. Pri istraživanju (izradi elaborata) i projektovanju ovo treba imati u vidu.

U okviru ovog rada prikazan je uticaj zemljotresa na stabilnost kosine nasipa puta, kao i pojava likvefakcije usled dejstva zemljotresa. Pored toga, u radu je analiziran uticaj visine nasipa na stabilnost kosine nasipa pri dejstvu zemljotresa.

2. UTICAJ ZEMLJOTRESA NA NASIPE PUTEVA

Nasipi koji su stabilni pod dejstvom statičkih sila, pod dejstvom dinamičkih sila mogu izgubiti svoju stabilnost. Bilo da se radi o stabilnosti kosina pod dejstvom statičkih ili dinamičkih sila kao što je zemljotres, stanje se može analizirati zajedno sa osobinama tla. Ciklična smičuća naprezanja nastala kao rezultat dejstva zemljotresa, dovode do deformacija tla, promene fizičkih i mehaničkih karakteristika tla i može da dođe do rušenja nasipa koji je pod uticajem statičkih sila stabilan. Tokom dejstva zemljotresa nastaju ciklična smičuća naprezanja čiji je rezultat gubitak otpornosti tla usled naglog povećanja pornog pritiska vode. U prvom delu ovog poglavlja prikazuje se uticaj zemljotresa na stabilnost kosina nasipa, sa praktičnim primerima analize kosina dva nasipa. Drugi deo ovog poglavlja posvećen je likvefakciji tla usled dejstva zemljotresa.

2.1. Stabilnost kosine nasipa usled dejstva zemljotresa

Ponašanje kosina i potencijalno rušenje kosina dejstvom zemljotresa zavisi od magnitude zemljotresa i položaja njegovog epicentra. Najvažniji parametri za stabilnost kosina su ugao nagiba kosina, maksimalno ubrzanje tla, dominantan period oscilovanja tla. Usled cikličnih smičućih napona dolazi do smanjenja smičućih otpora i to je razlog zbog čega kod proračuna stabilnosti kosina zemljotres treba uzeti u obzir. Gubitak smičućih otpora može biti iz dva razloga: prvi je da usled cikličnih opterećenja dolazi do povećanja pornog pritiska vode i smanjenja efektivnog napona, drugi je da usled cikličnih napona dolazi do promene strukture i zamora materijala. Smičući napon konsolidovanog tla može se dati u obliku:

$$\tau' = (\sigma - u) \times \tan \phi' + c' \quad (1)$$

gde je:

τ' - efektivni smičući napon,

σ - ukupni normalni napon,

u - porni pritisak vode,

ϕ' - ugao unutrašnjeg trenja i

c' - efektivna kohezija.

Smanjenje smičućih otpora matematički se može objasniti i kao smanjenje ugla unutrašnjeg trenja. Ciklični smičući naponi izazvani zemljotresom, u slučaju zasićenog tla, zbog nedreniranja porne vode do kraja opterećenja, dovode do povećanja pornog pritiska vode. Veličina povećanja pornog pritiska vode zavisi od karakteristika podtla, geometrije kosine i od karakteristika materijala nasipa.

Tokom dejstva zemljotresa, dolazi do određene promene pornog pritiska vode (u) usled dodatnog pornog pritiska od dejstva dinamičkog opterećenja. Ova vrednost linearno se povećava kao odnos cikličnih smičućih napona i statičkih smičućih napona (τ_c / τ_{fs}). Takođe, promena pornog pritiska zavisi od povratnog perioda zemljotresa (N) i data je na osnovu izraza (Olgun i Acar, 2009):

$$u = (0.915 \log N + 0.108) \times (\tau_c / \tau_{fs}) \quad (2)$$

Smičući naponi koji nastaju tokom dejstva zemljotresa na kosinu visine H su proporcionalni ekstremnom ubrzanju zemljotresa (a_p), pri čemu je odnos cikličnih smičućih napona i statičkih smičućih napona (τ_c / τ_{fs}) dat na sledeći način (Olgun i Acar, 2009):

$$(\tau_c / \tau_{fs}) = 0.65 \times a_p \times (1 - 0.0075 \times H) \times \text{ctg} \varphi \quad (3)$$

Na osnovu jednačina (2) i (3) sledi:

$$u_{\text{dodatno}} = (0.915 \log N + 0.108) \times 0.65 \times a_p \times (1 - 0.0075 \times H) \times \text{ctg} \varphi \quad (4)$$

Na osnovu prethodnih jednačina dobija se:

$$u_{\text{konacno}} = u_{\text{pocetno}} + u_{\text{dodatno}} \quad (5)$$

gde je:

u_{pocetno} ($\gamma_w \cdot h_w$) – porni pritisak pre zemljotresa (kN/m^2);

u_{dodatno} – dodatni porni pritisak nastao dejstvom zemljotresa (kN/m^2);

a_p – ubrzanje zemljotresa (m/s^2);

N – povratni period zemljotresa;

γ_w – zapreminska težina vode (kN/m^3);

h_w – visina podzemne vode (m).

Vrednosti ubrzanja u zavisnosti od rastojanja kosine od raseda i magnitude mogu se iskazati u obliku:

$$a_p = 0,0159 \cdot e^{0,868M} (R + 0,0606 \times e^{0,7M})^{-1,09} \quad (6)$$

gde je:

M – magnituda zemljotresa;

R – rastojanje nasipa od raseda (km).

Na osnovu navedenih relacija može se izračunati povratni period zemljotresa (N) u zavisnosti od magnitude (M) (Tabela1).

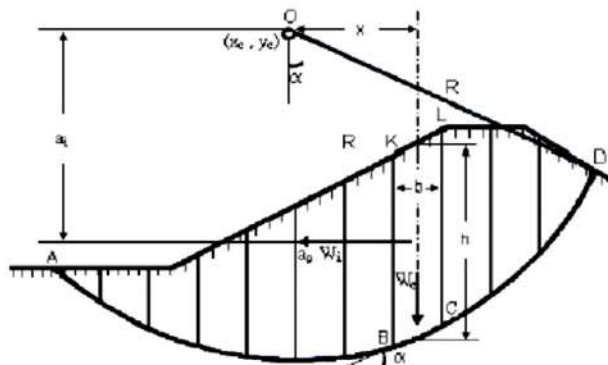
Tabela 1. Odnos magnitude (M) i povratnog perioda (N) zemljotresa.

Magnituda (M)	Povratni period zemljotresa (N)
7.0	10
7.5	20
8.0	30

Izvor: (Olgun i Acar, 2009; Manić, 2013)

U toku dejstva zemljotresa, u zavisnosti od amplitude, smanjuje se krutost tla. Da bi se korektno izvršilo modeliranje smanjenja smičućih napona posle cikličnih opterećenja tokom zemljotresa, fiktivni ugao unutrašnjeg trenja posle zemljotresa može se izračunati na osnovu ugla unutrašnjeg trenja pre zemljotresa, magnitude zemljotresa i rastojanja kosine od raseda.

Koeficijent sigurnosti se može dobiti na osnovu relacije (7) (Bišopova uprošćena metoda (Slika 1)):



Slika 1. Pojednostavljena metoda za analizu stabilnosti

Izvor (Olgun i Acar, 2009).

$$F_s = \frac{\sum (c_i' b_i + (w_i - u_{\text{konacno}}) b_i) \tan(\varphi_i')}{\sum w_i \sin \alpha_i + \sum a_p w_i} \quad (7)$$

gde je:

b_i – širina lamele (m);

w_i – težina i-te lamele (kN);

$u_{konacno}$ – konačni porni pritisak (kN/m²);

φ_i' – ugao unutrašnjeg trenja (°);

c_i' – efektivna kohezija (kN/m²);

α_i – ugao centra klizne ravni i težišta lamele;

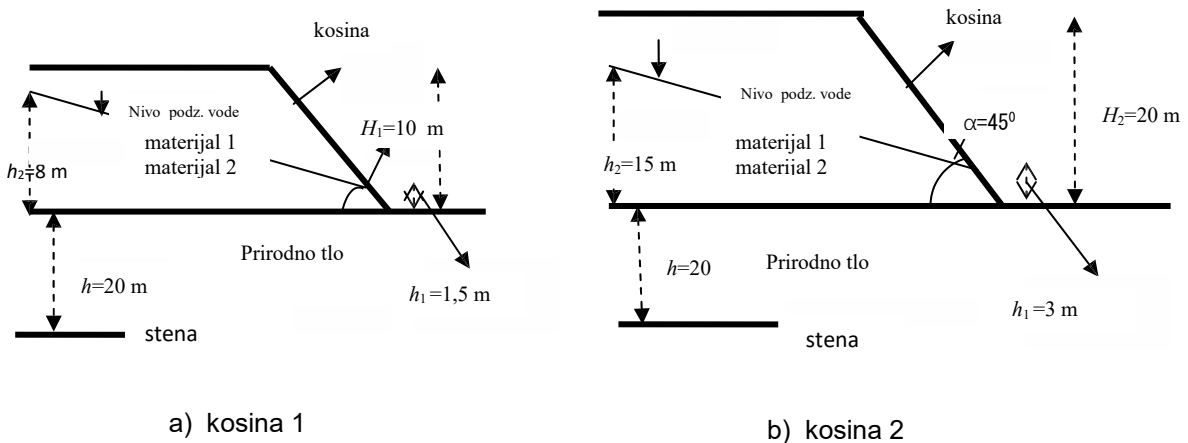
a_p – ubrzanje zemljotresa (m/s²).

Za izračunavanje F_s u relaciji (7) potreban je iteracijski postupak, jer je izraz implicitna jednačina za faktor sigurnosti usled zavisnosti m_{α_i} od F_s ($m_{\alpha_i} = \cos \alpha_i + (\tan \alpha_i \tan \varphi_i') / F_s$).

Kod manjih magnituda ($M=6$), naglo se smanjuje fiktivni ugao unutrašnjeg trenja. S porastom magnitude zemljotresa i smanjenjem rastojanja kosina od raseda, dolazi do manjeg smanjenja fiktivnog ugla unutrašnjeg trenja. Sa smanjenjem rastojanja kosine od raseda, povećava se porni pritisak vode. Posebno je ovo povećanje pornog pritiska vode izraženo na odstojanjima manjim od 20 km. Drugi važan faktor koji utiče na odnos pornog pritiska je magnituda zemljotresa – s povećanjem magnitude, povećava se i porni pritisak. S druge strane, kada je magnituda velika, a odstojanje raseda od kosine malo, porni pritisak vode naglo se povećava i neizbežno je klizanje kosine.

2.1.1. Primeri analize stabilnosti kosina

U radu se analizira stabilnost kosina dva nasipa visine $H_1 = 10$ m i $H_2 = 20$ m (Slika 2.).



Slika 2. Kosine nasipa izložene dejstvu zemljotresa
Izvor (Olgun and Acar, 2009).

Tabela 2. Karakteristike materijala u nasipima

Karakteristike materijala	Materijal 1	Materijal 2	Prirodno tlo
Zapreminska težina (γ) (kN/m ³)	19.0	20.0	19.5
Kohezija (c) (kN/m ²)	35.0	70.0	30.0
Ugao unutrašnjeg trenja (φ) (°)	30.0	5.0	25.0

Izvor: (Olgun i Acar, 2009; Manić, 2013)

Da bi se vrednovao uticaj zemljotresa i karakteristika tla na stabilnost kosina, dve različite kosine podvrgnute su delovanju statičkih i dinamičkih sila. Uglovi obe kosine su isti, ali su visine kosina različite. Kod obe kosine vršene su analize stabilnosti za po dve vrste tla različitih karakteristika. Karakteristike tla date su u Tabeli 2. Kod **statičke** analize razmatrane su 2 varijante za proračun.

a) Varijanta bez zemljotresa i bez podzemnih voda:

Kod kosine broj 1 za materijal 1 sračunat je faktor sigurnosti $F_s=3,25$, za materijal 2 $F_s=3,17$.
Kod kosine broj 2, za materijal 1 $F_s=1,57$, a za materijal 2 $F_s=1,06$.

Stabilnost kosina sa materijalom 1 (glinoviti materijali) veća je u odnosu na stabilnost kosina sa materijalom 2. Ova razlika stabilnosti je najočiglednija kod kosina sa većim visinama.

Kod obe kosine za iste karakteristike tla ako visinu sa 10 m povećamo na 20 metara za tlo broj 1 faktor sigurnosti sa $F_s=3,25$ se smanjuje na $F_s=1,57$, dok kod tla broj 2 ovo još uočljivije i F_s se smanjuje za $1/3$. Sa promenom visine kosine i kada karakteristike tla ostaju iste uočava se da F_s naglo opada.

b) Varijanta bez zemljotresa i sa visokim nivoom podzemnih voda:

U slučaju prisustva podzemne vode kod kosine broj 1, za materijal 1 $F_s=2,12$, a za materijal 2 $F_s=2,09$.

Kod kosine broj 2, za materijal 1 $F_s=1,39$, a za materijal 2 $F_s=0,98$.

Na osnovu dobijenih faktora sigurnosti vidi se da i bez prisustva zemljotresa prisustvo vode kod kosina ima veliki uticaj na faktor sigurnosti, dolazi do smanjenja faktora sigurnosti. U ovom slučaju kod kosina dolazi do pojave pornog pritiska vode, a kao posledica se javlja smanjenje efektivnog napona i smanjenje smičućeg napona u tlu.

Kod **dinamičke** analize stabilnosti, kosina je analizirana za slučajeve zemljotresa sa magnitudom $M=6$, $M=7$ i $M=8$, a udaljenost kosine od raseda je različita: $R=5, 10, 20, 50$ i 100 km.

Dinamička analiza uticaja zemljotresa na kosine sa različitim udaljenostima raseda od kosina, različitim magnitudama zemljotresa i ekstremnim vrednostima ubrzanja sprovedena je prema jednačini (6), a rezultati su dati u Tabeli 3. Na promenu vrednosti ekstremnih ubrzanja utiče faktor udaljenosti raseda od kosine, što se i vidi iz rezultata proračuna. Na sličan način je urađen i proračun za različite magnitudo i različite udaljenosti kosina od raseda za kosinu 1 i kosinu 2, a odnos pritiska vode u porama je nezavistan od visine kosine.

Tabela 3. Ekstremne vrednosti ubrzanja (a_p)

Udaljenost kosine od rastera (km)	Magnitudo zemljotresa		
	M=6	M=7	M=8
R=100	0.0184	0.0420	0.0923
R=50	0.0375	0.0826	0.1702
R=20	0.0908	0.1822	0.3279
R=10	0.1631	0.2940	0.4654
R=5	0.2636	0.4178	0.5851

Izvor: (Manić, 2013)

Sa smanjenjem rastojanja kosine od raseda dolazi do smanjenja pornog pritiska vode. Posebno je ovo smanjenje pornog pritiska vode izraženo na odstojanjima manjim od 20 km. Drugi važan faktor koji utiče na odnos pornog pritiska vode je magnitudo zemljotresa, sa povećanjem magnitudo dolazi do povećanja pornog pritiska. Sa druge strane kada je magnitudo velika a odstojanje raseda od kosine malo dolazi do naglog povećanja pornog pritiska vode i neizbežno je klizanje kosine.

Tabela 4. Fiktivni ugao unutrašnjeg trenja (φ°) posle cikličnog opterećenja

Udaljenost raseda od kosine (km)	Kosina 1						Kosina 2					
	Magnitudo											
	Materijal 1			Materijal 2			Materijal 1			Materijal 2		
	M=6	M=7	M=8	M=6	M=7	M=8	M=6	M=7	M=8	M=6	M=7	M=8
R=200	30	30	30	5	5	5	30	30	30	5	5	5
R=100	30	30	30	5	5	5	30	30	29,9	5	5	5
R=50	30	30	30	5	5	5	30	29,9	29,4	5	5	5
R=20	30	30	30	5	5	5	30	29,6	28,5	5	5	4,8
R=10	30	30	29	5	5	4,5	29,9	29,2	25	4,9	4,8	4
R=5	30	29	27	5	4,5	4	29,8	27,5	20	4,8	4	3

Izvor: (Manić, 2013)

Jedan od uzroka smanjenja smičućih napona tla tokom zemljotresa je i promena ugla unutrašnjeg trenja. Tokom i posle dinamičkog opterećenja kosina dolazi do promena ugla unutrašnjeg trenja, a vezane su za magnitude i udaljenosti kosine od raseda (Tabela 4). Kod magnituda manjih vrednosti ($M=6$) nema većih promena ugla unutrašnjeg trenja, ali sa povećanjem magnitude ugao unutrašnjeg trenja se naglo smanjuje. Ovo je posebno izraženo kad se kosina nalazi u blizini raseda. Primer: kod kosine 2 za $M=8$ i $R=5$ km ugao unutrašnjeg trenja sa $\varphi=30.0^\circ$ se smanjuje na $\varphi=20.0^\circ$. Promena ugla unutrašnjeg trenja je veoma važna za stabilnost kosina. Kod kosine 1 čija je visina manja, pod istim uslovima, ugao unutrašnjeg trenja se sa $\varphi=30.0^\circ$ smanjuje na $\varphi=27.0^\circ$, što znači da visina kosine bitno utiče na promenu ugla unutrašnjeg trenja. U analizi stabilnosti kosina faktor sigurnosti je proračunat na 3 različita načina. Posebno je analizirana situacija postojanja i nepostojanja podzemnih voda. U statičkoj analizi je za faktor sigurnosti uzet kriterijum da je $F_s \geq 1.5$, a kod dinamičke analize $F_s \geq 1.1$:

a) Kosina 1 + Materijal 1:

Ova kosina je pod statičkim opterećenjem bila stabilna, u slučaju zemljotresa sa magnitudama $M=7$ ili $M=8$ uz prisustvo podzemnih voda postoji mogućnost rušenja kosine. Ipak kod iste kosine za $M=8$, $R=5$ km bez prisustva podzemnih voda kosina je stabilna. Ovo je pokazatelj da u slučaju zemljotresa podzemne vode imaju veliki uticaj. Za $R>20$ km i u slučaju prisustva podzemnih voda kosina je stabilna.

b) Kosina 2 + Materijal 1:

Uopšteno za rastojanja do $R=10$ km faktor sigurnosti je ispod kritične vrednosti. Za $M=8$, $R=5$ km i uz prisustvo podzemnih voda faktor sigurnosti pada do 0,54. U poređenju sa kosinom broj 1, faktori sigurnosti za iste uslove kod ove kosine su $2/3$ u odnosu na vrednosti faktora za kosinu broj 1. Ovo je dobar pokazatelj koliko visina nasipa utiče na stabilnost kosina.

c) Kosina 2 + Materijal 2:

Kod glinovitih materijala svi faktori sigurnosti su ispod kritične granice ($F_s < 1.1$).

Ovde se vidi da pored visine kosine i materijal ima veliki uticaj na stabilnost kosine. Posebno kod visokih kosina od glinovitih materijala, kod cikličnih napona uz prisustvo podzemnih voda, porni pritisak vode je dovoljan da naruši stabilnost kosine.

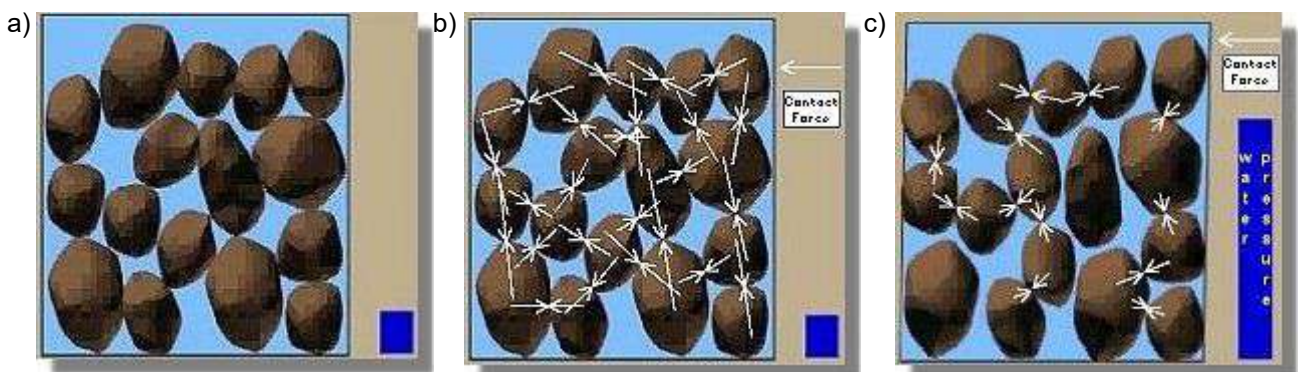
2.2. Pojava likvefakcije usled dejstva zemljotresa

Seizmički talasi koji prolaze kroz zasićena, vlažna ili peščana tla mogu povećati pritisak vode u porama. Ovo povećanje može premašiti čvrstoću tla, uzrokujući likvefakciju. Likvefakcija se može desiti pod uticajem zemljotresa ili drugog dinamičkog opterećenja u slučaju visokog nivoa zasićenosti tla. Glavni faktori koji utiču na likvefakcioni potencijal tla su nizak indeks zbijenosti i visok stepen zasićenja vodom.

Kod sitnozrnih materijala porni pritisak vode se ne može brzo absorbovati i ukupni napon ostaje isti, ali se smanjuje efektivni napon. Može se konstatovati da jedinične deformacije nastale usled cikličnih smičućih napona kod tla mogu da izazovu pojavu likvefakcije i stoga treba definisati kakva smanjenja to može izazvati kod smičućih napona.

Peščano i muljevito tlo su najviše podložni procesu likvefakcije. S obzirom na to da se ovi materijali sastoje od mešavine čvrstih čestica i pornih šupljina u slučaju dejstva zemljotresa porni prostor se ispunjava vodom i doživljava kolaps (peskovita tla), dok su u muljevitom tlu pore već ispunjene vodom. Na taj način tlo poprima karakteristike tečnosti. Ovo dovodi do povećanja pritiska vode između čvrstih čestica tla tako da se one mogu slobodno kretati u vodenoj matrici (Grujić i dr., 2016).

Sa povećanjem pornog pritiska smanjuju se efektivni naponi (za porni pritisak veličine totalnih napona efektivni naponi su jednaki nuli), čime se smanjuju kontakti između zrna što dovodi do likvefakcije (Slika 3).



Slika 3. Modeli likvefakcije nevezanog tla
Izvor (<http://depts.washington.edu/liquefy>)

Na Slici 3a prikazano je stanje mirovanja - čestice se međusobno dodiruju. Slika 3b pokazuje veličinu kontaktnih napona (dužina strelice) između pojedinih čestica nevezanog tla. Kontaktni naponi su veći kada je pritisak vode manji i obrnuto (Slika 3c).

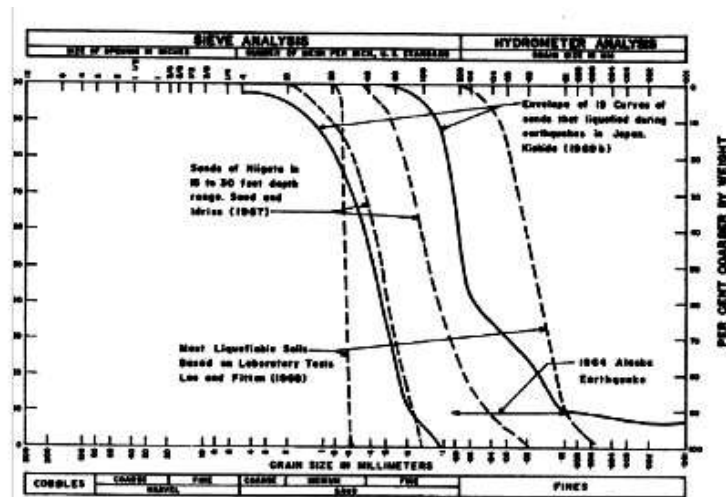
2.2.1. Procena potencijala za pojavu likvefakcije

Da bi se doneo zaključak o mogućnosti pojave likvefakcije na nekoj lokaciji pri jačem zemljotresu, potrebno je predmetnu lokaciju posmatrati uzimajući u obzir višestruke aspekte, pri čemu je najvažniji geotehnički izveštaj koji bi trebalo da pruži sledeće podatke:

- granulometrijska kriva (prisustvo materijala koji je podložan pojavi likvefakcije);
- stanje zbijenosti materijala (jedan od najvažnijih parametara koji dobrim delom zavisi od starosti materijala);
- stepen zasićenosti materijala;
- strateški položaj lokacije;
- zona seizmičke aktivnosti za predmetnu lokaciju;
- pojava likvefakcije u prošlosti na razmatranoj lokaciji.

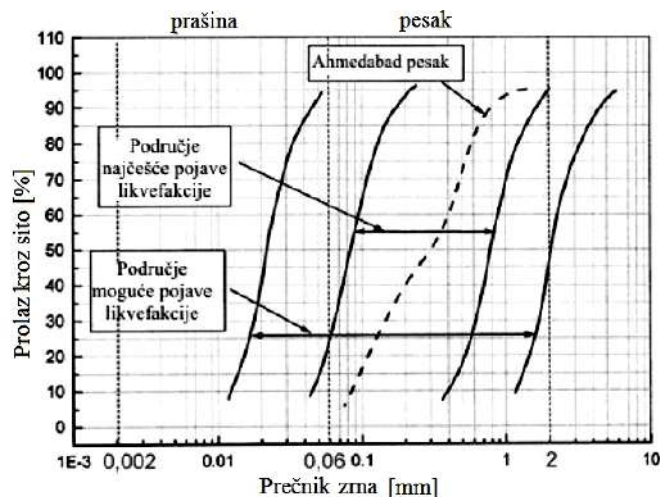
Verovatnoća pojave likvefakcije najpouzdanije se određuje modifikovanim programom PROLIQ2 koji koristi metode Seed-a i Idriss-a.

Kada se radi o analizi prisustva materijala koji je podložan likvefakciji značajna su istraživanja Finn-a (1972) koji je formulisao granično područje pojave likvefakcije (donju i gornju granicu) (Slika 4).



Slika 4. Tlo podložno likvefakciji
Izvor (Finn, 1972).

U kasnijim istraživanjima Seed i dr. (1985) definisali su granulometrijski sastav peska za koji se zna da je podložan likvefakciji (Slika 5).



Slika 5. Granulometrijski sastav peska za koje se zna da je podložan likvefakciji; Izvor (Seed i dr., 1985).

Kada se koristi dinamički pristup proceni pojave likvefakcije, otpornost tla prema likvefakciji se izražava koeficijentom sigurnosti koji je dat na sledeći način:

$$F_{SL} = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \times MSF \times K_{\alpha} \times K_{\sigma} \quad (8)$$

gde je:

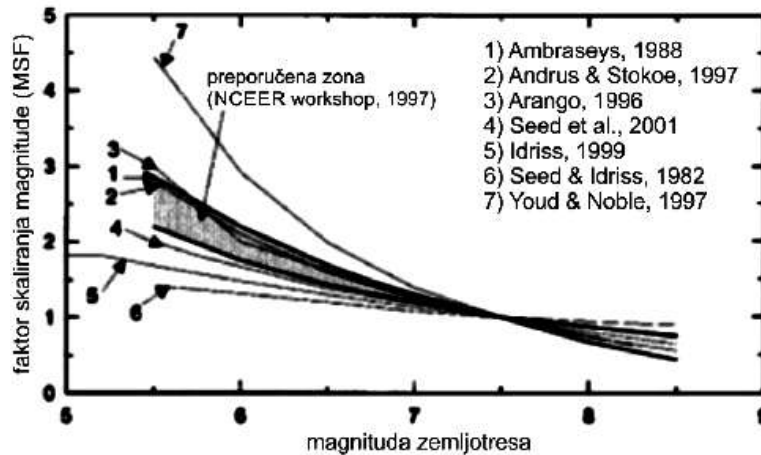
$CRR_{7.5}$ – odnos ciklične otpornosti prema likvefakciji za zemljotres magnitude 7,5;

CSR – odnos cikličnih napreznja koji su prouzrokovani zemljotresom;

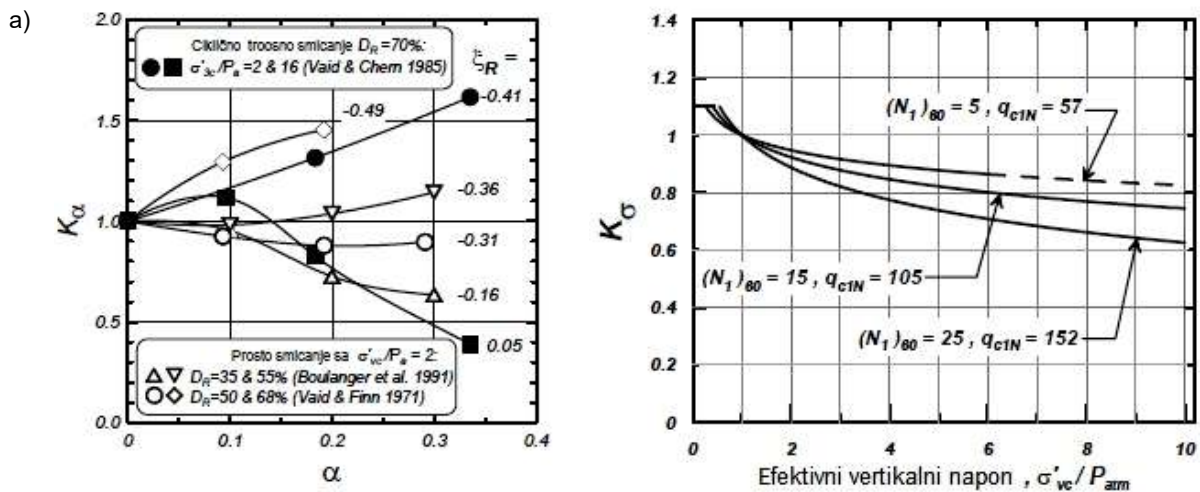
MSF – faktor skaliranja magnitude zemljotresa (Slika 6);

K_{α} – koeficijent korekcije za statičko tangencijalno napreznje (ako postoji) (Slika 7a);

K_{σ} – koeficijent korekcije pritiska nadsloja (nasipa ili konstrukcije) (Slika 7b).



Slika 6. Faktor skaliranja magnitude zemljotresa; Izvor (Kramer i dr., 2013; Grujić i dr., 2016).



Slika 7. Koeficijenti korekcije za proračun otpornosti prema likvefakciji: a) Koeficijent korekcije za statičko tangencijalno napreznje K_{α} ; b) Koeficijent korekcije pritiska nadsloja K_{σ} . Izvor (Boulanger i Ziotopoulou, 2012; Grujić i dr., 2016).

Istorijski se pesak smatrao jedinom vrstom tla podložnog likvefakciji, ali likvefakcija se javlja i u rastresitim i zasićenim delovima tla, a u novije vreme pojava likvefakcije se utvđuje i u prašinama i drugim sitnozrnim sedimentima. U sitnozrnim sedimentima je moguća pojava likvefakcije ako su ispunjeni sledeći kriterijumi (Wang, 1980):

- Frakcija zrna $0,005 \text{ mm} \leq 15\%$;
- Granica tečenja, $LL \leq 35\%$;
- Sadržina vode u prirodnim uslovima $\geq 0,9 LL$;
- Indeks tečenja $\leq 0,75$.

Podložnost likvefakciji takođe zavisi i od oblika čestica. Naslage tla sa zaobljenim česticama podložnije su likvefakciji nego tla sa uglastim česticama.

Kod krupnozrnih materijala (šljunka) povećanje pornog pritiska vode usled cikličnih napona se nakon prestanka delovanja cikličnog opterećenja (zemljotresa) brzo apsorbuje. Iz tog razloga promena pornog pritiska vode i uticao na smičuće napone ne može izazvati likvefakciju.

3. ANALIZA UTICAJA VISINE NASIPA NA NJEGOVU STABILNOST

Visina nasipa može uticati na njegovu stabilnost na vise načina. Prvo, visina nasipa utiče na opterećenje podtla tako da nije retka pojava da se ispod visokih nasipa radi ojačanje podtla (raznim tehničkim merama). Pri uticaju zemljotresa opterećenja na tlo se povećavaju. Drugo, visina nasipa utiče na stabilnost njegovih kosina, a posebno pri uticaju zemljotresa. Takođe, kada se radi o pojavi likvefakcije, visina nasipa pospešuje povećanje sleganja.

U ovom delu rada se prikazuje jedan od uticaja visine nasipa na njegovu stabilnost – uticao na stabilnost kosina. Pri tome se razmatra uticao zemljotresa. Analize su sprovedene za četiri visine nasipa (H = 3, 6, 12 i 24 m) za dve vrste opterećenja nasipa p = 10.0kPa i p = 16.60kPa. Razmatrani nasipi su u VIII zoni seizmičnosti (prema MCS skali), $k_s=0.06$. Za proračun su korišćene sledeće metode za proračun stabilnosti kosina: Bishop, Fellenius- Pettersson, Spencer, Jambu i Morgenstern-Price.

Ulazni podaci

Kolovozna konstrukcija

Unit weight :	γ	=	23.00	kN/m ³
Stress-state :	effective			
Angle of internal friction :	φ_{ef}	=	45.00	°
Cohesion of soil :	c_{ef}	=	10.00	kPa
Saturated unit weight :	γ_{sat}	=	24.00	kN/m ³

Osnovni teren

Unit weight :	γ	=	19.50	kN/m ³
Stress-state :	effective			
Angle of internal friction :	φ_{ef}	=	20.00	°
Cohesion of soil :	c_{ef}	=	5.00	kPa
Saturated unit weight :	γ_{sat}	=	20.00	kN/m ³

Donji stroj 1 - drobljeni kamen 0-31.5

Unit weight :	γ	=	20.00	kN/m ³
Stress-state :	effective			
Angle of internal friction :	φ_{ef}	=	45.00	°
Cohesion of soil :	c_{ef}	=	0.00	kPa
Saturated unit weight :	γ_{sat}	=	21.00	kN/m ³

Donji stroj 2 - drobljeni kamen 0-63

Unit weight :	γ	=	20.00	kN/m ³
Stress-state :	effective			
Angle of internal friction :	φ_{ef}	=	45.00	°
Cohesion of soil :	c_{ef}	=	0.00	kPa
Saturated unit weight :	γ_{sat}	=	21.00	kN/m ³

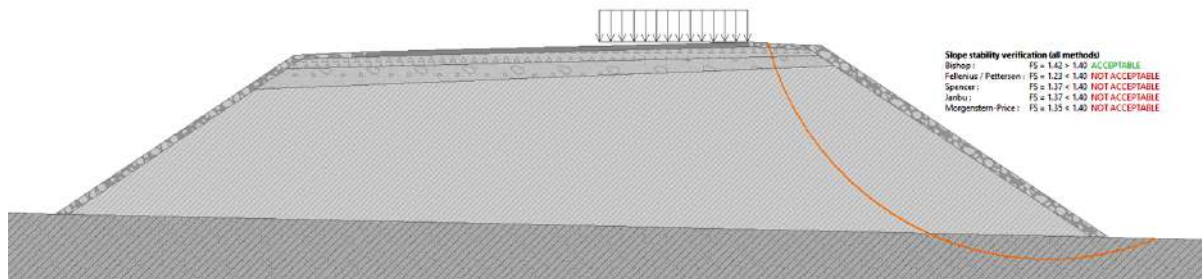
Humuziranje

Unit weight :	γ	=	18.00	kN/m ³
Stress-state :	effective			
Angle of internal friction :	φ_{ef}	=	25.00	°
Cohesion of soil :	c_{ef}	=	0.00	kPa
Saturated unit weight :	γ_{sat}	=	19.00	kN/m ³

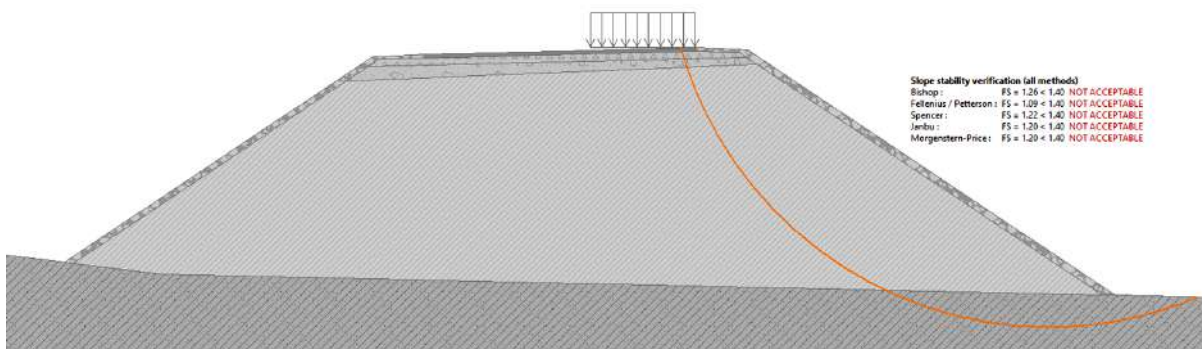
Nasip puta

Unit weight :	γ	=	19.00	kN/m ³
Stress-state :	effective			
Angle of internal friction :	φ_{ef}	=	30.00	°
Cohesion of soil :	c_{ef}	=	0.00	kPa
Saturated unit weight :	γ_{sat}	=	20.00	

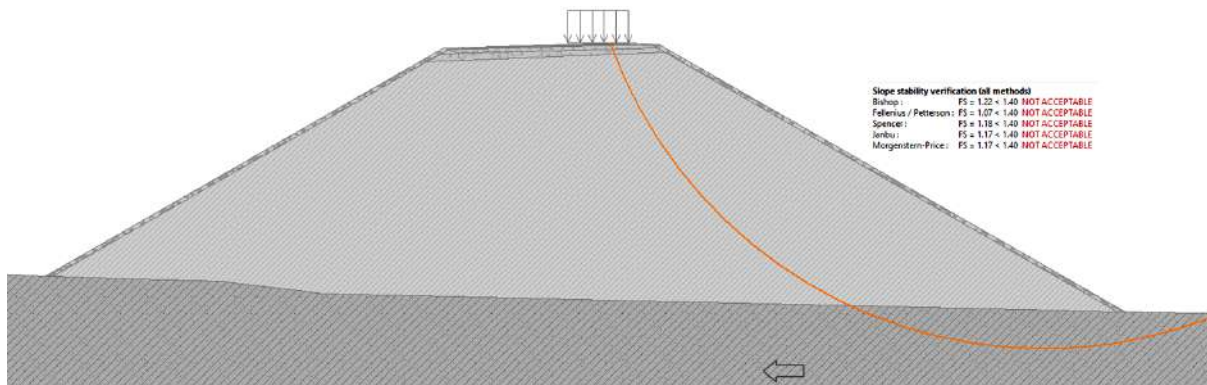
3.1. Proračun za opterećenje nasipa $p = 10.0 \text{ kPa}$



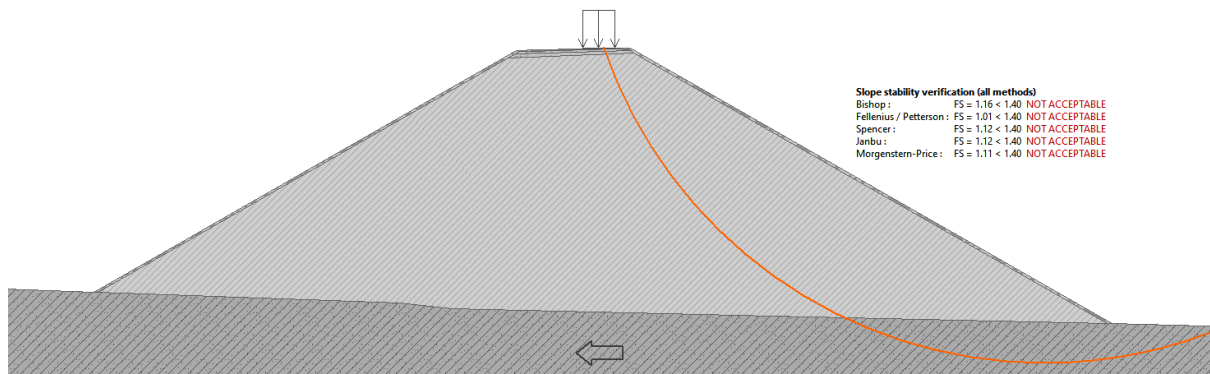
Slika 8. Stabilnost osnovnog nasipa od 3 m, sa uticajem seizmike za $K_s = 0.06$.



Slika 9. Stabilnost osnovnog nasipa od 6 m, sa uticajem seizmike za $K_s = 0.06$.

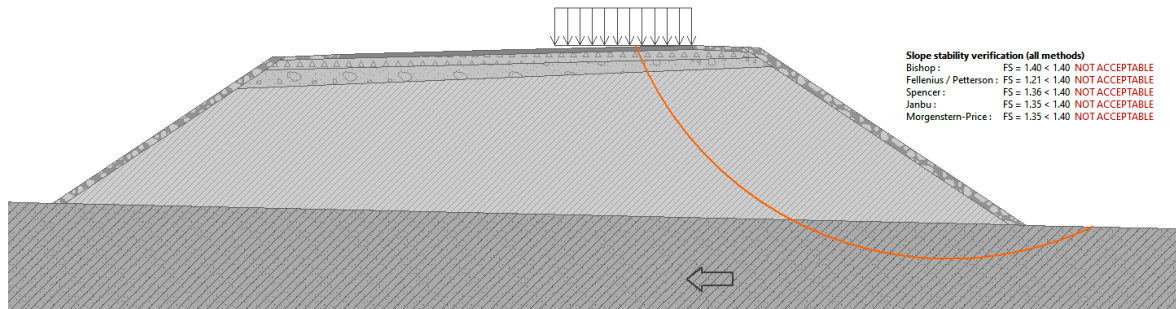


Slika 10. Stabilnost osnovnog nasipa od 12 m, sa uticajem seizmike za $K_s = 0.06$.

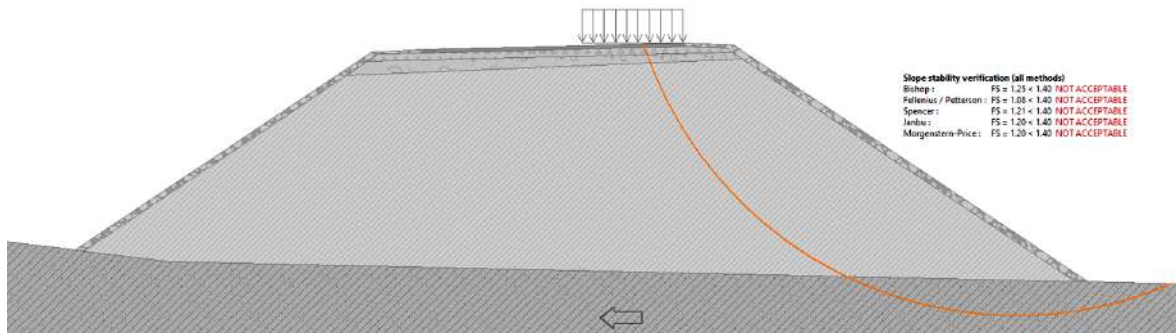


Slika 11. Stabilnost osnovnog nasipa od 24 m, sa uticajem seizmike za $K_s = 0.06$.

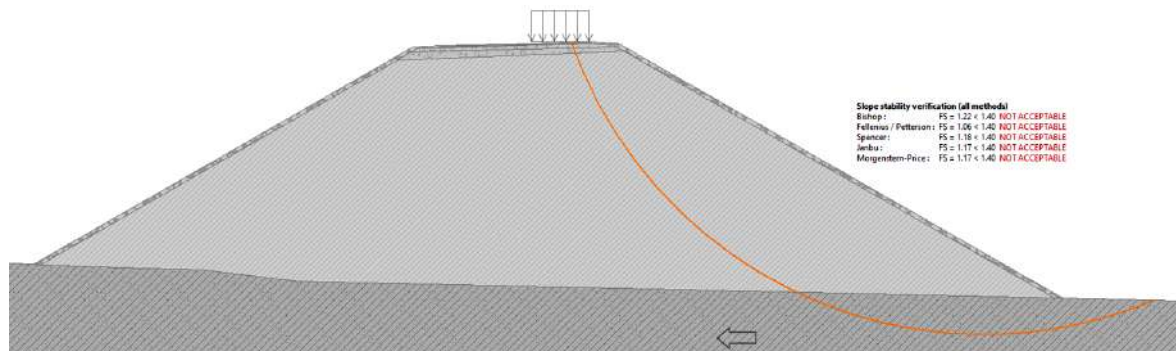
3.2. Proračun za opterećenje nasipa $p = 16.60 \text{ kPa}$



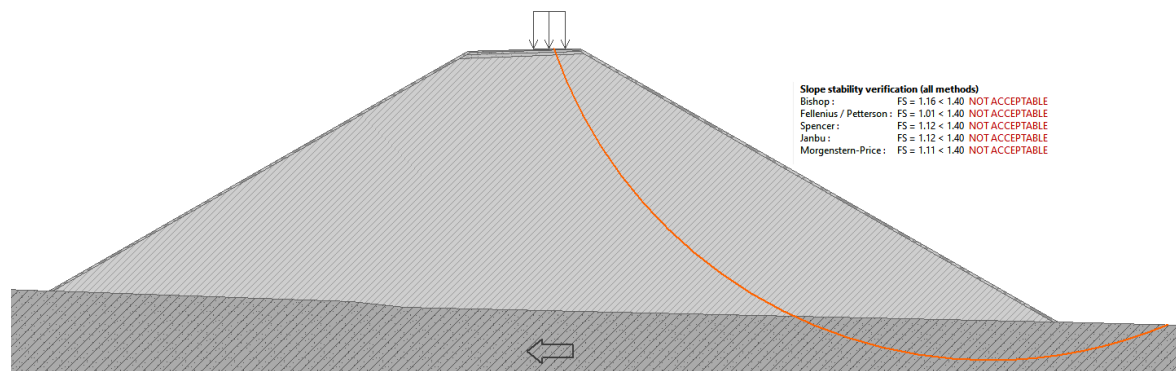
Slika 12. Stabilnost osnovnog nasipa od 3 m, sa uticajem seizmike za $K_s = 0.06$.



Slika 13. Stabilnost nasipa od 6 m, sa uticajem seizmike za $K_s = 0.06$.



Slika 14. Stabilnost nasipa od 12 m, sa uticajem seizmike za $K_s = 0.06$.



Slika 15. Stabilnost nasipa od 24 m, sa uticajem seizmike za $K_s = 0.06$.

U Tabeli 7 prikazani su zbirno rezultati proračuna maksimalnih vrednosti koeficijena (prema Bishop-u) i minimalnih vrednosti (prema Fellenius-Petterson), a prema Slikama 8-15. Takođe, prikazani su i rezultati proračuna koeficijena sigurnosti za kosinu nasipa bez uticaja seizmike (proračuni nisu prikazani u radu zbog obima rada). Na osnovu rezultata može se zaključiti da sa povećanjem visine nasipa koeficijent

sigurnosti u pogledu stabilnosti kosine nasipa opada. Takođe, može se zaključiti da za pojedine visine nasipa koeficijenti ne zadovoljavaju zahtevane vrednosti, što se posebno odnosi na stabilnost kosine nasipa sa uzimanjem uticaja seizmike u obzir.

Tabela 7. Koeficijenti stabilnosti nasipa visine H

opt. p [kN/m ²]	H [m]	bez uticaja seizmike		sa uticajem seizmike	
		Fs,min	Fs,max	Fs,min	Fs,max
10.0	3	1.47	1.57	1.23	1.42
	6	1.23	1.42	1.09	1.26
	12	1.22	1.39	1.06	1.22
	24	1.16	1.33	1.01	1.16
16.7	3	1.38	1.58	1.21	1.40
	6	1.23	1.41	1.08	1.25
	12	1.22	1.39	1.06	1.22
	24	1.16	1.32	1.01	1.16

4. ZAKLJUČAK

Pri projektovanju saobraćajnica, posebno onih od kapitalnog značaja kao što su autoputevi i značajniji putevi, treba obratiti pažnju na nasipe, koji su najosetljiviji deo konstrukcije na dejstvo zemljotresa. Pored toga je potrebno analizirati sve potrebne uticaje (navedene u ovom radu), a koji utiču po bilo kom osnovu na stabilnost nasipa i bezbednost saobraćaja.

U okviru ovog rada prikazani su uticaji zemljotresa na nasipe i analiziran je slučaj pojave likvefakcije. U radu je poseban akcenat dat na uticaj visine nasipa na njegovu stabilnost, bilo da se radi o stabilnosti kosina nasipa ili njegova sleganja. Detaljnije je na osnovu prikazanih proračuna pokazano kako u slučaju dejstva zemljotresa visina nasipa utiče na stabilnost kosina na osnovu utvrđivanja koeficijenta sigurnosti. Na bazi ovih proračuna dolazi se do zaključka da sa povećanjem visine nasipa opada vrednost koeficijenta sigurnosti, kako u uslovima bez uticaja zemljotresa, tako i u uslovima zemljotresnih dejstava.

Delimično prikazana analize (zbog obima rada) ukazuju i na neophodnost da se pri projektovanju nasipa mora pristupiti sveobuhvatno, počev od geotehničkih istraživanja. U istraživanjima posebnu pažnju treba obratiti na slabonosiva tla i tla podložna pojavi likvefakcije. Analize su takođe pokazale da pri projektovanju, ukoliko to uslovi dozvoljavaju, treba izbegavati kao tehnička rešenja visoke nasipe.

Zahvalnica

Rad je rezultat istraživanja u okviru naučno-istraživačkog projekta TR 36043 koji finansira Ministarstvo za obrazovanje, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

Literatura

- [1] Boulanger, R.W., Ziotopoulou, K. 2012. *A Sand Plasticity Model for Earthquake Engineering Applications*, University of California at Davis, USA.101p.
- [2] Finn, W.D.L. (1972): Soil dynamics - Liquefaction of sands, Proc., International Conference on Microzonation for Safer Construction Research and Application, Seattle, Wash., Vol.I, 87-111.
- [3] Grujić, B., Jokanović, I., Zeljić, D., Grujić, Ž. (2016). Mjere za sprečavanje likvefakcije usljed dinamičkog opterećenja, Zbonik radova građevinskog fakulteta Subotica 2016, 603-610.
- [4] <http://depts.washington.edu/liquify> (January 2000).
- [5] Kramer, S., Asl, B.A., Sideras, S. (2013). Effects of Long Duration Motions on Ground Failure, EERI Annual Meeting: Building Resilient Communities Through Policy and Mitigation, Seattle.
- [6] Manić, N. 2013. *Primena metoda višekriterijumske optimizacije kod projektovanja nasipa saobraćajnica*, Doktorska disertacija, FTN Novi Sad, 139 str.
- [7] Olgun, M., Acar, M.H. 2009. Faktori koji utiču na stabilnost kosina tokom dejstva zemljotresa, J. Fac. Eng. Arch. Selcuk Univ. 24(2): 9-20.
- [8] Seed, H.B., Tokimatsu, K., Harder, L.F. 1985. Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations. J. Geotech. Eng., 111(12): 1425-1445.
- [9] Wang, W.S. 1980. Some findings in soil liquefaction. Chinese J.Geot.Eng. 2(3): 55-63.

INTERVAL SLJEĐENJA VOZILA U SPOREDNOM TOKU KRUŽNIH RASKRSNICA

Vuk Bogdanović¹

¹ Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, vuk@uns.ac.rs

Dunja Radović²

² Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Saobraćajni fakultet Doboju, dunja.radovic@sf.ues.rs.ba

Rezime: Poznato je da karakteristike saobraćajnog toka značajno utiču na kapacitet svih funkcionalnih segmenata putne i ulične mreže. Jedan od najvažnijih uticajnih parametara saobraćajnog toka na kapacitet kružnih raskrsnica je interval sljeđenja vozila na sporednim prilazima kružnih raskrsnica. Ovaj parametar saobraćajnog toka, kao i većina drugih, zavisi od ponašanja vozača, odnosno od lokalnih uslova odvijanja saobraćaja. U okviru ovog rada prikazani su rezultati istraživanja intervala sljeđenja vozila na prilazima tri kružne raskrsnice metodom obrade video zapisa. Ovaj metod prikupljanja podataka izabran je iz razloga što se njegovom primjenom u potpunosti eliminiše uticaj istraživanja na ponašanje učesnika u saobraćaju. Nakon istraživanja formiran je reprezentativan uzorak, a njegovom obradom i analizom izvedeni su zaključci o veličini intervala sljeđenja na sporednim prilazima kružnih raskrsnica koji se mogu primijeniti u standardnim postupcima za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica u gradovima srednje veličine našeg regiona.

Ključne reči: kružna raskrsnica, interval sljeđenja vozila u sporednom toku, kapacitet.

FOLLOW-UP HEADWAY AT ROUNDABOUTS

Vuk Bogdanović¹

¹ University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, vuk@uns.ac.rs

Dunja Radović²

² University of East Sarajevo, Faculty of Transport and Traffic Engineering, dunja.radovic@sf.ues.rs.ba

Abstract: It is known that traffic flow characteristics have significant influence at the capacity of all functional segments of the road and street network. One of the most important traffic flow parameters which affect the capacity of roundabouts is follow-up headway at minor approaches of roundabouts. This traffic flow parameter, like the most others, depends on driver behaviour, i.e. local traffic conditions. This paper presents the research results related to follow-up headway at three roundabouts obtained by the photographic method. This data collection method is chosen because its application completely eliminates the impact of research at behaviour of traffic participants. After the research, a representative sample is formed and its processing and analysis led to conclusions about the value of follow-up headway at roundabouts which can be applied in standard procedures for capacity calculation at roundabouts in midsize cities of our region.

Keywords: roundabout, follow-up headway, capacity.

1. UVOD

Jedan od parametara saobraćajnog toka koji značajno utiče na kapacitet kružnih raskrsnica je interval, odnosno vrijeme sljeđenja vozila u sporednom toku. Izvorno, vrijeme sljeđenja predstavlja period koji protekne između prolaska čela, odnosno zadnjeg dijela, dva uzastopna vozila preko posmatranog presjeka puta. Ovaj parametar je jedan od osnovnih parametara saobraćajnog toka, a njegov značaj za kapacitet puteva i elemenata putne mreže je prepoznat još u prvim radovima iz oblasti teorije saobraćajnog toka. Za proračun kapaciteta elemenata putne mreže koristi se srednja vrijednost vremena sljeđenja koje se ostvari preko posmatranog presjeka u nekom izabranom periodu vremena. Ovako utvrđen parametar saobraćajnog toka na prilazima kružnih raskrsnica zove se interval sljeđenja vozila u sporednom toku (engl. follow-up headway). Kao i na ostalim dijelovima putne mreže, od veličine utvrđenog intervala sljeđenja zavisi potencijalni kapacitet prilaza kružnih raskrsnica. Ponašanje vozača utiče na veličinu intervala sljeđenja, samim tim i na kapacitet i nivo usluge kružnih raskrsnica. Ponašanje vozača je pod velikim uticajem različitih faktora koji zavise od geometrijskih karakteristika raskrsnice, veličine zahtjeva za protokom, ali i socioloških i društvenih okolnosti, mentaliteta, zakonskih normi itd. Zbog navedenih razloga, vremenske intervale sljeđenja je potrebno definisati za lokalne uslove odvijanja saobraćaja.

¹ vuk@uns.ac.rs

Motiv za istraživanje sprovedeno u ovom radu predstavlja činjenica da su istraživanja parametara saobraćajnog toka, pa i intervala sljeđenja u našem regionu veoma rijetka. Za objektivno proračunavanje kapaciteta kružnih raskrsnica potrebno je poznavati realnu minimalnu vrijednost intervala sljeđenja u uslovima zasićenog toka. Prihvatanjem vrijednosti ovog parametra koji je rezultat istraživanja u drugim sredinama, mogu se dobiti nerealne vrijednosti kapaciteta koje ne odgovaraju lokalnim uslovima odvijanja saobraćaja. Upravo iz tih razloga su u okviru ovog rada prikazani rezultati istraživanja vremenskog intervala sljeđenja na jednotračnim kružnim raskrsnicama u BiH. Na osnovu detaljne analize i obrade podataka preporučena je vrijednost intervala sljeđenja vozila u sporednom toku koja odražava lokalne navike i ponašanje vozača na kružnim raskrsnicama u BiH, ali i u zemljama u okruženju.

2. UTICAJ INTERVALA SLJEĐENJA U SPOREDNOM TOKU NA KAPACITET KRUŽNE RASKRSNICE

U inženjerskoj praksi, za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica najčešće se koristi postupak definisan u novijim verzijama HCM-a (HCM, 2010; HCM, 2016). Ovaj postupak temelji se na Harders-ovom modelu (Harders, 1968) prihvatljivih intervala sljeđenja. Kapacitet sporednog prilaza zasnovan je na konfliktnom toku i intervalima sljeđenja vozila, a jednačina za njegovu procjenu je:

$$C_{px} = V_{c,x} \cdot \frac{e^{-V_{c,x} \cdot t_{c,x} / 3.600}}{1 - e^{-V_{c,x} \cdot t_{f,x} / 3.600}} \quad (1)$$

gdje je:

C_{px} - kapacitet sporednog prilaza x [voz/h]

$V_{c,x}$ - konfliktni tok za sporedni prilaz x [voz/h]

$t_{c,x}$ - kritični interval sljeđenja na prilazu x [s]

$t_{f,x}$ - interval sljeđenja na sporednom prilazu x [s]

Prema (HCM, 2016) model za proračun kapaciteta ulazne saobraćajne trake na jednotračnoj kružnoj raskrsnici za preporučene vrijednosti kritičnog intervala sljeđenja od 4,98 [s] i intervala sljeđenja na sporednom prilazu od 2,61 [s] je sljedeći:

$$c_{e,pce} = 1.380e^{(-1,02 \times 10^{-3})v_{c,pce}} \quad (2)$$

gdje je:

$c_{e,pce}$ - kapacitet ulazne trake, prilagođen za teretna vozila [pa/h]

$v_{c,pce}$ - konfliktni tok [pa/h]

Na osnovu predstavljenog modela može se zaključiti da je kapacitet sporednog prilaza kružnih raskrsnica pod snažnim uticajem kritičnog intervala sljeđenja i intervala sljeđenja vozila u sporednom toku. Očito je da kako broj preporučenih vrijednosti koje se koriste u analizi raste, tako rezultat analize postaje neprecizniji i može biti značajno različit od stvarnog rezultata, zavisno od lokalnih uslova. Shodno tome, metodologija HCM preporučuje lokalna mjerenja kao najpouzdaniji metod prilikom definisanja vrijednosti parametara saobraćajnog toka za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica.

3. PREGLED LITERATURE

Raff, (1950) je definisao interval sljeđenja vozila kao interval koji protekne između prolaska dva uzastopna vozila preko posmatranog presjeka. Prema Kuzović i Bogdanović, (2010) interval sljeđenja vozila, kao jedan od osnovnih parametara saobraćajnog toka, predstavlja vrijeme između prolaska čela dva uzastopna vozila, u jednom smjeru za jednosmjerne saobraćajnice, odnosno u oba smjera za dvosmjerne saobraćajnice, kroz zamišljeni presjek posmatranog odsjeka puta. Osnovni simbol za označavanje intervala sljeđenja je t_h , a osnovna jedinica je sekunda. Sa gledišta realnih saobraćajnih tokova, zavisno od načina posmatranja toka u odnosu na prostor i vrijeme, razlikuju se:

- Intervali sljeđenja (t_{hi}) pojedinačno za (N) vozila koja u periodu vremena (T) prođu posmatrani presjek (odsjeka ili dionice) puta;
- Srednja vrijednost intervala sljeđenja (t_h) na posmatranom presjeku puta za (N) vozila u vremenu (T):

$$\bar{t}_h = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{hi} \quad (3)$$

Vrijeme sljeđenja vozila u sporednom toku ili vrijeme kašnjenja u startu vozila na sporednom prilazu definiše se kao vrijeme koje protekne od momenta kada prvo vozilo iz reda čekanja sa sporednog prilaza pređe zaustavnu liniju i uđe u središte raskrsnice do momenta kada sljedeće vozilo pređe zaustavnu liniju i uđe u središte raskrsnice (Kuzović i Bogdanović, 2010). Prema tome, vrijeme sljeđenja u sporednom toku ili vrijeme kašnjenja u startu, predstavlja period između dva uzastopna ulaska vozila u glavni (kružni) tok iz reda čekanja, a sastoji se od:

- vremena kretanja u redu čekanja i zauzimanja čeonne pozicije
- vremena osmatranja saobraćajne situacije i donošenja odluke od strane vozača o nastavku kretanja kroz glavni tok

Što je sporedni manevar komplikovaniji, to je vrijeme osmatranja i donošenja odluke od strane vozača duže, pa je i vremenski interval sljeđenja, odnosno kašnjenja u startu, veći. Ovaj parametar se označava simbolom t_f i njegova veličina značajno utiče na kapacitet prioritetnih raskrsnica.

Vozači iz sporednog toka ne mogu stupiti u zonu kruženja u kratkom periodu vremena, nakon što je prethodno vozilo iz sporednog toka stupilo u tok, zbog prostornog rastojanja i vremenskog intervala između ova dva vozila u koloni koji uključuju dužinu vozila. Prema tome, vrijeme sljeđenja vozila u sporednom toku, t_f , predstavlja interval između dva uzastopna vozila u koloni na ulivu prilikom ulaska u zonu kruženja tokom istog intervala sljeđenja u glavnom toku (Brilon i dr., 1999). Prema Xu i Tian, (2008) vrijeme sljeđenja vozila u sporednom toku je minimalni interval između dva uzastopna vozila na ulivu (ulazu) u kružni tok, a može se izračunati kao prosječna vrijednost razlike između vremena prolaska dva uzastopna vozila u redu čekanja na sporednom toku u okviru istog intervala sljeđenja u glavnom toku. Prema Macioszek, (2017) ako je rastojanje između vozila u zoni kruženja dovoljno veliko tako da omogućava ulazak vozila iz reda čekanja u sporednom toku, tada vozila iz sporednog toka prelaze zaustavnu liniju u vremenskom intervalu sljeđenja (t_f), jedno za drugim. Dakle, ako na sporednom toku kružne raskrsnice postoji red čekanja i ako vozila iz ovog reda čekanja koriste isti interval između vozila u glavnom toku, tada se vrijeme (interval) sljeđenja vozila u sporednom toku može izračunati na sljedeći način:

$$t_f = t_f^{sljedeće} - t_f^{prethodno} \quad (4)$$

gdje je:

t_f - vrijeme sljeđenja vozila u sporednom toku [s]

$t_f^{sljedeće}$ - vrijeme prelaska zaustavne linije od strane sljedećeg vozila iz reda čekanja [s]

$t_f^{prethodno}$ - vrijeme prelaska zaustavne linije od strane prethodnog vozila iz reda čekanja [s]

Interval sljeđenja vozila u sporednom toku se može direktno izmjeriti sa posmatranih kružnih raskrsnica. On se utvrđuje za pojedinačna vozila kad god se najmanje dva uzastopna vozila u koloni na sporednom toku ulivaju u kružni tok u okviru istog intervala u konfliktnom toku. Kolona, odnosno red čekanja postoji kada je brzina vozila određena vozilom ispred njega. Drugim riječima, ako vozilo trpi vremenski gubitak zbog jednog ili više vozila ispred njega na ulazu u zonu kruženja, tada se smatra da su ova vozila u koloni (Schmitt, 2013). Na kraju se prosječna vrijednost intervala sljeđenja vozila u sporednom toku procjenjuje na osnovu pojedinačnih mjerenja.

U radu (Krishna, 2015) su proračunate vrijednosti intervala sljeđenja vozila na kružnim raskrsnicama u različitim oblastima Indije. Vrijednosti dobijene za vrijeme sljeđenja vozila u sporednom toku variraju od 0,72 do 1,59 [s] i ukazuju na veoma agresivan stil vožnje vozača u Indiji. Rezultati su pokazali i da se ponašanje vozača mijenja u zavisnosti od sastava saobraćajnog toka, odnosno zabilježeno je da su intervali sljeđenja bili veći kada je i broj teretnih vozila bio veći. Xu i Tian, (2008) su predstavili rezultate koji se takođe odnose na proračun vremena sljeđenja vozila u sporednom toku na sedam jednostranih i tri višetračne kružne raskrsnice u Kaliforniji. Izdvojeno je ukupno 742 intervala na deset kružnih raskrsnica, od čega je 230 na jednostranim, a 512 na višetračnim kružnim raskrsnicama. Na jednostranim kružnim raskrsnicama najveća vrijednost iznosi 2,8 [s], a najmanja 2,3 [s], prosječno 2,5 [s] što je manje od vrijednosti preporučene u (NCHRP 3-65). Takođe, manja je vrijednost vremena sljeđenja u sporednom toku od preporučene i za višetračne kružne raskrsnice, a iznosi 2,3 [s] za lijevu i 2,2 [s] za desnu traku. Autori su takođe ustanovili da sa povećanjem broja vozila u zoni kruženja i brzine dolazi do smanjenja vremena sljeđenja vozila u sporednom toku.

Gazzari i dr., (2012) su sproveli istraživanje na sedam kružnih raskrsnica u sjevernoj Toskani kako bi utvrdili da li je preporučena vrijednost vremena sljeđenja vozila u sporednom toku pogodna za Italiju. Rezultati su pokazali da je vrijednost intervala sljeđenja vozila u sporednom toku veća samo u odnosu na vrijednosti

dobijene za Kaliforniju, a manja u odnosu na vrijednosti u svim ostalim međunarodnim studijama. Za jednostručne kružne raskrsnice vrijednost vremena sljeđenja vozila u sporednom toku iznosi 2,63 [s], a za višetračne za lijevu traku 2,65 [s] i za desnu traku 2,64 [s]. Wei i Grenard, (2012) su u svom radu prilagođavali model iz HCM 2010 za proračun kapaciteta jednostručnih kružnih raskrsnica lokalnim uslovima u Indijani, SAD, a istraživanje koje je sprovedeno na tri kružne raskrsnice je pokazalo da je vrijednost vremena sljeđenja vozila u sporednom toku manja od one preporučene u HCM-u 2010 i da iznosi 2,20 [s].

U radu (Barry, 2012) je izvršeno snimanje 13 prilaza na šest kružnih raskrsnica u Džordžiji, a rezultati istraživanja na tri kružne raskrsnice čine osnovu rada. Kada su vozila koja napuštaju kružni tok, odnosno vozila na izlazu iz kružne raskrsnice isključena iz proračuna, ponderisana vrijednost vremena sljeđenja vozila u sporednom toku je iznosila 3,46 [s]. Kada su vozila na izlazu iz kružne raskrsnice uključena u analizu, ponderisana vrijednost vremena sljeđenja vozila u sporednom toku je iznosila 2,80 [s]. I u drugim istraživanjima je utvrđeno da se vrijeme sljeđenja vozila u sporednom toku smanjuje kada se vozila na izlazu iz kružne raskrsnice razmatraju u proračunu (Zheng i dr., 2011).

4. METODOLOGIJA

Istraživanje je sprovedeno na tri četvorokrake kružne raskrsnice sa po jednom saobraćajnom trakom na ulivu/izlivu i jednostručnim kružnim kolovozom na području grada Bijeljine, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina. U svrhu mjerenja intervala sljeđenja primijenjen je takozvani fotografski metod koji podrazumijeva analizu video snimaka realnog saobraćajnog toka. Zatim su video zapisi obrađeni primjenom softvera koji se koristi za reprodukciju i obradu video zapisa. Predmet istraživanja su bile tri kružne raskrsnice snimljene u periodu vršnog časa u urbanom području grada Bijeljine i to:

- Raskrsnica ulica Neznanih junaka, Gavrila Principa, Svetog Save i Filipa Višnjića,
- Raskrsnica ulica Neznanih junaka, Ive Andrića, Stefana Dečanskog i Sremske ulice i
- Raskrsnica ulica Neznanih junaka, Kulina bana i Dušana Baranina.

Vrijeme sljeđenja vozila u sporednom toku razmatrano je samo u uslovima zasićenog saobraćajnog toka koje su Zheng i dr., (2011) definisali kao stanje kada najmanje jedno vozilo čeka iza vozila ispred njega, prije nego što vozilo ispred uđe u kružni tok. Dakle, za utvrđivanje ovog intervala sljeđenja uzeti su u obzir samo redovi čekanja dužine od najmanje dva vozila. S obzirom na to da je kružna raskrsnica takav tip raskrsnice gdje se vozila moraju zaustaviti samo zbog vozila u zoni kruženja, a u mnogim slučajevima vozila se ne zaustave u potpunosti, smatra se da je vozilo u redu čekanja kada pretrpi vremenski gubitak zbog vozila u glavnom toku ispred njega. Prema tome, red čekanja podrazumijeva situaciju kada vozilo na sporednom toku mora da značajno smanji brzinu ili da se zaustavi zbog vozila ispred njega koje kruži u glavnom toku.

Kako bi se izmjerio vremenski interval sljeđenja vozila u sporednom toku, dvije imaginarne linije su povučene, jedna na ulazu (ulivu) u kružni tok (A), a druga na mjestu potencijalnog konflikta između vozila u glavnom toku i vozila na sporednom toku (B), kao što je predstavljeno na narednoj slici (slika 1.).



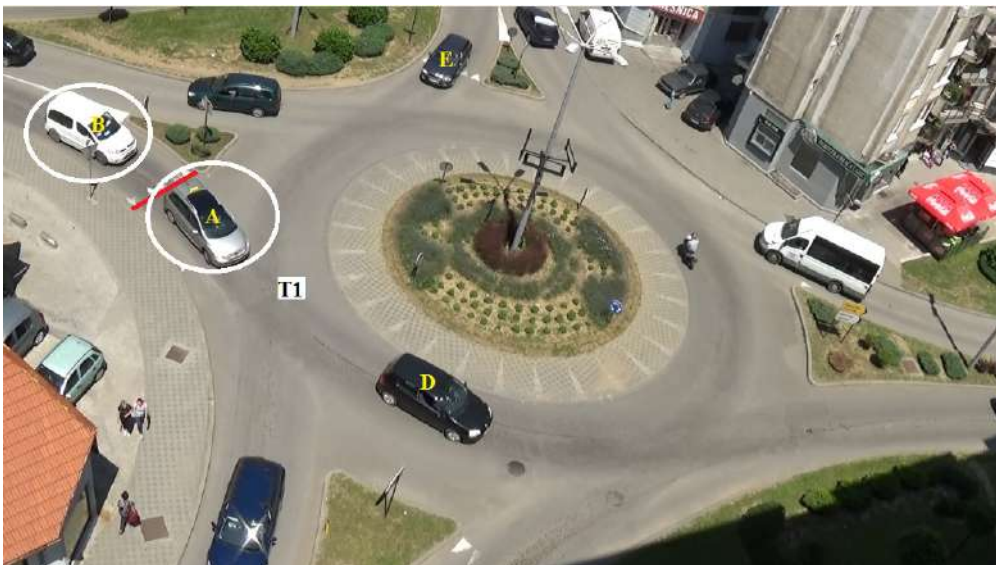
Slika 1. Imaginarne konfliktne linije A i B

Interval sljeđenja vozila u sporednom toku predstavlja vrijednost između dva uzastopna vozila A i B u sporednom toku, ali u okviru istog intervala sljeđenja između vozila D i E u glavnom toku (slika 2).



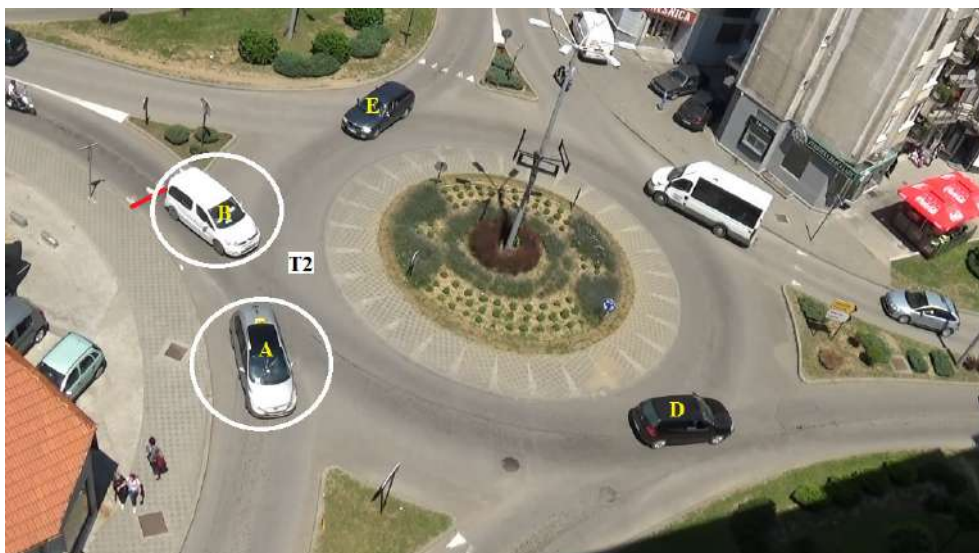
Slika 2. Interval sljeđenja vozila u sporednom toku u okviru istog intervala u glavnom toku

Za proračun vremena, odnosno intervala sljeđenja vozila u sporednom toku dva vremenska trenutka se razmatraju (T_1 kao početak intervala i T_2 kao kraj intervala). Vremenski trenutak T_1 predstavlja trenutak kada prvo vozilo A iz reda čekanja u sporednom toku pređe zaustavnu liniju, odnosno kada njegov zadnji branik dotakne imaginarnu liniju A (slika 3).



Slika 3. Vremenski trenutak T_1

Trenutak T_2 predstavlja trenutak kada sljedeće vozilo B (koje se nalazi u redu čekanja odmah iza prvog vozila) pređe zaustavnu liniju, odnosno kada njegov zadnji branik dotakne imaginarnu liniju A (slika 4.).



Slika 4. Vremenski trenutak T_2

Razlika između ova dva vremenska trenutka (T_2 i T_1) predstavlja interval sljeđenja vozila u sporednom toku. Prosječna vrijednost svih izračunatih intervala sljeđenja vozila u sporednom toku se direktno primjenjuje u formulu za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica.

5. REZULTATI

Utvrđene vrijednosti pojedinačnih intervala sljeđenja kao rezultata lokalnih mjerenja unijete su u program Excel čineći bazu podataka u vidu tabele sa tri kolone. U prvu kolonu je upisivani redni broj posmatranog vozila, u drugu interval sljeđenja svakog pojedinačnog vozila, a u treću kolonu raskrsnica na kojoj su zabilježeni karakteristični intervali sljeđenja.

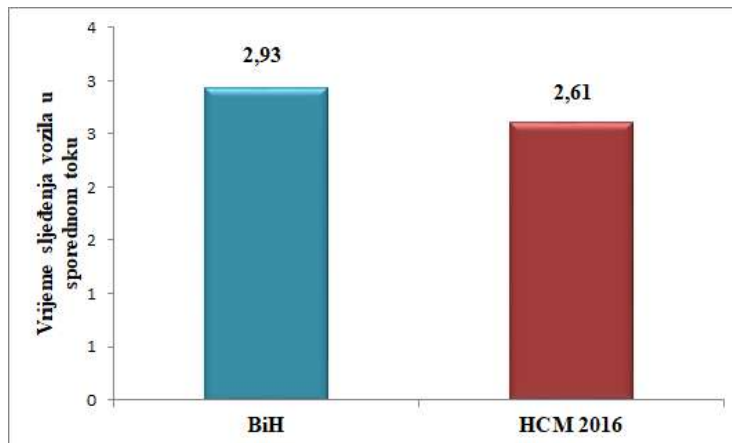
vozilo	interval sljeđenja	raskrsnica	vozilo	interval sljeđenja	raskrsnica	vozilo	interval sljeđenja	raskrsnica	
38	3,17	Raskrsnica ulica Neznanih junaka, Gavrila Principa, Svetog Save i Filipa Vršnjića	150	2,594	Raskrsnica ulica Neznanih junaka, Ive Andrića, Stefana Dečanskog i Sremske ulice	324	3,2	Raskrsnica ulica Neznanih junaka, Kulina bana i Dušana Baranina	
39	3,791		151	3,331		325	2,195		
40	3,684		152	3,36		326	2,987		
41	2,803		153	2,196		327	3,725		
42	2,528		154	1,806		328	3,129		
43	2,632		155	2,082		329	5,098		
44	3,911		156	2,514		330	2,724		
45	1,802		157	3,329		331	2,643		
46	2,894		158	3,375		332	3,568		
47	3,161		159	2,122		333	2,899		
48	2,945		160	3,676		334	3,997		
49	3,534		161	2,944		335	4,588		
50	2,784		162	3,435		336	4,108		
51	3,289		163	2,7		337	3,441		
52	3,72		164	3,208		338	4,159		
53	2,912		165	2,354		339	2,494		
54	2,979		166	2,723		340	2,173		
55	2,724		167	2,404		341	3,772		
56	3,606		168	3,646		342	3,45		
57	2,868		169	4,222		343	1,981		
58	2,704		170	3,194		344	3,559		
59	2,539		171	3,111		345	2,139		
60	2,656		172	2,835		346	4,098		
61	1,357		173	2,905		347	2,637		
62	2,581		174	2,271					
63	2,573		175	3,059					
64	3,012		176	2,543		prosječna vrijednost	2,927305476		
65	2,491		177	1,751					

Slika 5. Postupak utvrđivanja intervala sljeđenja vozila u sporednom toku

Vremenski interval sljeđenja vozila u sporednom toku je direktno izmjeren preko video zapisa, tačnije interval je dobijen kao prosječna vrijednost razlike vremenskih trenutaka. Kao što se može vidjeti na slici 5. izdvojeno je ukupno 347 intervala na sve tri kružne raskrsnice, a prosječna vrijednost iznosi $t_f=2,93$ [s].

6. DISKUSIJA

U inženjerskoj praksi, za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica najčešće se koriste postupci HCM-a koji je najcitiraniji priručnik za proračun kapaciteta. Iz tog razloga je izvršena uporedna analiza između izračunate vrijednosti intervala sljeđenja vozila u sporednom toku i preporučene vrijednosti u (HCM 2016). Izračunata vrijednost vremena sljeđenja vozila u sporednom toku koja iznosi 2,93 [s] se razlikuje od vrijednosti preporučene u (HCM, 2016) koja iznosi 2,61 [s]. Na slici 6. su predstavljene vrijednosti za ovaj parametar za jednotračne kružne raskrsnice u (HCM, 2016) i u BiH.



Slika 6. Poređenje vrijednosti vremena sljeđenja vozila u sporednom toku u BiH i priručniku HCM 2016

Preporučena vrijednost intervala sljeđenja vozila u sporednom toku u (HCM 2016) je očigledno manja od vrijednosti dobijene za lokalne uslove u BiH. Ova razlika između preporučene i izračunate vrijednosti ukazuje na potrebu za prilagođavanjem jednačina za proračun kapaciteta u priručniku kako bi dobijeni rezultati odražavali stvarne karakteristike lokalnih vozača. Za proračun kapaciteta moguće je primijeniti manuelni metod proračuna, tj. Harders-ov model ili jedan od aplikativnih softvera (Synhro, HCS, SIDRA i dr.) sa vrijednostima intervala sljeđenja utvrđenih na osnovu lokalnih mjerenja.

7. ZAKLJUČAK

Akcent istraživanja sprovedenog u ovom radu je na utvrđivanju mjerodavne vrijednosti intervala, odnosno vremena sljeđenja vozila u sporednom toku jednotračnih kružnih raskrsnica. Rezultati predstavljeni u radu su pokazali da postoji značajna razlika između preporučene vrijednosti u priručniku HCM 2016 i vrijednosti dobijene na osnovu sprovedenog istraživanja. Samim tim, i kapacitet i nivo usluge kružnih raskrsnica dobijaju različite vrijednosti u zavisnosti od toga koja od prethodne dvije metode se koristi u proračunu. Shodno tome, može se zaključiti da je utvrđivanje ovog intervala na bazi lokalnih mjerenja od izuzetnog značaja za precizan proračun kapaciteta kružnih raskrsnica. Rezultati istraživanja prezentovani u radu se preporučuju za direktnu primjenu u jednačine za proračun kapaciteta jednotračnih kružnih raskrsnica u Bosni i Hercegovini. S obzirom na slične psihofizičke karakteristike, navike i kulturu vozača, kao i dizajn kružnih raskrsnica moguće je primijeniti dobijene rezultate i u zemljama u okruženju.

Literatura

- [1] Barry, C.D., 2012. Calibration of the HCM 2010 roundabout capacity equations for Georgia conditions (Doctoral dissertation, Georgia Institute of Technology).
- [2] Brilon, W., Koenig, R. and Troutbeck, R.J., 1999. Useful estimation procedures for critical gaps. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 33(3-4), pp.161-186.
- [3] Gazzari, A., Martello, M.T., Pratelli, A. and Souleyrette, R.R., 2012. Estimation of gap acceptance parameters for HCM 2010 roundabout capacity model applications. WIT transactions on the built environment, 128, pp.309-320.
- [4] Harders, J., 1968. Die Leistungsfähigkeit nicht signalregelter städtischer Verkehrsknoten [Capacity of unsignalized urban intersections]. Bonn: Bundesminister für Verkehr.

- [5] Highway Capacity Manual., December 2010. Washington D.C: Transportation Research Board of The National Research Council.
- [6] Highway Capacity Manual Edition 6., 2016. Washington D.C: Transportation Research Board, The National Research Council.
- [7] Krishna, Y., 2015. Modelling Performance Parameters of Roundabouts Using Gap Acceptance Method for Indian Traffic Scenario (Doctoral dissertation).
- [8] Kuzović, Lj. i Bogdanović, V., 2010. Teorija saobraćajnog toka. Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, p.104.
- [9] Kyte, M., Dixon, M., List, G., Flannery, A. and Rodegerdts, L., 2006. NCHRP 3-65: Applying Roundabouts in the United States. Final Report. Kittelson & Associates, Inc., Portland, Ore.
- [10] Macioszek, E., 2017. The comparison of models for follow-up headway at roundabouts. In Scientific And Technical Conference Transport Systems Theory And Practice(pp. 16-26). Springer, Cham.
- [11] Raff, M.S., 1950. A volume warrant for urban stop signs.
- [12] Schmitt, L.E., 2013. Calibration of the HCM 2010 single-lane roundabout capacity equations for Georgia conditions (phase 2) (Doctoral dissertation, Georgia Institute of Technology).
- [13] Wei, T. and Grenard, J.L., 2012. Calibration and validation of Highway Capacity Manual 2010 capacity model for single-lane roundabouts. Transportation research record, 2286(1), pp.105-110.
- [14] Xu, F. and Tian, Z.Z., 2008. Driver behavior and gap-acceptance characteristics at roundabouts in California. Transportation Research Record, 2071(1), pp.117-124.
- [15] Zheng, D., Chitturi, M., Bill, A. and Noyce, D.A., 2011. Comprehensive evaluation of Wisconsin roundabouts, Volume 1: Traffic operations. Madison, WI: Traffic Operations and Safety Laboratory.

PRIMENA DRONOVA ZA DETEKTOVANJE STANJA SAOBRAĆAJNE SIGNALIZACIJE NA PUTNOJ MREŽI

Ana Trpković¹, Sreten Jevremović²

¹ Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni Fakultet, Vojvode Stepe 305, 11000 Beograd, email: a.trpkovic@sf.bg.ac.rs

² Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni Fakultet, Vojvode Stepe 305, 11000 Beograd, email: s.jevremovic@sf.bg.ac.rs

Rezime: Ubrzani razvoj tehnologije već godinama unazad oblikuje saobraćajnu ponudu, počevši od prvih „izmenljivih“ saobraćajnih znakova, preko uređaja komunikacije, do sistema kakvog danas poznajemo. Savremena signalizacija, različiti senzori u vozilima, samoobjašnjavajući putevi, međusobna komunikacija vozila, infrastrukture, okruženja i sl., našli su svoju primenu i mesto u stalnom unapređenju saobraćajnog sistema. Tehnologija koja pruža velike mogućnosti, ali još uvek nedovoljno iskorišćena u skladu sa svojim potencijalima, odnosi se na primenu dronova u saobraćaju. Njihove funkcionalne karakteristike: dimenzije, lako rukovanje, cena, brzina i sl., predstavljaju osnovnu prednost pri implementaciji i korišćenju. Raznovrsnost oblasti u kojima se dronovi već primenjuju, ohrabruje na pretpostavku da bi se isti mogli masovnije koristiti i u saobraćaju. Cilj ovog rada je da ispita mogućnosti primene dronova za detektovanje stanja saobraćajne signalizacije na putnoj mreži Srbije, a u skladu sa dosadašnjim naučnim iskustvima i svetskom praksom na ovom polju. Dodatno, u radu će biti istaknute osnovne prednosti, ali i nedostaci ove tehnologije, koji bi mogli značajno uticati na njenu širu upotrebu u procesu upravljanja kvalitetom saobraćajne signalizacije na putnoj mreži.

Ključne reči: dronovi, saobraćajna signalizacija, upravljanje kvalitetom, detekcija, putna mreža

DRONES APPLICATION FOR ROAD SIGNALIZATION MANAGEMENT AND DETECTION

Ana Trpković¹, Sreten Jevremović²

¹ University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, Vojvode Stepe 305, 11000 Belgrade, email: a.trpkovic@sf.bg.ac.rs

² University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, Vojvode Stepe 305, 11000 Belgrade, email: s.jevremovic@sf.bg.ac.rs

Abstract: The rapid development of technology has shaped the traffic offer for many years, starting with the first VMS, through communication devices, to the system we know today. Modern signalization, different sensors in vehicles, self-explanatory roads, communication between vehicles, infrastructure, environment, etc., have found their application and place in the continuous improvement of the traffic system. Technology that offers great capabilities, but still underutilized to its full potential, refers to the use of drones in traffic. Their functional characteristics: dimensions, ease of maneuvering, price, speed, etc., represent a major advantage in their implementation and use. The diversity of areas in which drones are already in use is encouraging to assume that they could be used more widely in traffic. The aim of this paper is to investigate the possibilities of using drones for detecting the state of traffic signalization on the road network of Serbia, in accordance with the current scientific experience and world practice in this field. In addition, the paper will highlight the main advantages and disadvantages of this technology, which could significantly affect its wider use in the process of traffic signalization quality management, on the road network.

Keywords: drones, traffic signalization, road quality management, detection, road network

1. UVOD

Dugi niz godina dronovi su se koristili isključivo u vojne svrhe, zbog čega su prevashodno i proizvođeni. Cenovna dostupnost igrala je važnu ulogu u njihovoj komercijalizaciji. Sa otvaranjem tržišta i izradom prvih modela van vojne industrije, krenula je njihova masovna proizvodnja. Sada se može naći veliki broj različitih modela koji su zbog svojih karakteristika: dimenzija, daljinskog upravljanja, brzine, lakog manevrisanja i sl., postali neizostavan element savremenog društva. Upravo pomenute karakteristike omogućile su ekspanziju dronova koji se danas najčešće koriste za snimanje područja, prostorno mapiranje, monitoring okruženja, dostavu, imaju važnu ulogu u agrokulturi i sl. (Zhang, Cao, Xu, & Gulliver, 2018). Implementacija dronova u saobraćaju započeta je prvenstveno sa ciljem praćenja i detektovanja parametara saobraćajnog toka – najčešće protoka i brzine (Bruin & Booyesen, 2015). Relativno brzo njihova primena proširila se i na nadzor

² Sreten Jevremović, email: s.jevremovic@sf.bg.ac.rs

saobraćaja, identifikaciju zagušenja i opasnih mesta, pružanje prve pomoći, spašavanje i sl. (Gharibi, Boutaba, & Waslander, 2016).

Karakteristike dronova ukazuju na širok spektar mogućnosti, ali i potencijalnih ušteda, koje se mogu ostvariti njihovom primenom. Na primer, Norveška uprava za javne puteve počela je sa aktivnim korišćenjem dronova za monitoring i mapiranje putne mreže. Model drona koji je korišćen je Wingtra One, pre svega zbog značajnih ekonomskih koristi koje su ostvarene njegovom primenom. Procenjeno je da su troškovi mapiranja i nadgledanja deonice dužine od 5 km, 270\$, dok samo snimanje traje 2,5h. Sa druge strane troškovi tradicionalne metode snimanja, koja koristi kopneni laserski skener iznose 5 200\$, dok samo snimanje traje 6 dana (Wingtra, 2019). Tradicionalan način prikupljanja i analize karakteristika saobraćajne signalizacije podrazumeva terenska istraživanja tokom kojih se, obično vizuelnim putem, utvrđuje njihovo stanje, dok se za merenje retrorefleksije, kvaliteta boje i otpornosti na klizanje koriste posebni uređaji. Cilj ovog rada je ispitati mogućnosti primene dronova za prikupljanje i analizu karakteristika saobraćajne signalizacije, na vangradskoj mreži. Primenom dronova pomenuti proces može se značajno pojednostaviti i ubrzati. Osnovna ideja ovog rada bazira se na integraciji, odnosno opremanju dronova neophodnim kamerama i senzorima koji bi se koristili za ispitivanje karakteristika saobraćajne signalizacije.

U zavisnosti od područja merenja, broja saobraćajnih znakova, oznaka, načina snimanja, često i vremenskih prilika, manuelno prikupljanje podataka može biti vremenski veoma zahtevno. Primera radi, „Measure Across America Project“ realizovan 2018. godine analizirao je razlike manuelnog i mobilnog snimanja stanja i kvaliteta horizontalne signalizacije. Snimanje je vršeno kroz pet saveznih država u Americi, pri čemu je ukupna dužina izmerenih i analiziranih horizontalnih oznaka iznosila 1860 kilometara. Manuelnim, odnosno ručnim merenjem za ovakvu analizu potrebno je 759 dana, dok je isto merenje mobilnim uređajem obavljeno za 25 sati (RoadVista, 2018). Primenom dronova, u konkretnom slučaju, proces snimanja može se dodatno automatizovati i olakšati, posebno ako se u obzir uzme činjenica da je dronovima moguće, u isto vreme, snimati karakteristike i horizontale i vertikalne signalizacije.

Rad je koncipiran kroz sedam poglavlja, dok je analiza primenljivosti dronova sprovedena kroz dva posebna dela: poglavlje o ispitivanju i analizi stanja i kvaliteta vertikalne signalizacije i poglavlje o ispitivanju i analizi stanja i kvaliteta horizontalne signalizacije. Na kraju rada izvršena je SWOT analiza, kroz koju je ukazano na osnovne prednosti i nedostatke dronova u odnosu na tradicionalni način ispitivanja stanja i kvaliteta saobraćajne signalizacije.

2. KVALITET SAOBRAĆAJNE SIGNALIZACIJE

U cilju jednostavnijeg razumevanja osnovne ideje i koncepta rada, u ovom poglavlju biće dat kratak osvrt na definiciju odnosno značenje pojma kvalitet.

Kvalitet se može definisati kao: skup svojstava i osobina proizvoda ili usluga koje se odnose na mogućnost zadovoljenja utvrđene ili izražene potrebe (International Standardization Organization (ISO), 1994). Ovo je opšteprihvaćena definicija doneta od strane Međunarodne Organizacije za Standardizaciju. Domaćim standardom donesenim od strane Instituta za standardizaciju Srbije, kvalitet je definisan kao: nivo do kog skup svojstvenih karakteristika ispunjava zahteve (Institut za standardizaciju Srbije, 2015).

Na osnovu prikazanih definicija, moguće je obrazložiti opšte značenje pojma kvalitet, koji predstavlja količinu i oblik upotrebne vrednosti nekog proizvoda ili usluge. Time je kvalitet i izmeritelj koji pokazuje do koje mere proizvod ili usluga zadovoljava potrebu korisnika. Važno je napomenuti da je u svakoj od prikazanih definicija posebno naglašen deo koji ukazuje na funkciju zadovoljenja određenih potreba ili zahteva ispostavljenih od strane korisnika, što zapravo predstavlja osnovnu svrhu svakog proizvoda ili usluge. Pružanje i održavanje zahtevanog nivoa kvaliteta saobraćajne signalizacije predstavlja osnovni korak u procesu formiranja efikasnog saobraćajnog sistema i komunikacije između čoveka i puta.

3. ISPITIVANJE STANJA I KVALITETA VERTIKALNE SIGNALIZACIJE

Glavni problem koji se nameće na samom početku, odnosi se na potrebu definisanja karakteristika vertikalne signalizacije, koje se moraju ispitati, kako bi se utvrdio njihov kvalitet. U tu svrhu formirana je kontrolna lista sa svim značajnim karakteristikama vertikalne signalizacije, prikazana u Tabeli 1.

U cilju jednostavnijeg sagledavanja svi kriterijumi klasifikovani su u pet grupa. Elementi koji pripadaju Grupi I i Grupi II, odnose se na osnovna obeležja saobraćajnog znaka (geolokacija, identifikacioni broj, kategorija i

šifra znaka prema Pravilniku o saobraćajnoj signalizaciji), dok se elementi iz Grupa III, IV i V, odnose na osnovne karakteristike vertikalne signalizacije.

Tabela 1. Karakteristike vertikalne signalizacije

R. br.	Karakteristika znaka	Opis karakteristike	Grupa
1.	Naziv ulice (područja)	Definiše se radi određivanja mikro i makrolokacije znaka	I
2.	Redni broj znaka	Predstavlja jedinstveni identifikacioni broj znaka	II
3.	Redni broj stuba	Predstavlja jedinstveni identifikacioni broj stuba znaka	
4.	Kategorija znaka	Znakovi opasnosti, znakovi izričitih naredbi, znakovi obaveštenja i dopunske table, prema važećem Pravilniku o saobraćajnoj signalizaciji	
5.	Šifra znaka	Određena je u odnosu na kategoriju saobraćajnih znakova	
6.	Visina znaka	Merena od površine kolovoza do donje ivice saobraćajnog znaka	III
7.	Dimenzije znaka	Kod znakova oblika kruga meri se poluprečnik, dok se kod ostalih znakova (trougao, kvadrat, pravougaonik itd.) mere dužine stranica	
8.	Kvalitet stuba znaka	Evidentira se boja stuba, zarđalost, oštećenost konstrukcije, ulegnuća i sl.	
9.	Oštećen lim znaka	Evidentira se oštećenost lima na kome se nalazi poruka koju znak prenosi	
10.	Oštećena boja znaka	Evidentira se oštećenost boje znaka na licu znaka	
11.	Ostala oštećenja	Evidentiranje ostalih oštećenja poput: nalepnica, grafita i sl.	IV
12.	Zakošenost stuba znaka	Utvrđuje se odstupanje lica znaka u odnosu na vertikalnu osu	
13.	Pogrešno usmeren znak	Evidentira se usmerenost lica znaka u odnosu na saobraćajni tok	
14.	Pogrešan raspored znakova na stubu	Znakovi na zajedničkom stubu nisu poređani po uputstvu iz Pravilnika o saobraćajnoj signalizaciji	V
15.	Kvalitet boje saobraćajnog znaka	Podrazumeva terenska ili laboratorijska merenja kvaliteta boje znaka	
16.	Retroreflektivnost saobraćajnog znaka	Podrazumeva terenska ili laboratorijska merenja retrorefleksije znaka u dnevnim i noćnim uslovima	

Izvor: Saobraćajni katastar Srbije

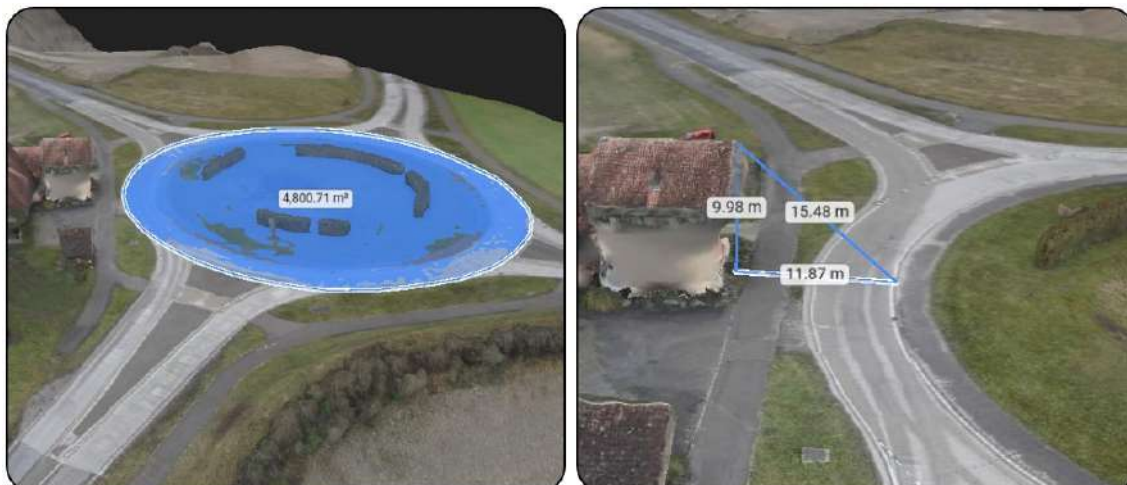
Važna prednost formiranja ovakve kontrolne liste je u njenoj hijerarhijskoj strukturi – karakteristike se prikupljaju i analiziraju prema redosledu prikazanom u Tabeli 1. Ukoliko se prilikom prikupljanja i ocene stanja i kvaliteta saobraćajnog znaka, utvrdi da makar i jedna karakteristika iz Grupe III ne daje zadovoljavajuće rezultate, karakteristike iz Grupa IV i V se neće dalje analizirati, već će se zahtevati hitna intervencija (zamena saobraćajnog znaka ili stuba i sl.).

Ukoliko svi kriterijumi iz Grupe III daju zadovoljavajuće rezultate, može se preći na snimanje i analizu kriterijuma iz Grupe IV. Ista procedura važi i za ovaj korak, s tim što je razlika u vrsti intervencija. Ako se za neki od kriterijuma iz Grupe IV utvrdi da ne zadovoljava definisane vrednosti, zahtevaće se obilazak lokacije i uklanjanje nepravilnosti. Na kraju, ukoliko su svi prethodni kriterijumi ispunili zahtevani nivo kvaliteta, prelazi se na snimanje i analizu karakteristika iz Grupe V.

U nastavku rada objašnjena je praktična primena dronova, u snimanju i analizi stanja i kvaliteta vertikalne signalizacije, prema kriterijumima definisanim u Tabeli 1.

Prvi od prikazanih podataka odnosi se na karakteristiku iz Grupe I - podatak o nazivu ulice, koji se koristi za definisanje mikropodručja saobraćajnog znaka. Ovaj podatak može se dobiti putem GPS-a i prijemnika koji su sastavni deo svakog drona. Na isti način mogu se dobiti i koordinate saobraćajnog znaka. Podaci iz Grupa II, III i IV mogu se jednostavno dobiti analizom fotodokumentacije koja bi se prikupljala dronovima. Na primer, redni broj znaka i redni broj stuba, koji predstavljaju identifikacione oznake postavljene na samom znaku odnosno stubu, detektovale bi se posebnim senzorima, koje predstavljaju sastavni deo opreme dronova. Karakteristike kamera uglavnom variraju u zavisnosti od vrste i cilja snimanja, pa je tako najveći broj dronova opremljen kamerama rezolucije od 5MP do 20MP.

Dimenzije i visina znaka mogu se dobiti kroz GIS baze podataka u koje su implementirane mape područja. Samo mapiranje vrši se primenom dronova, koji mogu koristiti LIDAR metodu snimanja. Primer provere dimenzija objekata, u GIS aplikacionom servisu, prikazan je na Slici 1.



Slika 1. Provera dimenzija objekata nakon mapiranja

Kvalitet i oštećenost stuba znaka, oštećenost lima i boje znaka, zakošenost stuba znaka, pogrešno usmeren znak i pogrešan raspored znakova na stubu, utvrđuju se jednostavnim ispitivanjem prikupljene fotodokumentacije. Pogodnost dronova, koju je važno napomenuti na ovom mestu, odnosi se na mogućnost fotodokumentovanja saobraćajnog znaka iz svih uglova, što značajno povećava mogućnosti ali i fleksibilnost u radu.

Prikupljanje podataka iz Grupe V, kao što je već napomenuto u prethodnom delu rada, obavlja se retroreflektometrom, koji meri retrorefleksiju znaka i Spektrofotometrom/Kolorimetrom, koji meri kvalitet boje saobraćajnog znaka. Dronovi se u ovoj situaciji mogu koristiti kao prenosno sredstvo pomenutih uređaja, odnosno pored ili umesto kamere, bili bi povezani sa retroreflektometrom i kolorimetrom. U takvoj situaciji, radi jednostavnosti, potrebno je potpuno automatizovati procese uključivanja, merenja i isključivanja uređaja, kada se dron približi saobraćajnom znaku.

Svi do sada opisani slučajevi primene dronova odnosili su se samo na prikupljanje podataka, dok bi analizu stanja i kvaliteta sprovodio stručan tim na osnovu dobijenih podataka i fotodokumentacije. Ipak, razvojem tehnologije proces analize navedenih podataka moguće je automatizovati i obavljati bez prisustva ljudi. Zapravo, uloga čoveka u takvim situacijama bila bi svedena samo na kontrolu pomenutog procesa. Primenom veštačke inteligencije, prevashodno neuronskih mreža, otvara se mogućnost za sprovođenje jednostavnih analiza stanja i kvaliteta saobraćajne signalizacije. Poslednjih godina njihova primena značajno je doprinela razvoju automatskog prepoznavanja i „čitanja“ saobraćajne signalizacije. Upravo ovaj korak omogućio je ubrzano testiranje i razvoj autonomnih vozila.

U konkretnom slučaju karakteristike poput: kvaliteta stuba znaka, oštećenost stuba, oštećenost lima znaka i oštećenost boje znaka, mogu se prikupljati i analizirati na sledeći način:

- U prvom koraku vrši se prikupljanje podataka o definisanim karakteristikama samog znaka. Fotodokumentacija se prikuplja pomoću dronova.
- Drugi korak predstavlja formiranje baza podataka o karakteristikama saobraćajne signalizacije.
- Treći korak podrazumeva analizu stanja i kvaliteta znaka, putem algoritama koji se zasnivaju na principima neuronskih mreža.

Radi jednostavnosti sam proces kontrole kvaliteta može se posmatrati binarno, tako što se svako oštećenje ili nepravilnost na znaku kodiraju nulom (0), dok se znak bez oštećenja kodira jedinicom (1). Na taj način bilo kakva uočena nepravilnost značiće da je znak oštećen i da su potrebne određene intervencije.

4. ISPITIVANJE STANJA I KVALITETA HORIZONTALNE SIGNALIZACIJE

Kao i u prethodnom delu, u cilju pojednostavljivanja postupka prikupljanja podataka, formirana je lista, sa potrebnim karakteristikama horizontalne signalizacije. Važno je napomenuti da se ispitivanje kvaliteta oznaka horizontalne signalizacije najčešće vrši inspekcijom i vizuelnim putem, jer su oštećenja lako vidljiva, pa s toga

dronovi u konkretnom slučaju mogu imati značajnu ulogu. Ipak, objektivnije ispitivanje kvaliteta zahteva kvantifikaciju i merenje izvesnog broja pokazatelja stanja, prikazanih u Tabeli 2.

Karakteristike, odnosno atributi horizontalnih oznaka podeljeni su u četiri grupe i ispituju se na isti način kao i u slučaju vertikalne signalizacije. Ukoliko npr. makar jedna karakteristika iz Grupe II pokaže nezadovoljavajuće rezultate, zahtevaće se hitne intervencije, koje imaju za cilj uklanjanje uočenih nedostataka.

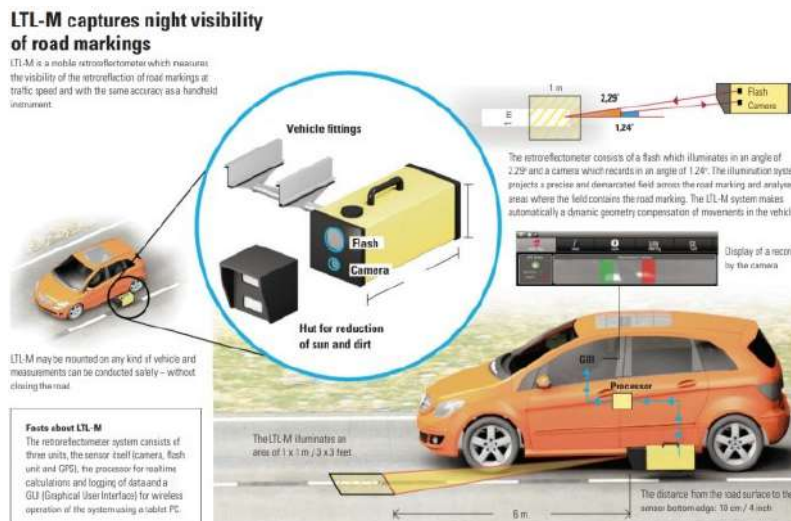
Tabela 2. Karakteristike horizontalne signalizacije

R. br.	Karakteristika oznake	Opis karakteristike	Grupa
1.	Naziv ulice, područja, deonice	Definiše se radi određivanja mikro i makrolokacije, odnosno područja oznake	I
3.	Šifra oznake	Evidentira se šifra oznake prema Pravilniku o saobraćajnoj signalizaciji	
2.	Dimenzije oznake	Merenje širine i dužine oznake na području istraživanja, ukoliko se radi o ivičnim i razdelnim linijama, merenje dimenzija pojedinačnih oznaka (strelce, pešački prelaz i sl.)	II
4.	Oštećenost oznake	Podrazumeva evidentiranje oštećenosti ili nedostatak dela oznake, nedostatak boje dela oznake i sl.	III
5.	Trajnost oznake	Evidentira se odnos oštećene površine oznake i početno stanje neoštećene površine	
6.	Izbledeost oznake	Vrši se poređenje ili vizuelni test na osnovu etalona sa istim materijalom	
7.	Retrorefleksija oznake	Podrazumeva terenska ili laboratorijska merenja retrorefleksije u dnevnim i noćnim uslovima	IV
8.	Otpornost na klizanje	Predstavlja meru otklona klatna mernog uređaja postavljenog na horizontalnu oznaku	

Izvor: Saobraćajni katastar Srbije

Na primer, za proračun trajnosti oznake važno je uzeti u obzir njenu starost i saobraćajno opterećenje puta. Nakon pribavljanja potrebnih podataka površina sa oštećenjem može se lako proračunati na osnovu posebno pripremljene fotodokumentacije, dok se podaci o novim (neoštećenim) oznakama dobijaju iz specifikacija proizvođača.

Određene poteškoće, odnosno nedostaci odnose se na prikupljanje podataka o retroreflektivnosti oznaka i otpornosti oznaka na klizanje, s obzirom na to, da se za merenje navedenih karakteristika koriste posebni uređaji. Tradicionalno merenje retroreflektivnosti podrazumeva postavljanje uređaja na horizontalnu oznaku, nakon čega se vrši očitavanje. Veliki broj kompanija danas koristi mobilne retroreflektore, koji mogu meriti retroreflektivnost pri različitim brzinama kretanja vozila, uz isti stepen preciznosti kao i pri manuelnom merenju. Primer mobilnog retroreflektometra za merenje retrorefleksije u noćnim uslovima ilustrovan je na Slici 2.

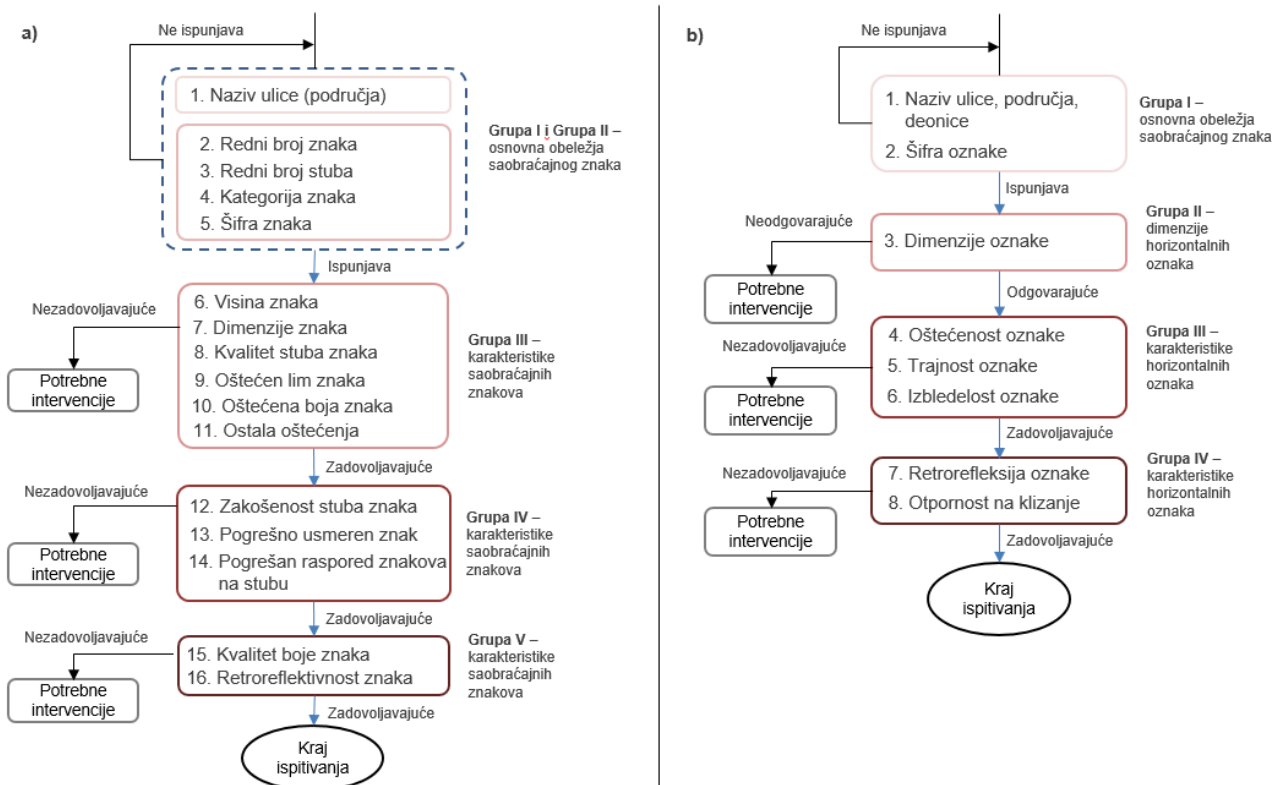


Slika 2. Mobilni retroreflektometar
Izvor: Danish engineering magazine Ingeniøren

Sličan koncept predložen je i u ovom radu, pri čemu bi se umesto vozila, koristili dronovi. U konkretnom slučaju dron bi bio povezan sa retroreflektometrom prikazanim na Slici 2. Nedostatak pomenute ideje je potencijalno ugrožavanje bezbednosti saobraćaja, imajući u vidu da je retroreflektometar potrebno postaviti na udaljenosti do 10cm od površine kolovoza. Ono što je važno napomenuti na ovom mestu je da navedena vrsta ispitivanja

zahteva pravovremeno obaveštavanje učesnika u saobraćaju, upravo radi izbegavanja negativnih posledica po bezbednost učesnika. Postavljanjem izmenljive saobraćajne signalizacije, obaveštavanjem korisnika putem navigacionih uređaja ili primenom različitih medija komunikacije: interneta, radija i sl., navedeni problem jednostavno se može preduprediti. Sa druge strane, sličan problem javlja se prilikom merenja otpornosti na klizanje, imajući u vidu da se uređaj za merenje - „englesko klatno“ mora postaviti na horizontalnu oznaku, što se u određenoj meri može negativno odraziti na bezbednost saobraćaja. Ipak, važno je naglasiti da je sama mogućnost ispitivanja saobraćajne signalizacije umnogome ograničena tehničkim karakteristikama postojećih mernih instrumenata, kao što je slučaj i u konkretnom primeru. Uprkos navedenom, posmatrajući trenutni tok razvoja, autori veruju da će se budućim tehnološkim unapređenjima i modifikacijama pomenuti problem vrlo brzo prevazići, čime će se omogućiti jednostavnija integracija sa dronovima.

Na kraju, u radu je dat i predlog algoritma sa koracima po kojima se jednostavno može izvršiti ispitivanje stanja i kvaliteta vertikalne i horizontalne saobraćajne signalizacije. Algoritmi su prikazani na Slici 3.



Slika 3. Algoritmi za ispitivanje vertikalne (a) i horizontalne (b) saobraćajne signalizacije

5. DRON ZA ISTRAŽIVANJE

Model koji se bez značajnijih modifikacija može koristiti za pomenuto istraživanje je DJI Inspire 2. Njegove prednosti odnose se pre svega na karakteristike kamere, koja ima mogućnost optičkog zumiranja i zamene sočiva. Zbog navedenog ovaj dron omogućava izradu fotografija velike detaljnosti pri različitoj udaljenosti objekta. Primera radi rezolucija senzora od 12mpx, sa žižnom daljinom od 60mm može pružiti nivo detaljnosti od nekoliko centimetara, pri udaljenosti od par metara.

Težina predloženog drona iznosi 4,250g, maksimalna brzina do 94 km/h, maksimalna visina leta 5,000 metara, dok je operativnost ovog modela moguća pri brzinama vetra manjim od 10 m/s (Dà-Jiāng Innovations, 2019). Osnovni nedostatak predstavlja maksimalno vreme leta koje iznosi 27 minuta, nakon čega se baterija mora napuniti. Generalno, ovaj nedostatak odnosi se na najveći broj komercijalnih dronova koji imaju ograničenje do 30 minuta leta.

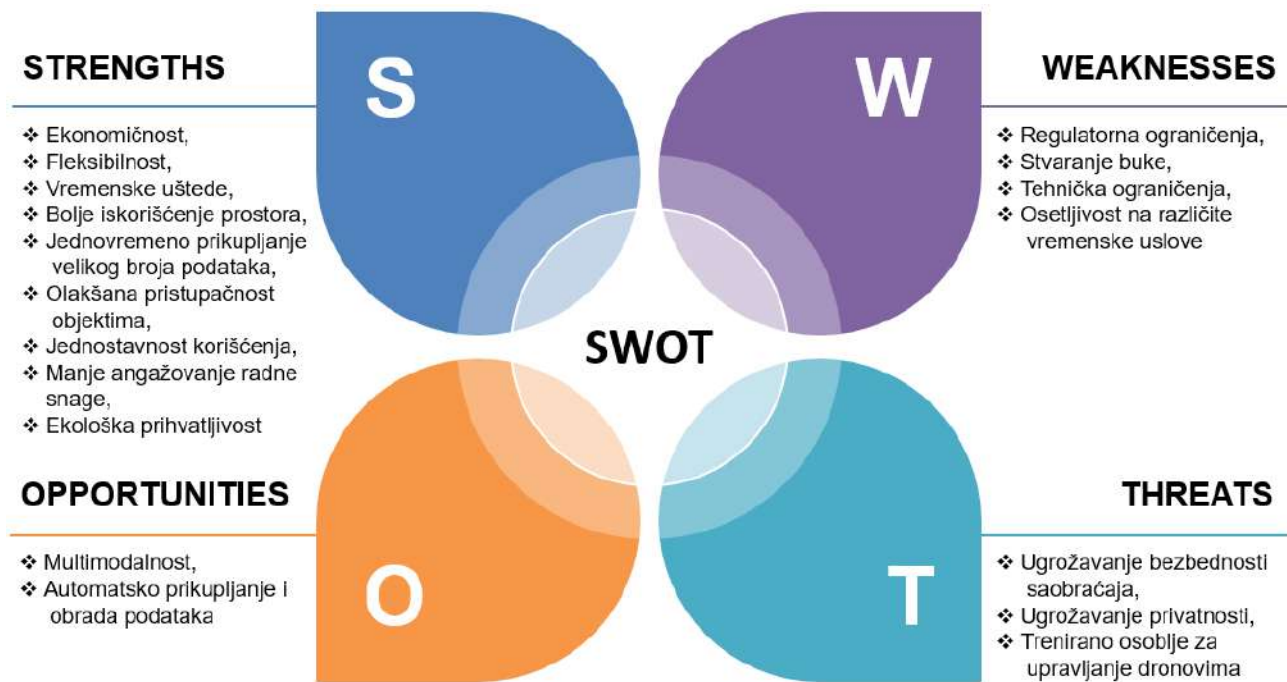
Pored pomenutog značajne prednosti navedenog drona, koje su od važnosti za ovaj rad, odnose se na primenu veštačke inteligencije. Naime, sistemi koje dron poseduje su:

- Tap Fly sistem koji korisniku daje mogućnost zadavanja krajnje lokacije, odnosno destinacije, na koju dron treba sleteti ili do koje treba da dođe. Zadavanjem ove lokacije, softver sam proračunava svoju optimalnu putanju uz vođenje računa o mogućim preprekama na samoj putanji leta.
- Sistem izbegavanja prepreka sadrži optičke senzore za detektovanje objekata do 30m udaljenosti. Ova karakteristika posebno je važna sa aspekta bezbednosti, jer omogućava detektovanje objekata u neposrednoj blizini drona poput zgrada, mostova i sl.
- Active Track sistem podrazumeva mogućnost praćenja zadatog objekta, koji koristi savremene algoritme za prepoznavanje fotografija. U konkretnom slučaju, moguće je praćenje, odnosno detektovanje definisanog saobraćajnog znaka ili zadate oznake.

Dronovi sličnih karakteristika koji se uz dodatne modifikacije mogu primenjivati su: Phantom 4RTK i pomenuti model Wingtra One. Upravo model Wingtra One prevazilazi postojeće ograničenje u dužini trajanja leta za 28 minuta, čime je omogućena maksimalna dužina leta od 55 minuta. Sa druge strane ovaj model ne poseduje sisteme poput Active Track, Tap Fly i sl. Glavni nedostatak, u odnosu na model Inspire 2, su nešto lošije manevarske sposobnosti na ograničenom prostoru, što je posebno važno u slučaju postojanja velikog broja objekata u okruženju (vertikalna saobraćajna signalizacija, ulični mobilijar, elementi osvetljenja i sl.).

6. SWOT ANALIZA

Na slici 4. prikazani su rezultati SWOT analize primene dronova u saobraćaju, za potrebe ispitivanja stanja i kvaliteta saobraćajne signalizacije.



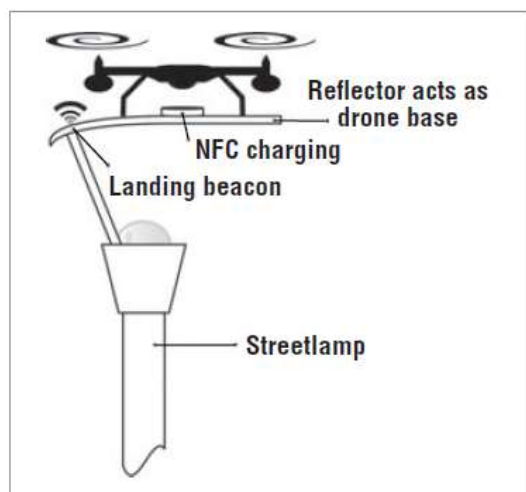
Slika 4. SWOT analiza primenljivosti dronova

Osnovne prednosti primene dronova odnose se prevashodno na potencijalne vremenske uštede u odnosu na tradicionalan način ispitivanja stanja i kvaliteta saobraćajne signalizacije. Značajno je olakšan pristup pojedinim lokacijama, odnosno saobraćajnim znakovima (znakovi koji se nalaze na portalima, mostovima i sl.) imajući u vidu da dronovi koriste vazdušni prostor. Takođe, na ovaj način izbegavaju se potencijalna zagušenja na mreži. Veoma važna prednost dronova je u njihovoj mogućnosti jednovremenog prikupljanja velikog broja podataka. Važna mogućnost koju nudi primena dronova u saobraćaju je i integracija veštačke inteligencije za potpunu automatizaciju prilikom prikupljanja i analize podataka o saobraćajnoj signalizaciji. Na taj način dodatno se olakšava celokupan proces i potencijalno smanjuje potreba za kadrovskim resursima.

Glavno ograničenje primene dronova u Srbiji odnosilo se na zakonsku regulativu. Naime, prema starom Pravilniku o bespilotnim vazduhoplovima, noćno letenje, odnosno korišćenje dronova, bilo je u potpunosti zabranjeno. Od januara 2020. godine, na snagu je stupio izmenjen Pravilnik o bespilotnim vazduhoplovima, po kome je korišćenje dronova noću dozvoljeno uz odobrenje Direktorata civilnog vazduhoplovstva Republike Srbije i prethodnog upisivanja u registar bespilotnih vazduhoplova (Pravilnik o bespilotnim vazduhoplovima,

2020). Iako postoji potreba za daljim unapređenjem regulative, na ovaj način pružena je podrška razvoju i omogućeno iskorišćenje punog potencijala koji dronovi poseduju. U konkretnom slučaju, izmene Pravilnika omogućile su korišćenje dronova za noćna snimanja vidljivosti i retroreflektivnosti, na način opisan u prethodnom delu rada.

Dodatna ograničenja obično se odnose na različite tehničke karakteristike dronova, pre svega po pitanju nosivosti, vrste senzora, kamera i dužine trajanja leta. Za potrebe ispitivanja stanja i kvaliteta saobraćajne signalizacije, posebno značajna karakteristika je dužina trajanja leta, odnosno kapacitet baterije. Najveći broj komercijalnih dronova u vazduhu može ostati do 30 minuta (James, 2020) nakon čega se baterija mora dopuniti. Pomenuta karakteristika može predstavljati značajno ograničenje, u slučaju ispitivanja signalizacije na vangradskoj mreži, zbog potencijalno dužih distanci koje dron mora preći. Interesantnu ideju, koja može poslužiti kao osnova za rešavanje pomenutog problema, pružila je grupa autora u svom radu "Game of Drones" (Lindley & Coulton, 2015). Naime, autori su predložili da se ulična rasveta koristi kao sistem napajanja dronova, kao što je to prikazano na slici 5. Na taj način značajno bi se uvećalo efektivno vreme rada, bez vremenskih gubitaka koji su posledica povratka drona do baze ili istraživačkog vozila.



Slika 5. Sistem punjenja baterija na dronovima
Izvor: Game of Drones

Bitno je napomenuti da su sa učestalijom primenom dronova u saobraćaju češće i nezgode, kao posledica njihovog korišćenja. Povrede nastale u takvim okolnostima mahom se vezuju za nemotorizovane učesnike u saobraćaju, prevashodno za pešake (Forrester, 2019; Johnson, Svach, & Brown, 2019). Ipak važno je naglasiti i neželjene efekte po bezbednost ostalih učesnika u saobraćaju prvenstveno vozača. Kao što je u ovom radu ranije napomenuto, sam proces ispitivanja stanja i kvaliteta saobraćajne signalizacije zahteva približavanje drona znaku ili oznaci na određenu udaljenost. U zavisnosti od dimenzija drona, pravovremena reakcija vozača može doći sa zakašnjenjem, što za posledicu može imati saobraćajne nezgode. Jedno od rešenja u ovakvim situacijama je implementacija već pomenutih senzora za detekciju i izbegavanje prepreka i objekata. Takođe, svi učesnici u saobraćaju pravovremeno se moraju obavestiti o trenutnim merenjima, odnosno prisustvu dronova u okruženju.

Ugrožavanje privatnosti takođe predstavlja jedno od važnih ograničenja za primenu dronova (Rosenfeld, 2019). Iako je pomenuta stavka karakteristična za gradska područja, posebno za rezidencijalne zone, analizu primenljivosti dronova sa društvenog-psihološkog aspekta ne bi trebalo izostavljati. Ipak, autori ovog rada smatraju da pomenuti kriterijum nema značajan uticaj u situaciji primene dronova za ispitivanja na vangradskoj mreži.

7. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazane su osnovne karakteristike dronova, prednosti, nedostaci, ograničenja kao i mogućnosti njihove implementacije za ispitivanje stanja i kvaliteta saobraćajne signalizacije na putnoj mreži. Imajući u vidu postojeće trendove i pravce razvoja saobraćajnog sistema, koji predviđa potpunu automatizaciju i povezanost svih korisnika, izvesno je da i svi podsistemi saobraćaja moraju odgovoriti na postavljene izazove. Pomenuto je posebno važno u slučaju implementacije autonomnih vozila, koja zahtevaju stalnu komunikaciju sa okruženjem, adekvatnu infrastrukturu i visok nivo kvaliteta saobraćajne signalizacije. Shodno navedenom,

cilj ovog rada formiran je upravo sa idejom integrisanja dronova u već postojeću saobraćajnu strukturu, kako bi se unapredili aktuelni sistemi upravljanja i ispitivanja saobraćajne signalizacije. Pored navedenog, u radu su prikazana dva algoritma sa setom definisanih koraka, čijom se realizacijom na jednostavan način mogu obaviti ispitivanja stanja vertikalne i horizontalne saobraćajne signalizacije.

Postojećom regulativom umnogome je ograničavana primena dronova, prevashodno kada je reč o noćnom letenju. Izmenama Pravilnika o bespilotnim vazduhoplovima omogućena je njihova upotreba i tokom noći, uz pribavljanje određenih dozvola. Na taj način pružena je značajna podrška njihovoj široj primeni, čime je prevaziđen navedeni problem. Značajno je napomenuti da je prilikom konkretnih istraživanja, potrebno uspostaviti adekvatan sistem obaveštavanja vozača, kako bi se predupredile negativne posledice po bezbednost saobraćaja.

Iako na tržištu postoji velika ponuda dronova različitih karakteristika, određeni nedostaci poput nosivosti ili vremenskog trajanja baterije, mogu predstavljati značajna ograničenja pri njihovoj implementaciji. Unapređenjem infrastrukture i njenih elemenata, poput integrisanja pametnih punjača sa elementima ulične rasvete, primenom inteligentnih sistema obaveštavanja korisnika i sl., stvara se potrebna podrška i osnova za bržu implementaciju dronova. Važno je naglasiti i problem ugrožavanja privatnosti. Iako je pomenuti problem karakterističan za gradska područja, značaj aktiviranja i uključivanja građana u proces donošenja odluka predstavlja važan korak pri sprovođenju daljih aktivnosti. Takođe, potreba formiranja transparentne i integrisane baze podataka o karakteristikama saobraćajne signalizacije, predstavlja ključnu aktivnost prilikom razvoja i unapređenja celokupnog saobraćajnog sistema. Uopšteno govoreći, iako je upotreba dronova u saobraćaju još uvek u fazi testiranja, njihovom primenom moguće je ostvariti značajne koristi, posebno ako se u obzir uzme mogućnost integracije sa ostalim podsistemima saobraćaja.

Autori ovog rada prikazali su jednu od potencijalnih uloga dronova u saobraćaju, čime je ukazano na dodatne mogućnosti za njihovu širu primenu. Upravo pomenuti aspekt integracije i aktivnije primene dronova, biće predmet budućih istraživanja.

LITERATURA

- [1] Bruin, A. De, & Booyen, M. J. (2015). Drone-Based Traffic Flow Estimation and Tracking Using Computer Vision. In *Research Gate* (pp. 869–878). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1024.6888>
- [2] Dà-Jiāng Innovations. (2019). *Inspire 2 Series*.
- [3] Forrester, M. B. (2019). Drone-related injuries treated at emergency departments. *American Journal of Emergency Medicine*, 37(11), 2116–2117. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2019.07.006>
- [4] Gharibi, M., Boutaba, R., & Waslander, S. L. (2016). Internet of Drones. *IEEE Access*, 4, 1148–1162. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2537208>
- [5] Institut za standardizaciju Srbije. Sistemi menadžmenta kvalitetom — Osnove i rečnik (2015).
- [6] International Standardization Organization (ISO). Quality management and quality assurance (1994).
- [7] James, D. (2020, April). 14 drones with the best flight times. *DronesGlobe*. Retrieved from <https://www.dronesglobe.com/guide>
- [8] Johnson, J. A., Svach, M. R., & Brown, L. H. (2019). Drone and Other Hobbyist Aircraft Injuries Seen in U.S. Emergency Departments, 2010–2017. *American Journal of Preventive Medicine*, 57(6), 826–829. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2019.06.023>
- [9] Lindley, J., & Coulton, P. (2015). Game of drones. *Australian Mining*, 109(10), 48–49. <https://doi.org/10.5305/amerjintelaw.109.4.0889>
- [10] RoadVista. (2018). Measure Across America Project. Retrieved from <http://www.roadvista.com/>
- [11] Rosenfeld, A. (2019). Are drivers ready for traffic enforcement drones? *Accident Analysis and Prevention*, 122(August 2018), 199–206. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.10.006>
- [12] Službeni Glasnik RS. Pravilnik o bespilotnim vazduhoplovima (2020).
- [13] Wingtra. (2019). Norwegian government saves time and money on road surveys with VTOL drone data [ROI study]. Retrieved from https://wingtra.com/case_studies/road-surveys-with-vtol-drone-data/
- [14] Zhang, H., Cao, C., Xu, L., & Gulliver, T. A. (2018). A UAV Detection Algorithm Based on an Artificial Neural Network. *IEEE Access*, 6(May), 24720–24728. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2831911>

BENEFITI IMPLEMENTACIJE IFC4.X ŠEME ZA PROJEKTE INFRASTRUKTURE

Tanja Plavec

¹ CGS Labs d.o.o. Brnčičeva ulica 13, 1000 Ljubljana Slovenija, tanja.plavec@cgs-labs.com

Leon Leban

² CGS Labs d.o.o. Brnčičeva ulica 13, 1000 Ljubljana Slovenija, leon.leban@cgs-labs.com

Matjaž Šajn

³ CGS Labs d.o.o. Brnčičeva ulica 13, 1000 Ljubljana Slovenija, matjaz.sajn@cgs-labs.com

Petar Dragić¹

⁴ CGS Labs doo Danila Kiša 8, 21000 Novi Sad Srbija, petar.dragic@cgs-labs.com

Rezime: Do danas u 2020. godini, većina softverskih rešenja za infrastrukturu još uvek zasnivaju svoju podršku IFC podataka na IFC2X3 šemi iz jula 2017. godine. Ova šema je pružala malu podršku infrastrukturnim objektima (putevi, tuneli, mostovi itd.). Primenom "Property Set" podataka i opisima (npr. definicije materijala) većina infrastrukturnih objekata bi se mogla definisati. Ali to se pokazalo izazovom prilikom razmene podataka između različitih softverskih alata. Mnogo truda je uloženo u postavljanju uniformnog imenovanja i strukture za svaki projekat, te na globalnom nivou nekompatibilnost podataka ostala je problem.

Najnoviji razvoj buildingSMART International u IFC4.2 šemu pruža osnovu za različite domene infrastrukture kao što su putevi, železnice, tuneli, mostovi i drugo. Među njima su i osovine i opisi profila. Međutim, IFC4.2 šema nudi mnogo više, jer podržava nelinearne infrastrukturne objekte i složene površine.

U ovom radu će biti predstavljena praktična primena mogućnosti uvoza i izvoza IFC4.2 u softverskim rešenjima za infrastrukturu koja pokrivaju složenu geometriju i putnu opremu.

U radu se najavljuju i IFC objekti koji su u fazi izrade u buildingSMART infrastrukturnom projektu u okviru IFC4.3 šeme i otkrivaju neke otvorene teme u razvoju novih proširenja šeme.

Ključne reči: IFC put, IFC4.2, IFC4.2 izvoz, IFC4.2 uvoz, IFC4.3

IFC4.X SCHEMA IMPLEMENTATION BENEFITS FOR INFRASTRUCTURE PROJECTS

Tanja Plavec

¹ CGS Labs d.o.o. Brnčičeva ulica 13, 1000 Ljubljana Slovenija, tanja.plavec@cgs-labs.com

Leon Leban

² CGS Labs d.o.o. Brnčičeva ulica 13, 1000 Ljubljana Slovenija, leon.leban@cgs-labs.com

Matjaž Šajn

³ CGS Labs d.o.o. Brnčičeva ulica 13, 1000 Ljubljana Slovenija, matjaz.sajn@cgs-labs.com

Petar Dragić

⁴ CGS Labs doo Danila Kiša 8, 21000 Novi Sad Srbija, petar.dragic@cgs-labs.com

Abstract: Up to today in the year of 2020 majority of infrastructure software solutions still base their IFC data support on IFC2x3 schema released back in July 2007. This schema provided little infrastructure objects (roads, rails, tunnels, bridges etc.) related support. Through applying Property Set data and descriptions (e.g. material definitions) majority of infrastructure objects could be defined. But this proved to be a challenge when exchanging data between various software tools. Lots of effort was put in setting uniform naming and structure per each project but on a global scale data incompatibility remained an issue.

Latest development by buildingSMART International in IFC4.2 schema is providing basis for various infrastructure domains as road, railway, tunnels, bridges and other. Alignment and profile description being among them. However, there is much more to IFC4.2 schema, as non-linear infrastructure objects and complex surfaces can be supported.

In this paper a practical implementation of IFC4.2 import and export capability in infrastructure software design solutions is presented covering complex road geometry and road furniture.

Paper announces also IFC entities which are under development at buildingSMART for Infrastructure project in coming IFC4.3 schema and exposes some open topics in development of new schema extensions.

Keywords: IFC Road, IFC4.2, IFC4.2 Export, IFC4.2 Import, IFC4.3

¹ Autor zadužen za korespondenciju: petar.dragic@cgs-labs.com

1. UVOD

Digitalizacija građevinske industrije postaje sve zanimljivija tema. Jasno je da je našoj industriji potrebna optimizacija putem digitalizacije, ali je pitanje kako to postići. BIM (Building Information Modeling) je jedan od odgovora a BIM se ne odnosi samo na 3D modelovanje. Postoje ogromne mogućnosti za optimizaciju u procesima saradnje i razmene podataka između različitih učesnika u projektu, kao i tokom celokupnog životnog ciklusa projekta.

OpenBIM igra važnu ulogu u ovoj temi. To je demokratski, otvoren pristup, gde svi učesnici mogu razmenjivati svoje informacije u otvorenom, neutralnom formatu. OpenBIM proširuje prednosti BIM-a poboljšavajući dostupnost, upotrebljivost, upravljanje i održivost digitalnih podataka u industriji građevinskih objekata. U osnovi, openBIM je kolaborativni proces koji je neutralan prema ponuđaču. OpenBIM procesi se mogu definisati kao deljive informacije o projektu koje podržavaju besprekornu saradnju za sve učesnike projekta. OpenBIM omogućava interoperabilnost u korist projekata i objekata tokom njihovog životnog ciklusa.

OpenBIM omogućava digitalne tokove zasnovane na neutralnim formatima kao što su IFC, BCF, COBie, CityGML, gbXML, itd. A pruža pristup digitalnim blizancima (digital twin) koji su osnova za dugoročnu strategiju podataka za održavanje objekta. To omogućava bolju održivost projekta i efikasnije upravljanje izgrađenim objektima.

BuildingSMART International je vodeća asocijacija u openBIM pristupu. Razvija openBIM standarde, koji su usvojeni od ISO i CEN organizacija za standardizaciju. U ovom članku ćemo se fokusirati na IFC standarde, koje je razvila buildingSMART International.

2. IFC (Industry Foundation Classes) FORMAT RAZMENE PODATAKA

IFC je standardizovani, digitalni zapis u industriji izgrađenih objekata. To je otvoreni, međunarodni standard (ISO 16739-1:2018) i promoviše mogućnosti koje su neutralne prema ponuđaču i upotrebljive, u širokom rasponu hardverskih uređaja, softverskih platformi i interfejsa za različite slučajeve upotrebe.

Danas se IFC obično koristi za razmenu informacija od jedne do druge strane za specifičnu poslovnu transakciju. Na primer, arhitekta može dostaviti vlasniku model novog dizajna objekta, vlasnik može taj model objekta poslati izvođaču da zatraži ponudu, a izvođač radova može vlasniku predati izgrađeni model sa detaljima koji opisuju instaliranu opremu i informacije o proizvođaču. IFC se takođe može koristiti kao sredstvo za arhiviranje informacija o projektu, bilo postepeno tokom faza projektovanja, nabavke i izgradnje, ili kao "izgrađena" zbirka informacija za dugoročno očuvanje i rad.

Ponuđači softverskih BIM alata – uključujući izradu modela, projektovanje, simulaciju i analizu, pregledanje i još mnogo toga – pružaju interfejs krajnim korisnicima da izvoze, uvoze i prenose podatke u određenom IFC formatu. Na korisnicima je da odluče šta žele da podele preko svojih alata putem IFC-a.

Od 1997. godine, IFC je isproban i testiran kroz mnoge iteracije, i stekao je poverenje širom sveta kao sredstvo za isporuku projekata na svetskom nivou. Do danas, u 2020. godini, većina softverskih rešenja za infrastrukturu i dalje zasniva svoju podršku za IFC podatke na IFC2x3 šemi objavljenoj u julu 2007. Ova šema je pružala malu podršku infrastrukturnim objektima (putevi, tuneli, mostovi itd.). Primenom "Property Set" podataka i opisima (npr. definicije materijala) većina infrastrukturnih objekata bi se mogla definisati. Ali to se pokazalo izazovom prilikom razmene podataka između različitih softverskih alata. Mnogo truda je uloženo u postavljanju uniformnog imenovanja i strukture za svaki projekat, ali na globalnom nivou nekompatibilnost podataka ostala je problem.

Najnoviji standard buildingSMART International dostupan je za IFC4.2 šemu.

3. IFC4.2 ŠEMA

IFC4 šema donela je neke velike promene u poređenju sa IFC2X3. Podržava objekte sa složenijom geometrijom, opise materijala i određene osnovne putne objekte.

IFC4.2 je poslednji potvrđeni implementirani standard šeme. Sa stanovišta geometrije to podržava:

- zakrivljene krive ("Nurb" krive, zakrivljene polukrive sa linearnim i kružnim segmentima luka),

- zakrivljene površine (cilindrična površina, "Nurb" površina, sferna površina, toroidna površina),
- solid objekti sa zakrivljenim površima (predstavljani u obliku naprednih "breds" sa naprednim površima).

Pored geometrijskih objekata i opisa materijala, uključuje i neke osnovne putne objekte:

- Prethodno podržane krive osovina su proširene sa prelaznicama, horizontalnim i vertikalnim elementima krivina,
- Sistem odvodnje predstavljaju novi objekti: otpadni terminali, segmenti cevi i elementi razvodnih delova,
- Osvetljenje, telekomunikacioni i elektro elementi predstavljani su novim objektima: distribucioni elementi komore, segmenti nosača kablova, senzori i članovi.

3.1. IFC4.2 Izvoz

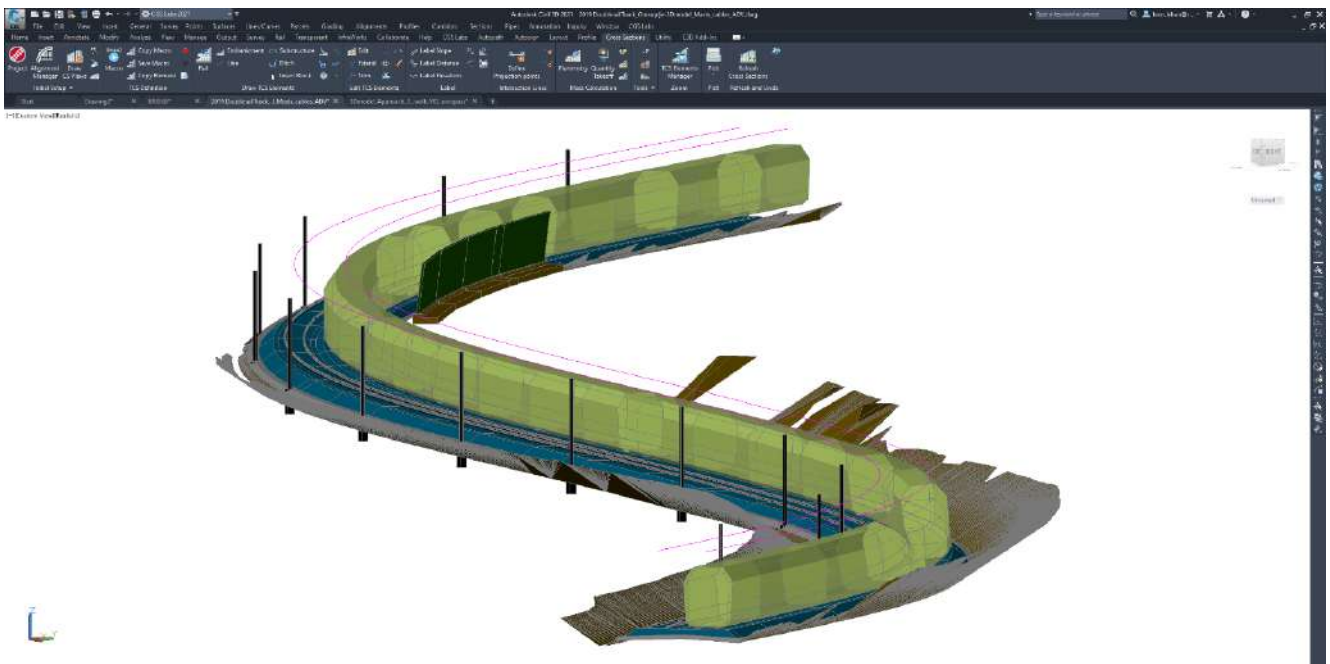
CGS Labs razvio je alat za izvoz projekta puta, projekta železnice ili projekta regulacije reka iz crteža u IFC4.2 datoteku. Alat podržava izvoz osnovnih i kompleksnih geometrijskih objekata:

- Tačke
- Krugovi, elipse, lukovi, linije, svi tipovi polilinja (Polyline, Polyline2D, Polyline3D)
- Površine, ravne površine, TIN površine (Civil),
- Solid objekti sa površima dobijenih od ravni, cilindričnih površina i "Nurb" površina,
- Blokovi,
- Svojstva objekata: prošireni podaci, materijal, boja i lejer.

Objekti su predstavljani pomoću proxy građevinskih elemenata i grupisani po materijalu.

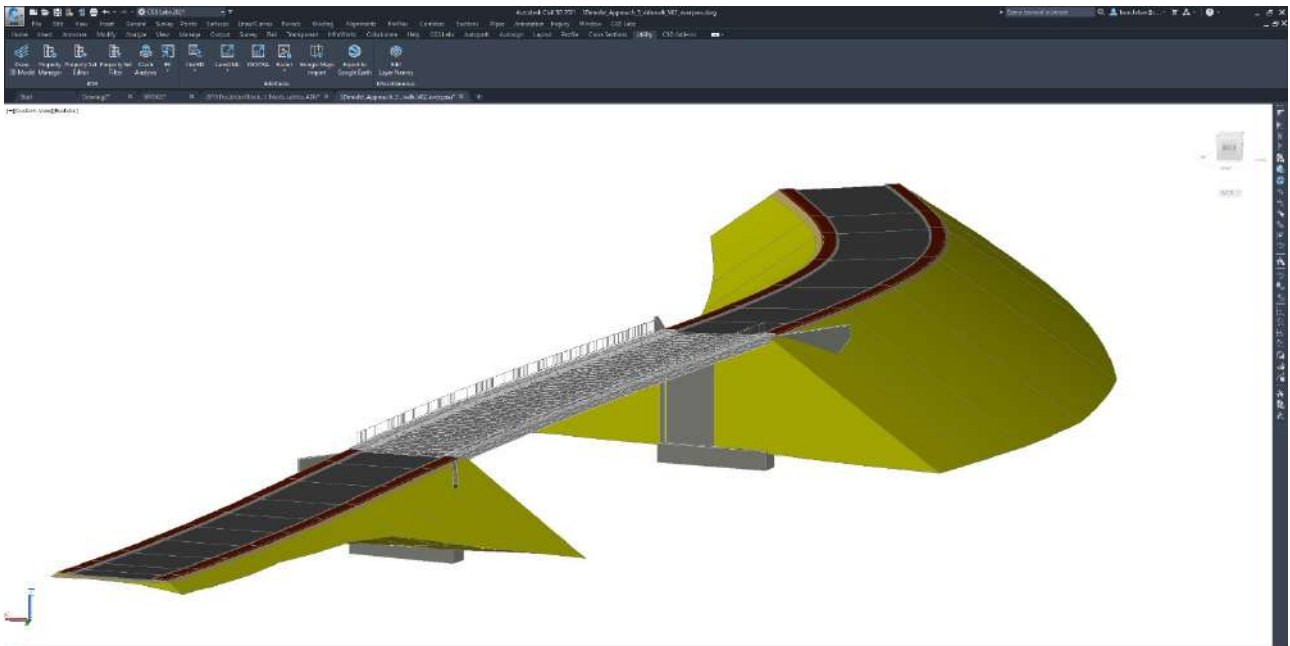
3.1.1. IFC4.2 Izvoz - primer (CGS Labs)

Primer 3D/BIM projekta železnice u CAD okruženju:



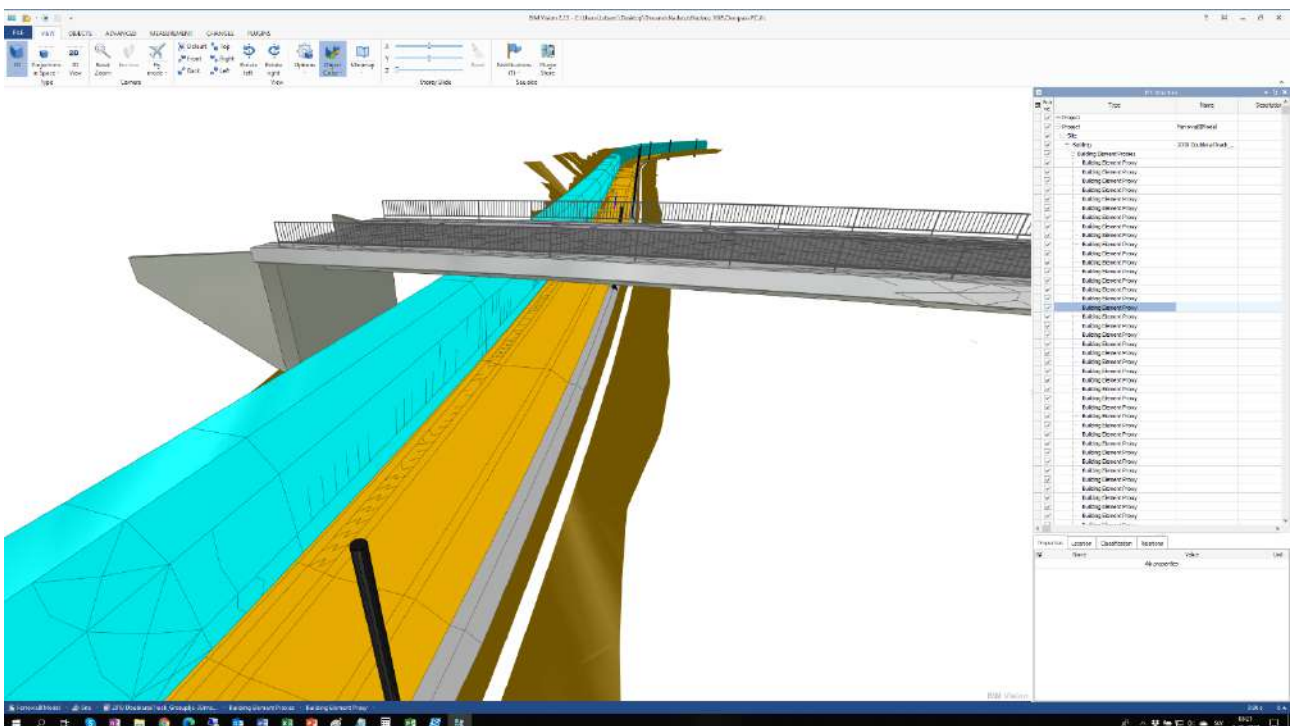
Slika 1. 3D dvotračna pruga projektovana u softveru Ferrovía sa dodanim BIM metapodacima (Property Set definicije): informacije o osovini, definicija materijala, stacioniranje, količine (zapremine)
Izvor: CGS Labs d.o.o.

Primer 3D/BIM putnog mosta u projektu veznog puta u CAD okruženju:



Slika 2. 3D most (nadvožnjak) projektovan u Revit-u i u Plateia-i uključujući BIM metapodatke (Property Set definicije): informacije o osovini, definicija materijala, stacioniranje, količine (zapremine)
Izvor: CGS Labs d.o.o.

Projekat izvezen u IFC4.2 šemi (BIM pregledač):



Slika 3. Primer uvoza podataka iz CAD okruženja, železnica i nadvožnjak/most izvezeni u IFC šemi za pregled u IFC pregledaču – primer federalnog modela (IFC datoteke mosta i železnice objedinjene)
Izvor: CGS Labs d.o.o.

3.2. IFC4.2 Uvoz

CGS Labs razvio je alat za uvoz IFC datoteke unutar crteža projekta. Alat podržava uvoz sledećih IFC elemenata:

- IfcCartesianPoint,
- IfcCircle, IfcEllipse, IfcIndexedPolyCurve, IfcPolyline,
- IfcTriangulatedFaceSet, IfcCurveBoundedPlane,
- IfcFacetedBrep,
- IfcAdvancedBrep (podržane površine za napredne površi: IfcPlane, IfcBSplineSurfaceWithKnots, IfcCylindricalSurface).

Alat podržava takođe i uvoz svojstava: boju, lejer i materijal.

IFC projektna datoteke se uvozi u AutoCAD crtež kao blok referenca. Lejeri su takođe dodati u projektnom crtežu:

- Ukoliko ime lejera već postoji u projektnom crtežu, objekat nasleđuje svojstva iz postojećeg lejera.
- Ukoliko ime lejera još uvek ne postoji u projektnom crtežu, novi lejer će se kreirati i dodati u lejere projektnog crteža.

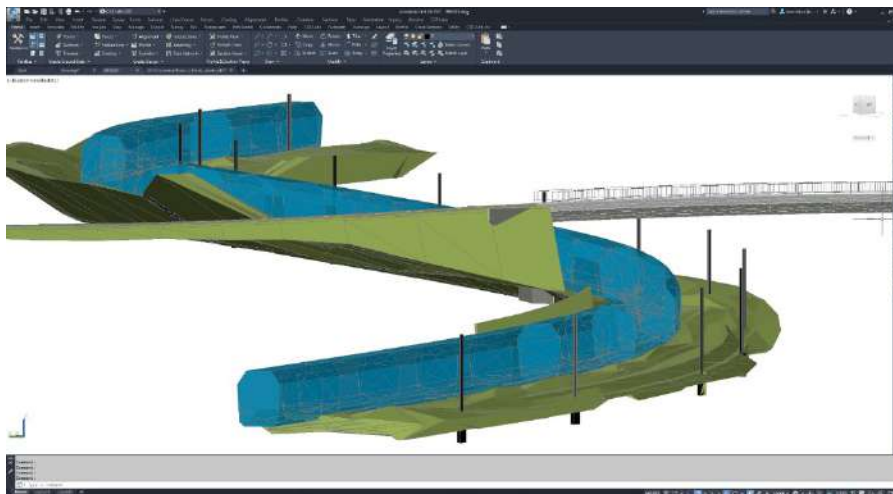
3.2.1. IFC4.2 Uvoz - primer (CGS Labs)

Primer strukture izvezenih IFC datoteka podataka:

```
ISO-10303-21;
HEADER;
FILE_DESCRIPTION(('ViewDefinition [DesignTransferView_V1]'),'2;1');
FILE_NAME(
/* Name */ 'D:\PROJECT\2019\2019 Grosuplje rail track BIM model\Masts_only.ifc',
/* time_stamp */ '2020-06-09T08:08:29',
/* author */ ('leban'),
/* organization */ ('Unknown'),
/* preprocessor_version */ 'GeometryGymIFC v0.0.21.0 by Geometry Gym Pty Ltd built 2020-06-08T10:12:34',
/* originating_system */ 'GeometryGymIFC v0.0.21.0',
/* authorization */ ('None'));
FILE_SCHEMA (('IFC4X2'));
ENDSEC;
DATA;
#1= IFCCARTESIANPOINT((0,0,0,0,0));
#2= IFCDIRECTION((1,0,0,0,0));
#3= IFCDIRECTION((0,0,1,0,0));
#4= IFCDIRECTION((0,0,0,1,0));
#5= IFCAxis2PLACEMENT3D(#1,#2,#3);
#6= IFCCARTESIANPOINT((0,0,0));
#7= IFCAxis2PLACEMENT2D(#6,#2);
#8= IFCSUNIT(*,LENGTHUNIT,*,M,*,METRE);
#9= IFCSUNIT(*,AREAUNIT,*,S,*,SQUARE METRE);
#10= IFCSUNIT(*,VOLUMEUNIT,*,S,*,CUBIC METRE);
#11= IFCCARTESIANPOINT((0,0,0,0,0));
```

Slika 4. Primer IFC 4.2 šeme koja uključuje geometriju koloseka i metapodatke
Izvor: CGS Labs d.o.o.

Federativna IFC datoteke uvezena u crtež projekta:



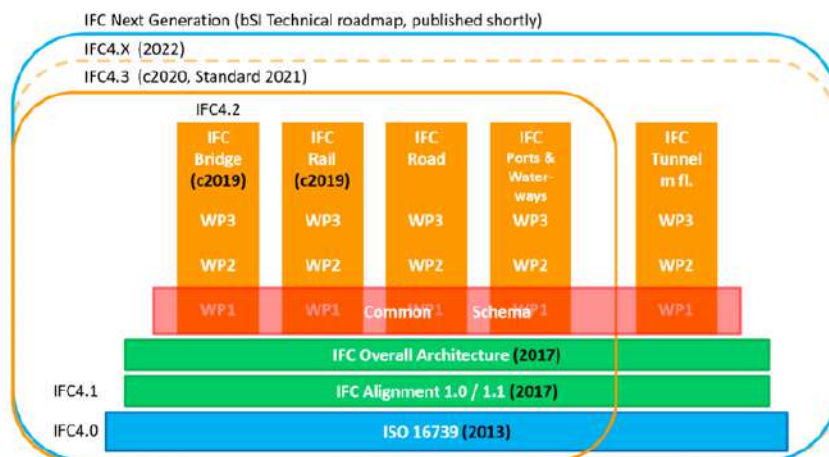
Slika 5. Federativni BIM model sastavljen iz brojnih IFC datoteka
(železnička pruga, stubovi, mostovi, nadvožnjak ...) u CAD crtežu
Izvor: CGS labs d.o.o.

Na primer, brojni IFC podaci (datoteke) koji se uvoze u CAD okruženje omogućavaju uključivanje drugih učesnika na projektu i unos ostalih elemenata u CAD crtež radi pregleda, reference i daljih mogućnosti projektovanja.

4. KANDIDAT ZA STANDARD IFC4.3

BuildingSMART International organizacija je u procesu potvrđivanja i implementacije novog standarda IFC4.3 šeme. Plan je da se implementira do 2021.

To će zatim uključiti nove elemente za projekte mostova, železnica, puteva, luka i brana. Što se tiče tunela, projekat je tek počeo i biće potvrđen i primenjen u sledećoj šemi standarda.



Slika 6. Implementacioni plan IFC4.X šeme
Izvor: www.buildingsmart.com



4.1. IFC4.3 novi objekti za projekte puteva

Nova šema IFC4.3 podržavaće dosta novih objekata i svojstava za projekte puteva:

- Geometrija i pozicija: `IfcSectionedSurface`, `IfcLinearSpanPlacement`, `IfcOpenCrossProfileDef`, `IfcRelAssociatesProfileDef`,
- Geografski elementi: `IfcPlant`, `IfcGeotechnicalElement`, `IfcGeotechnicalAssembly` (`IfcBorehole`, `IfcGeoslice`, `IfcGeomodel`), `IfcGeotechnicalStratum` (`IfcSolidStratum`, `IfcVoidStratum`, `IfcWaterStratum`),
- Prostorni elementi: `IfcRoad`,
- Fizički elementi:
 - Zemljani radovi: `IfcEarthworksCut`, `IfcEarthworksElement`, `IfcEarthworksFill`, `IfcReinforcedSoil`,
 - Elementi kolovoza: `IfcCourse`, `IfcPavement`,
 - Signalizacija: `IfcSign`.

4.2. Izazovi u razvoju proširenja IFC šeme

Tokom razvoja novog standarda IFC šeme, pojavili su se i određeni izazovi. Spomenimo samo neke od njih:

- Podrška za uvoz IFC datoteka generisanih od strane drugih proizvođača softvera
- Definicija objekta `IfcLinearPlacement` (orijentacija objekata duž ose):



Slika 7. Orijentacija objekata duž ose: rotirajući slobodno (levo) ili uvek normalno na osu (desno)
Izvor: www.depositphotos.com, www.holgermatthes.de

- Geometrija prelaznih krivi otvorena je za dalje rasprave i standardizaciju,
- Finansiranje razvoja šema.

Razvoj nove buildingSMART IFC šeme podržavaju razvojni inženjeri raznih internacionalnih proizvođača softvera, uključujući i CGS Labs, te je izazov još uvek da se obezbedi dovoljno ljudskih i finansijskih resursa za kontinuirani rad na ovom projektu.

5. ZAKLJUČAK

IFC (Industry Foundation Classes) format je jedan od ključnih formata za razmenu informacija u BIM procesima rada. IFC se neprestano razvija od strane buildingSMART International. Najnovije verzije 4.2 i predstojeća 4.3 uvode pojedina značajna poboljšanja u oblasti infrastrukturnih projekata, koja će nam omogućiti da efikasno delimo naše projekte između svih učesnika projekta.

Trenutno dostupna IFC4.2 šema, implementirana je u CGS Labs softveru (Plateia, Ferrovia, Aquaterra, Autosign) i podržava reprezentaciju geometrijskih elemenata ali i drugih entiteta u projektima puteva. A dolazeća IFC4.3 šema će uključiti i entitete za reprezentaciju dodatnih objekata u putnim projektima. Cilj je izbeći IfcBuildingElementProxy element iz IFC datoteka i zameniti ga sa "stvarnim" infrastrukturnim objektima.

Literatura

- [1] Šajn, M., Dragić P., (2019) BIM TECHNOLOGY AS AN ANSWER FOR EFFECTIVE DESIGN, CONSTRUCTION AND MAINTENANCE OF INFRASTRUCTURE. Skopje, First Macedonian road congress
- [2] 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.
- [3] Internet: buildingSMART International web pages: <https://www.buildingsmart.org/>

MLS I ALS TEHNOLOGIJA LASERSKOG SKENIRANJA – STUDIJA SLUČAJA BEOGRAD – JUŽNI JADRAN AUTOPUT

Vladimir Šušić¹, Spasoje Pavlović², Jovana Maksimović³, Toša Ninkov⁴, Zoran Sušić⁵

¹ GeoGIS Konsultanti, vladimir.susic@geogis.rs,

¹ GeoGIS Konsultanti, spasoje.pavlovic@geogis.rs,

³ Institut Jaroslav Černi, jovana.maksimovic@jcerni.rs

⁴ GeoGIS Konsultanti, ninkov.tosa@geogis.rs,

⁵ Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet Tehničkih Nauka, zsusic@uns.ac.rs,

Rezime: Lasersko skeniranje sa vazdušnih platformi (eng. Airborne Laser Scanning – ALS) i mobilno lasersko skeniranje (eng. Mobile Laser Scanning – MLS) predstavljaju revolucionarne tehnologije prikupljanja masovnih prostornih podataka, koji se na efikasan način mogu koristiti za potrebe projektovanja, upravljanja i procenom trenutnog stanja objekata saobraćajne infrastrukture. Obe tehnologije koriste senzore kao što su laserski skener, inercijalni navigacioni sistem, digitalne kamere visoke rezolucije i GNSS prijemnik. Savremeni senzori koji se danas koriste u praksi su portabilni i mogu se koristiti na različitim platformama snimanja. U radu će se predstaviti neki od projekata laserskog skeniranja terena kombinovanom metodom ALS i MLS za potrebe projektovanja pojedinih deonica autoputa Beograd – Južni Jadran.

Ključne reči: Lasersko skeniranje, saobraćajnice, geodetske podloge

MLS AND ALS LASER SCANNING TECHNOLOGY - CASE STUDY BELGRADE - SOUTH ADRIATIC HIGHWAY

Vladimir Šušić¹, Spasoje Pavlović², Jovana Maksimović³, Toša Ninkov⁴, Zoran Sušić⁵

¹ GeoGIS Consultants, vladimir.susic@geogis.rs,

¹ GeoGIS Consultants, spasoje.pavlovic@geogis.rs,

³ Institut Jaroslav Černi, jovana.maksimovic@jcerni.rs

⁴ GeoGIS Consultants, ninkov.tosa@geogis.rs,

⁵ University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, zsusic@uns.ac.rs,

Abstract: Airborne Laser Scanning (ALS) and Mobile Laser Scanning (MLS) are revolutionary mass spatial data acquisition technologies that can be effectively used to design, manage and evaluate current condition of traffic infrastructure facilities. Both technologies use sensors such as a laser scanner, an inertial navigation system, high resolution digital cameras and a GNSS receiver. The modern sensors used in practice today are portable and can be used on different recording platforms. The paper will present some of the projects of laser scanning of the terrain by the combined method of ALS and MLS for the purposes of designing individual sections of the Belgrade - South Adriatic highway.

Keywords: Laser scanning, roads, geodetic substrates

1. UVOD

Poslednjih godina sve više pažnje se posvećuje savremenim geodetskim metodama, koje, pored zadovoljavanja osnovnih zahteva tačnosti, pružaju mogućnost i znatno efikasnijeg prikupljanja masovnih prostornih podataka. LiDAR tehnologija (eng. Light Detection and Ranging), iako se prvi put pojavljuje još u krajem osamdesetih godina prošlog veka, svoj pun potencijal dostiže tek u prethodnoj deceniji, što je čini jednom od najzastupljenijih u ovom domenu. Upotreba visokopreciznih, detaljnih 3D prostornih podataka rasprostranjena je u mnogim inženjerskim disciplinama, poput uređenja i zaštite zemljišta, kontrole kvaliteta radova, nadzora i monitoringa procesa izgradnje, izrade 3D modela gradova, poljoprivrede, arheologije, šumarstva i rudarstva. Osim pomenutih namena, LiDAR se koristi i za praćenje fizičkih procesa u atmosferi jer omogućava veoma precizno merenje brzine, smeru kretanja i gustine čestica u atmosferi (Differential Absorption LIDAR - DIAL) [1].

¹ Vladimir Šušić: vladimir.susic@geogis.rs

Jedna od oblasti primene LiDAR-a koja je u ekspanziji je i lasersko snimanje elemenata saobraćajne infrastrukture, najčešće u cilju njihovog planiranja, izgradnje i održavanja, ali neretko i drugim domenima transporta. Projekti zaštite od buke, trodimenzionalno lasersko mapiranje u slučajevima ekspertiza saobraćajnih nezgoda, sistemi za kontrolu rastojanja između vozila (eng. Adaptive Cruise Control - ACC), kao i za neželjeno napuštanje saobraćajne trake (eng. Lane Departure Warning system – LDW) samo su neki od ostalih primera korišćenja tehnologija zasnovanih na laserskim senzorima [2]. U ovom radu biće dat prikaz upotrebe različitih tipova laserskog skeniranja u projektima izgradnje, održavanja i procene stanja objekata saobraćajne infrastrukture.

2. KONCEPTI TEHNOLOGIJE LASERSKOG SKENIRANJA

LiDAR tehnologija predstavlja savremen sistem laserskog snimanja područja velikih površina u cilju prikupljanja prostornih informacija. Sistem se sastoji od četiri osnovne komponente za prikupljanje podataka i orijentaciju laserskih zraka: lasera, jedinice inercijalnog navigacionog sistema (eng. Inertial Navigation Systems – INS) koja uključuje inercijalnu mernu jedinicu (eng. Inertial Measurement Unit – IMU) za korigovanje orijentacije mobilne platforme, GNSS-a (eng. Global Navigation Satellite System) i računarske jedinice za skladištenje podataka.

Laser predstavlja instrument koji se koristi za precizno merenje rastojanja do objekata. Njegove osnovne komponente su: optika, fotodetektor i elektronika. Kada je reč o njihovoj primeni u geodeziji, koriste se dve metodologije laserskih merenja: TOF (eng. Time Puls Method) i MFPC (eng. Multiple-Frequency Phase Comparison) metoda [3]. Kod prve metode rastojanje se određuje na osnovu proteklog vremena između trenutka emitovanja kratkog, ali izuzetno intenzivnog pulsa lasera, i njegovog povratka do emitera nakon refleksije od objekta snimanja. U drugom slučaju, laser emituje kontinuirani zrak laserskog zračenja umesto kratkog pulsa, te se kod MFPC metode, vrednost dužine izvodi se upoređivanjem emitovane i primljene verzije sinusnog talasa emitovanog zraka i merenjem fazne razlike između njih [4]. Inercijalni navigacioni sistem namenjen je određivanju parametara navigacije objekta u prostoru i sastoji se od najmanje tri akcelerometra, tri žiroskopa i kompjuterske jedinice. Koncept inercijalnog navigacionog principa baziran je na merenju ubrzanja u translacionom kretanju duž osa i ugaonih brzina rotacije oko osa. Njegova prednost ogleda se u tome što, kada je uređaj jednom inicijalizovan, ne zahteva spoljne resurse za određivanje pozicije, orijentacije ili brzine. To ga čini rezistentnim na ometanje i zbog toga ima ogromnu primenu u vojnoj industriji, navigaciji, premeru i mnogim drugim oblastima [5]. Globalni navigacioni satelitski sistemi omogućavaju autonomno geoprostorno pozicioniranje sa globalnom pokrivenošću. Određivanje položaja tačaka na Zemlji GNSS-om bazira se na merenju rastojanja (pseudodužina) do satelita i primeni trilateracije. Većina savremenih LiDAR sistema, pored već navedenih komponenti, integrišu i RGB (Red-Green-Blue) ili NIR (Near Infra Red) kamere visoke rezolucije koje omogućavaju izradu kvalitetnih ortofoto planova rezolucije i do 2cm, u zavisnosti od visine preleta [6].

Princip rada bazira se na emitovanju laserskih infracrvenih zraka prema površini snimanja i merenju vremena refleksije do senzora. Poznavanjem ovog vremenskog intervala, kao i pozicije i orijentacije senzora, omogućava se dobijanje trodimenzionalnih koordinata tačaka na površini snimanja, na osnovu kojih se formira digitalni model terena. Unutar laserskog transmitera smešteno je ogledalo, koje se prilikom snimanja pomera, rotirajući se upravno na pravac letenja čime se obezbeđuje merenje u širem pojasu. Apsolutna pozicija senzora se determiniše upotrebom GNSS-a, pomoću faznih merenja u režimu relativne kinematike, a pozicije između dobijaju se predikcijom, korišćenjem INS-a. Emitovani laserski zrak može imati višestruku refleksiju signala (multibeam LiDAR), što prouzrokuje da određena tačka ima iste 2D koordinate, ali različitu visinu [4]. Uobičajeno je da prva refleksija potiče od vegetacije, ivica objekta, vode ili sličnog, dok se poslednja odnosi na samu površ terena ili veštačkih objekata. Zahvaljujući tome što je svako merenje zasebno georeferencirano, LiDAR metodologija prevazilazi probleme aerotriangulacije i ortorektifikacije [4].

U zavisnosti od načina snimanja, razlikuju se terestričko i vazdušno lasersko prikupljanje podataka. Podela se može izvršiti i na statičke i mobilne sisteme merenja. Kod statičkih sistema, snimanje se vrši laserskim skenerima postavljenim na stacionarne geodetske stativne. Ovakav način snimanja pruža zadovoljavajuće rezultate kod objekata i područja manjeg i srednjeg obuhvata. Jedna od glavnih prednosti stacionarnog laserskog skeniranja je mogućnost beskontaktnog prikupljanja podataka na teško dostupnim i opasnim mestima. Na slici 1 prikazan je Riegl VZ-400i je 3D terestrički laserski skener koji kombinuje sistem obrade, povezanost sa internetom i paket MEMS (eng.. Microelectromechanical systems) senzora sa tehnologijom laserskog skeniranja. Sa integrisanim žiroskopom, akcelerometrom, kompasom i barometrom, i brzinom ponavljanja pulsog signala od 1200kHz može se koristiti u gotovo bilo kom okruženju i orijentaciji.



Slika 1. Terestrički laserski skener Riegl VZ-400i
(Izvor: GeoGIS Konsultanti, Beograd)

Medjutim, kada je reč o snimanju terena na dužim deonicama, veću primenu imaju mobilni sistemi koji se ugrađuju na vozila kopnenog transporta (drumska, železnička ili plovna sredstva) ili na vazdušnu platformu [7]. Iako je u oba slučaja u pitanju mobilno LiDAR skeniranje, prvi se najčešće označava kao mobilno lasersko skeniranje (eng. Mobile Laser Scanning- MLS), dok se za drugi koristi termin vazdušno lasersko skeniranje (eng. Airborne Laser Scanning - ALS).

2.1. Vazdušno mobilno skeniranje - ALS

Vazdušno LiDAR skeniranje ili ALS koristi vazdušnu pokretnu platformu (avion, helikopter ili bespilotnu letelicu) koja se kreće prema zadatom planu leta na unapred utvrđenoj visini, odgovarajućom brzinom. Mobilno lasersko skeniranje sa vazdušne platforme (Slika 2) predstavlja najefikasniju tehnologiju masovnog prikupljanja prostornih podataka na velikim površinama. Posедуje identične komponente kao kao i svaki LiDAR sistem: GNSS jedinicu, laserski skener, kameru, IMU/INS jedinicu i kontrolnu jedinicu koja kontroliše rad celokupnog sistema.

Kod ALS-a se uglavnom koriste laserki skeneri sa TOF metodom merenja koji mere dužine i do nekoliko stotina metara. Razlog za to je činjenica da se letelice nalaze na visini od 200m – 300m, pa do maksimalnih 5000m. Frekvencije emitovanja laserskog pulsa kreću se između 50 000 Hz i 200 000 Hz, u zavisnosti od visine leta, područja snimanja, ali i od zahtevane horizontalne i vertikalne tačnosti prostornih podataka. U skladu sa načinom primene ALS sistema koriste se laseri sledećih talasnih dužina:

- 1500nm - 2000nm kod nadgledanja bezbednosti vazdušnog saobraćaja, monitoringa i predikciju vetra u urbanim sredinama, (Dopler Lidar),
- 1040nm - 1060nm za potrebe topografskog mapiranja,
- 500nm - 600nm kod batimetrijskog snimanja,
- 250nm za meteorološka snimanja. [8].

Za svaki ALS projekat, plan leta se definiše u odgovarajućem softveru, sa koga se kasnije učitava na uređaje koji se nalaze na vazdušnoj mobilnoj platformi. Snimanje terena se vrši u formi paralelnih traka sa međusobnim preklapanjem. Ukoliko se radi o relativno ravnom terenu, preklapanje iznosi do 30%, dok se u slučajevima strmog i nepristupačnog terena taj procenat povećava i do 50%. Urbane delove terene potrebno je snimati sa više preleta preko istih lokacija, i to pod različitim uglovima da bi se dobila kompletna predstava prostora i izbegle senke ili zaklanjanje objekata. Imajući u vidu ograničenje laserskih zraka koji ne mogu da proći kroz oblake, snimanje se obavlja pri odgovarajućim vremenskim uslovima, a često i noću.



Slika 2. Vazдушna platforma za lasersko skeniranje (helikopter) sa laserskim skenerom skener Riegl VUX-240
(Izvor: GeoGIS Konsultanti, Beograd)

Relativna tačnost modela, koja obuhvata i greške GPS-a i inercijalnog sistema, obično iznosi 5-7 cm. Vrednost apsolutne greške je iznosi manje od 15cm i može se značajno umanjiti korišćenjem kontrolnih tačaka na zemlji [9]. Bolju prostornu rezoluciju moguće je postići preletom na nižim visinama, sporijom brzinom leta, kao i manjim uglom skeniranja terena. Pored svih pomenutih prednosti vazdušnog laserskog skeniranja, ova metoda nekada ima i određene nedostatke, koje se mogu prevazići šrimenom savremenih senzora kao što je Riegl VUX-240, koji može generisati i do 1.500.000 tačaka u sekundi, što pomaže u cilju produkciju visoko kvalitetnog 3D modela terena koji verno reprezentuje površ terena.

2.2. Mobilno lasersko skeniranje - MLS

Prvi sistem mobilnog laserskog skeniranja razvijen je 2003. godine na Kartografskom Institutu Katalonije u Barseloni pod nazivom "GEOVAN SYSTEM" [10]. Za razliku od današnjih, početna platforma je bila znatno većih dimenzija, a umesto laserskog skenera koristila je kamere za stereoskopska opažanja. Savremeni sistemi su mnogo kompaktniji, ne zauzimaju puno mesta i veoma lako se montiraju na sve tipove platformi. Ovaj metod predstavlja idealno rešenje za premer velikih područja, kada nije praktično koristiti terestričke stacionarne laserske skenera, a zahteva veću preciznost i rezoluciju skeniranja nego što se može dobiti vazdušnim laserskim skeniranjem [11]. Upotrebljava se najčešće prilikom snimanja gradova, obalskih linija, industrijskih postrojenja, vodova, autoputeva, železničkih pruga, tunela i ostalih objekata saobraćajne infrastrukture, ali i kada je potrebno detlino skeniranje fasada objekata. Savremeni MLS mogu zabeležiti čak i do 50.000-1.500.000 tačaka u sekundi. Vertikalna i horizontalna tačnost podataka dostižu vrednost od nekoliko centimetara, a zavise od brzine kretanja vozila i frekvencije emitovanja laserskog zraka.

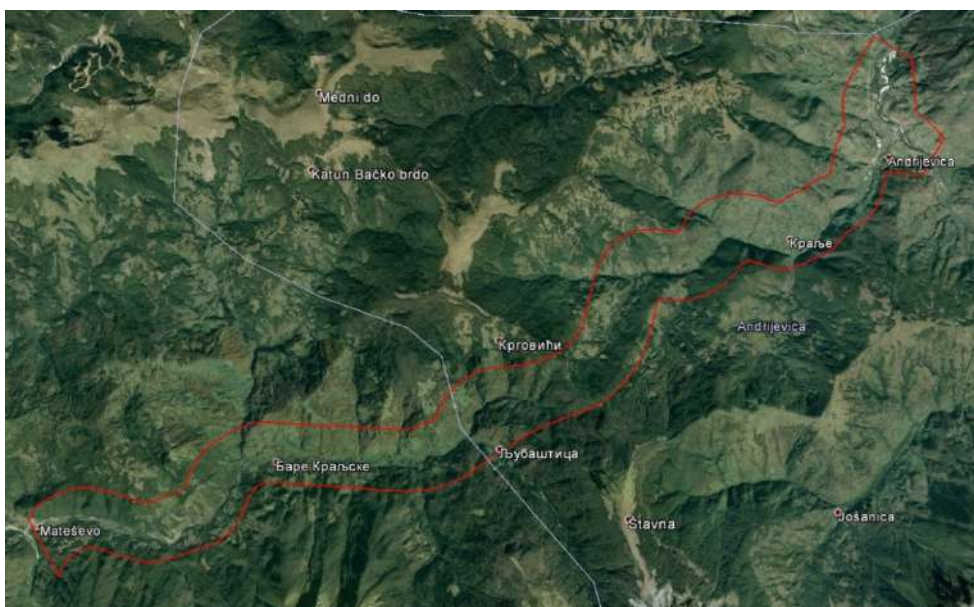
MLS, kao i vazдушna platforma za terestričko lasersko skeniranje, sadrži već pomenute komponente. Sistem koristi laserski skener sa pulsnom metodom merenja, a sama konstrukcija laserskog skenera se može razlikovati. Neki sadrže rotirajuće ogledalo, što omogućava snimanje vertikalnih profila dok se laserski skener vrti oko vertikalne ose, dok se kod nekih se skener rotira oko horizontalne ose. Najčešće korišćeni tipovi IMU jedinica kod mobilnog terestrickog skeniranja su mikro-elektromehanički sistemi (MEMS), žiroskopi sa optičkim vlaknima (eng. Fiber-Optic Gyroscope - FOG) i žiroskopi sa laserskim prstenjem (eng. Laser Ring Gyroscope - LRG) [12]. Glavni nedostatak ove metode je činjenica da njena tačnost visoko zavisi od performansi pozicioniranja vozila. Ovo je naročito izraženo u urbanim sredinama, gde velike i visoke

betonske zgrade, metalni predmeti i drugi radio talasi mogu blokirati GNSS signal ili prouzrokovati da se signal reflektuje. Ubrzanje vozila takodje izaziva jake vibracije koje utiču na smanjenje tačnosti IMU-a [13].

U projektima vezanim za saobraćajnu infrastrukturu obe metode mobilnog laserskog skeniranja jednako su zastupljene i svaka poseduje svoje prednosti u primeni. ALS-om se može obuhvatiti širi pojas snimanja, za razliku od MLS-a, koji je ograničen na snimak oblasti koja je vidljiva sa koridora. Sa druge strane, iako oba sistema daju preciznu visinsku predstavu terena, MLS-om se dobija tačnije horizontalno pozicioniranje snimljenih tačaka. MLS-om se postiže i veća gustina oblaka snimljenih tačaka, ali je ona neravnomerna zbog udaljavanja od trajektorije skenera [14]. Iz ovih razloga, do najboljih rezultata se dolazi u slučajevima kada se ALS i MLS dopunjavaju i međusobno koriste za poboljšanje kvaliteta podataka. Na taj način se dobija kombinovani oblak tačaka sa visokom tačnošću pozicije, visokim nivoom detalja i potpunim pokrivanjem.

3. KOMBINOVANA METODA MOBILNOG LASERSKOG SNIMANJA NA PRIMERU DEONICE AUTOPUTA „BEOGRAD – JUŽNI JADRAN”

Autoput Beograd – Južni Jadran predstavlja direktnu vezu između Srbije i Crne Gore, a u širem kontekstu planirano je da spaja Rumuniju, Srbiju, Crnu Goru i Italiju. Predviđena dužina autoputa od Beograda do Crne Gore iznosi 270km. Deonica ovog autoputa u dužini od 22.5 km koja je predmet topografskog snimanja za potrebe izrade geodetskih podloga za projektovanje nalazi se lokaciji Andrijevica – Mateševo. Širina snimljenog pojasa iznosi oko 1.5 km, a sama trasa prikazana je Slikom 3.



Slika 3. Deonica snimanja „Andrijevica – Mateševo“
(Izvor: GeoGIS Konsultanti, Beograd)

Nakon početne faze geodetskih radova koja podrazumeva obilazak lokacije, rekognosciranje terena, identifikaciju tačaka postojeće geodetske mreže na osnovu koje se računaju transformacioni parametri, kao i kontrolisanje je postupaka transformacij, pristupljeno je snimanju kombinacijom MLS i ALS metode. Senzori korišćeni za izvođenje ovog projekta jesu GNSS prijemnik, laserski skener *Riegl VUX-1* i inercijalni navigacioni sistem. Laserski skener *Riegl VUX-1* (Slike 4 i 5) obezbeđuje tačnost od 10mm, dok je tačnost prostornih koordinata definisana tačnošću koju obezbeđuje mreža aktivnih permanentnih stanica ili mreža koja je uspostavljena u neposrednoj okolini radilišta, kao podrška realizaciji snimanja tehnologijom laserskog skeniranja. Laserski skener *Riegl VUX-1*, osim što je zbog svojih dimenzija zahvalan za integrisanje i montiranje na različite mobilne platforme, takodje je veoma lagan (3,5 kg), te se može koristiti čak i u slučajevima kada postoje ograničenja u vidu težine i prostora. Omogućava brzinu skeniranja do 200 skenova u sekundi, a dodatnu prednost predstavlja i to što ne zahteva više od jednog izvora napajanja. Prikupljeni podaci se pohranjuju na internom hard disku veličine 240 GB, pri čemu je obezbeđen LAN-TCP/IP interfejs. Kalibracija senzora pre početka snimanja izvršena je prema protokolu „Aviation standard ARINC 705” [15].



Slika 4. Mobilni sistem za skeniranje MLS Riegl VUX-1
(Izvor: GeoGIS Konsultanti, Beograd)

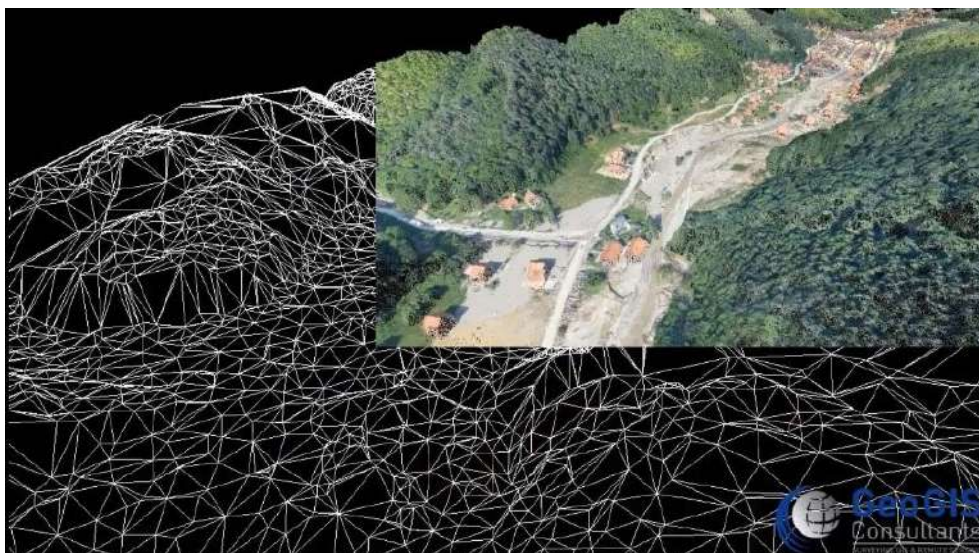
Još jedan od izuzetno praktičnih sezora jeste laserski skener Riegl VUX-240 (Slika 2), koji je posebno dizajniran za upotrebu na UAS/UAV/RPAS i malim letelicama. Ovaj skener koristi jedinstvenu Waveform-LiDAR tehnologiju koja omogućava eho-digitalizaciju i online obradu signala. Sa svojim širokim vidnim poljem od 75° i izrazito velikom brzinom prikupljanja podataka i do 1.500.000 tačaka u sekundi, ovaj instrument je naročito pogodan za korišćenje prilikom snimanja koridora. Skener sadrži internu memoriju kapaciteta 1 TB, WLAN koji omogućava direktan pristup laserskom skeneru za promenu konfiguracionih postavki i proveru statusa sistema, a tačnost koja se njime može postići iznosi 20mm.



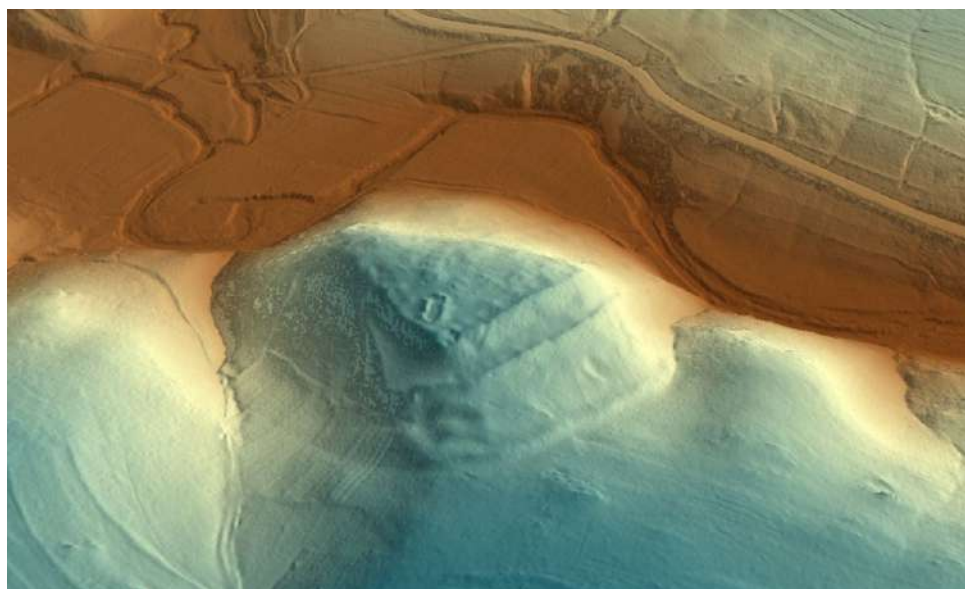
Slika 5. Mobilna vazдушna platforma (avion) sa laserskim skenerom Riegl VUX -1
(Izvor: GeoGIS Konsultanti, Beograd)

Skeniranje predmetne deonice LIDAR tehnologijom je izvršeno u dve iteracije. Prva epoha realizovana je tehnologijom mobilnog laserskog skeniranja iz automobila (Slika 4). Druga epoha laserskog skeniranja je realizovana sa vazdušne platforme (Slika 5). Prostorni podaci dobijeni laserskim skeniranjem iz aviona odnose se na sve veštačke i prirodne prostorne forme u neposrednom okruženju predmetnog radilišta

(pristupni putevi, teren), dok su laserskim skeniranjem sa automobila prikupljeni svi elementi postojeće saobraćajne infrastrukture (potporni zidovi, kolovoz, saobraćajna signalizacija, odbojne ograde, objekti, teren). Kombinovanjem ove dve metode dobijen je kompletan sadržaj koji čini sastavni deo topografskog plana. Svi podaci prikupljeni tehnologijom laserskog skeniranja izraženi su stotinama miliona tačaka koje pored prostornih podataka, imaju informacije i o boji i refleksiji terena (RGBI). Oblak snimljenih tačaka procesiran je u programskim okruženjima paketa *MicroSurvey Cad Studio 2016*, *TerraSolid*, kao i u specijalizovanom softveru u okviru *Riegl* sistema. Kao proizvod obrade 3D tačaka i linija, dobijen je digitalni model terena prikazan na Slici 7, kao i topografski plan u razmeri 1:1000. Za generisanje digitalnog modela terena korišćena je TIN metoda (Slika 6). Svi prikupljeni podaci prezentovani u formi oblaka tačaka (Slika 8) predstavljaju značajnu digitalnu arhivu koja obuhvata sve informacije neophodne za postupak projektovanja ili eventualne sanacije objekata saobraćajne infrastrukture.



Slika 6. Generisanje digitalnog modela terena
(Izvor: GeoGIS Konsultanti, Beograd)



Slika 7. Digitalni model terena na osnovu filtriranih i obrađenih oblaka tačaka
(Izvor: GeoGIS Konsultanti, Beograd)



Slika 8. Oblak tačaka elemenata saobraćajne infrastrukture
(Izvor: GeoGIS Konsultanti, Beograd)

4. ZAKLJUČAK

Uzimajući u obzir kvalitet, efikasnost i ekonomičnost prikupljanja podataka, LiDAR sistemi opravdavaju svoju sve veću zastupljenost u kreiranju ažurnih i detaljnih geodetskih podloga za sve vrste inženjerskih projekata. Uporedo sa svakodnevnim usavršavanjem i porastom tehnoloških mogućnosti, razvija se i uloga geodezije, kao i njen značaj u multidisciplinarnim i kompleksnim projektima. Zahvaljujući integraciji više vrsta senzora, danas je više nego ikada moguće zadovoljiti uslove prikupljanja prostornih informacija u najrazličitije svrhe i za specifične grane primene. U ovom radu poseban osvrt dat je na principe mobilnog laserskog snimanja i implementaciju ove tehnologije u saobraćaju i transportu. Skup podataka u formi georeferenciranih oblaka tačaka prikupljenih ovim metodama pogodan je za konstruisanje podužnih i poprečnih profila, digitalnih modela površina i terena, 3D modela objekata ili gradova, ali i mnogih drugih geoprostornih proizvoda, zavisno od potreba korisnika. Na primeru deonice Autoputa „Beograd – Južni Jadran” pokazana je kompatibilnost tehnologija mobilnog laserskog premera sa zemlje i vazduha i prednosti kombinovanja ove dve metode. Iako svaka od njih zasebno pruža visok stepen kvaliteta podataka, za optimalne rezultate neophodna je njihova objedinjena upotreba. U skladu sa današnjim zahtevima tržišta, može se zaključiti da je integracija ova dva izvora postala je neizbežna.

Zahvale

Materijal korišćen za pisanje ovog rada predstavlja rezultat realizovanih projekata kompanije GeoGIS Konsultanti d.o.o. iz Beograda.

Literatura

- [1] Ismail, S.; Browell, E. V. 2015. *Encyclopedia of Atmospheric Sciences (Second Edition)*, edited by Gerald R. North, John Pyle, and Fuqing Zhang. Academic Press, Oxford, UK. 2998 p.
- [2] Brenner, C. (2009). Extraction of Features from Mobile Laser Scanning Data for Future Driver Assistance Systems. *Advances in GIScience*, 25–42.
- [3] Shan, J.(ed); Toth, C.(ed) 2018. *Topographic Laser Ranging and Scanning*. CRC Press, Boca Raton, USA. 654 p.
- [4] Vasić, D. 2018. *Model geodetskog premera savremenim akvizicionim tehnologijama*, Doktorska teza, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad Forestry Commission, RS. 207 p.
- [5] Maksimović, J., Sušić, Z., Batilović, M., Đurović, R., Ninkov, T. (2018). High precision geodetic works in the tunnel breakthrough process. *INDiS 2018*. 491-497.
- [6] Ninkov, T., Bulatović, V., Sušić, Z. 2008. Primena laserskog skeniranja kod projektovanja linijskih struktura i objekata. Drugi internacionalni naučno-stručni skup Građevinarstvo, Nauka, Praksa. Žabljak, Crna Gora.

- [7] Chang, J. C., Tsai, M. K., Findley, D. J., & Cunningham, C. M. (2012). Infrastructure investment protection with LiDAR (No. FHWA/NC/2012-15).
- [8] Diaz J.C.F.; Carter W.E.; Shrestha R.L.; Glennie C.L. 2017. LiDAR Remote Sensing. In: Pelton J., Madry S., Camacho-Lara S. (eds) *Handbook of Satellite Applications*. Springer, Cham, pp 929-980.
- [9] Vasić, D., Ninkov, T., Bulatović, V., Sušić, Z. (2011). Development of 3d topographic layouts for the Design of rain sewerage for the city of Damatur in Nigeria. International scientific conference and XXIV meeting of Serbian surveyors: Professional practice and education in geodesy and related fields. Kladovo, Srbija.
- [10] Talaya, J., Bosch, E., Alamus, R., Serra, A., Baron, A. (2004). Geomobil: the Mobile Mapping System from the ICC, 4th International Symposium on Mobile Mapping Technology (MMT'2004). Kunming, China.
- [11] Petković, M., Ninkov, T., Bulatović, V., Sabadoš, I., Lazić, J. (2016). Application of mobile laser scanning technologies in making built projects of buildings and industrial facilities, Geodetska služba 122, Republički geodetski zavod, Beograd, pp 30-36.
- [12] Tao, C.V. 2000. Mobile mapping technology for road network data acquisition. J. Geospat. Eng. , 2, 1-14.
- [13] Peng, H., Zhi, X., Wang, R., Liu, J. Y., Zhang, C. 2014. A new dynamic calibration method for IMU deterministic errors of the INS on the Hypersonic Cruise Vehicles. Aerospace Science and Technology, 32(1): 121-130.
- [14] Williams, K., Olsen, M. J., Roe, G. V., Glennie, C. 2013. Synthesis of transportation applications of mobile LiDAR. Remote Sensing, 5(9): 4652-4692.
- [15] Airlines Electronic Engineering Committee (1982). *ARINC Characteristic 705 - Attitude and Heading Reference System*. Aeronautical Radio INC., Annapolis, Maryland, USA.

MLS TEHNOLOGIJA LASERSKOG SKENIRANJA – PRIMER SNIMANJE SAOBRAĆAJNE INFRASTRUKTURE U KATARU

Vladimir Šušić¹, Spasoje Pavlović², Toša Ninkov³, Zoran Sušić⁴

¹ GeoGIS Konsultanti, vladimir.susic@geogis.rs,

² GeoGIS Konsultanti, spasoje.pavlovic@geogis.rs,

³ GeoGIS Konsultanti, ninkov.tosa@geogis.rs,

⁴ Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet Tehničkih Nauka, zsusic@uns.ac.rs,

Rezime: Tehnika Mobilnog Laserskog Skeniranja (eng. Mobile Laser Scanning – MLS) privukla je značajnu pažnju za prikupljanje podataka visoke rezolucije i gustine 3D georeferenciranog oblaka tačakaza snimanje saobraćajne infrastrukture. Preciznost, tačnost i gustina snimljenih tačaka bez premca čini je idealnom za snimanje i dokumentovanje saobraćajne infrastrukture. Centimetarska rezolucija koju nude ovi senzori često zahtevaju projektanti koji imaju za cilj visoku preciznost pri snimanju putne infrastrukture. MLS tehnologija se efikasno koristi za potrebe kako projektovanja, tako i upravljanja i procenom trenutnog stanja objekata saobraćajne infrastrukture. Savremeni senzori koji se danas koriste u praksi su portabilni i mogu se koristiti na različitim platformama snimanja. U radu će se predstaviti mapiranje svih entiteta i atributa koridora 1200km saobraćajnica u Kataru. Obradom podataka generisane su topografske podloge u razmeri 1:500 kao osnove za izradu projekata rekonstrukcije saobraćajnica. Iz podataka topografskih podloga izvršeno je formiranje veoma kompleksne GIS baze podataka entiteta saobraćajnica unutar koridora, horizontalne i vertikalne saobraćajne signalizacije, mobilijara i ostalih entiteta čije održavanje sprovodi naručilac projekta. Kompletan projekat je realizovan u ugovorenim rokovima od 12 meseci.

Ključne reči: Mobilno Lasersko Skeniranje, Saobraćajnice, Topografske Podloge, GIS baza podataka

MLS LASER SCANNING TECHNOLOGY – CASE STUDY SURVEYING TRAFFIC INFRASTRUCTURE IN QATAR

Vladimir Šušić¹, Spasoje Pavlović², Toša Ninkov³, Zoran Sušić⁴

¹ GeoGIS Consultants, vladimir.susic@geogis.rs,

² GeoGIS Consultants, spasoje.pavlovic@geogis.rs,

³ GeoGIS Consultants, ninkov.tosa@geogis.rs,

⁴ University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, zsusic@uns.ac.rs,

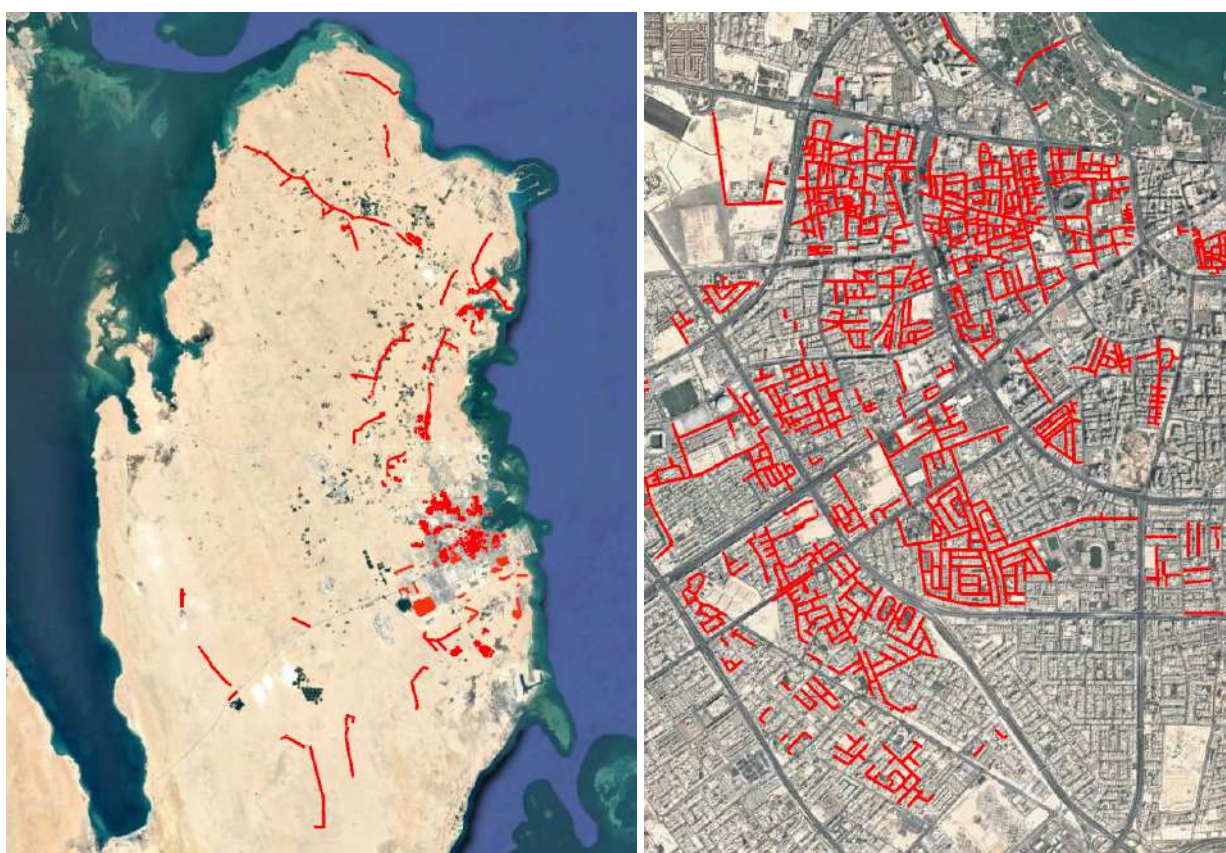
Abstract: The Mobile Laser Scanning (MLS) technique has attracted considerable attention for providing high-density, high-accuracy, unstructured, three-dimensional (3D) geo-referenced point-cloud coverage of the road environment. The unrivaled precision, accuracy, and point density of these sensors make them ideally suited to capturing and documenting the roads. The cm-level resolution offered by these sensors is frequently sought by those aiming for the highest accuracy possible for road surface mapping. MLS technology can be effectively used to both design and manage and evaluate the current condition of traffic infrastructure facilities. The modern sensors used in practice today are portable and can be used on different surveying platforms. The paper will present a full survey detailed mapping of all entities and attributes of the 1200km road corridor in Qatar. Topographic maps on a scale of 1:500 were generated by data processing as a basis for the preparation of road reconstruction projects. From the data of topographic maps, the formation of a very complex GIS database of road entities within the corridor, horizontal and vertical traffic signals, furniture and other entities whose maintenance is carried out by the Client. The complete project was realized within the agreed deadlines of 12 months.

Keywords: Mobile Laser Scanning, Roads, Topographical Maps, GIS database

¹ Vladimir Šušić: vladimir.susic@geogis.rs

1. UVOD

Mobilno Lasersko Skeniranje (eng. Mobile Laser Scanning – MLS) predstavlja proces akvizicije terenskih podataka u veoma kratkom vremenskom periodu. Prikupljeni podaci imaju inženjersku preciznost dok se obrada podataka razvija i postaje sve automatizovanija i lakša uz pomoć kvalitetna softverska rešenja. Cilj ovog rada je da prikaže prikupljanje i obradu podataka dobijenih tehnologijom MLS-a kroz realizovan projekat. U prvom delu projekatnog zadatka bilo je predviđeno mapiranje putne mreže Qatara u ukupnoj dužini od 1.200 km, dok se drugi deo projektnog zadatka odnosio na ažuriranje postojeće GIS baze mapiranim podacima i dodatnim atributima. Celokupno projektno područje od 1200 km (slika 1) snimljeno je korišćenjem Riegl VUX1-SYS laserskog skenera. Zbog ogromne površine, područje je podeljeno u 9 celina. Svaka celina je obrađena posebno i za svaku celinu je kreiran zaseban set transformacionih parametara i postavljene su kontrolne tačke koje su zatim korišćene za georeferenciranje podataka u koordinatnom sistemu projekta. Ovaj princip podele velike količine podataka radi lakšeg rukovanja pokazao se kao veoma koristan usled promena projektnog područja i trase od strane Investitora u toku realizacije samog projekta. Promena granice snimanja i dodatna merenja u bilo kom trenutku mogu se realizovati sa minimalnim izmenama već prikupljenih podataka, što je prednost ove tehnologije.



Slika 1. Levo – Mapa Qatara sa označenim saobraćajnicama za snimanje.
Desno – Prikaz saobraćajnica za snimanje sa uvećanim prikazom.
(Izvor: Google Earth)

Nakon prikupljanja podataka MLS sistemom, vrši se ekstrakcija karakterističnih podataka iz oblaka tačaka kako bi bili generisani potrebni podaci o putnoj infrastrukturi. Izvršeno je mapiranje svih pripadajućih elemenata strukturnih linija saobraćajne infrastrukture kao što su: gornji i donji ivičnjak, saobraćajni znaci, samafori, šahtovi, pešačke staze, vegetacija, ograde, objektni, ulična rasveta, stubovi, kanali, propusti itd.

Nakon završenog procesa mapiranja podataka realizuje se kontrola kvaliteta i jedna po jedna celina se isporučuju Investitoru na proveru i odobrenje. Svaka od odobrenih projektnih celina se zatim popunjavala dodatnim atributima (horizontalnom i vertikalnom signalizacijom, tipom ulične rasvete i sl.), konvertovala u GIS bazu i na kraju je sprovedeno inkorporiranje podataka u postojeću GIS bazu. Ceo projekat je realizovan u skladu sa predviđenim rokom od 12 meseci.

Na osnovu dobijenih rezultata nameće se zaključak da se Mobilno Lasersko Skeniranje može koristiti za brzo prikupljanje podataka o putnoj infrastrukturi, te da izrada ovakvog tipa podloga za projektovanje i rekonstrukciju infrastrukturnih projekata stvara uštedu vremena dok istovremeno održava inženjerski nivo tačnosti i preciznosti mapiranih podataka.

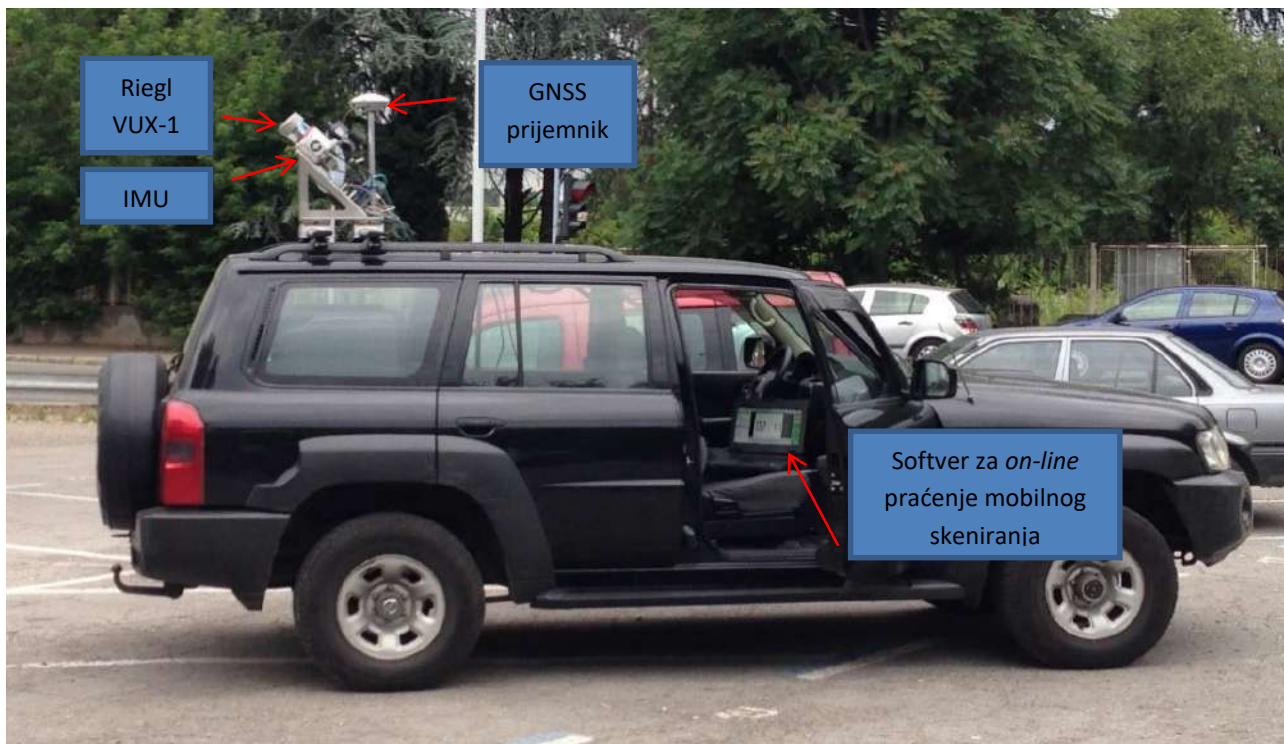
2. KONFIGURACIJA SISTEMA ZA MOBILNO LASERSKO SKENIRANJE

LiDAR, kao tehnologija daljinske detekcije, bazirana je na prikupljanju tri različita seta podataka. Pozicija senzora je određena primenom GNSS prijemnika, koristeći fazna merenja u režimu relativne kinematike, dok je upotrebom Inertial Measurement Unit (IMU) određena njihova orijentacija. Poslednja komponenta je laserski skener. Laser šalje infracrveni zrak prema okolini i reflektuje se do senzora. Vreme proteklo od emitovanja do prijema signala uz poznavanje pozicije senzora i orijentacije, omogućuje da se sračunata trodimenzionalna koordinata na površini objekata. RIEGL VUX-1 predstavlja veoma lagan (3.6 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 skroman u potrošnji električne energije i zahteva samo jedan izvor napajanja. Tačnost premera iznosi 5-10 mm, pri čemu je brzina skeniranja do 200 skenova u sekundi. Maksimalna frekvencija merenja uređaja iznosi 550 kHz uz 500.000 merenja po sekundi. Može se montirati u okviru automobila, aviona, kao i u okviru bespilotnih letelica UAS (eng. Unmanned Aircraft System) ili UAV (eng. Unmanned Aerial Vehicle). Osnovne tehničke karakteristike LiDAR sistema prikazane su u narednoj tabeli.

Mehanizam skeniranja	Rotaciono ogledalo
Vidno polje	Maksimalno 330°
Ugaono kretanje	Linearno
Brzina skeniranja	Od 10 do 200 rotacija u sekundi
Ugaoni pomeraj	0.006° - 1.5°
Broj pulseva u sekundi	50000 - 550000
Maksimalni domet pri prosečnim atm. uslovima	920 m
Minimalni domet	3 m
Tačnost	10 mm
Preciznot	5 mm
Rezolucija registrovanog intenziteta	16 bit
Interna memorija	240 GB SSD
Radna temperatura	Od 0°C do 40°C

Tabela 1. Tehničke karakteristike LiDAR sistema Riegl VUX-1.

Prikupljeni podaci se čuvaju na internom hard disku 240 GB SSD, pri čemu je obezbeđen LAN-TCP/IP interfejs. Mobilno lasersko skeniranje sa mobilne auto platforme (slika 2) predstavlja najefikasniju tehnologiju masovnog prikupljanja prostornih podataka na velikim površinama.

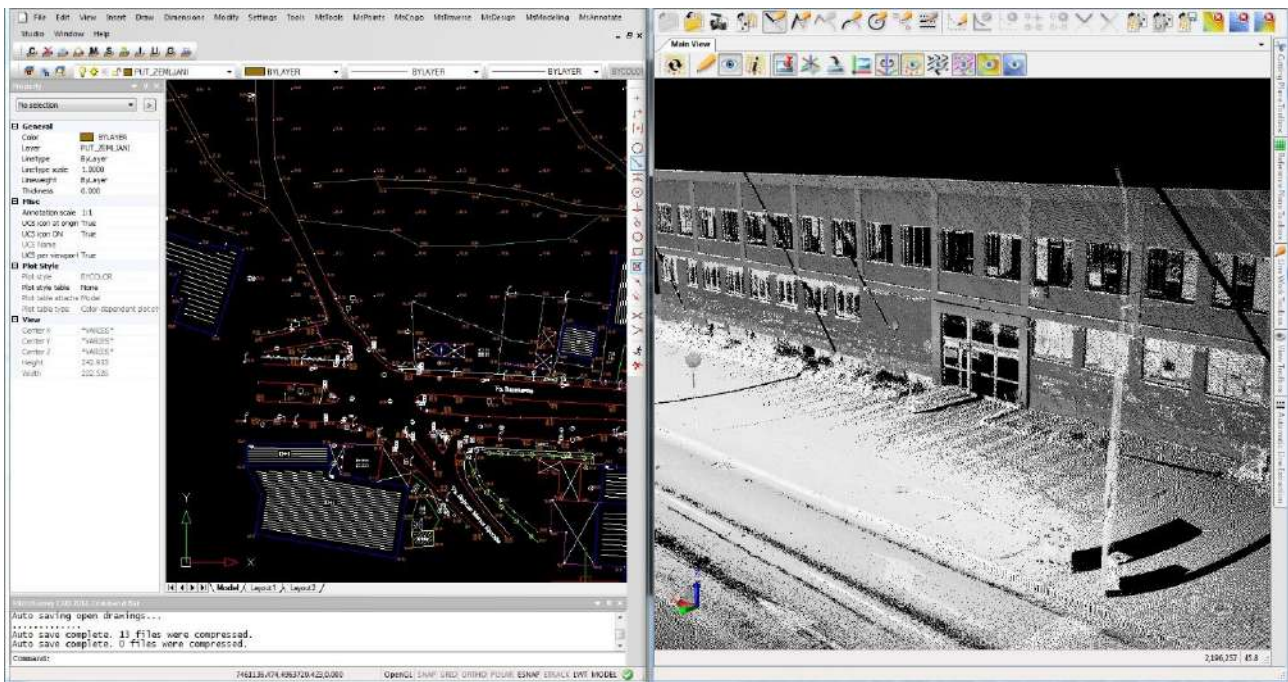


Slika 2. Mobilni sistem za skeniranje MLS Riegl VUX-1
(Izvor: GeoGIS Konsultanti, Beograd)

Podaci laserskog skenera u kombinaciji sa pozicijom skenera i orijentacijom obezbeđuju generisanje trodimenzionalnih 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 zemljine površi ili veštačkog objekta. Ukoliko je prvi impuls skoro jednak poslednjem najčešće se radi o površi Zemlje.

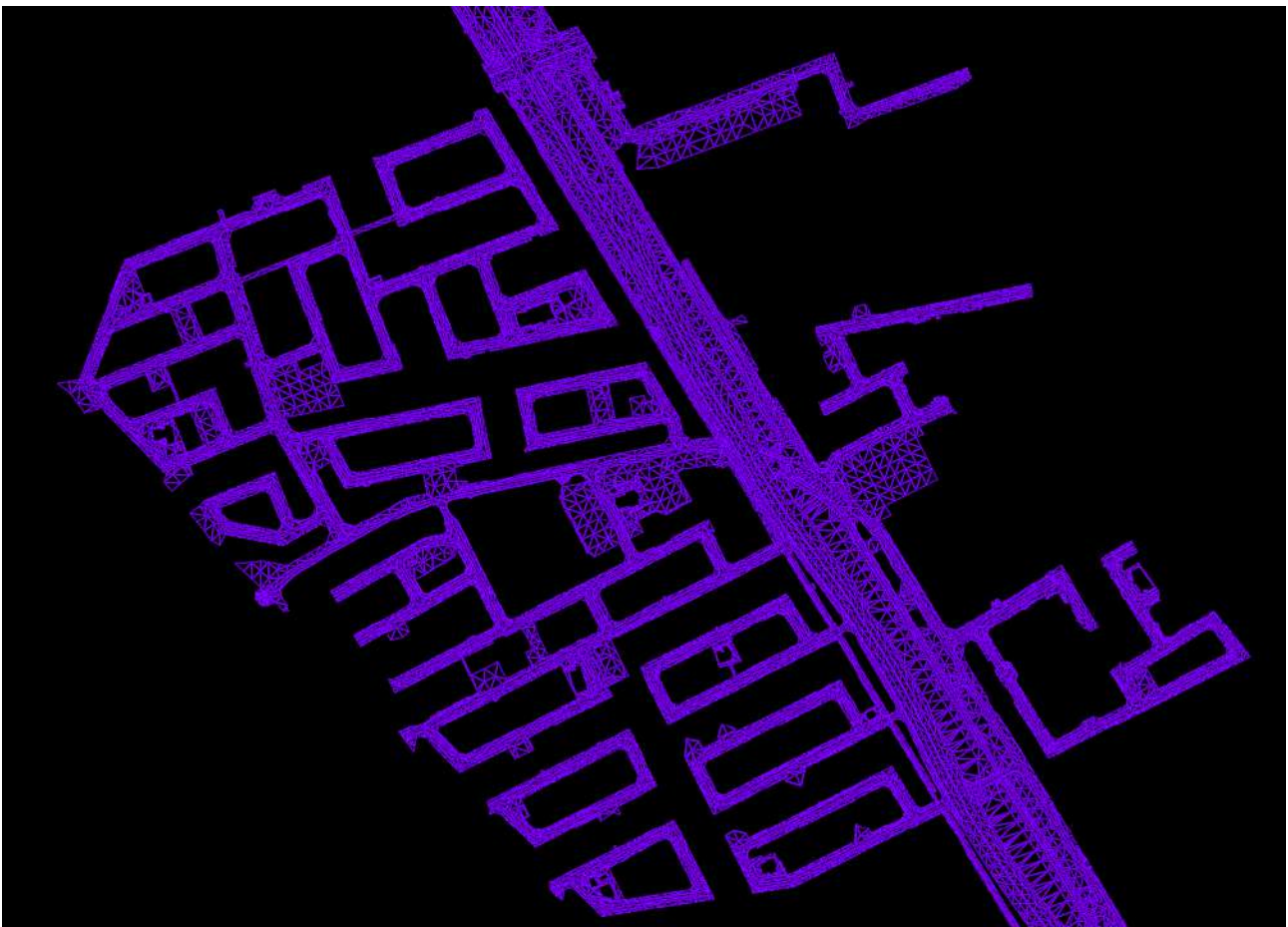
3. METODA MOBILNOG LASERSKOG SNIMANJA NA PRIMERU KONSULTANTSKE USLUGE AŽURIRANJA TOPOGRAFSKIH PODLOGA I GIS BAZE

Tehnologijom laserskog skeniranja prikupljen je ogroman broj podataka, koji je izražen u milijardama tačaka koje imaju prostorne podatke o entitetima. Obrada oblaka tačaka je izvršena u okruženju programskih paketa TerraSolid i MicroSurvey Cad Studio, kao i u specijalizovanim softverskim paketima u okviru RIEGL sistema. Vektorizacija strukturnih linija i ostalih entiteta iz prethodno dobijenog oblaka tačaka, vrši se poluautomatski ili manuelno. Vektorizacija podataka prikazana je na slici ispod.



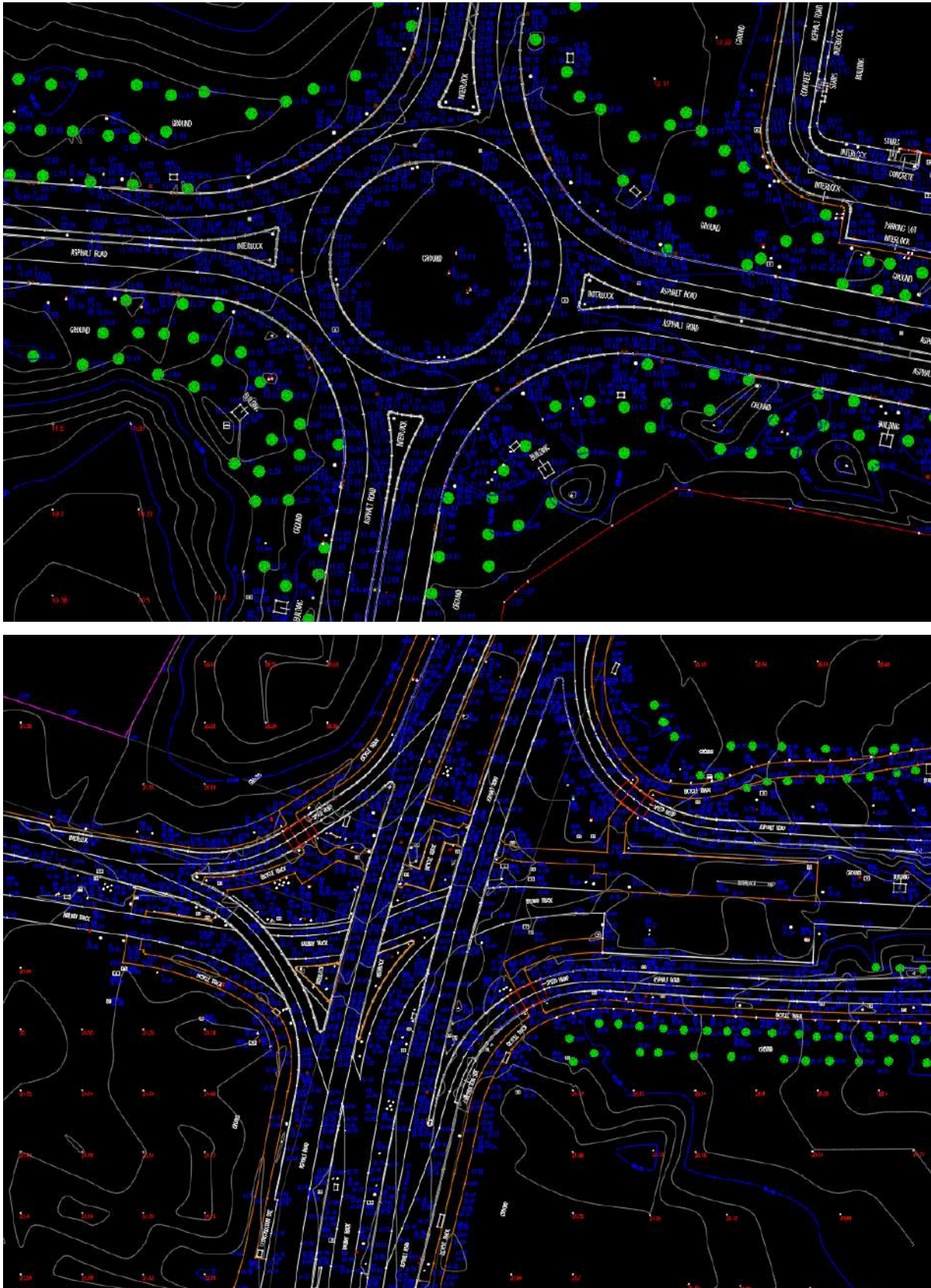
Slika 3. Ekstrakcija entiteta strukturnih linija i tačaka iz oblaka tačaka

Na osnovu osnovnih geometrijskih entiteta, tj. 3D tačaka i linija dobijenih pomenutom ekstrakcijom podatka, generisan je digitalni model terena. DMT je generisan TIN metodom (slika 4).



Slika 4. DTM dela saobraćajnica u urbanoj zoni.

Na osnovu svih podataka o prostornim prirodnim i veštačkim formama, izrađen je digitalni topografski plan. Snimljena topografija je preklapljena sa postojećim katastarskim stanjem kako bi se dobio katastarsko-topografski koji predstavlja jednu od osnovnih geodetskih podloga za projektovanje. Na slici 5 prikazan je nivo detaljnosti snimljene topografije.

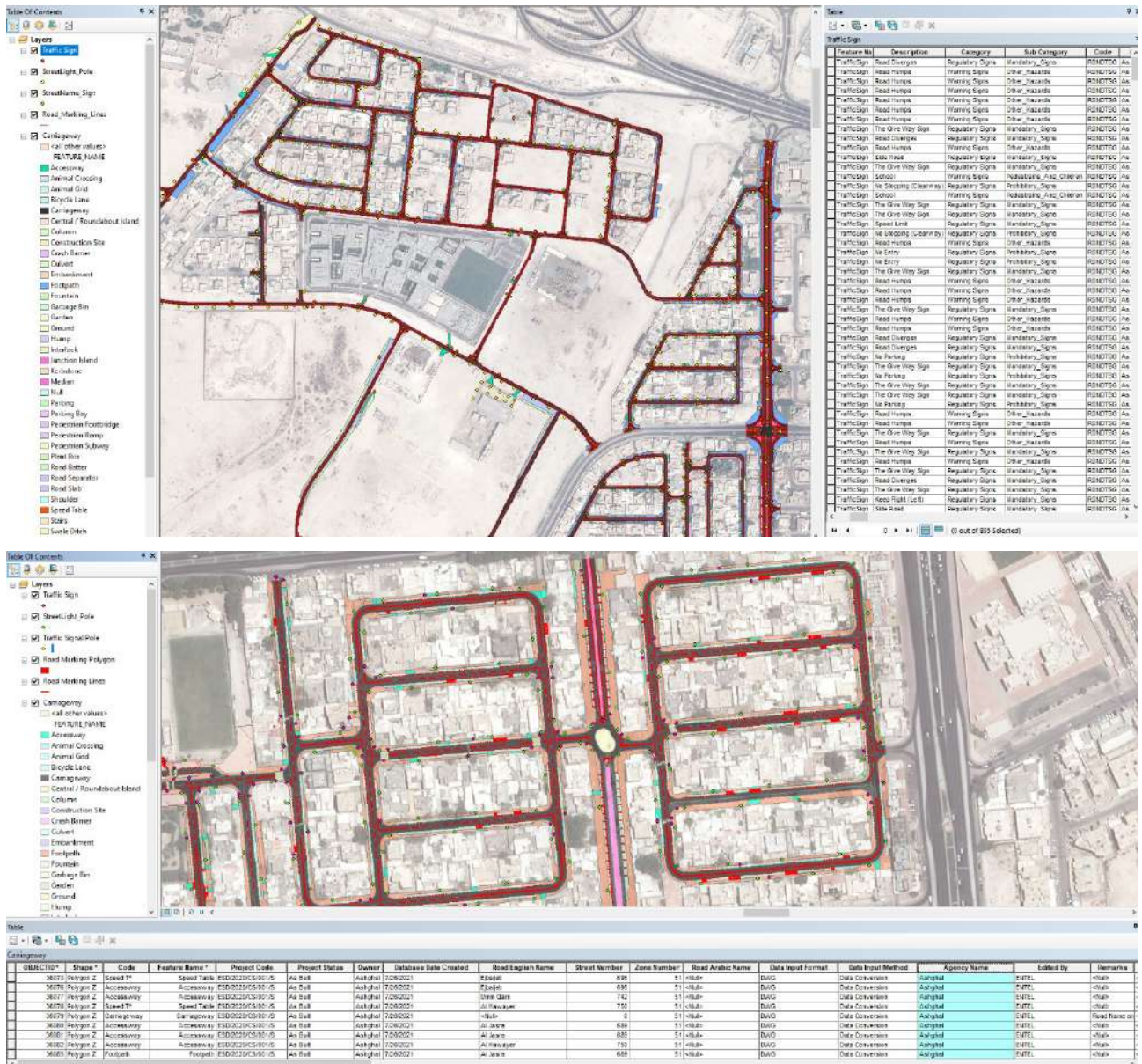


Slika 5. Digitalna topografija – kružni tok i saobraćajna petlja u dva nivoa.

Radi efikasnijeg i isplativijeg upravljanja infrastrukturom koridora kreirana je GIS baza koja omogućava lakše definisanje lokacija, skladištenja atributivnih podataka i njihovo predstavljanje na kartama, razne analize i dr. Najveći deo u okviru baze podataka čine bazi, čine podaci iz crteža digitalne topografije, dok je manji deo bilo potrebno prikupiti na terenu (brojevi stubova i šifre saobraćajnih znakova). GIS baza je zatim inkorporirana u postojeću bazu Investitora. Grafički i numerički pregled baze dat je na narednim slikama, GIS aplikacija koridora puta na kojoj se vide različiti tipovi prikupljenih podataka i mogućnost kreiranja različitih vrsta upita.



Slika 6. GIS baza – grafički prikaz.



Slika 7. GIS baza – numerički prikaz.

4. ZAKLJUČAK

Savremena tehnologija prikupljanja i obrade prostornih podataka omogućava 3D prikaz prostornih formi sa prihvatljivom tačnošću za potrebe projekta uz ogromnu gustinu prikupljenih podataka. Kao što smo videli u radu, prikupljenim podacima visoke prostorne rezolucije može se prikazati prostorno okruženje i generisati prostorne informacije bilo koje, pri čemu se od tih podataka mogu ekstrahovati sve neophodne informacije za zahtevani nivo detaljnosti projekta.

Imajući u vidu kvalitet i ekonomičnost prikupljanja podataka, LiDAR sistemi se mogu smatrati prekretnicom u prikupljanju podataka za izradu topografskih podloga, kako za ovu vrstu projekata, tako i za ostale projekte koji zahtevaju izradu kvalitetnih i ažurnih geodetskih podloga za projektovanje. RIEGL VUX-1 sistem se zbog svojih karakteristika, a naročito u pogledu gustine snimanja ugrađenih lokacija, pokazao kao idealno projektno rešenje za ovakve vrste projekata koji zahtevaju ažurne i kvalitetne topografske podloge.

Zahvale

Materijal korišćen za pisanje ovog rada predstavlja rezultat realizovanih projekata kompanije GeoGIS Konsultanti d.o.o. iz Beograda.

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] Vasić, D., Ninkov, T., Bulatović, V., Sušić, Z. (2011). Development of 3d topographic layouts for the Design of rain sewerage for the city of Damatur in Nigeria. International scientific conference and XXIV meeting of serbian surveyors: Professional practice and education in geodesy and related fields. Kladovo, Srbija.
- [3] Maksimović, J., Sušić, Z., Batilović, M., Đurović, R., Ninkov, T. (2018). High precision geodetic works in the tunnel breakthrough process. INDiS 2018. 491-497.
- [4] Ninkov, T., Bulatović, V., Sušić, Z. 2008. Primena laserskog skeniranja kod projektovanja linijskih struktura i objekata. Drugi internacionalni naučno-stručni skup Građevinarstvo, Nauka, Praksa. Zabljak, Crna Gora.
- [5] Wijesoma, W., Kodagoda, K. and Balasuriya, A., 2004. Roadboundary detection and tracking using lidar sensing. IEEE Transactions on Robotics and Automation 20(3), pp. 456–464.
- [6] Ninkov, T., Sušić, Z., Ninkov, Đ., Milosavljević, A., Šušić, V., Pavlović S., (2016): Primena LIDAR tehnologije kod projektovanja i građenja puteva, Drugi srpski kongres o putevima, 09-10.06.2016, Zbornik radova, ISSN 978-86-88541-06-0, UDK: 625.7/.8(082)(0.034.4), COBISS.SR-ID 223880716, Tema 1 Planiranje i projektovanje, pp 1-8, Srpsko društvo za puteve "Via-Vita", M63.
- [7] Ninkov, T., Vasić, D., Bulatović, V., Sušić, Z., Marković, M., (2014): Terrain Mapping by Applying Unmanned Aerial Vehicle and LiDAR System for the Purpose of Designing in Serbia, INGEO 2014 – 6th International Conference on Engineering Surveying, Prague, Czech republic, April 3-4, 2014, Department of Special Geodesy, Czech Technical University in Prague, Martin Štroner – President of LOB, Proceedings, 978-80-0105-46-97, pp 317-222.
- [8] Ninkov, T., Bulatović, V., Sušić, Z., Vasić, D., Marković, M., (2015): Modern acquisition technology of spatial data, Coordinates, The monthly magazine on positioning, navigation and beyond, ISSN: 0973-2136, Volume XI, Issue 04, April 2015, pp 44-48, No: DL(E)-01/5079/14-16, U(E) 28/2014-16, <http://mycoordinates.org/pdf/apr15.pdf>.
- [9] 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.
- [10] Ninkov, T., Marković, M., Bajić, J., Vasić, D., Sušić, Z., Bulatović, V., (2015): Savremene metode monitoringa deformacija građevinskih objekata, Modern methods of deformation monitoring of buildings, International conference: Contemporary achievements in Civil Engineering 2015, Faculty of Civil Engineering, Subotica, ISBN 978-86-80297-62-0, pp 807-814.
- [11] Ninkov, T., Sušić, Z., Marković, M., Ninkov, Đ., Maksimović, P., (2014): Modern technologies and methodologies concerning permanent monitoring of position changes and entity state in space and time, GEONAUKA, Vol. 2, No. 2 (2014), review article, ISSN: 2334-8119, UDC: 528.835:550.38, DOI: 10.14438/gn.2014.14., pp 35-45.
- [12] Ninkov, T., Bulatović, V., Sušić, Z., Vasić, D., Marković, M., (2014): Modern Acquisition Technology of Spatial Data as a Basis of Environmental Engineering and Planning Projects, FIG Congress 2014, Kuala Lumpur, Malaysia 16 – 21 June 2014, pp 1-9 (7334), ISSN: 2308-3441, ISBN: 978-87-92853-21-9.
- [13] Ninkov, T., Bulatović, V., Vasić, D., Sušić, Z. - Modern Methods of Data Collecting and Treating in Projects of Hydraulic Engineering, FIG Working Week 2013, Environment for Sustainability, TS07E - Engineering Surveying 1 – 6618, Abuja, Nigeria, 6 – 10 May 2013, pp 12.
- [14] 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.
- [15] Ninkov T., Bulatović V., Sušić Z, Vasić D., Ninkov Đ. - Modern methods of dinamic setting out in engineering surveying, PROCEEDINGS: International Scientific Conference - FIRST SERBIAN GEODETIC CONGRESS, December 1st-3st, 2011, pp 251 – 258, ISSN/ISBN: 978-86-459-0401-3,: UDK: 528(028), COBBIS SR-ID: 187813644.

MOGUĆI MODEL PROJEKTOVANJA AUTOPUTEVA U NAŠOJ ZEMLJI

Vladan Grujić, dipl.građ.inž.¹

¹ Institut za puteve AD, Bulevar Peka Dapčevića 45, Beograd, v.grujic@highway.rs

Rezime: Predmet ovog rada je mogući model projektovanja autoputeva u našoj zemlji koji bi se zasnivao na centralizaciji i jasnoj hijerarhiji odnosa među svim učesnicima u procesu projektovanja. Centralizacija bi se zasnivala na činjenici da samo Menadžer Projekta ima pravo da menja 3D model projektovanog stanja i njegovog uklapanja u 3D model postojećeg stanja. Ostali projektanti bi imali ograničeno pravo menjanja pomenutih 3D modela za varijantisanje različitih rešenja u svom domenu rada. Konačnu odluku o izboru svakog rešenja u projektu ima Menadžer Projekta i ta odluka bi se donosila nakon on-line sastanka sa svim projektantima. Svi projektanti bi radili u istoj verziji istog softvera i navedena centralizacija bi omogućavala da svi imaju iste 3D modele projektovanog i postojećeg stanja iz kojih bi u svakom trenutku mogli da generišu potrebne priloge tehničke dokumentacije u potrebnom obliku i formatu (otvoreni fajlovi, PDF, papirna dokumentacija, hologramski i fizički 3D modeli).

Ključne reči: *Projektovanje autoputeva, Menadžer Projekta, 3D Model postojećeg stanja, 3D model projektovanog stanja.*

POSSIBLE MODEL OF HIGHWAY DESIGN IN OUR COUNTRY

Vladan Grujić, M.Sc.C.E.¹

¹ The Highway Institute JSC, Boulevard Peka Dapčevića 45, Belgrade, v.grujic@highway.rs

Abstract: The subject of this paper is a possible model of highway design in our country, which would be based on centralization and a clear hierarchy of relations among all participants in the design process. Centralization would be based on the fact that only the Project Manager has the right to change the 3D model of facility design and its fit into the 3D model of the existing condition. Other designers would have a limited right to change the mentioned 3D models for variation of different solutions in their field of work. The final decision on the choice of each solution in the project is made by the Project Manager and that decision would be made after an online meeting with all designers. All designers would work in the same version of the same software and this centralization would allow everyone to have the same 3D models of facility design and existing condition from which they could generate the necessary attachments of technical documentation in the required form and format (open files, PDF, paper documentation, holographic and physical 3D models).

Keywords: *Highway design, Project Manager, 3D model of the existing condition, 3D model of facility design.*

¹ Vladan Grujić: v.grujic@highway.rs

1. UVOD

Autoput se najčešće definiše kao vangradska saobraćajnica najvišeg ranga, sa fizički razdvojenim smerovima vožnje, koja različitim korisnicima nudi najbezbedniju vožnju i najviši kvalitet pratećih usluga u drumskom saobraćaju. Zbog toga se pred svim učesnicima u fazama planiranja, projektovanja, izgradnje i održavanja autoputa postavljaju najviši zahtevi u pogledu zakonske i tehničke regulative i što je najvažnije, kvaliteta rada u navedenim fazama.

2. ORGANIZACIONA STRUKTURA MODELA PROJEKTOVANJA

Opis organizacione strukture izloženog modela projektovanja u ovom radu se odnosi samo na projektantsku firmu (Projektant) koja je na tenderu dobila posao projektovanja autoputa za određene faze projektovanja. Zato se neće posebno navoditi neki neophodni postupci u projektovanju (Lokacijski uslovi, mišljenja i saglasnosti nadležnih državnih institucija, ...) koji zavise od učesnika koji nisu deo projektantskih timova.

2.1. Menadžer Projekta

Izbor Menadžera Projekta je odluka koja najdirektnije utiče na kvalitet projekta, tok i rok njegove izrade. Zbog toga on mora biti stručno lice iz građevinske struke sa potrebnim kvalifikacijama i referencama u karijeri, koji podjednako dobro poznaje faze i postupke u projektovanju, tehničke i zakonske propise u projektovanju, kompjuterske hardverske sisteme i softverska rešenja za projektovanje, tehnologije radova na izgradnji autoputa i tehnologije radova na održavanju izgrađenog autoputa. Na kraju, ne i najmanje važno, mora biti komunikativan sa neophodnim stručnim autoritetom da donosi izvršne odluke u bilo kakvim spornim situacijama u postupku projektovanja.

U našoj projektantskoj praksi se vrlo često dešava da se Odgovorni projektant Projekta trase autoputa postavlja za Glavnog projektanta (ranije: Rukovodilac ili Koordinator projekta). Na taj način, Glavni projektant obavlja dva izuzetno važna posla, kao projektant trase autoputa i kao organizator (koordinator) rada ostalih projektantskih timova. Pri tome, svi ostali projektantski timovi od Glavnog projektanta očekuju što pre potrebne tekstualne, numeričke i grafičke podatke kao ulazne podatke za svoje projekte. To često dovodi do njegovog preopterećenja poslom koje najdirektnije utiče na kvalitet njegovog rada kao Organizatora i Projektanta i probleme u poštovanju rokova izrade pojedinih delova projektne dokumentacije. Zbog toga autor smatra da je najbolje rešenje da Menadžer Projekta ne bude Odgovorni projektant bilo kog dela projektne dokumentacije, nego da se bavi samo organizacionim poslom oko projektovanja.

2.1.1. Organizacioni tim Menadžera Projekta

Menadžer Projekta mora imati svoj organizacioni tim kojeg čine administrator mreže, programer i operater u softveru za projektovanje.

Administrator mreže je zadužen za bezbednost rada i podataka na mreži koju koriste projektantski timovi i za softversku i hardversku podršku članovima projektantskih timova.

Prisustvo programera u ovom timu u ima puno opravdanje u činjenici da se mora računati na prilagođavanje softvera za projektovanje konkretnim potrebama projekatana uz korišćenje rutina, makroa i programa koji se mogu pisati u različitim programskim jezicima.

Menadžer Projekta mora računati da će najveći deo njegovog radnog vremena proteći u interaktivnom radu sa drugim projektanskim timovima u softveru za projektovanje. Svakodnevne i višestruke promene 3D modela projektovanog stanja i njegovog uklapanja u 3D model postojećeg stanja povlače za sobom pitanje koncentracije potrebne za donošenje kvalitetnih odluka u procesu projektovanja. Zato je neophodno angažovanje pomoćnika koji bi se bavio samo tim operatorskim poslom u softveru za projektovanje, uz prisustvo Menadžera Projekta. Kvalitetan rad u softveru za projektovanje je samo jedan od uslova za kvalitetan projekat autoputa. Vizuelno atraktivan 3D model projektovanog autoputa sa lošim tehničkim rešenjima neće koristiti nikome.

2.2. Projektantski timovi

Izbor projektantskih timova diktira Projektni zadatak za izradu projekta autoputa. U njemu se navodi kompletan spisak potrebnih projekata koji će činiti projektno-tehničku dokumentaciju za datu fazu projektovanja.

Na čelu svakog projektantskog tima se nalazi Odgovorni projektant zadužen za jedan ili više projekata iz svoje struke. Sve što je navedeno za potrebne stručne kvalifikacije i reference za Menadžera Projekta, važi i za Odgovorne projektante. Zajednički rad na ranijim projektima ovog tipa može biti samo podsticaj za novu uspešnu poslovnu saradnju.

Svi članovi projektantskih timova moraju potpisati izjavu o poverljivosti i tajnosti podataka u izradi projekta autoputa.

2.3. Kompjuterski hardver i softver za projektovanje

Izbor kompjuterskog hardvera za projektantski tim je u današnje vreme možda najlakši deo organizacionog posla. Cene hardvera su na istorijskom minimumu u odnosu na ponuđeni kvalitet. Sasvim je dovoljno da svi Odgovorni projektanti rade na računarima iste klase kvaliteta i sa istim operativnim sistemom. Ostali članovi projektantskih timova mogu raditi i na nešto slabijim računarima ali sa istim operativnim sistemom kao i odgovorni projektanti. Ako jedan projektantski tim posmatramo kao lanac, onda ovde bukvalno važi pravilo da je lanac jak koliko je jaka njegova najslabija karika. Ti računari ne moraju nužno biti ni od istog proizvođača, ali se mora voditi računa o uslovima i kvalitetu tehničke podrške. Umreženost računara je danas podrazumevana opcija, pri čemu se mora voditi računa o dozvolama pristupa mreži različitog nivoa za različite učesnike u projektu. Posebnu pažnju treba posvetiti uslovima pristupa mreži i bezbednosti rada na daljinu, kada se ukaže potreba za time.

Mreža mora biti zatvorena za sve one koji nisu članovi projektantskog tima.

Izbor CAD softvera za projektovanje je odluka od strateškog značaja koja mnogo više utiče na produktivnost rada nego na kvalitet projektovanja. Neki od najboljih autoputeva na svetu su trasirani i projektovani u vremenima kada ili nije bilo ni računara ni CAD tehnologije ili je njihova primena u projektovanju autoputeva bila tek u povelju. Stara je istina da računari i CAD softveri ne projektuju. Oni su samo superiorni pomoćni alati u projektovanju.^[1]

U našoj zemlji je AutoCAD toliko dominantna CAD platforma, da se nameće kao prirodan izbor po tom pitanju. Ovde nije samo u pitanju radno CAD okruženje u okviru projektantskih timova. Treba voditi računa i o saradnji sa državnim institucijama, javnim preduzećima i organima lokalne samouprave gde je AutoCAD praktično jedina CAD platforma.

AutoCAD je među najpopularnijim CAD platformama na svetu, između ostalog i zbog njegove velike prilagodljivost konkretnim potrebama korisnika uz korišćenje rutina, makroa i programa koji se mogu pisati u različitim programskim jezicima. To važi i za specijalizovane softvere za projektovanje koji rade u okruženju AutoCAD-a.

Svi članovi projektantskih timova moraju raditi u istoj verziji AutoCAD-a i tu ne treba da bude nikakvih kompromisa.

Prilikom izbora konkretnog CAD softvera u okruženju AutoCAD-a za projektantske timove, mora se voditi računa o realnom utrošku radnog vremena po CAD aktivnostima u postupku izrade projektne dokumentacije. To su:

- Projektovanje kao postupak iznalaženja najboljeg inženjerskog rešenja nekog problema u datim uslovima.
- Preuzimanje tehničkih rešenja od drugih projektantskih timova i njihova implementacija u projektu.
- Tehničko crtanje kao dopuna prethodnih aktivnosti.
- Formiranje projektno-tehničke dokumentacije.

Svi važnije softverske CAD firme imaju kompletnu paletu softvera za sve tehničke struke koji rade u okruženju AutoCAD-a. Zato se kao najprirodnije rešenje nameće izbor tih softvera od jednog proizvođača za sve projektantske timove. U tom slučaju se ne mora razmišljati o kompatibilnosti softvera i značajno je olakšano varijantisanje sa različitim tehničkim rešenjima za koje je potrebna povratna informacija od drugih projektantskih timova. Značajno je olakšana i podrška za softverska prilagođavanja konkretnim potrebama projektantskih timova.

Na taj način, najveći procenat utrošenog radnog vremena projektantskih timova odlazi na sam proces projektovanja i varijantisanja kao najkreativnijim aktivnostima, dok se postiže maksimalna produktivnost u preostale tri CAD aktivnosti.

U slučaju izbora softvera od različitih proizvođača moraju se uspostaviti jasne procedure razmene podataka između različitih projektantskih timova. Nije dovoljno samo razmeniti cteže u DWG formatu. Još je važnije razmeniti informacije koje nose inteligentni entiteti u DWG crtežima. Iskustva iz projektantske prakse u našoj zemlji pokazuju da čak i razmena podataka preko XML fajlova ne garantuje da će se npr. elementi horizontalne osovine autoputa iz softvera jednog proizvođača videti kao takvi u softveru drugog proizvođača.

U takvim slučajevima treba računati na preraspodelu radnog vremena u korist manje produktivnih CAD aktivnosti.

2.4. Projektovanje

Prva faza u procesu projektovanja autoputa je formiranje 3D modela postojećeg stanja. Taj 3D model mora biti grafička sinteza podataka iz svih prethodnih terenskih radova (geodetski, geotehničko-istražni, ...) i podatka iz raspoložive tehničke dokumentacije o svim izgrađenim infrastrukturnim objektima u zoni trase autoputa. Narocito je važno na vreme utvrditi položaje i pravce pružanja različitih podzemnih instalacija i objekata kod kojih postoji kolizija sa trasom autoputa.

U ovoj fazi je veoma značajna međusobna komunikacija Menadžera Projekta sa Odgovornim projektantima jer on u nekom trenutku mora doneti odluku o konačnom 3D modelu postojećeg stanja koji će biti stavljen na raspolaganje projektantskim timovima. Različiti projektantski timovi imaju potrebe za različitim tipovima podataka o postojećem stanju i sve greške i propusti u prikupljanju tih podataka će se neminovno odraziti na kvalitet i rokove izrade projekta. Sve kasnije korekcije 3D modela postojećeg stanja odobrava isključivo Menadžer Projekta.

Pre početka projektovanja mora biti poznat tačan položaj drugih bliskih infrastrukturnih objekata iste važnosti, koji su u fazi projektovanja (autoputevi, železničke pruge, regulacije većih vodotokova, aerodromi, ...) kako bi se moguće kolizije ili interakcije sa trasom autoputa rešile na odgovarajući način.

Planirano saobraćajno opterećenje, rezultati geotehničkih istražnih radova i izbor materijala za izradu nasipa daju ulazne podatke za rešenje kolovozne konstrukcije osnovne trase autoputa i krakova petlji i nagibe kosina nasipa i useka.

U skladu sa poznatom inženjerskom izrekom "Voda uvek pronade svoj put." poželjno je da se pre početka projektovanja definiše i koncept odvodnjavanja kolovoza i trupa autoputa.

Hijerarhija projektovanja autoputa podrazumeva da je u početnoj fazi projektovanja najveći pritisak na projektantu osnovne trase autoputa da formira najjednostavniji mogući 3D model projektovanog stanja autoputa preko svih elemenata projektne geometrije (horizontalna i vertikalna osovina, širine kolovoza i vitoperenje) i kosina nasipa i useka. U toj hijerarhiji na istom nivou važnosti su elementi projektne geometrije petlji i pretećih sadržaja (naplatne stanice, odmorišta, baze za održavanje, ...).

Na osnovu tog početnog, maksimalno pojednostavljenog 3D modela, dolazi se do određivanja tačnog položaja mostova, propusta, tunela, potporno-zaštitnih konstrukcija i regulacija manjih vodotokova, ukoliko to nije određeno u prethodnoj fazi projektovanja.

Posle toga na red dolaze rešenja tehničke infrastrukture i saobraćajne signalizacije. Na samom kraju hijerarhije projektovanja je pejzažno uređenje autoputa i bliže okoline.

Autor namerno posebno izdvaja devijacije lokalnih kategorisanih i nekategorisanih puteva koje preseca trasa autoputa jer u našoj zemlji pri izvođenju radova to predstavlja izvor velikih problema sa lokalnim zajednicama kojima su ti putevi od vitalnog značaja za svakodnevni život. Zato hijerarhijski položaj ovih puteva u projektovanju može biti različit, čak i kada se radi o putevima istog ranga.

Sumarni rezultat rada svih projektantskih timova je 3D model projektovanog stanja i njegovo uklapanje u 3D model postojećeg stanja. Na osnovu tog 3D modela se određuje pojas eksproprijacije katastarskih parcela za izgradnju autoputa.

Ovakva složena međuzavisnost rada više projektantskih timova u isto vreme, kristališe problem ažurnosti projektne dokumentacije u DWG formatu na dnevnom nivou. Potpuno je jasno da se ne može dozvoliti stanje u kojem svaki projektantski tim ima npr. svoju verziju situacionog plana koja se ne poklapa sa sadržajem situacionih planova ostalih projektantskih timova.

Rešenje tog problema, koje se predlaže u ovom radu je centralizovani model projektovanja. Centralizacija bi se zasnivala na činjenici da samo Menadžer Projekta ima pravo da menja 3D model projektovanog stanja i njegovog uklapanja u 3D model postojećeg stanja. Ostali projektanti bi imali ograničeno pravo menjanja pomenutih 3D modela za varijantisanje različitih rešenja u svom domenu rada. Konačnu odluku o izboru svakog rešenja u projektu ima Menadžer Projekta i ta odluka bi se donosila nakon on-line sastanaka sa svim odgovornim projektantima.

Konačna dogovorena tehnička rešenja se dostavljaju Menadžeru Projekta u formi XML i DWG fajlova i on ih implementira u navedene 3D modele kako bi oni bili na raspolaganju svim projektantskim timovima. U slučaju varijantisanja sa različitim rešenjima nekog tehničkog problema, može se primeniti sistem korišćenja XREF-ovanih DWG fajlova za varijantna rešenja dok se ne dođe do konačnog dogovorenog rešenja.

Jedna od najvažnijih stvari u svakom DWG crtežu uopšte, je sistematizacija LAYER-a i grupisanje entiteta po LAYER-ima. Vrlo je važno da svaki projektantski tim ima svoj jedinstveni kratki prefiks za imena svih LAYER-a koje će koristiti u DWG crtežima. Uključivanjem ili isključivanjem njihovog prikaza kao i isticanjem debljina linija po bojama ili procentom senčenja šrafura, postiže se da svaki projektantski tim u svom projektu istakne svoja tehnička rešenja.

Finalni prouzvod projekta autoputa je tehnička dokumentacija, čiji grafički prilozi se generišu iz pomenutih 3D modela. Postavlja se pitanje detaljnosti i obima tih 3D modela. Potpuno je jasno da prikaz nekog tehničkog rešenja u jednom projektu nema isti značaj u drugom projektu. Npr. raspored armature u projektima mostova ili armirano betonskih potpornih zidova nema istu važnost u projektu saobraćajne signalizacije. Zato Menadžer Projekta zajedno sa ostalim projektantima određuje i sadržaj XML i DWG fajlova koje mu dostavljaju projektanti za formiranje pomenutih 3D modela.

2.5. CAD -> (BIM, VR i AR)

Autor se u ovom radu držao isključivo primene CAD tehnologije u projektovanju autoputeva, jer smatra da će to još nekoliko godina biti realnost u našoj zemlji. Ukoliko se u ovom poglavlju zadržimo na predivđanjima, autor se nada da će se do sledećeg Kongresa o putevima formirati kritična masa BIM korisnika, koji će doprineti da BIM modeli postanu sastavni deo tehničke i zakonske regulative u našoj zemlji za projektovanje ne samo autoputeva, nego i svih ostalih vrsta kategorisanih puteva.

BIM modeli u svim tehničkim strukama su zakonska obaveza u sve većem broju zemalja EU. U trenutku pisanja ovog teksta, u zemljama bivše SFRJ, BIM modeli su zakonska obaveza u Sloveniji dok je za Hrvatsku samo pitanje vremena kada će to postati.

U našoj zemlji, ako se držimo samo projektovanja puteva i objekata niskogradnje, primena BIM modela je još uvek stvar lične inicijative pojedinaca i donekle realnost u projektantskim firmama za projekte manjeg površinskog zahvata (površinske raskrsnice, mostovski objekti, potporno-zaštitne konstrukcije, ...).

Virtuelna realnost (Virtual Reality) i naročito Proširena realnost (Augmented Reality) su dobrodošle dopune u projektovanu puteva uz CAD i BIM tehnologiju. Mogućnost projektanta da se stavi u položaj vozača različitih prevoznih sredstava ili pešaka daje izuzetno važne vizuelne informacije o kvalitetu nekog tehničkog rešenja u projektovanju uz veliki korektivni potencijal.



Slika 1. Deo CAD 3D modela projektovanog autoputa
Source: <https://gallery.autodesk.com/civilinfrastructure>



Slika 2. Višebojni prikaz uklapanja projektnih rešenja različitih projektantskih timova
Source: <https://gallery.autodesk.com/civilinfrastructure>



Slika 3. Deo BIM modela projektovanog autoputa
Source: <https://gallery.autodesk.com/civilinfrastructure>

3. ZAKLJUČAK

Osnovna korist za Projektanta od ovakvog modela projektovanja autoputa je da svi projektantski timovi imaju isti 3D model projektovanog autoputa iz kojeg bi u svakom trenutku mogli da generišu potrebne priloge tehničke dokumentacije u potrebnom obliku i formatu (otvoreni fajlovi, PDF, papirna dokumentacija, hologramski i fizički 3D modeli).

Investitor i Izvođač radova dobijaju 3D model projektovanog autoputa koji će u značajnoj meri doprineti kvalitetu i praćenju rokova izvođenja radova. Takođe će im pružiti značajnu pomoć u komunikaciji sa lokalnim zajednicama na čijim teritorijama će se izvoditi radovi, jer 3D modeli imaju mnogo veći komunikacioni potencijal za ljude van tehničkih struka, nego klasična 2D projektna dokumentacija.

3D model projektovanog autoputa bi se koristio i sledeću projektantsku fazu, 3D model izvedenog stanja autoputa. Taj 3D model izvedenog stanja je idealna osnova za sve nove projekte koji uključuju izmene i dopune na izgrađenom autoputu.

Autor spada u onu grupu projektanata koji smatraju da se pored 3D modela projektovanog i izvedenog autoputa, mora razmisliti i o 3D modelu održavanja autoputa.

Na kraju, svi učesnici u procesima planiranja, projektovanja, izgradnje i održavanja autoputeva, kao jedan od najvažnijih kriterijuma kvalitetnog rada, moraju imati na umu i misao čuvenog američkog inženjera Artura Velingtona iz 1877 god. "Zapanjujuća je i obeshrabrujuća preterana važnost koju inženjeri i njihovi učitelji pridaju najsitnijim detaljima kako da izgrade pojedine objekte, previđajući isprovremeno bitnija pitanja, gde i kada da grade i da li uopšte da grade." [1]

Napomene o korišćenim imenima zaštićenih robnih marki:

- AutoCAD i DWG su zaštićene robne marke kompanije Autodesk Inc.
- PDF je zaštićena robna marka kompanije Adobe Inc.

Literatura:

- **KNJIGE i MONOGRAFIJE:**

- [1] Anđus V., Maletin M., Katanić J.: Projektovanje puteva, Građevinska knjiga, Beograd, 1983.
- [2] Anđus V.: Metodologija projektovanja puteva, Beograd, 1993.
- [3] Anđus V., Maletin M.: Tehnička upustva za projektovanje vangradskih puteva, Beograd, 2008.

- **ZBORNICI RADOVA:**

- [4] Anđus V.: Izabrani radovi, Građevinski fakultet, Beograd, 2011.

- **INTERNET:**

- [5] [Gallery | Civil Infrastructure Gallery \(autodesk.com\)](https://gallery.autodesk.com/civilinfrastructure)
<https://gallery.autodesk.com/civilinfrastructure>

IMPLEMENTACIJA WEB GIS TEHNOLOŠKIH REŠENJA U UPRAVLJANJU POSTUPKOM EKSPROPRIJACIJE ZA POTREBE IZGRADNJE PUTEVA

Ana Vučićević¹, Ana Lukić²

¹ JP "Putevi Srbije", email: ana.vucicevic@putevi-srbije.rs

² JP "Putevi Srbije", email: ana.lukic@putevi-srbije.rs

Rezime: Razvoj GIS sistema je uticao na procese rada u privrednim granama kao što su saobraćaj, građevinarstvo, vodoprivreda, zaštita životne sredine. Međutim, iz ekonomskih razloga, kao i potrebnog stručnog znanja, GIS specijalizovani softveri su nepristupačni za sve korisnike koji učestvuju u privrednim procesima. Ovi problemi su prevaziđeni kreiranjem Web GIS aplikacija i nativnih Android aplikacija za prikaz, ažuriranje i korišćenje baza podataka. Ova aplikativna rešenja postaju dostupna svima uz posedovanje računara ili smart telefona i aktivne internet mreže, a mnogo su jednostavniji za korišćenje od profesionalnih GIS softvera. Integracijom baza podataka u okviru centralizovanog sistema, definisanjem adekvatnih GIS servisa, kreiranjem korisničkih naloga sa posebnim privilegijama, Web GIS aplikacije pronalaze široku upotrebu u upravljanju različitim radnim procesima. U okviru ovog rada biće predstavljen pilot projekat implementacije Web GIS sistema u formiranju baze podataka i upravljanju procesom eksproprijacije za potrebe izgradnje brze saobraćajnice Iverak Lajkovac.

Ključne reči: Web GIS aplikacije, geoprostorna baza podataka, eksproprijacija, mreža državnih puteva

IMPLEMENTATION OF WEB GIS TECHNOLOGICAL SOLUTIONS IN THE MANAGEMENT OF THE EXPROPRIATION PROCEDURE FOR THE NEEDS OF ROAD CONSTRUCTION

Abstract: The development of GIS systems has influenced the work processes in industries such as transport, construction, water management, environmental protection. However, due to economic reasons, as well as the necessary expertise, GIS specialized software is inaccessible to all users who participate in economic processes. These problems have been overcome by creating Web GIS applications and native Android applications for viewing, updating and using databases. These application solutions are becoming available to everyone with a computer or smartphone and an active Internet network, and are much easier to use than professional GIS software. By integrating databases within a centralized system, defining adequate GIS services, creating user accounts with special privileges, Web GIS applications are widely used in the management of various work processes. Within this paper, a pilot project for the implementation of a Web GIS system in the formation of a database and management of the expropriation process for the needs of building a motorway Iverak Lajkovac will be presented.

Keywords: Web GIS applications, geospatial database, expropriation, state road network

1. UVOD

Tokom poslednje decenije u Republici Srbiji odigrava se ekspanzija izgradnje puteva koji su od nacionalnog i međunarodnog značaja. Izgradnja ovakvih infrastrukturnih objekata predstavlja kompleksan proces, od planiranja do dobijanja upotrebne dozvole, u kom učestvuje veliki broj državnih i privatnih subjekata. Postupak eksproprijacije je jedna od najvažnijih faza u sticanju neophodnih uslova za početak izgradnje puta, posebno jer u okviru eksproprijacije učestvuje veliki broj subjekata, pa je neophodno posebnu pažnju posvetiti pravilnom i efikasnom vođenju ovog procesa, kako bi svi subjekti bili zadovoljni i ispoštovani svi zakonski okviri. Usled velike važnosti samog postupka eksproprijacije i u skladu sa digitalnom transformacijom i tranzicijom koja se sprovodi na državnom nivou, u JP „Putevi Srbije“ prepoznata je potreba za izradom centralizovanog načina za upravljanje postupkom eksproprijacije.

Eksproprijacija kao vid prenošenja svojine na nepokretnostima prisutna je u našem pravu odavno. U važećem Ustavu iz 2006. godine dati su opšti okviri za eksproprijaciju, koji su razrađeni Zakonom o eksproprijaciji. Ustavom se definiše da „pravo svojine može biti oduzeto ili ograničeno samo u javnom interesu utvrđenom na osnovu zakona, uz naknadu koja ne može biti niža od tržišne.“ [1].

Eksproprijacija se može vršiti za potrebe Republike Srbije, autonomne pokrajine, grada, Grada Beograda, opštine, javnih fondova, javnih preduzeća, privrednih društava koja su osnovana od strane javnih preduzeća,

¹ Ана Вучићевић: email: ana.vucicevic@putevi-srbije.rs

kao i za potrebe privrednih društava sa većinskim državnim kapitalom osnovanih od strane Republike Srbije, autonomne pokrajine, grada, Grada Beograda, ili opštine, ako zakonom nije drukčije određeno [2].

Postupak eksproprijacije vrši se nad teritorijalnim celinama različitih dimenzija. U cilju sveobuhvatnog i adekvatnog sagledavanja stanja i upravljanja postupkom neophodno je formirati bazu podataka koja će sadržati podatke o zoni eksproprijacije, katastarskim opštinama i parcelama koje su predmet eksproprijacije, o njihovom prostornom položaju i statusu eksproprijacije. U cilju ubrzanja i automatizacije postupka eksproprijacije može se koristiti Geografski informacioni sistem (GIS).

GIS predstavlja moćan skup alata za prikupljanje, čuvanje, analiziranje, transformaciju i prikaz prostornih podataka [3]. GIS omogućava sveobuhvatnu analizu prostornih podataka, njihovu selekciju, grupisanje podataka po slojevima, zatim kombinovanje različitih slojeva podataka kako bi se dobile željene informacije, utvrdile prostorne relacije i uzročno-posledične veze između određenih pojava i procesa u prostoru.

2. PREDMET POSTUPKA EKSPROPRIJACIJE

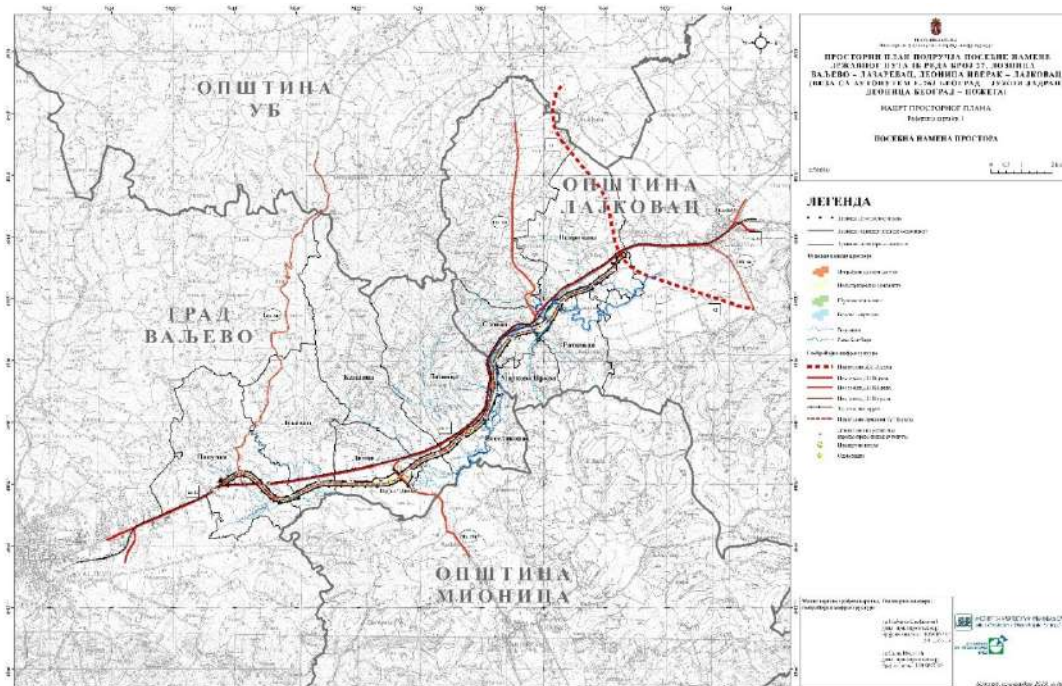
Prostornim planom područja posebne namene koji je izrađen u skladu sa Generalnim projektom i Prethodnom studijom opravdanosti za izgradnju državnog puta IB reda broj 27, Loznica-Valjevo-Lazarevac, deonica Iverak-Lajkovac predviđeno je da se trasa predmetne deonice prostire kroz sledeće teritorijalne jedinice (Slika 1.):

1. na teritoriji grada Valjeva na šest katastarskih opština: Popučke, Lukavac, Divci, Klanica, Loznica i Veselinovac
2. na teritoriji opštine Lajkovac na četiri katastarske opštine: Slovac, Markova Crkva, Ratkovac i Nepričava.

Prostorni obuhvat područja na kome se izvodi projekat izgradnje državnog puta IB reda broj 27, Loznica-Valjevo-Lazarevac, deonica Iverak-Lajkovac, u prosečnoj širini od 100 do 200 m, obuhvata pojas puta, zaštitni pojas, pojas kontrolisane izgradnje i vodno zemljište potrebno za regulaciju tokova i zaštitu puta od poplava, u ukupnoj dužini od 17,5 km [4].

Realizacijom projekta izgradnje državnog puta IB reda broj 27, Loznica-Valjevo-Lazarevac, deonica Iverak-Lajkovac, biće obezbeđeni neophodni uslovi za povezivanje dela zapadne Srbije i Kolubarskog upravnog okruga sa trasom autoputa IA2 „Miloš Veliki“ koji je deo predviđenog koridora Beograd-Južni Jadran (autoput E-763). Na ovaj način stižu se uslovi za posredno povezivanje ovog dela Republike Srbije sa državnom mrežom autoputeva i sa putevima u okruženju.

Planirana trasa državnog puta IB reda počinje od postojećeg državnog puta IB reda broj 27, Loznica-Valjevo-Lazarevac, od koga se odvaja i novoplaniranim koridorom pruža manjim delom severno od njega, nakon čega se ukršta i paralelno sa njim sa južne strane pruža pravcem istok-severoistok, kroz teritoriju grada Valjeva i opštine Lajkovac, do planirane petlje sa autoputem Beograd-Južni Jadran (E-763). Za čitavu trasu državnog puta IB reda, planira se i projektuje trasa puta za računsku brzinu od 100 km/h [4].



Slika 1. Prikaz teritorijalnih jedinica kroz koje će se prostirati predmetna deonica
Izvor: [4]

Za definisano područje izgradnje predmetne deonice pokreće se postupak eksproprijacije u skladu sa zakonom. U daljem radu biće prikazan primer vođenja postupka kroz digitalizaciju i centralizaciju u GIS okruženju.

3. PILOT PROJEKAT AUTOMATIZACIJE POSTUPKA EKSPROPRIJACIJE

U okviru višekorisničkog GIS-a, ljudi u organizacijama koriste GIS na različite načine da bi lakše obavljali dnevne zadatke. Upotreba GIS-a u organizacionim jedinicama podrazumeva sistem razvijen da bi podržao ključne funkcije i radne procese organizacione jedinice. Na primer, organizaciona jedinica za planiranje može koristiti GIS da bi se obavestili vlasnici poseda o predloženim promenama u zoni njihovog poseda. Ovakav GIS alat obično se kreira tako da obavlja automatske i ujednačene procedure. Na primer, nadležni organ može koristiti GIS da pronađe imena i adrese parcela vlasnika u okviru određenog područja i automatski generiše pisma obaveštenja. Organizacijski GIS se odnosi na više organizacionih jedinica. Ovakav sistem podržava različite funkcije u organizaciji, od dnevnih poslova do strateškog planiranja. [6]

U kontekstu Organizacijskog GIS-a može se posmatrati i postupak eksproprijacije, od planiranja i pripremnih radova za projekat eksproprijacije, do praćenja realizacije. U narednim poglavljima biće prikazane mogućnosti automatizacije postupka eksproprijacije u različitim fazama postupka.

3.1. Kratak pregled postupka eksproprijacije sa primenom GIS-a

Eksproprijacija predstavlja zakonom uređen postupak, prinudnog prelaska prava svojine iz privatne u državnu tj. javnu. Kako bi postojao osnov za pokretanje postupka eksproprijacije neophodno je utvrditi javni interes za izgradnju objekata od republičkog značaja u šta se ubraja i izgradnja državnih puteva. Postupak eksproprijacije je u Republici Srbiji uređen posebnim zakonskim aktom [2].

Zakon definiše sledeću dokumentaciju za pokretanje postupka eksproprijacije: predlog za eksproprijaciju, izvod iz katastra nepokretnosti, overen izvod iz odgovarajućeg planskog akta i dokaz o utvrđenom javnom interesu. Pored utvrđivanja javnog interesa potrebno je izvršiti pripreme radnje. Pripreme radnje podrazumevaju prikupljanje potrebne dokumentacije i postupak parcelacije. Parcelacija se sprovodi na osnovu utvrđene regulacione linije i obeležavanja svih parcela i pripadajućih objekata koji su obuhvaćeni zonom eksproprijacije. Nakon realizacije pripremnih radnji svi neophodni podaci i dokumentacija predaju se nadležnom organu na dalju nadležnost u sprovođenju postupka eksproprijacije [5]. U ovoj fazi postupka, primenom GIS alata može se izvršiti presek katastarskih parcela sa prostornim obuhvatom čime je omogućena automatska identifikacija svih katastarskih parcela i objekata koje se nalaze u pojasu eksproprijacije.

Postupak eksproprijacije po predlogu za eksproprijaciju i rešenje donosi služba opštinske uprave nadležne za imovinsko pravne poslove opštine na čijoj se teritoriji nalazi nepokretnost predložena za eksproprijaciju. Mestarstvo nadležno za poslove finansija rešava žalbe protiv prvostepenog rešenja donetog po predlogu za eksproprijaciju. U ovoj fazi eksproprijacije primenom GIS alata može se pratiti realizacija eksproprijacije - na kojim parcelama su doneta rešenja, gde postoje žalbe, sporazumi o naknadi, kontakt podaci zastupnika, evidencija troškova, pristup postojećoj dokumentaciji za svaku parcelu koja je predmet eksproprijacije itd.

GIS omogućava i automatske notifikacije (npr. putem mail-a) o donetom rešenju o eksproprijaciji, čime se rasterećuje komunikacija između zainteresovanih strana. GIS alatom je moguće i identifikovati parcele odgovarajuće vrednosti koje se mogu dati za naknadu korisniku za eksproprijsano zemljište ukoliko je to slučaj. Kroz navedene primere prikazane su mogućnosti GIS alata za automatizaciju delova postupka eksproprijacije, dok je u okviru ovog rada dat prikaz automatizacije dela postupka koji se odnosi na praćenje realizacije eksproprijacije na osnovu donetih rešenja i uloženi žalbi. Praktični primer za predmetnu deonicu Iverak-Lajkovac dat je kroz kreiranje geoprostorne baze, opisa modela podataka i kreiranja aplikativnog rešenja baziranog na Web GIS tehnologiji.

3.1. Kreiranje geoprostorne baze pilot projekta na osnovu ulaznih podataka

Za potrebe sagledavanja procesa eksproprijacije u GIS okruženju kreirana je sveobuhvatna geoprostorna baza podataka. Geoprostorne baze podataka predstavljaju prikaz dela realnog sveta u obliku organizovanog skupa prostorno definisanih i logički povezanih podataka.

Geoprostorna baza kreirana je na osnovu sledećih ulaznih podataka:

- AutoCAD Projekat eksproprijacije u zoni deonice Iverak – Lajkovac, IB reda, broj 27 (.dwg format)
- Model podataka – lejerska struktura sa opisima slojeva iz Projekta (.docx)
- Access baza sa podacima o katastarskim parcelama koje podležu postupku eksproprijacije (.mdb)
- Model podataka – detaljan opis podataka iz Access baze (.docx)

Navedeni podaci su prevedeni u GIS prihvatljiv format, pri čemu su sprovedene sledeće aktivnosti:

- Analiza svih podataka

- Konverzija .dwg u .gdb format
- Izmena strukture konvertovanog .dwg fajla za potrebe prikaza u GIS okruženju kroz konverziju polilinja u poligone, pretvaranje anotacija u atributni podatak i povezivanje sa prostornom komponentom.
- Primena toploških pravila u cilju uspostavljanja geometrijskog integriteta
- Povezivanje prostorne komponente u GIS okruženju sa Access bazom
- Formiranje geoprostorne baze na ESRI ArcGIS platformi

3.2. Model podataka u geoprostornoj bazi

Detaljnim analizom ulaznih podataka iz različitih formata i sagledavanjem postupka eksproprijacije i korisničkih potreba izrađen je model podataka za sledeće tematske celine u okviru Projekta eksproprijacije u zoni deonice Iverak – Lajkovac:

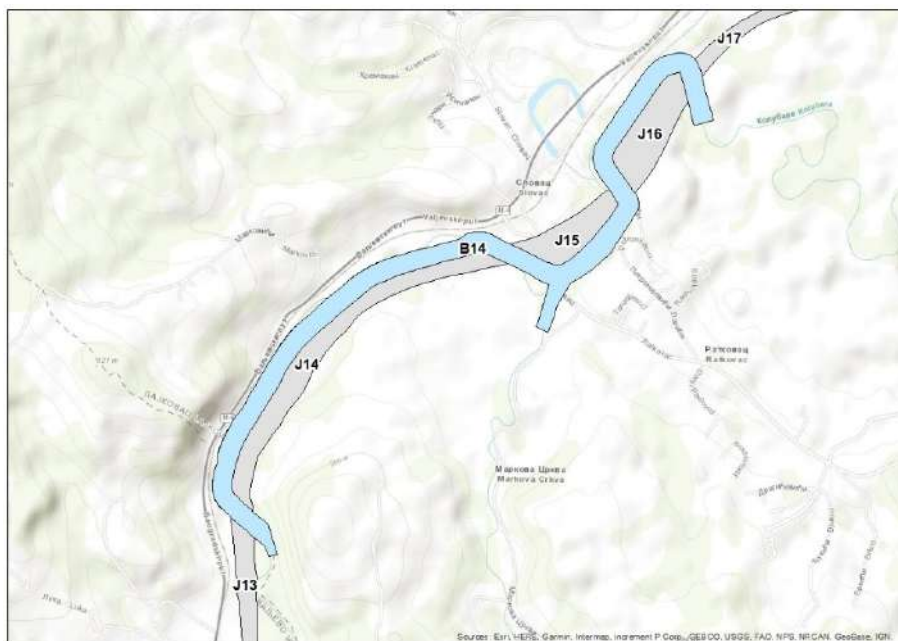
1. Pojas eksproprijacije (Tabela 1.)
2. Parcele u pojasu eksproprijacije (Tabela 2.)
3. Parcele van pojasa eksproprijacije (Tabela 3.)
4. Katastarske opštine (Tabela 4.)

Tematsku celinu Pojas eksproprijacije čine građevinske parcele definisane projektom eksproprijacije. Čine ih poligoni definisani regulacionom linijom putnog zemljišta i parcelama javne namene sa oznakama od J1 do J18 i regulacionom linijom vodnog zemljišta i parcelama javne namene sa oznakama od V1 do V16 (Slika 2.).

Tabela 1. Model podataka za tematsku celinu Pojas eksproprijacije

Naziv podataka		Pojas eksproprijacije		
Tip geometrije		Polygon		
Detaljan opis atributa				
R. br.	Naziv	Tip	Dužina	Opis polja
1.	Građevinska parcela	text	30	Naziv građevinske parcele

Izvor: Autor



Slika 2. Regulacione linije putnog i vodnog zemljišta

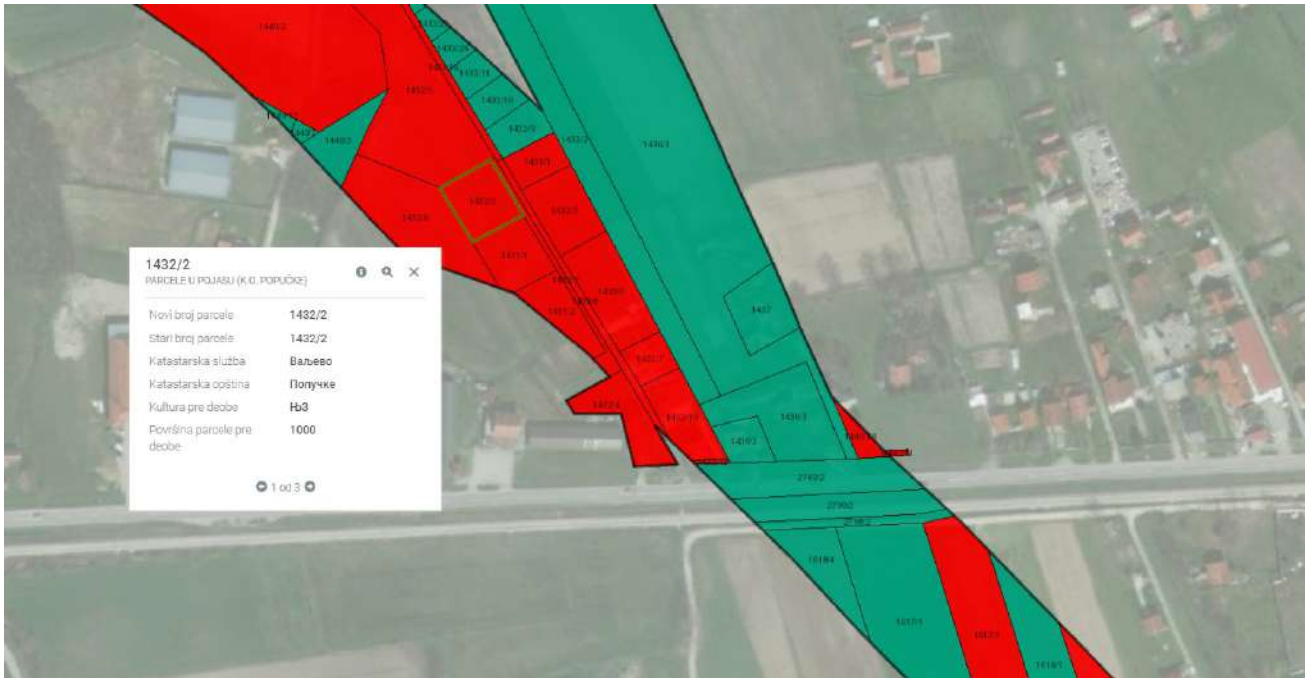
Izvor: Autor

Tematska celina Parcele u pojasu eksproprijacije sadrži parcele koje su nakon deobe u postupku eksproprijacije delimično ili cele upale u pojas eksproprijacije. U okviru ove celine postoji 10 klasa, po jedna za svaku katastarsku opštinu preko koje se prostire pojas eksproprijacije. Putem polja Status vrši se sukcesivno ažuriranje na osnovu rešenja o okončanim deobama, tako da se u realnom vremenu može pratiti postupak rešavanja imovinsko-pravnih odnosa. Crvenom bojom biće izdvojene one parcele na kojima postoji zabeležba, odnosno postupak eksproprijacije nije okončan (Slika 3.).

Tabela 2. Model podataka za tematsku celinu Parcele u pojasu eksproprijacije

Naziv podataka	Parcele u pojasu (K.O. Naziv opštine)			
Tip geometrije	Polygon			
Detaljan opis atributa				
R. br.	Naziv	Tip	Dužina	Opis polja
1.	Novi broj parcele	text	25	Broj katastarske parcele nakon deobe po projektu eksproprijacije
2.	Stari broj parcele	text	25	Broj katastarske parcele iz projekta eksproprijacije pre deobe
3.	Katastarska služba	text	100	Naziv službe za katastar nepokretnosti
4.	Katastarska opština	text	100	Naziv katastarske opštine
5.	Kultura pre deobe	text	150	Način korišćenja katastarske parcele (kultura i klasa) iz projekta eksproprijacije pre deobe
6.	Površina parcele pre deobe	long integer		Površina parcele u katastarskom operatu iz projekta eksproprijacije pre deobe
7.	Br. lista nepokretnosti pre deobe	long integer		Broj lista nepokretnosti iz projekta eksproprijacije pre deobe
8.	Nosilac prava na nepokretnost pre deobe	text	255	Indikacije nosioca prava na nepokretnostima u katastarskom operatu iz projekta eksproprijacije pre deobe
9.	Građevinska parcela	text	30	Naziv građevinske parcele
10.	Parcela cela/deo	text	25	Opisuje da li je parcela eksproprijsana cela ili njen deo
11.	Kultura nakon deobe	text	150	Način korišćenja katastarske parcele (kultura i klasa) nakon deobe po projektu eksproprijacije
12.	Površina nakon deobe	long integer		Površina katastarske parcele u katastarskom operatu nakon deobe po projektu eksproprijacije
13.	Vrsta zemljišta	text	150	Vrsta zemljišta (poljoprivredno zemljište, ostalo zemljište, gradsko građevinsko zemljište, ...)
14.	Oznaka dokumenta iz kat. operata	text	100	Oznaka dokumenta na osnovu koga su upisani podaci iz katastarskog operata u bazu, sa datumom izdavanja/ažuriranja
15.	Br. lista nepokretnosti nakon deobe	long integer		Broj lista nepokretnosti nakon deobe po projektu eksproprijacije
16.	Nosilac prava nakon deobe	text	255	Indikacije nosioca prava na nepokretnostima u katastarskom operatu nakon deobe po projektu eksproprijacije
17.	Napomena	text	255	Napomene (primedbe, neslaganja, ...)
18.	Prioritet	text	50	Rešavanje imovine po hitnom postupku po zahtevu nadzora
19.	Elaborat eksproprijacije	text	50	Verzija elaborata po kojoj je parcela eksproprijsana
20.	Površina predviđena za eksproprijaciju	long integer		Površina parcele predviđena za eksproprijaciju po projektu eksproprijacije ili planu parcelacije
21.	Status	text	100	Parcele sa statusom Zabeležba i Rešenje nije konačno naznačene su crvenom bojom na mapi, dok je kod ostalih okončana postupak. Podatak je generisan na osnovu polja Napomena

Izvor: Autor



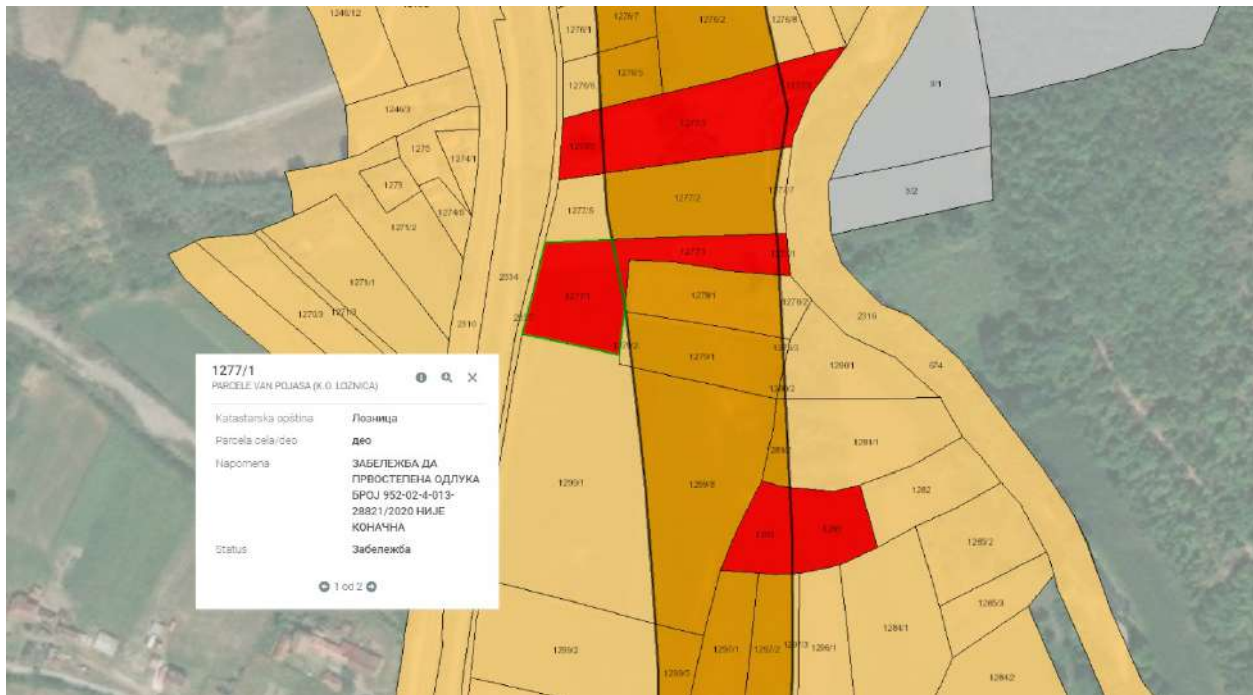
Slika 3. Parcele u pojasu eksproprijacije – pregled statusa eksproprijacije
Izvor: Autor

Tematska celina Parcele van pojasa eksproprijacije sadrži parcele koje su nakon deobe u postupku eksproprijacije delimično ili cele ostale van pojasa eksproprijacije. Kao i u prethodnoj tematskoj celini i ovde je izdvojeno 10 klasa, po jedna za svaku katastarsku opštinu preko koje se prostire pojas eksproprijacije. Putem polja Status vrši se sukcesivno ažuriranje na osnovu rešenja o okončanim deobama, tako da se u realnom vremenu može pratiti postupak rešavanja imovinsko-pravnih odnosa. Crvenom bojom biće izdvojene one parcele na kojima postoji zabeležba, odnosno postupak eksproprijacije nije okončan (Slika 4.).

Tabela 3. Model podataka za tematsku celinu Parcele van pojasa eksproprijacije

Naziv podataka	Parcele van pojasa (K.O. Naziv opštine)			
Tip geometrije	Polygon			
Detaljan opis atributa				
R. br.	Naziv	Tip	Dužina	Opis polja
1.	Broj parcele	text	25	Stari broj katastarske parcele za parcele koje su u celosti van pojasa eksproprijacije (nisu bile predmet postupka) i novi broj katastarske parcele za parcele koje su nakon deobe ispale iz pojasa eksproprijacije
2.	Katastarska služba	text	100	Naziv službe za katastar nepokretnosti
3.	Katastarska opština	text	100	Naziv katastarske opštine
4.	Parcela deo/cela	text	25	Opisuje da li je parcela eksproprijisana cela ili njen deo
5.	Napomena	text	255	Napomene (primedbe, neslaganja, ...)
6.	Status	text	100	Parcele sa statusom Zabeležba i Rešenje nije konačno naznačene su crvenom bojom na mapi, dok je kod ostalih okončan postupak ili nije ni vođen postupak za parcele koje su u celosti van pojasa. Podatak je generisan na osnovu polja Napomena

Izvor: Autor



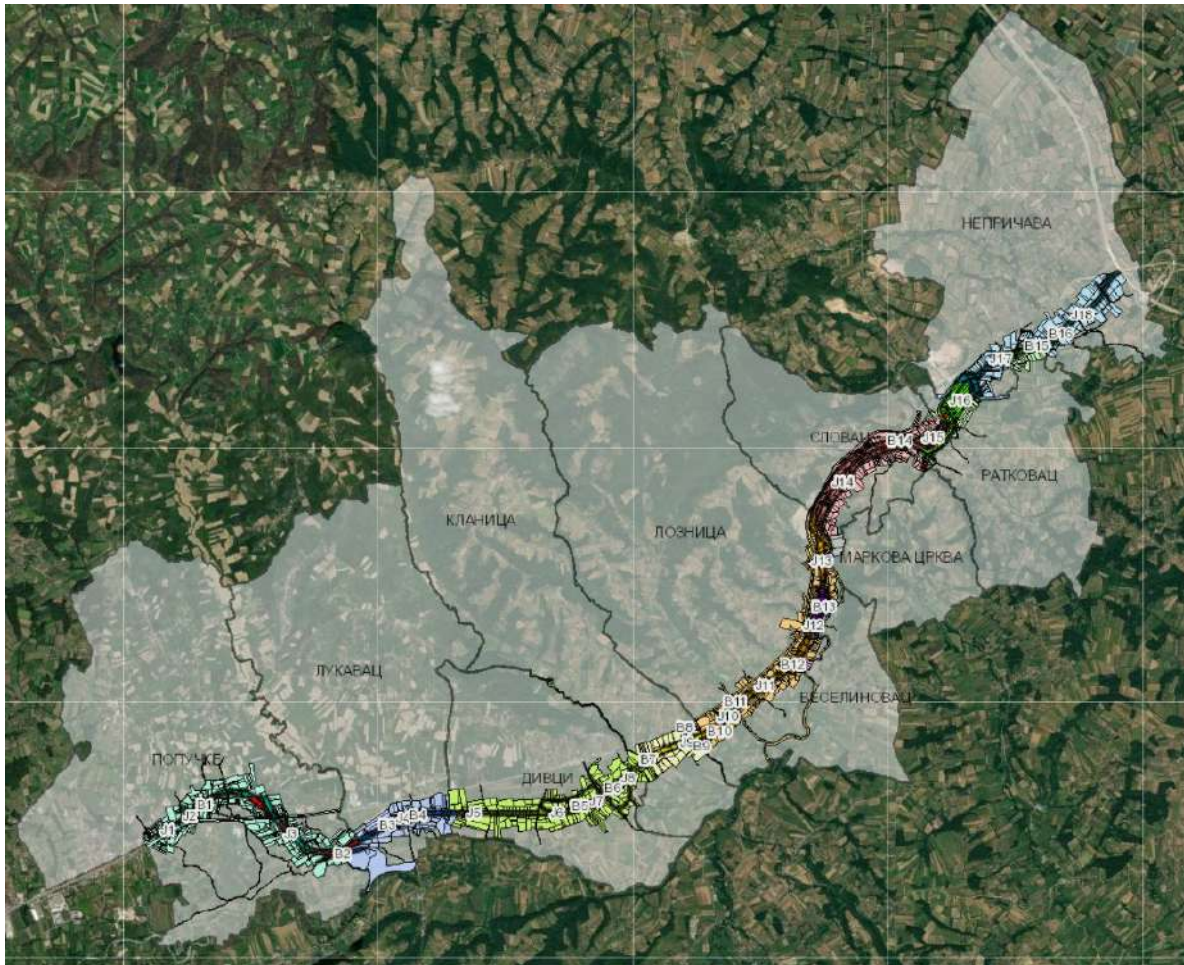
Slika 4. Parcele van pojasa eksproprijacije – pregled statusa eksproprijacije
Izvor: Autor

Tematska celina Katastarske opštine sadrži granice prostornog obuhvata za 10 katastarskih opština na čijoj teritoriji se nalaze katastarske parcele koje su predmet projekta eksproprijacije (Slika 5.).

Tabela 4. Model podataka za tematsku celinu Katastarske opštine

Naziv podataka	Katastarske opštine			
Tip geometrije	Polygon			
Detaljan opis atributa				
R. br.	Naziv	Tip	Dužina	Opis polja
1.	Matični br. K.O.	long integer	10	Matični broj katastarske opštine iz registra prostornih jedinica
2.	Ime K.O.	text	30	Naziv katastarske opštine
3.	Ime K.O. (lat.)	text	30	Naziv katastarske opštine na latiničnom pismu
4.	Matični br. opštine	long integer	10	Matični broj opštine iz registra prostornih jedinica kojoj pripada K.O.
5.	Šifra pokrajine	long integer	10	Šifra pokrajine iz registra prostornih jedinica kojoj pripada K.O.
6.	Šifra katastarskog sreza	long integer	10	Šifra katastarskog sreza iz registra prostornih jedinica kom pripada K.O.

Izvor: Autor



Slika 5. *Katastarske opštine na čijoj teritoriji se prostire pojas eksproprijacije*
Izvor: Autor

4. PRIKAZ APLIKATIVNOG REŠENJA

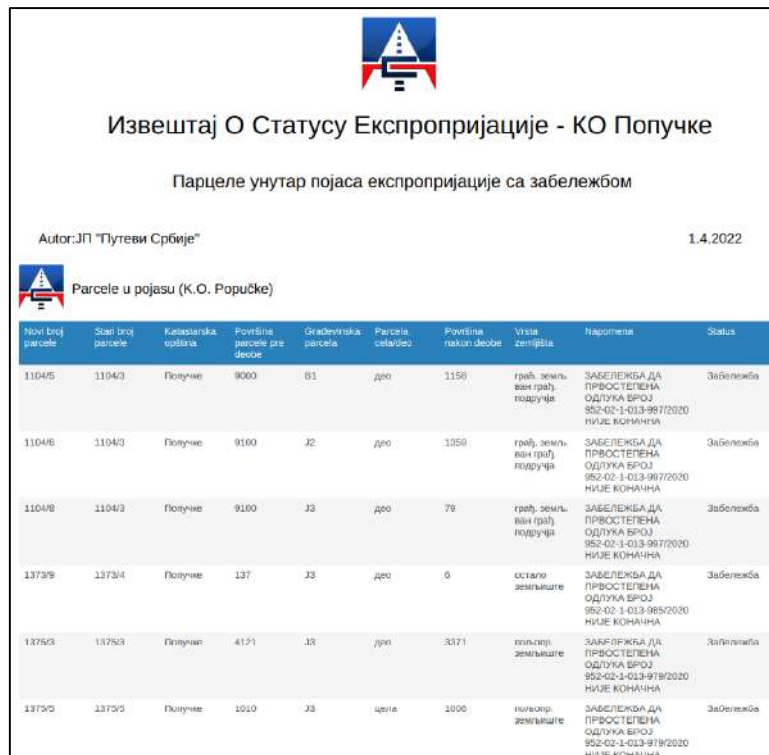
Na osnovu navedenih ulaznih podataka i sprovedenih aktivnosti formirana je centralna geoprostorna baza podataka na serverskom okruženju ESRI ArcGIS platforme. Za potrebe centralizovanog upravljanja podacima i višekorisničkog istovremenog pristupa geoprostornoj bazi podataka kreiran je Web GIS servis i prateće aplikativno Web GIS rešenje (Slika 6.).



Slika 6. *Prikaz aplikativnog Web GIS rešenja*
Izvor: Autor

Web GIS aplikativno rešenje sadrži sledeće funkcionalnosti:

- Vizuelizacija podataka uz organizaciju tematskih slojeva
- Korišćenje osnovnih GIS alata za manipulaciju nad podacima kao što su: pretraga, prostorna selekcija, kreiranje upita
- Uvoz podataka različitih formata za potrebe preklapanja zone eksproprijacije sa drugim setovima prostornih podataka (projekti infrastrukturnih objekata različite namene za predmetni geografski obuhvat)
- Izvoz podataka u GIS formatima ili tabelarno za potrebe izveštavanja zainteresovanih strana o statusu postupka eksproprijacije (Slika 7.)
- Merenje dužina, površina i koordinata objekata iz realnog sveta na mapi
- Mogućnost prikaza podataka na različitim podlogama (Imagery, Topographic, Open Street Map)



Novi broj parcele	Stari broj parcele	Katastarska opština	Površina parcele pre deobe	Gradjevinarska parcela	Parcela celina/deo	Površina nakon deobe	Uziva zemljišta	Napomena	Status
11045	11043	Получке	9000	81	део	1156	грађ. земљ. ван грађ. подручја	ЗАБЕЛЕЖБА ДА ПРВОСТЕПЕНА ОДЛУКА БРОЈ 952-02-1-013-967/2020 НИЈЕ КОНАЧНА	Забележба
11046	11043	Получке	9100	32	део	1359	грађ. земљ. ван грађ. подручја	ЗАБЕЛЕЖБА ДА ПРВОСТЕПЕНА ОДЛУКА БРОЈ 952-02-1-013-967/2020 НИЈЕ КОНАЧНА	Забележба
11048	11043	Получке	9100	33	део	79	грађ. земљ. ван грађ. подручја	ЗАБЕЛЕЖБА ДА ПРВОСТЕПЕНА ОДЛУКА БРОЈ 952-02-1-013-967/2020 НИЈЕ КОНАЧНА	Забележба
13739	13734	Получке	137	33	део	0	остало земљиште	ЗАБЕЛЕЖБА ДА ПРВОСТЕПЕНА ОДЛУКА БРОЈ 952-02-1-013-965/2020 НИЈЕ КОНАЧНА	Забележба
13753	13753	Получке	4121	18	цели	3371	пољ. земљиште	ЗАБЕЛЕЖБА ДА ПРВОСТЕПЕНА ОДЛУКА БРОЈ 952-02-1-013-979/2020 НИЈЕ КОНАЧНА	Забележба
13755	13753	Получке	1010	33	цели	1000	пољ. земљиште	ЗАБЕЛЕЖБА ДА ПРВОСТЕПЕНА ОДЛУКА БРОЈ 952-02-1-013-979/2020 НИЈЕ КОНАЧНА	Забележба

Slika 7. Prikaz automatskog izveštavanja o statusu eksproprijacije (upit: izdvoj sve parcele iz KO Popucke na kojima postoji zabeležba)
Izvor: Autor

5. ZAKLJUČAK

Kroz rad je prikazan pilot projekat implementacije Web GIS tehnološkog rešenja u svrhu automatizacije, podrške postupku praćenja statusa i upravljanja procesom eksproprijacije za potrebe projekta izgradnje državnog puta IB reda broj 27, Loznica-Valjevo-Lazarevac, deonica Iverak-Lajkovac.

Izazovi koji su se javili prilikom pripreme podataka i kreiranja geoprostorne baze ogledaju se u formatu ulaznih podataka, samoj strukturi podataka, geoprostornom integritetu u pogledu neslaganja sa topološkim svojstvima i pravilima. Struktura podataka u .dwg projektu nije bila adekvatna za automatsko konvertovanje u GIS format i povezivanje sa .mdb bazom podataka. Nepoklapanje položaja anotacije na crtežu sa pripadajućom katastarskom parcelom zahtevalo je veliko angažovanje u pogledu manuelne kontrole i izmene uočenih nepravilnosti. Anotacija mora biti unutar parcele koju označava kako bi bilo moguće automatsko povezivanje geometrije sa atributnim podacima. Primenom topoloških pravila uočen je veliki broj grešaka u povezanosti i kompaktnosti entiteta u okviru tematskih celina. U okviru ulaznih podataka parcele su predstavljene linijskim elementima. Obzirom da su u realnom svetu parcele poligoni elementi koji dele svoje granice, bilo je neophodno konvertovati linije u poligone. Najveći broj topoloških grešaka odnosio se na preklapanje granica susednih parcela. Uspostavljanje geoprostornog integriteta iziskivalo je manuelnu kontrolu i rešavanje konflikata. U cilju postizanja veće efikasnosti u radu i automatizacije radnih procesa potrebno je uvesti procedure za formiranje projekata u .dwg formatu u obliku koji će obezbediti neophodan nivo kompatibilnosti za automatsku konverziju u GIS okruženje, kako u pogledu strukture podataka tako i u pogledu poštovanja topoloških pravila.

Za potrebe potpune digitalizacije i automatizacije procesa eksproprijacije i kako bi se minimalizovao broj slučajnih i grubih grešaka preporuka je da se uspostavi centralizovani sistem za vođenje postupka. Centralizovani sistem bi podrazumevao napuštanje dosadašnje prakse u vođenju postupka i prelazak na napredne GIS tehnologije kojima je moguće objediniti neophodan atributni opis podataka sa geometrijom i obezbediti njihov integritet.

U skladu sa digitalnom transformacijom i automatizacijom poslovnih procesa na državnom nivou treba se težiti ka uspostavljanju procedura za međuinstitucionalnu saradnju. U postupku eksproprijacije prepoznat je veliki benefit u centralizovanom načinu vođenja i razmeni geoprostornih i drugih podataka između subjekata koji na različite načine učestvuju u postupku eksproprijacije.

Literatura

- [1] Milkov, D., 2011. *Eksproprijacija između privatnog i javnog*. Anali Pravnog fakulteta u Beogradu, LIX, 2/2011, UDK 351.712.5.: 43-62
- [2] Zakon o eksproprijaciji ("Sl. glasnik RS", br. 53/95, "Sl. list SRJ", br. 16/2001 - odluka SUS i "Sl. glasnik RS", br. 20/2009, 55/2013 - odluka US i 106/2016 - autentično tumačenje)
- [3] Burrough, P. A., McDonnell, R. A. 2006. (prevod) *Principi geografskih informacionih sistema*. Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet
- [4] Ministarstvo građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture, Sektor za prostorno planiranje u urbanizam, 2019. Prostorni plan područja posebne namene državnog puta IB reda broj 27, Loznica – Valjevo – Lazarevac, deonica Iverak – Lajkovac (veza sa autoputem E-763 Beograd – Južni Jadran, deonica Beograd – Požega) – Nacr
- [5] <https://www.putevi-srbije.rs/index.php/>
- [6] Grupa autora, 2012. *Geografski informacioni sistemi*. Univerzitet Singidunum, Univerzitet u Novom Sadu

PRORAČUN RAČUNSKE TRAJNOSTI KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE OJAČANE TERMOSTABILNOM MREŽOM OD STAKLENIH VLAKANA ZA ARMIRANJE ASFALTA

Dragan Stojnić,

Institut za puteve a.d. Beograd - Odsek za kolovozne konstrukcije, Bulevar Peka Dapčevića 45, Beograd, Srbija

Rezime: Asfaltni (fleksibilni) kolovozi su pored destruktivnog uticaja napona od opterećenja teških vozila (dinamičko opterećenje) izloženi i negativnom uticaju napona od temperature (velike temperaturne oscilacije). Dosadašnja istraživanja, upotrebom odgovarajućih termostabilnih mreža za armiranje asfalta, ukazuju na pozitivna iskustva u laboratoriji i na terenu. Ojačanjem asfaltnog sloja odgovarajućim mrežama od staklenih vlakana, produžava se životni vek asfaltnih slojeva kolovozne konstrukcije i smanjuju troškovi održavanja, što u konačnom rezultuje smanjenju emisije ugljen dioksida i ostalih štetnih gasova sa efektom staklene bašte. Decenijama unazad razvijaju se matematički modeli i kompjuterski programi koji pomažu da se što bolje analizira naponsko deformacijsko ponašanje asfaltnih slojeva kolovozne konstrukcije. U radu je na konkretnom primeru prikazan postupak racionalnog dimenzionisanja kolovozne konstrukcije ojačane armaturnom mrežom od staklenih vlakana i efekat upotrebe iste.

Ključne reči: Asfaltni kolovoz, dilatacija zatezanja asfaltnog sloja, životni vek, termostabilna armaturna mreža

CALCULATION OF PAVEMENT STRUCTURE DURABILITY REINFORCED WITH THERMOSTABLE GLASS GRID FOR ASPHALT REINFORCEMENT

Dragan Stojnić,

Highway Institute Belgrade - Department for Pavement Structures, Bulevar Peka Dapčevića 45, Belgrade, Serbia

Abstract: Asphalt (flexible) pavement, are exposed to the destructive impact of stress caused by heavy vehicle load (dynamic load) and also exposed to the negative impact of temperature stress (high temperature oscillation). Current research using appropriate thermostable grid for asphalt reinforcement indicates positive experiences in the laboratory and in the field. By using the appropriate grid made of glass fiber, we can extend the lifespan of pavement asphalt course and reduce maintenance costs, which ultimately results in a reduction of carbon dioxide and other harmful greenhouse gases emission. Decades ago, mathematical models and computer programs were developed to help analyzing stress/strain deformation behavior of the asphalt layers of the pavement structure. The paper shows on a specific example of the procedure of rational computing of pavement construction using thermostable glass grid fiber for asphalt reinforcement and the application effect.

Key words: Asphalt pavement, tensile strain of asphalt layer, lifespan, thermostable grid

1. UVOD

Asfaltni (fleksibilni) kolovozi su pored destruktivnog uticaja napona od opterećenja teških vozila (dinamičko opterećenje) izloženi i negativnom uticaju napona od temperature (velike temperaturne oscilacije), koji u sadejstvu utiču na ponašanje materijala i pri različitim eksploatacijskim uslovima uzrokuju pojavu trajnih deformacija u obliku pukotina i kolotraga. Upotrebom odgovarajućih mreža za armiranje produžava se životni vek asfaltnih slojeva kolovozne konstrukcije i smanjuju troškovi održavanja. Termostabilna armaturna mreža za armiranje asfalta se sve više koristi prilikom rehabilitacije/rekonstrukcije kolovoznih konstrukcija na putevima sa srednjim i teškim saobraćajnim opterećenjem i na aerodromskim manevarskim površinama, imajući u vidu da armaturna mreža predstavlja sloj kolovozne konstrukcije namenjen sprečavanju nepoželjnih uticaja oštećenog donjeg sloja kolovoza (naprslina i pukotina) u novi asfaltni sloj.

SolDUGri je prvi francuski nacionalni projekat koji se bavi ispitivanjima asfaltnih kolovoza ojačanih armaturnim mrežama. Ispitivanjima su između ostalog obuhvaćena i oštećenja mreže nakon ugradnje. Rezultati pokazuju da se tokom ugradnje mogu pojaviti znatna oštećenja mreže koja dovode do ograničenog gubitka modula elastičnosti (od 20 % do 25 %), ali i do gubitka zatezne čvrstoće (od 60 % do 80 %). Laboratorijska istraživanja pokazuju da ojačanje asfaltnog sloja armaturnom mrežom od staklenih vlakana daje odlične rezultate, zbog visoke krutosti staklenih vlakana. Dokazani učinak ojačanja asfaltnih slojeva termostabilnom armaturnom mrežom, odnosi se na smanjenje trajnih deformacija kolovoznog zastora. Upotreba armaturne mreže istovremeno štedi prirodne resurse, posebno kameni agregat (smanjena debljina asfaltnog sloja), što za rezultat ima smanjenje emisije ugljen dioksida i ostalih štetnih gasova sa efektom staklene bašte.

2. ZAMOR

Idealizovana elastična osobina materijala ogleda se u sposobnosti da se po prestanku opterećenja (naponskog stanja), ukupna deformacija potpuno povraća. Realni materijali, kao što je poznato nisu idealno elastični, tj. izvestan deo deformacije po prestanku opterećenja ostaje. Ipak, one materijale u domenu u kojem je zaostala plastična deformacija zanemarljivo mala, možemo smatrati idealno elastičnim. Van ovog domena, tj. prekoračenjem granice nastaju izražene plastične deformacije, odnosno lom. U slučaju kratkotrajnih učestalih apliciranja napona, što je slučaj kod dinamički opterećenih kolovoznih konstrukcija, granica elastičnosti materijala se smanjuje sa povećavanjem broja ponavljanja opterećenja. Ovu osobinu manje ili više ispoljavaju svi elastični materijali, što je pojava poznata kao "zamor" materijala.

3. HORIZONTALNA DILATACIJA ZATEZANJA

Osnovni kriterijum za proračun računске trajnosti fleksibilne (asfaltno) kolovozne konstrukcije je horizontalna dilatacija zatezanje u donjem vlaknu bitumenom vezanih slojeva. Dilatacija zatezanja (ϵ) je odnos izduženja (ΔL) i prvobitne dužine (L) i predstavlja bezdimenzionu veličinu ($\epsilon = \Delta L/L$, μ strain).



Slika 1: Shematski prikaz dilatacije zatezanja

4. MEHANIZAM DELOVANJA ARMATURNE MREŽE

Armatura mreža je napravljena od impregniranih staklenih vlakana velike čvrstoće. Predivo, od kojeg je sačinjena geomreža, napravljeno je od neprekidnog staklenog vlakna (sa Jangovim modulom (E) od 70 GPa) i presvučeno je elastomernim polimerom (sa tačkom topljenja višom od 230°C) radi zaštite i poboljšanja athezije sa asfaltnim slojevima. Pukotine u asfaltnim slojevima pojavljuju se usled spoljašnjih uticaja, kao što su saobraćajno opterećenja i promena temperature. Temperatura utiče na mehanička i reološka svojstva asfaltnih slojeva, što za rezultat ima smanjenu otpornost na pojavu deformacije. Usled uticaja saobraćajnog opterećenja dolazi do pojave pukotina, koja se širi od dna ka vrhu asfaltnog sloja. Zbog koncentracije napona na vrhu pukotina, izazvane silama od saobraćaja i prirodnim varijacijama temperature, pukotine brzo propagiraju do vrha rehabilitovanog asfaltnog sloja. Mehanizam delovanja ovih mreža je u formiranju optimalne veze asfaltnih slojeva i mreže (putem uklještenja), samim tim mreža je u stanju da primi maksimalna horizontalna naprezanja koja se stvaraju na lokacijama pukotina i raspodeli ih na veću površinu.

Mnoge institucije u razvijenim zemljama bavile su se istraživanjima vezanim za armiranja asfaltnih slojeva. U većini slučajeva rezultati su pozitivni i ističe se korist pri armiranju asfaltnih slojeva ukoliko se pravilno izabere armatura mreža i ukoliko se ona pravilno ugradi. Pored navedenog, efikasnost mreže od staklenih vlakana tokom i nakon ugradnje je od suštinske važnosti (smanjenje zatezne čvrstoće nije veće od 20% u odnosu na inicijalnu). Dokazani učinak ojačanja asfaltnog sloja termostabilnom armaturnom mrežom od staklenih vlakana, odnosi se na povećanje vrednosti dozvoljene horizontalne dilatacije zatezanja asfaltnog sloja nakon 10^6 ciklusa opterećenja Epsilon 6 (na 10°C i frekvenciji od 25 Hz), za 7- 30%¹, što u konačnom za rezultat ima duži životni vek kolovoznog zastora (životni vek ojačanih uzoraka se povećava za 79-144% kada se primenjuje konvencionalni kriterijum, odnosno za 58-292% kada se primenjuje kriterijum disipovanih energija (Energy Ratio - ER) za definisanje zamora). Procentualno uvećanje vrednosti horizontalne dilatacije zatezanja asfaltnog sloja (Epsilon 6), primenom različitih tipova armature mreže od staklenih vlakana (zatezne čvrstoće 50 i 100 kN/m) prikazano je u narednoj tabeli.

Tabela 1: Učinak primene termostabilne armature mreže od staklenih vlakana

Tip mreže	Epsilon 6		Poboljšanje [%]
	Bez ojačanja mrežom	Ojačan mrežom	
GG 50	97.7	104.3	+ 6.8
CG 50L	97.7	112.0	+ 14.6
GG 100	97.7	115.5	+ 18.2
CG 100L	97.7	127.2	+ 30.2

¹ Laboratorijsko ispitivanje na dva kompleta uzoraka asfalta (nearmiranim i armiranim ADFORDS GlasGrid GG/CGL 50/100 mrežom), Građevinski fakultet, Beogradski univerzitet (G. Mladenović, 2018. i 2020.)

5. POSTUPAK DIMENZIONISANJA

Decenijama unazad razvijaju se modeli koji pomažu da se što bolje analizira naponsko deformacijsko ponašanje slojeva kolovozne konstrukcije. Postupak racionalnog dimenzionisanja kolovoza ojačanih termostabilnom armaturnom mrežom za armiranje asfalta koji će ovde biti prezentovan (ne upuštajući se u suštinu i objašnjenje pojave zamora materijala i pojave plastičnih deformacija) ima za cilj da bliže pojasni strukturnu analizu kolovozne konstrukcije primenom savremenog analitičkog postupka prema metodologiji LCPC-SETRA² (ϵ_0 , b , K_θ , K_s , K_r , K_c). Provera konstrukcije na zamor, vrši se poređenjem stvarnih deformacija od opterećenja koje se ponavlja, sa dopuštenim. Dopuštene deformacije sračunate su iz krive zamora za zadati (projektovani) broj ponavljanja opterećenja. Osnovni kriterijum za dimenzionisanje je horizontalna dilatacija zatezanje u donjem vlaknu bitumenom vezanih slojeva. Prekoračenje dopuštene horizontalne dilatacije izaziva pukotine u bitumenom vezanom sloju.

6. PRORAČUN NAPONA I DEFORMACIJA OD ZADATOG OPTEREĆENJA - KOMPJUTERSKI PROGRAM "LCPC-ALIZE"

Potrebne veličine horizontalne deformacije zatezanja na dnu bitumenom vezanog sloja od zadatog opterećenja koje će se ponavljati moguće je odrediti pomoću kompjuterskog programa "LCPC-Alize" (pored ovog postoje i razni drugi računarski programi). Primena elektronskih računara u proračunu kolovoznih konstrukcija omogućava dobijanje rezultata visoke matematičke tačnosti. Tačnost ulaznih podataka za proračun i pretpostavke na kojima se kompjuterski program zasniva su idealizacija. U stvarnosti tu postoje izvesna odstupanja koja za posledicu imaju nepodudarnost računarskih i praktičnih rezultata. Zato, neka tolerancija u ovom pogledu mora postojati, i ona se "pokriva" koeficijentima sigurnosti. Ne ulazeći detaljno u objašnjavanje ovog načina proračuna, navode se samo neophodne osnovne pretpostavke na kojima se program zasniva, radi pravilnog tumačenja rezultata koje ovaj kompjuterski program daje. Polazne pretpostavke su:

- Kolovozna konstrukcija se tretira kao višeslojni elastični sistem
- Kolovozna konstrukcija se sastoji od više horizontalnih slojeva, svaki stalne debljine izuzev posteljice koja je polubeskonačna
- U horizontalnom pravcu svi slojevi su neograničeni
- Svi slojevi su od homogenog i izotropnog materijala sa svojim stalnim mehaničkim karakteristikama
- Važe linearne veze između napona i deformacija
- Svi materijali su elastični

Kao ulazni podaci potrebni za proračun zadaju se:

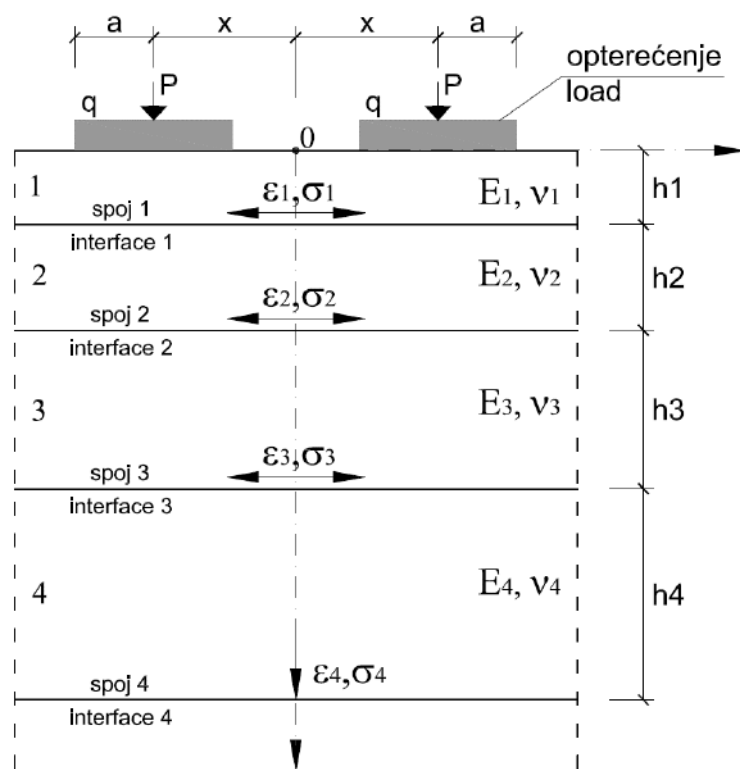
- Broj slojeva, njihove debljine i karakteristike materijala (E i ν) za svaki sloj
- Karakter kontakta (trenja) između slojeva (dobar, osrednji, loš)
- Karakteristike opterećenja (P, q), radijus kružne površine preko koje se opterećenje prenosi na konstrukciju (a), rastojanje kružnih površina (kod duplog točka - x)
- Kordinate napadnih tačaka rezultanti od opterećenja

Rezultat proračuna pomoću kompjuterskog programa "LCPC-Alize" koji se dalje koriste u proveru konstrukcije, je:

- Naponi i deformacije u zadatoj tački bilo kog sloja

² French design manual for pavement structures-Guide technique, May 1997, LCPC and SETRA

Shematski prikaz proverenih napona i dilatacija (σ i ϵ) prikazan je na narednoj slici.



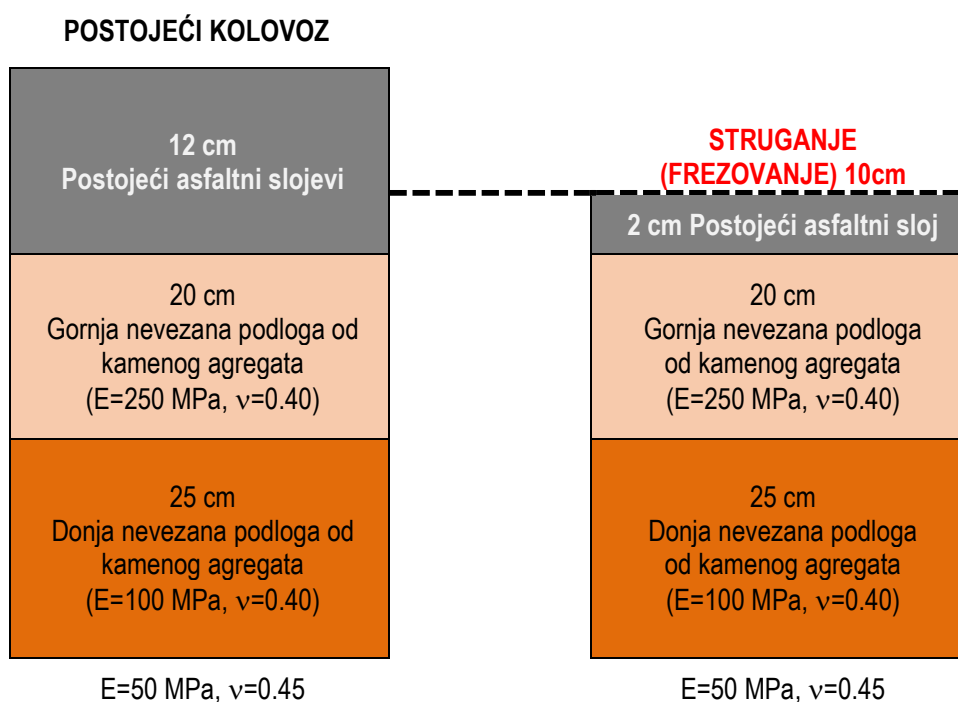
Slika 2: Shematski prikaz proverenih napona i dilatacija u kolovoznoj konstrukciji

7. MATEMATIČKI MODEL KOLOVOZA - POSTOJEĆI KOLOVOZ

Radi preglednosti celog postupka dat je konkretan primer rehabilitacije (sanacije) postojeće kolovozne konstrukcije. Polazne pretpostavke su:

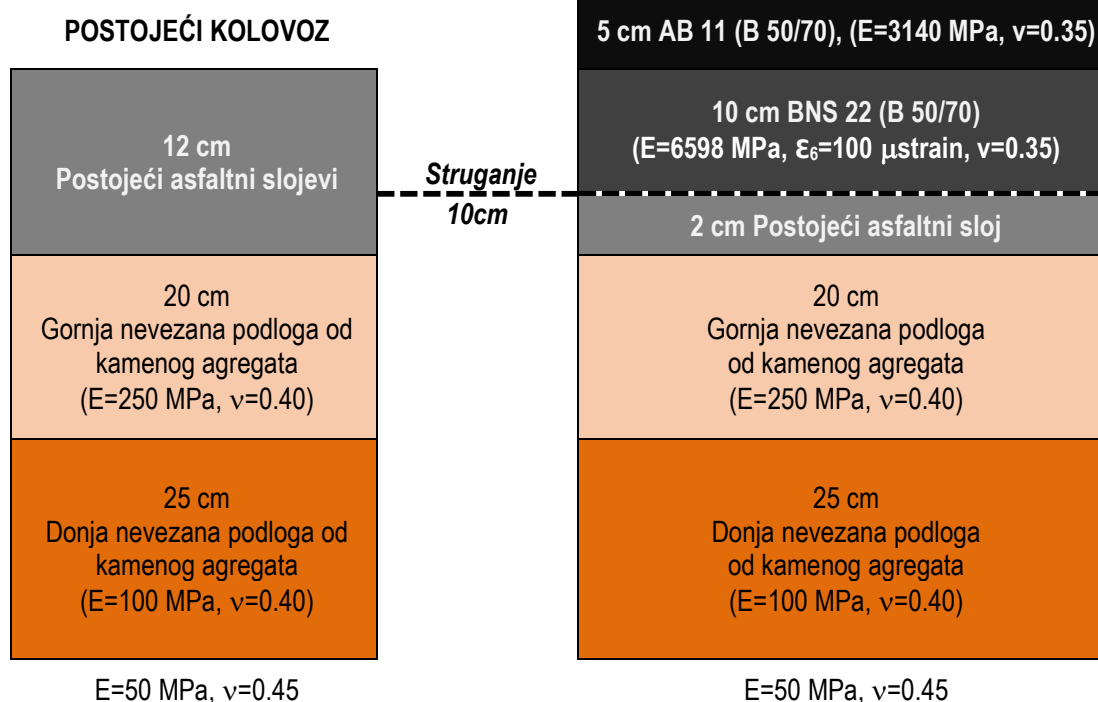
- Projektovana vrednost nosivosti posteljice iskazana modulom deformacije iznosi $E_{v2}=50\text{MPa}$
- Vrednost merodavne temperature asfaltnih mešavina iznosi $T_{\text{eff}}=22^{\circ}\text{C}$
- Sanacijom se predviđa uklanjanje (struganjem) postojećeg asfaltnog sloja (10cm) i izrada novog asfaltnog zastora (u dva sloja)
- Zatezna čvrstoća armaturne mreže od staklenih vlakana (sa netkanim geotekstilom) iznosi 100kN/m

Matematički modeli postojeće kolovozne konstrukcije (sa pripremnim radovima) i varijantna rešenja rehabilitacije (izrada novog asfaltnog zastora u dva sloja sa/bez ojačanja mrežom) prikazani su na narednim slikama.



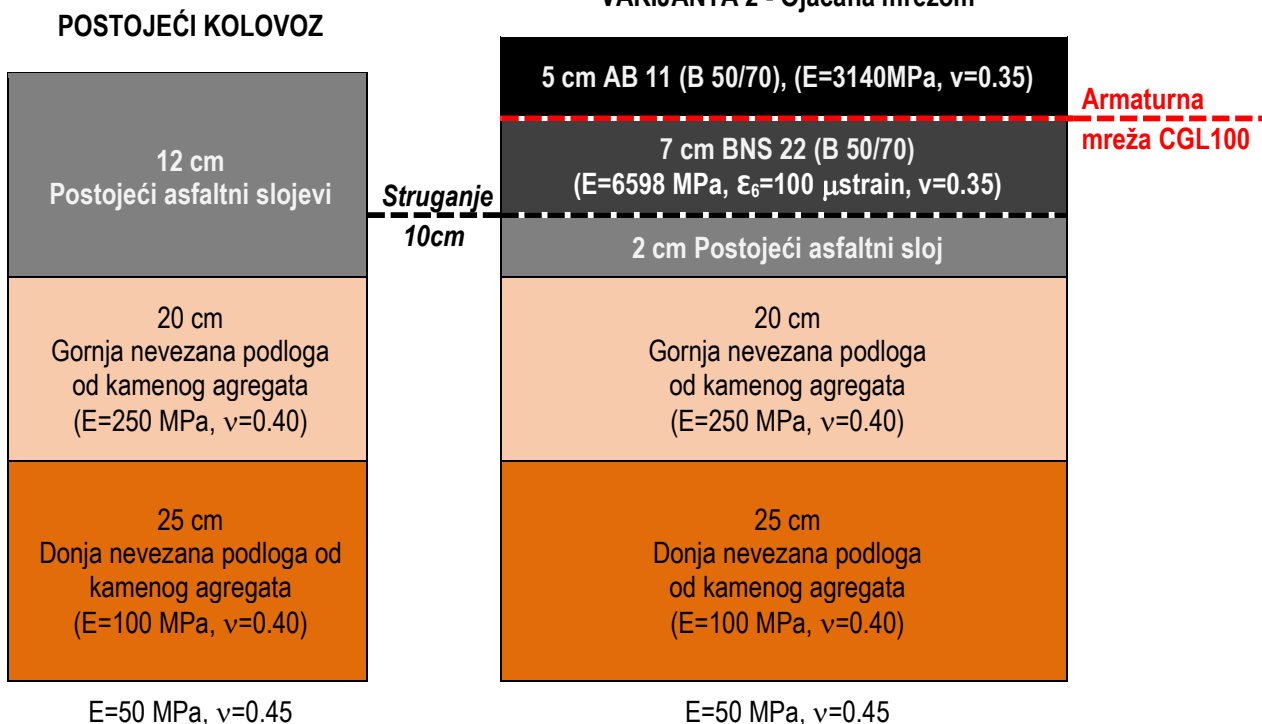
Slika 3: Matematički model postojeće kolovozne konstrukcije sa pripremnim radovima

**REHABILITACIJA KOLOVOZA
VARIJANTA 1 - Bez ojačanja mrežom**

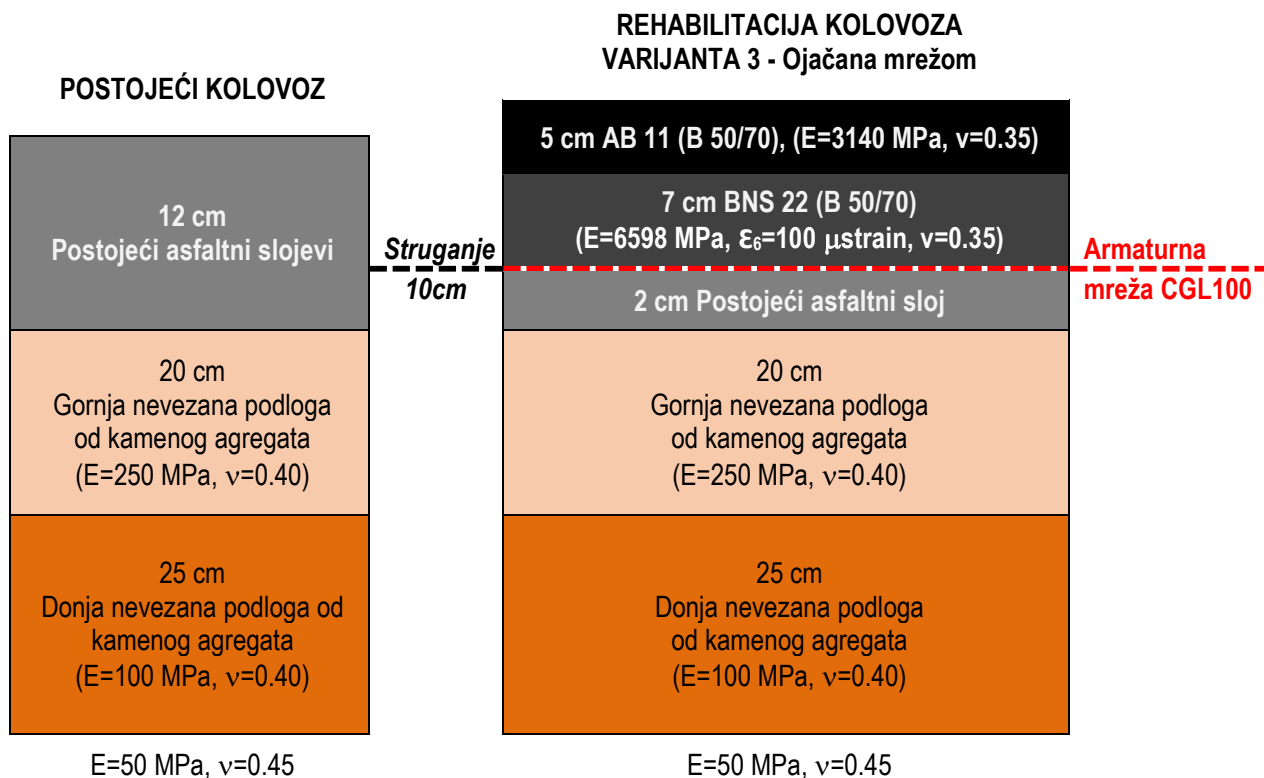


Slika 4: Matematički model kolovozne konstrukcije - Varijanta 1

**REHABILITACIJA KOLOVOZA
VARIJANTA 2 - Ojačana mrežom**



Slika 5: Matematički model kolovozne konstrukcije - Varijanta 2



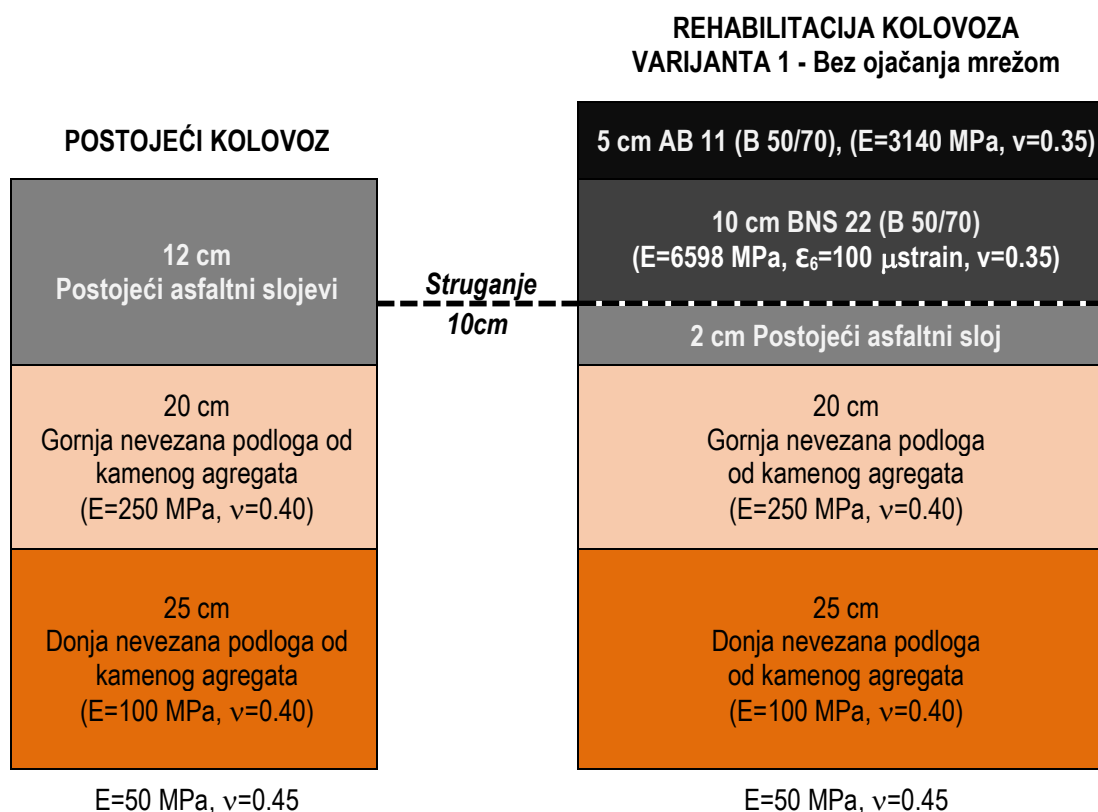
Slika 6: Matematički model kolovozne konstrukcije - Varijanta 3

Treba napomenuti da drugačije polazne pretpostavke (nosivost posteljice, merodavna temperatura asfalta, karaktersitike merodavnih slojeva) bi dale drugačije vrednosti računске trajnosti kolovozne konstrukcije.

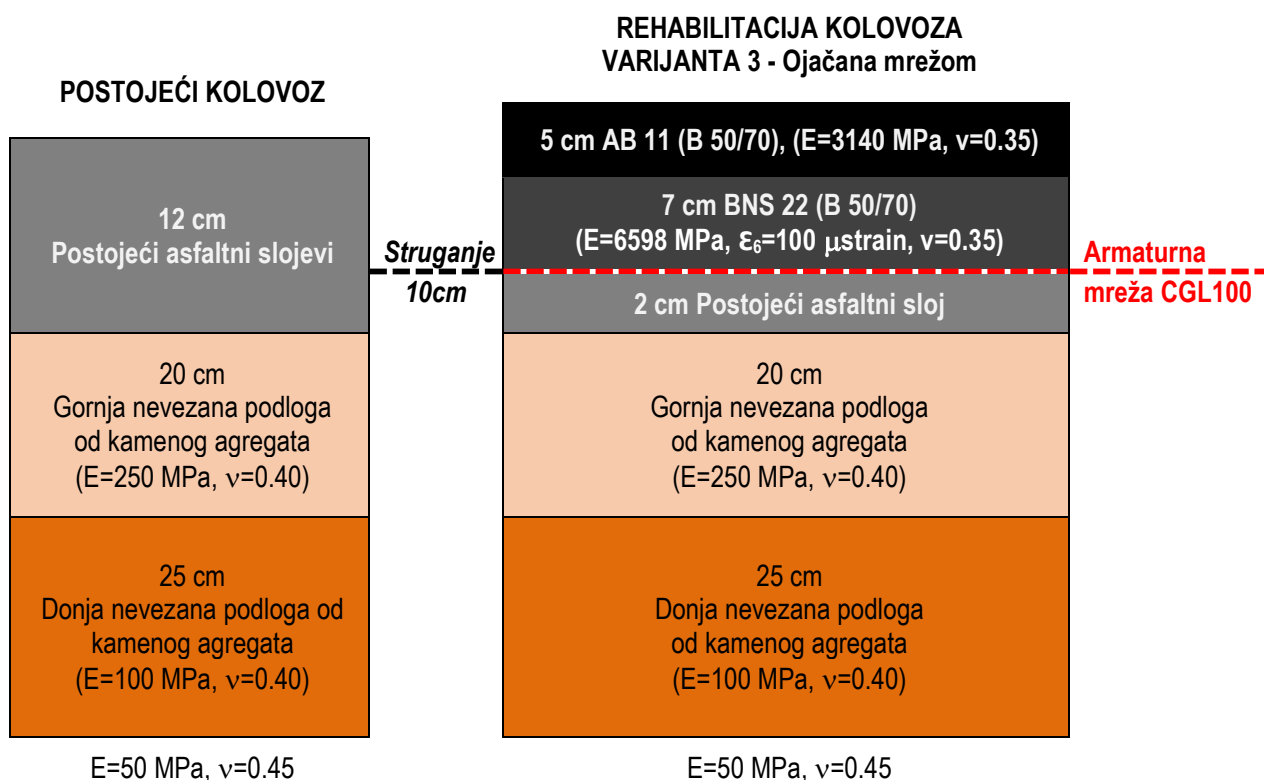
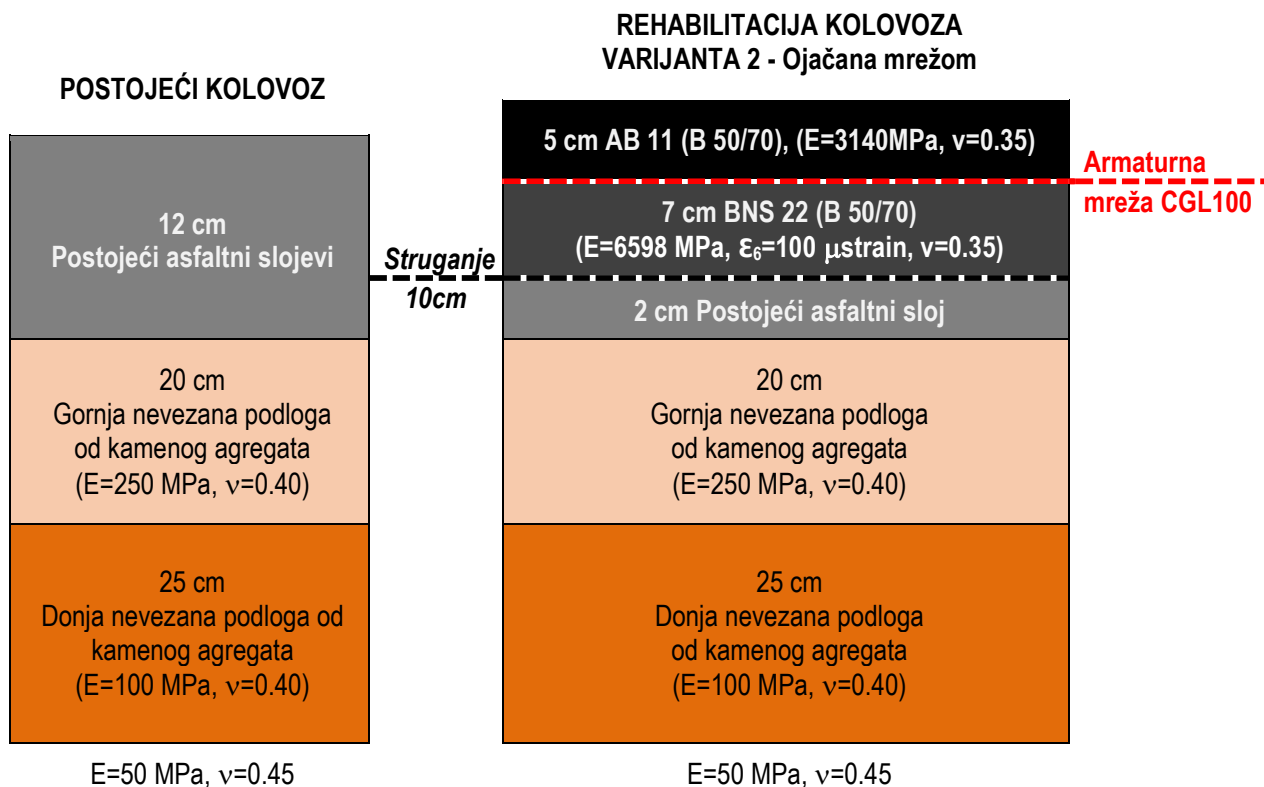
8. PRIMER PRORAČUNA RAČUNSKE TRAJNOSTI KOLOVOZA

Radi preglednosti celog proračuna trajnosti dat je prikaz "korak po korak", na kom biće objašnjen postupak racionalnog dimenzionisanja (proračuna računске trajnosti) armiranja asfaltnog sloja termostabilnom armaturnom mrežom od staklenih vlakana.

KORAK 1 - Definisane parametara elastičnog sistema (matematičkog modela kolovozne konstrukcije) varijantnih rešenja (Varijanta 1 i 2). Karakteristike materijala (E i ν) iz slojeva kolovozne konstrukcije (tampon, asfaltni zastor) usvojeni su uzimajući u obzir dosadašnju inženjersku praksu, fizičko-mehaničke karakteristike (laboratorijska i/ili in situ ispitivanja) i realno očekivanih parametara za predmetne materijale. Moduli elastičnosti-krutosti za nove asfaltne slojeve definisani su u skladu sa metodom LCPC-SETRA laboratorije. U odnosu na simulacioni mehanički model pretpostavljen je dobar kontakt između slojeva kolovozne konstrukcije. Parametri višeslojnog elastičnog sistema (debljina slojeva, E , ϵ_6 , ν) su sledeći:



Slika 7: Matematički model kolovozne konstrukcije - Varijanta 1



KORAK 2 - Određivanje napona i dilatacija pomoću programa "LCPC-Alize". Proračun napona i dilatacija je izvršen za opterećenje od standardne osovine od 80 kN koje se prenosi u 4 tačke, u skladu sa karakteristikama opterećenja standardne osovine (dva tačka sa opterećenjem od 20 kN svaki). Za potrebe proračuna pretpostavljeno je da postojeći asfaltni sloj ima malu preostalu (rezidualnu) vrednost nosivosti (< 25% od inicijalne), te u vezi s tim ovaj sloj nije uzet u obzir prilikom formiranja idealnog modela za proračun trajnosti kolovozne konstrukcije. Rezultat proračuna prikazan je narednim slikama i u tabeli.

Alize-Lcpc - Design of pavement structures
according to the French Lcpc-Setra rational method

Description of the calculation

- data Structure : direct input, no name
- title of the study Varijanta 1_Bez ojačanja
- load data :
 - special dual-wheel (not the French standard one), weight 039.998 kN
 - vertical pressure : 0.5774 MPa
 - contact radius : 0.1050 m
 - dual-wheel spacing: 0.3150 m

units: m, MN and MPa; strains in μ strain; deflection in mm/100

Table 1 (synthesis):

major main traction stresses in the horizontal plane XoY and major main compression stresses along the vertical ZZ axis; maximal deflection

	level comput.	EpsilonT horizontal	SigmaT horizontal	EpsilonZ vertical	SigmaZ vertical
----- surface (z=0.000) -----					
th= 0.050 m	0.000m	84.2	0.522	-28.4	0.575
Yg= 3140.0 MPa					
nu= 0.350	0.050m	37.7	0.305	47.6	0.498
----- bonded (z=0.050m) -----					
th= 0.100 m	0.050m	37.7	0.626	-4.2	0.498
Yg= 6598.0 MPa					
nu= 0.350	0.150m	-132.3	-1.179	126.0	0.077
----- bonded (z=0.150m) -----					
th= 0.200 m	0.150m	-132.3	0.001	290.3	0.077
Yg= 250.0 MPa					
nu= 0.400	0.350m	-164.2	-0.044	256.7	0.032
----- bonded (z=0.350m) -----					
th= 0.250 m	0.350m	-164.2	-0.005	345.0	0.032
Yg= 100.0 MPa					
nu= 0.400	0.600m	-141.8	-0.012	255.9	0.016
----- bonded (z=0.600m) -----					
th. infinite	0.600m	-141.8	0.001	306.8	0.016
Yg= 50.0 MPa					
nu= 0.450					

Maximal deflection =47.6 mm/100 (dual-wheel center)

Curvature radius =398.3 m (dual-wheel center)

Slika 10: Proračun napona i dilatacija - Varijanta 1 - opterećenje st.osovine od 80kN

Alize-Lcpc - Design of pavement structures
according to the French Lcpc-Setra rational method

Description of the calculation

- data Structure : direct input, no name
- title of the study Varijanta 2 i 3_Sa ojacanjem
- load data :
 - special dual-wheel (not the French standard one), weight 039.998 kN
 - vertical pressure : 0.5774 MPa
 - contact radius : 0.1050 m
 - dual-wheel spacing: 0.3150 m

units: m, MN and MPa; strains in μ strain; deflection in mm/100

Table 1 (synthesis):
major main traction stresses in the horizontal plane XoY and major main compression stresses along the vertical ZZ axis; maximal deflection

level comput.	EpsilonT horizontal	SigmaT horizontal	EpsilonZ vertical	SigmaZ vertical
----- surface (z=0.000) -----				
th= 0.050 m Yg= 3140.0 MPa nu= 0.350	0.000m 0.050m	84.2 38.8	0.567 0.265	-72.2 38.2
----- bonded (z=0.050m) -----				
th= 0.070 m Yg= 6598.0 MPa nu= 0.350	0.050m 0.120m	38.8 -164.3	0.540 -1.467	-9.5 158.5
----- bonded (z=0.120m) -----				
th= 0.200 m Yg= 250.0 MPa nu= 0.400	0.120m 0.320m	-164.3 -217.1	0.011 -0.057	389.7 332.5
----- bonded (z=0.320m) -----				
th= 0.250 m Yg= 100.0 MPa nu= 0.400	0.320m 0.570m	-217.1 -178.2	-0.006 -0.016	449.1 316.9
----- bonded (z=0.570m) -----				
th. infinite Yg= 50.0 MPa nu= 0.450	0.570m	-178.2	0.000	380.0

Maximal deflection =54.3 mm/100 (dual-wheel center)
Curvature radius =267.5 m (dual-wheel center)

Slika 11: Proračun napona i dilatacija - Varijanta 2 i 3 - opterećenje st.osovine od 80kN

Tabela 2: Horizontalna dilatacija zatezanja u donjem vlaknu bitumenom vezanih slojeva

Parametar	Jedinica	Varijanta 1 nearmirana	Varijanta 2 nearmirana	Varijanta 2 armirana (CGL100)	Varijanta 3 armirana (CGL100)
Horizontalna dilatacija zatezanja - EpsilonT	μ strain	132.3	164.3	164.3	164.3

KORAK 3 - Proračun trajnosti projektovanih kolovoznih konstrukcija. Osnovni kriterijum za proračun trajnosti kolovozne konstrukcije je horizontalna dilatacija zatezanja u donjem vlaknu bitumenom vezanih slojeva (EpsilonT), i baziran je na konceptu LCPC-SETRA laboratorije. Horizontalna dilatacija zatezanja (EpsilonT) sračunata je primenom sledeće jednačine zamora bitumenom vezanih slojeva:

$$\text{EpsilonT} = (\text{NE}/10^6)^b \cdot \text{Ks} \cdot \text{Kr} \cdot \text{Kc} \cdot \text{Kt} \cdot \epsilon_6$$

Ulazni parametri za proračun dozvoljene dilatacije zatezanja su:

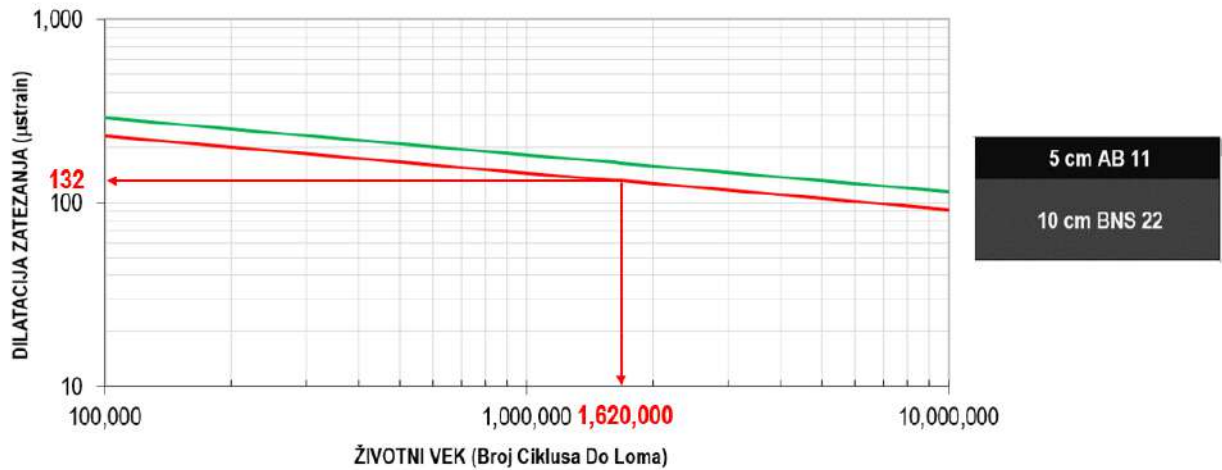
- Životni vek kolovoza (NE=?) je računska trajnost izražena brojem prelaza standardne osovine od 80 kN
- Deformacija zatezanja nakon million ciklusa ponavljanja opterećenja u skladu sa uslovima definisanim u laboratoriji za bitumenizirani noseći sloj tipa GB4 (na 10°C i frekvenciji od 25 Hz), $\epsilon_6 = 100 \mu\text{strain}$
- Nagib krive zamora bitumenom vezanih materijala $\beta = -1/b = 5$
- Koeficijent za transponovanje rezultata ispitivanja zamora bitumenom vezanih materijala u skladu sa uslovima definisanim u laboratoriji (na 10°C i frekvenciji od 25 Hz), $K\theta = 1.48$ ($T_{\text{eff}} = 22^\circ\text{C}$)
- Koeficijent korekcije dozvoljene deformacije zatezanja bitumenom vezanih materijala u skladu sa nosivošću posteljice, $K_s = 1/1.1$ (za nosivost posteljice $E_{V2} = 50\text{MPa}$)
- Koeficijent korekcije u odnosu na disperziju rezultata testova zamora i promenu debljine nosećeg sloja od bitumenom vezanih materijala, $K_r = 0.830$ ($d \leq 10\text{cm}$, st.devijacija $SN = 0.3$ (zamor) i $Sh = 1$ (debljina), rizik = 10%)
- Koeficijent korekcije za bitumenizirani noseći sloj tipa GB4, $K_c = 1.3$

Koeficijent uvećanja vrednosti dilatacije zatezanja (Epsilon 6) asfaltnog sloja nakon million ciklusa ponavljanja opterećenja, ojačanog armaturnom mrežom od staklenih vlakana (sa netkanim geotekstilom zatezne čvrstoće od 100kN/m) dobijen je laboratorijskim ispitivanjem (tabela 1)³ i iznosi $K_{\text{CGL100}} = 1.25$ (za usvojeno smanjenje zatezne čvrstoće od 20%).

Prikaz krive zamora asfaltne mešavine (bilogaritamska opadajuća funkcija) prema konceptu LCPC-SETRA laboratorije korišnjene prilikom proračuna trajnosti kolovozne konstrukcije (nearmirane i armirane) dat je na narednim dijagramima.

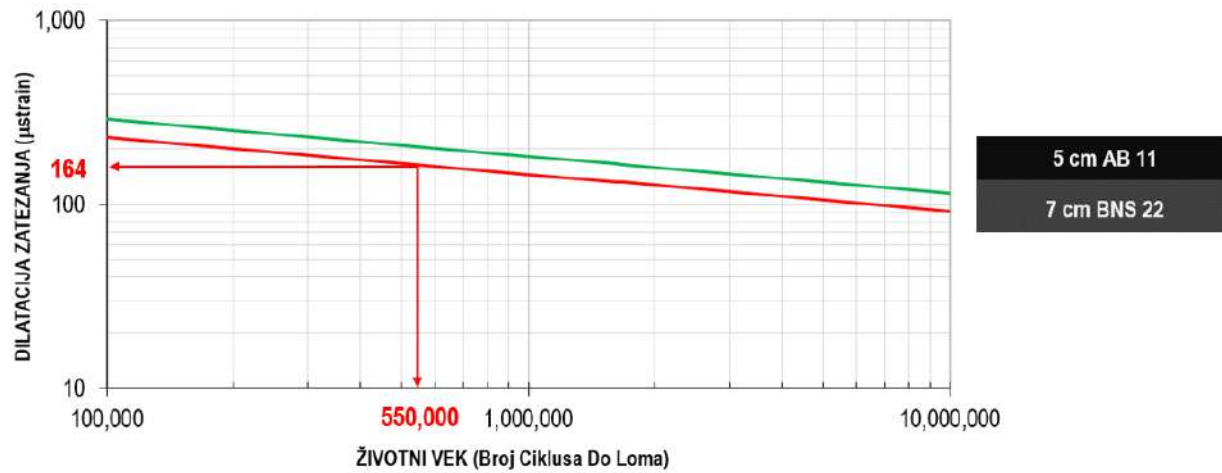
³ Laboratorijsko ispitivanje na dva kompleta uzoraka asfalta (nearmiranim i armiranim ADFORDS GlasGrid GG/CGL 50/100 mrežom) Građevinski fakultet, Beogradski univerzitet (G. Mladenović, 2018. i 2020.)

BILOGARITAMSKA KRIVA ZAMORA ASFALTOG UZORKA



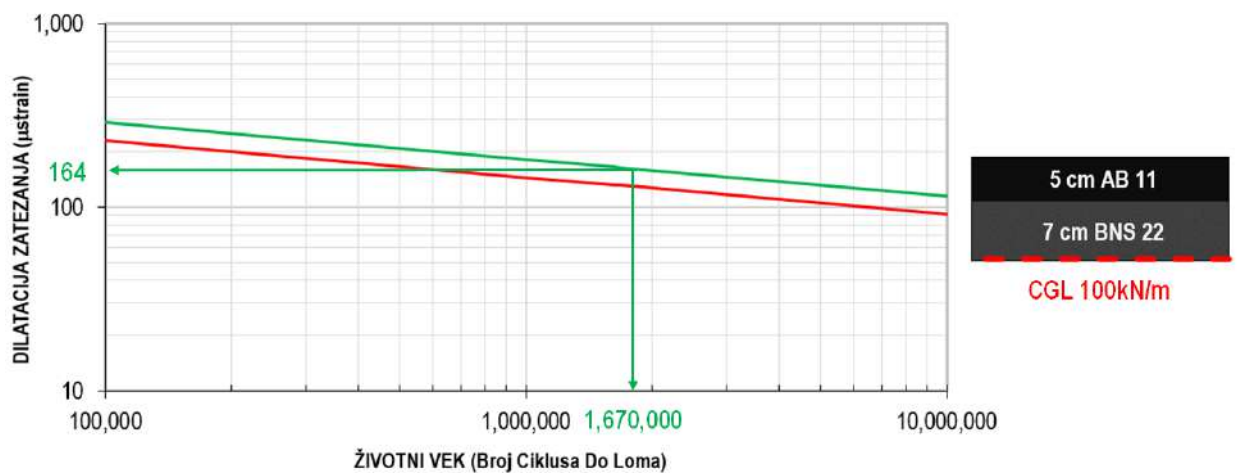
Slika 12: Kriva zamora asfaltne mešavine - LCPC-SETRA - Varijanta 1 – nearmirana

BILOGARITAMSKA KRIVA ZAMORA ASFALTOG UZORKA



Slika 13: Kriva zamora asfaltne mešavine - LCPC-SETRA - Varijanta 2 i 3 – nearmirana

BILOGARITAMSKA KRIVA ZAMORA ASFALTOG UZORKA



Slika 14: Kriva zamora asfaltne mešavine - LCPC-SETRA - Varijanta 3 - armirana

Smanjenje dubine ugradnje termostabilne armaturne mreže dovodi do srazmernog smanjenja trajnosti projektovane kolovozne konstrukcije (linearna zavisnost životnog veka i debljine asfaltnog pojačanja iznad mreže). Proračun životnog veka projektog rešenja kolovozne konstrukcije armirane mrežom tipa CGL 100kN/m (Varijanta 2) dat je na narednom dijagramu.



Slika 15: Kriva (linearne) zavisnosti životnog veka od debljine asfaltnog pojačanja iznad mreže

Za potrebe uporedne analize usvojeno merodavno saobraćajno opterećenje (u 10-to godišnjem eksploatacionom periodu) jednako je životnom veku Varijante 1. Rezultat proračuna horizontalne dilatacije zatezanja i proračun trajnosti projektovanih kolovoznih konstrukcija (izražen brojem prelaza standardnih osovina od 80kN) sa i bez ojačanja asfaltnog sloja termostabilnom armaturnom mrežom od staklenih vlakana (na različitim dubinama ugradnje od površine asfaltnog zastora) prikazan je u narednoj tabeli.

Tabela 3: Trajnost kolovozne konstrukcije - armirana/nearmirana - metoda LCPC-SETRA

Parametar	Jedinica	Varijanta 1 nearmirana	Varijanta 2 nearmirana	Varijanta 2 armirana (CGL100)	Varijanta 3 armirana (CGL100)
Debljina asfalta iznad mreže	cm	-	-	5	12
Ukupna debljina asfaltnih slojeva	cm	15	12	12	12
Horizontalna dilatacija zatezanja	μ strain	132.3	164.3	164.3	164.3
Epsilon 6	μ strain	100	100	125	125
Životni vek preko broja prelaza st. osovine	80kN	1.620.000	550.000	1.016.000	1.670.000
Životni vek u godinama eksploatacije	godina	10	4	7	10

Na osnovu sračunatog životnog veka varijantnih rešenja, zaključujemo da je efikasnije da se termostabilna armaturna mreža ugradi što niže od površine asfaltnog zastora (na većoj dubini), jer time se ostvaruje znatno veći doprinos svih asfaltnih slojeva iznad mreže prilikom raspodele opterećenja.

9. ZAKLJUČAK

Dosadašnja istraživanja armiranja asfaltnih slojeva termostabilnom mrežom od staklenih vlakana ukazuju na pozitivna iskustva u laboratoriju i na terenu. Armiranjem asfaltnog sloja mrežom od staklenih vlakana produžava se životni vek asfaltnih slojeva kolovoza i smanjuju troškovi održavanja, što u konačnom rezultuje smanjenju emisije ugljen dioksida i ostalih štetnih gasova sa efektom staklene bašte.

Sve navedeno ne isključuje da, pre bilo kakve odluke o uoptrebi armaturne mreže, se sprovede ispitivanje i analiza svih uticajnih faktora, na temelju kojih će se definisati optimalno projektno rešenje uz upotrebu armaturne mreže. Treba napomenuti da je za dalja istraživanja efekata upotrebe mreže za armiranje asfalta od staklenih vlakana neohodno uspostaviti sistem kontinuiranog praćenja ponašanja mreža nakon ugradnje (OCENA STANJA - ocena efekata), kao i podstaći primenu postupka racionalnog dimenzionisanja kolovoznih konstrukcija ojačanih armaturnom mreže.

Literatura

- [1] Chazallon, C, Nguyen, T. C., Nguyen, M.L., Hornych, P., Doligez, D., Brissaud, L., Godard, E.: In situ damage evaluation of geogrid udes in asphalt concrete pavement, The 10th International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields, Greece, 2017
- [2] French design manual for pavement structures-Guide technique (1997), LCPC/SETRA, Paris
- [3] Mihaljac, S., Rukavina, T., Šimun, M., (2019), Primjena armaturnih mreža u asfaltnim slojevima kolnika, Simpozij doktorskog studija građevinarstva, Zagreb
- [4] Mladenović, G. i Orešković, M., (2018/2020), Laboratorijsko ispitivanje na dva kompleta uzoraka asfalta (nearmiranim i armiranim ADFORDS GlasGrid GG/CGL 50/100 mrežom), Građevinski fakultet, Beogradski univerzitet
- [5] Orešković, M., Trifunović, S., Mladenović, G. i Bohuš, Š. (2018), Određivanje otpornosti na zamor asfaltnih uzoraka ojačanih geomrežom primenom metode savijanja gredica u četiri tačke, Građevinski fakultet, Beogradski univerzitet
- [6] Stojanović, B., (1982), Postupak racionalnog dimenzionisanja kolovoznih konstrukcija u Institutu za Puteve, Savetovanje o kolovoznim konstrukcijama, VIA-VITA, Društvo za puteve Srbije i Institut za puteve Beograd, 136-163
- [7] User manual, ALIZE-LCPC Software, version 1.3. (2011), LCPC/SETRA

A MULTI-FUNCTIONAL COLD ASPHALT RECYCLING AGENT: FROM MIX DESIGN TO CASE STUDIES

Shahin Eskandarsefat¹ – Matteo Fumagalli² – Loretta Venturini³ – Aleksandar Milojevic⁴

¹Senior Researcher – Iterchimica S.p.A., Suisio (BG), Italy.

²Laboratory Technician – Iterchimica S.p.A., Suisio (BG), Italy.

³Scientific and Strategic Development Director – Iterchimica S.p.A., Suisio (BG), Italy.

⁴Professional Specialist Civil Engineer, TPA Serbia, Belgrad, Serbia.

Abstract: Considering the sustainability of road pavements, Life Cycle Cost (LCC) plays a key role in engaging its engineering and economic aspects. However, within LCC, road engineers are faced with several challenges. One of the most substantial of these issues is perhaps how to effectively rehabilitate and/or maintain the existing road network while preserving and sustaining limited natural resources. Thanks to technology, recent advances have provided us with new generation of recycling agents other than emulsions or cut back bitumen for cold asphalt recycling. In the present paper, a multifunctional recycling agent for cold asphalt recycling has been studied. The term multifunctional goes to the fact that this material not only restores the aged bitumen within the Reclaimed Asphalt (RA) but also works as a binder in 100% recycled asphalt mixtures. This paper is divided into two sections. In the first section a recommended mix design procedure is explained and the second is dedicated to field experiences of using this recycling agent for different types of applications from repair works to pavement layers of low/medium-level traffic roads. The field results and inspections in addition to the test results showed this recycling agent a promising material for 100% cold asphalt recycling.

Keywords: Recycling agents, Cold asphalt recycling, Reclaimed Asphalt (RA), Repair works, Pavement layers.

1. INTRODUCTION

Decades after the first try of Reclaimed Asphalt (RA), nowadays the main objectives of the road authorities involve the use of more RA for different applications, from the pavement layers to road maintenance and repair works. Cold recycling provides valuable means to reduce the environmental impact of road construction. The reduced energy requirements relative to traditional hot mix recycling can lead to significant reductions in cost and associated CO₂ emissions. In addition, highway agencies have huge stockpiles of RA all around the world, which not only impose expenses but also occupy lands, which is an important factor for some countries like Switzerland. On the other hand, the pavement rehabilitation technique reduces the life cycle cost of the pavement structure by reusing the existing asphalt pavement. Worldwide, in-situ cold recycling has been found to be particularly useful in the maintenance and repair works and paving of low and/or medium traffic roads where site locations are far from asphalt plants. In addition, in some countries like Italy, it is used also for the base layers of the pavement system.

Cold asphalt recycling could be conducted either in place or in central plant recycling. In the cold in-place recycling process, first, the pavement is milled. The milled material is crushed to the required gradation. Then the required quantity of fresh aggregates and bitumen in cold form (emulsion or cutback) is added. During this process additives like hydraulic cement, quick lime, fly ash may be used. On the other hand, the cold plant recycling process is the same as the conventional hot mixing plant without heating the materials, and therefore bitumen emulsion is the frequently used binder. In this case, precise control on the mixing time is important, over-mixing may cause premature breaking of emulsified bitumen, and under-mixing would result in an insufficient coating of aggregates. To successfully use cold recycling for asphalt pavements, many research works have been conducted on the mix design method and evaluation of mechanical properties of cold recycled asphalt mixtures. In this respect, the “black rock” theory is the most accepted and applied method of cold recycled asphalt mixtures. In this way, the aged bitumen of RA is usually neglected, and RA plays a single role of aggregate and emulsified, or foamed bitumen is used as the binder in cold recycled asphalt mixtures. However, it was found that the cold recycled asphalt mixture that is composed of RA and emulsified or foamed bitumen is susceptible to heavy traffic loads [1]. In addition, compared to hot-mix asphalt, which gain strength quickly as they cool, cold-mix bituminous materials gain strength slowly over time. This can be an issue particularly in countries with cooler, wetter climates [2].

While to date a wide variety of products has been introduced and used successfully for hot mix asphalt recycling, cold recycling agents are limited. In cold mix asphalt, the use of recycling agents can be done in two different ways: I) the use of rejuvenator directly into the RA after milling and crushing and II) is the addition of the rejuvenator into the bitumen emulsions [3]. Both strategies showed successful cases in practice. Cold mix

¹ Corresponding author: shahin.eskandarsefat@iterchimica.it

asphalt is used prevalently for maintenance and repair works, especially potholes. Potholes occur on pavements subjected to a broad spectrum of traffic levels, from two-lane rural routes to multilane interstate highways. Pothole patching is generally performed either as an emergency repair under harsh conditions (during wet and cold winter days) or as routine maintenance, scheduled for warmer and drier periods. Even though the moisture and traffic conditions patches experience vary, the materials and methods for placing quality repairs are similar [4].

Considering the mentioned issues, the present paper is divided into two sections. In the first section, the authors represent a recommended mix design procedure, for optimizing the recycling agent, which here would act also as a binder. This procedure has been already introduced in the authors' previous publication [5], using an Italian stockpile RA and in this paper, the RA was provided from another stockpile. In the second stage, several case studies are represented using the same recycling agents in different countries for different targets of either road resurfacing or maintenance and rehabilitation interventions.

2. MATERIALS

2.1. Recycling agent

The recycling agent used in this study was a black highly viscous material. This recycling agent has been studied and used in many projects since several years ago. The obtained knowledge was used to amend the mix design recipe and procedure. Table 1 summarizes some of the given physical properties of the used recycling agent in this study. This recycling agent is composed of different chemical components, anti-aging, plasticizer, rejuvenator, moisturizer, diluent, dispersant additives. The recycling agents could be adopted together with colouring materials in powder form. The production of the cold mix with 100% RA and this recycling agent is very versatile. Traditional asphalt concrete plants, small concrete mixers for small quantities, properly equipped plants for the production of cement concrete could be used for the production.

Table 1. Some of the given physical properties of the recycling agent

Characteristic	Value/Description
Aspect	Fluid substance
Pour point	> 0°C
Density at 20°C	0.85 ± 0.95 g/cm ³
Viscosity	400 - 500 cP
Flash point	> 150°C

2.2. Reclaimed Asphalt (RA)

The RA used in this work was of 14mm nominal maximum aggregate size and provided from a stockpile in the Netherlands. As for the first stage, the sieving analysis should be done before and after bitumen extraction to assess the grading curve of the final mix design. However, in this work, the RA was sieved just before extraction. Table 2 and Fig. 1 show the obtained particle size distribution according to European standards, EN 12697-1 of the RA compared to the surface course gradation band of an Italian specification, ANAS [6]. The In addition, Indiana Department of Transportation (IDOT U.S.) has developed a specific gradation band of cold mix asphalt for patching and rehabilitation works that performs very well in practice [7]. As can be seen, the grading curve is continuous with the lack of very fine particles (filler), however, it is obvious that this is because the sieving was carried out before bitumen extraction.

Table 2. Gradation of the mix aggregates

Type of the pavement course Reference specification					
Surface course, *Capitolato Speciale di Appalto			Cold mixes for patching, **Indiana DOT		
Sieve size (mm)	Lower limit passing (%)	Upper limit passing (%)	Sieve size	Lower limit passing (%)	Upper limit passing (%)
14	100	100	3/8 in.	85	95
12.5	90	100	No. 4	38	55
8	70	88	No. 8	16	35
4	40	58	No. 16	12	25
2	25	38	No. 200	2	6
0.5	10	20	* From Italian specifications for HMA		
0.25	8	18			

0.063	6	10	** From U.S. specifications for CMA and patching works
-------	---	----	--

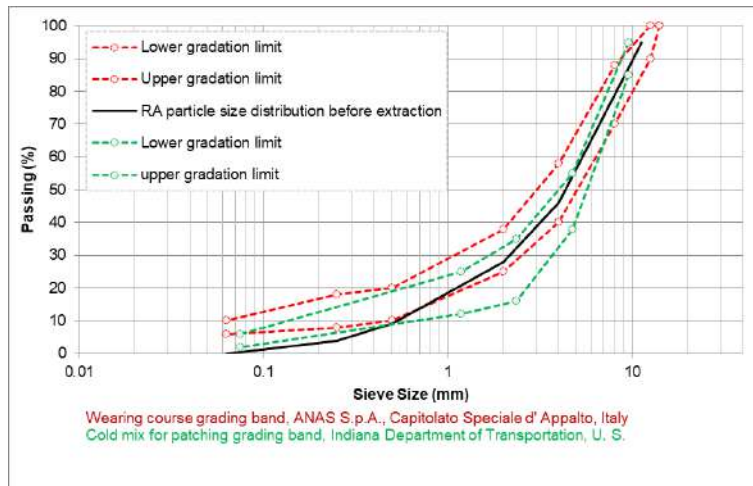


Figure 1. RA particle size distribution control

3. METHODOLOGY

Considering the obtained knowledge through several mix designs and projects, 3 different mix scenarios were investigated in the mix design process. As it has been shown in Table 3, the optimum residual moisture was considered as 4%, 2% of hydraulic cement was added to compensate for the missing fine particle fraction of aggregate distribution and provide the early-stage resistance and mechanical properties of the produced asphalt. In addition, it has been shown that regardless of whether it is used as a binder or recycling agent, the hydraulic cement may be utilized to achieve rapid curing of the recycled material. Rapid curing of the recycled material allows the roadway to remain unaffected by traffic [8 & 9]. On the other hand, it has been shown that the addition of hydraulic cement could improve the final mixture's properties and stabilities. 3 different mix combinations of the recycling agent, hydraulic cement, and water were studied in this work. The specimens were fabricated using 50 blows (each face) of Marshall hammer on 100 mm in diameter specimens.

Table 3. Mixing blends

Constituent	Mix ID		
	1	2	3
Reclaimed Asphalt - RA	100%	100%	100%
Water	4%	4%	4%
Hydraulic cement	2%	2%	2%
Recycling agent	1.5%	2.0%	2.5%

Percentages are on the weight of RA

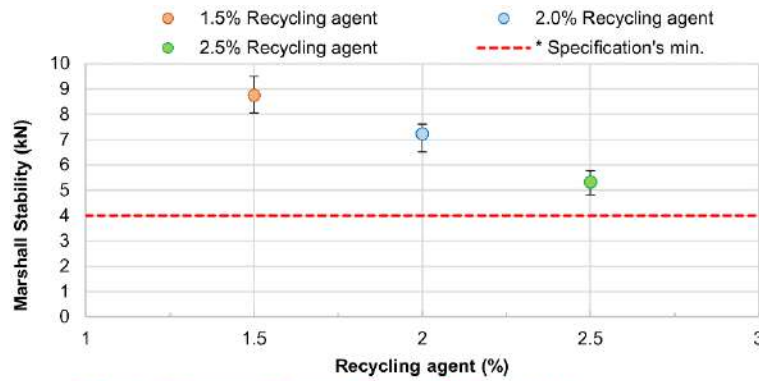
The testing methods consisted of Marshall Stability and flow, Indirect Tensile Strength, and Cantabro particle loss, which all were carried out following the related European standards. The obtained test results were compared to an Italian specification for maintenance works, Comune di Miano, 2016 [10].

4. EXPERIMENTAL WORK - MIX DESIGN

Mix design is critical for a cold mix to perform properly. The key to use a cold mix is to obtain proper curing by evaporation of the diluents. The application of hydraulic cement or hydrated lime may accelerate this procedure; however, it depends highly on the mixture's aggregate particle distribution. In addition, water should be added to increase the mixability of the asphalt and at the same time make it easier to handle and compact. If the granulate has a high moisture content (>5%) from the beginning, no water should be added, and the addition of hydraulic cement is suggested. Marshall compaction may be used as the basis for choosing a suitable moisture content. On well-graded RA; the optimal moisture content is usually 3-4% [11].

4.1. Marshall Stability

In the first stage of the mix design, a series of Marshall hammer-compacted specimens were fabricated. The specimens were cured for 7 days at 25°C in the thermostatic conditioning chamber according to the applied specification in this work, municipality of Milan, Italy. As presented in Fig. 2, it can be seen that all three mixtures complied with the specification requirements, however, it can be seen that increasing the concentration of the recycling agent resulted in less Marshall Stability. It is worth mentioning that for obtaining a bell-shaped overall design, a dosage less than 1.5%, however, based on many test results and field experiences lower concentration of the recycling agent would not result in a compactable mixture. Therefore, lower concentrations were not considered in this study.

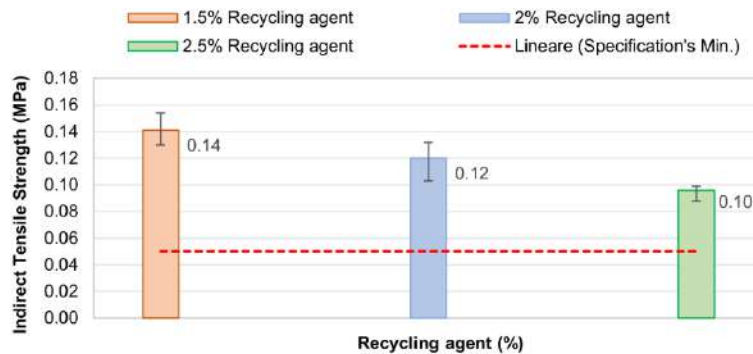


* From Italian specifications, Comune di Milano, 2016

Figure 2. Average Marshall Stabilities after 7 days of curing

4.2. Indirect Tensile Strength (ITS)

Same to the Marshall Stability test specimens, the test specimens were compacted using Marshall hammer and cured in a conditioning chamber at 25°C for 7 days. The results presented in Fig. 3, show that as expected and in line with Marshall Stability test results, the more the recycling agent, the lower the ITS were recorded. However, all the tested mixtures complied with the specification's requirements.



* From Italian specifications, Comune di Milano, 2016

Figure 3. Average Indirect Tensile Strength (ITS) values 7 days of curing

4.3. Cantabro particle loss

As an important factor in cold mix asphalt, Cantabro particle loss is an indicator of the level of cohesion. The lower the Cantabro particle loss, the less ravelling of the laid cold mix asphalt. Cantabro testing method is used in many countries all over the world basically for the assessment of wearing resistance and disintegration of asphalt in the face of direct contact and traffic loading [5 & 12]. The test has been done following the European standards EN 12697-17 and the specifications of the municipality of Milan. For the test, the specimens were prepared using 50 blows (each face) of Marshall hammer, then the compacted specimens were cured in the thermostatic chamber at 25°C for 28 days. Fig. 4 shows the specimens after the test (specimen after losing particles on the right) and Table 4, shows the obtained results and the applied specification's maximum particle loss. As can be seen, the more the recycling agent content, the less the particle loss. Therefore, unlike the Marshall Stability and ITS tests' results, the mixture containing 2.5% of the recycling agent performed better.



Figure 4. Marshall Compacted specimen compared with and without red coloring materials (sample) and before and after Cantabro test (scale coin 1€: 23.25 mm)

Table 4. Average Cantabro particle loss after 28 days of curing

Mix. ID			Specification's max.
1	2	3	
29.3%	7.2%	2.9%	< 10%

4.3. Selection of the optimum mixture

According to the obtained tests' results, it can be seen that both the length of curing at a conditioning temperature and the concentration of the recycling agent have a significant effect on the tests' results. It can be seen that while the Marshall Stability and ITS of the specimens containing 2.5% of the recycling agent were lower than those of 2.0% and 1.5%, the cohesion properties were significantly higher according to the Cantabro test. Considering the obtained tests' results, complying with the specifications values 2.0% (mix 2) was selected as the optimum dosage of the recycling agents.

5. CASE STUDIES

5.1. A local road surface course in Serbia

As mentioned earlier, the introduced cold recycling agent could be also used for the paving targets of local/secondary roads e.g., the additive was successfully used for the binder course of a roadway in Spain [5]. Bearing in mind this experience, in November 2021 a trial section was executed in municipality Lajkovac, Serbia, in connection to state road IIB27. The test track was the surface course of an access road with 51m length, 3m width, and 4cm thickness. In the first step, as explained during the proposed mix design procedure, the grading curve and the bitumen content of the reclaimed asphalt were studied. Figure 5 shows the average grading curve of the reclaimed asphalt after extraction (white curve). It is worth mentioning that for such 100% recycled mixtures, the continuity of the curve is of crucial importance given it would impact the cohesion and durability of the compacted mixture. According to the white curve and sieve analysis, the curve is continuous, however, the fine particles (filler) are somehow more than standard. Accordingly, for this specific job, no hydraulic cement was used.

In addition to the grading curve, the quantity of the aged bitumen of the recycled material was also determined, which was 4.6% (by the mass of the reclaimed asphalt).

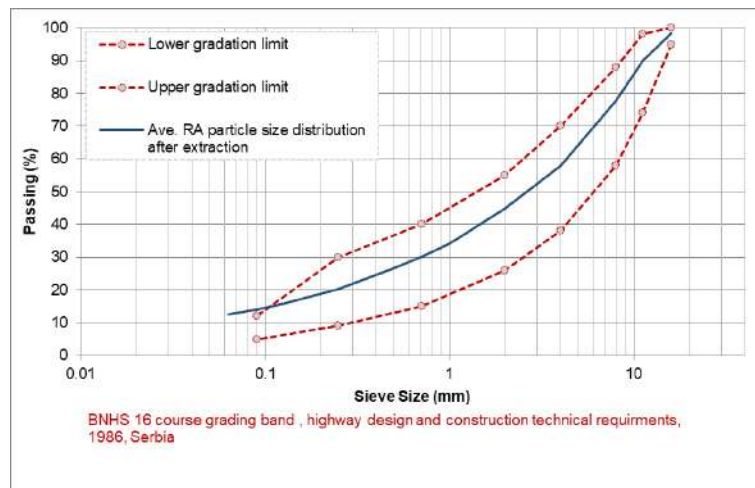


Figure 5. The average grading curve of the reclaimed asphalt after extraction (white curve)

After having the information regarding the bitumen content and the grading curve of the reclaimed asphalt, a primary mix design was carried out using Marshall method. During this phase, 2.1% (on the weight of RA) was determined as the optimum recycling agent dosage. Table 5 summarizes the obtained test results. Accordingly, the average 7-day Marshall stability and flow were 5.7 kN and 2.2 mm, respectively. This is worth mentioning that the 7-day Marshall Stability complies with the specifications of the municipality of Milan.

Table 5. Marshall test results after 7 days of curing

Test parameter	Specimen ID				Ave. Value
	I	II	III	IV	
Marshall Stability (kN)	5.7	5.6	5.6	5.5	5.7
Total deformation (mm)	9.8	9.9	9.9	9.7	9.8
Deformation (mm)	9.4	9.3	9.5	9.2	9.4
Marshall Flow (mm)	2.3	2.0	2.2	2.1	2.2

It is worth mentioning that in addition to Marshall test, the 50-blows compacted 7-days age specimens were also subjected to ITS test according to EN 12697-23 at 25°C. According to the results, shown in table 6, the average ITS value of 0.61 kPa was achieved that complies the specifications minimum. Figure 6 shows the test track during the construction, after 7 days, and 2 months.

Table 6. ITS test results after 7 days of curing

Test parameter	Specimen ID				Ave. Value
	I	II	III	IV	
Ave. height H (mm)	101.5	101.5	101.5	101.5	101.5
Ave. diameter D (mm)	59.1	59.4	60.0	60.4	59.73
Load (N)	5918	6274	5677	5334	5801
ITS (kPa)	0.63	0.66	0.59	0.53	0.61



Figure 6. *The test track during time. From the top: execution day, after 7 days, after 2 months*

5.2. Potholes patching, Mexico

The recycling agent presented in this paper has been used successfully in maintenance and rehabilitation jobs. One of these experiences was pothole patching in Mexico (Merida – Campeche). [Fig. 7](#) shows the applied procedure step by step. For performing this repair works, in the first stage, the potholes were cut and cleaned from dust and external/loos particles. Then a prime coat was conducted using bitumen emulsion. Then the recycled asphalt was placed and compacted.

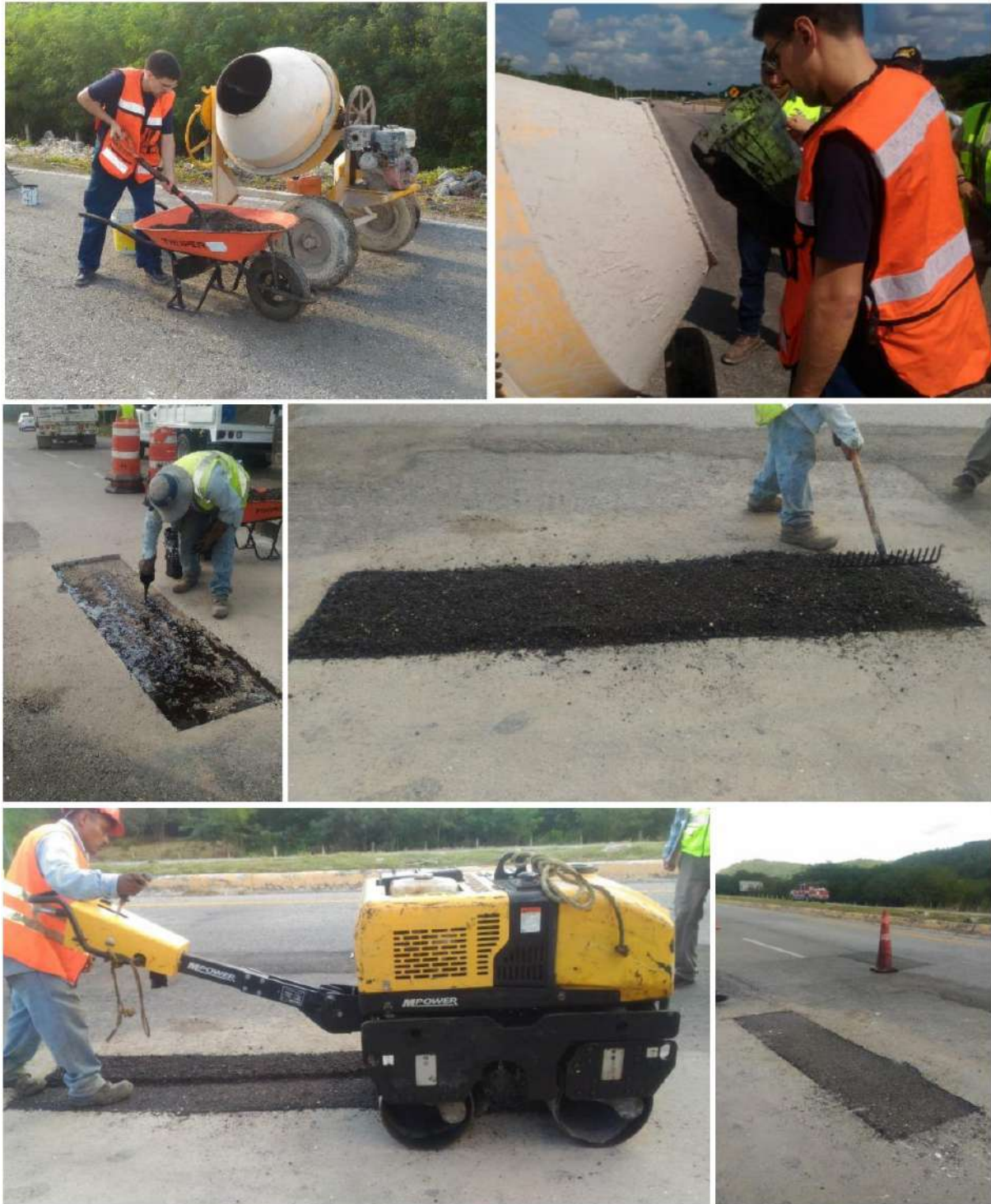


Figure 7. A complete procedure of patching, Merida, Mexico. From top and left to right: Adding the RA after characterization to the mixer; adding the recycling agent and cement to the RA and mix; preparing the repair zone and adding the tack coat; mixture placement into the repair zone; compaction the laid material; final work.

In this project, different mix designs were tested to get the optimum mixture according to the local RA. It is worth mentioning that:

- In order to have a continuous grading curve, the RA was a mix of 60% coarse and 40% of Fine RA.
- Having enough fine particles in the final grading curve, 1% (on the weight of RA) hydraulic cement was used just to provide more stiffness to the final asphalt.
- Due to the low moisture content of the available RA, 2% (on the weight of RA) of water was added to the mixture during mixing.

Fig. 8 shows the repaired patch after 9 days under an average maximum daily air temperature of $28\pm 5^{\circ}\text{C}$. According to the visual inspections, no premature cracking or ravelling was notified.



Figure 8. The patched zone after 9 days

5.3. Thin overlay, Italy

The cold asphalt mixture using the introduced multi-functional recycling agents has been tested as thin overlay on a path with alligator cracking in Rome, Italy. For this purpose, the path was firstly cleaned and then covered by prime coat emulsion bitumen. The preliminary tests have been done and the 2% was determined as the optimum recycling agent content. Due to the presence of enough fine particles in the mix aggregate grading, cement was not included in the mix design. Fig. 9 shows the procedure followed for performing a thin overlay on a path covered by alligator cracking.



Figure 9. Thin layer overlay, Rome, Italy

It is worth mentioning that the introduced recycling agent has been used also for a binder course in a medium-level traffic road in Girona, Spain. All details have been explained in the authors' previous publication on the same subject [5].

5.4. Coloured pavement, Italy

To assess the compatibility of the introduced recycling agent with coloring materials, several lab studies and projects have been conducted. This characteristic gives the opportunity to use the 100% recycled cold asphalt to be used for cycling paths, as a sustainable solution. Fig. 10 shows a stripe repaired using red coloring materials in powder form. In this trial section located in Suisio (BG), Italy, the quantity of the recycling agent,

the coloring material, and hydraulic cement was 2.5%, 2%, 1% respectively. The residual moistures were kept at around 4%.



Figure 10. From right to left mobile mixer and bucket for hauling mixtures, placing the mixture into the cut, cleaned and prime coat covered repair zone, and final patched zone after compaction

6. CONCLUSION

The present paper was a case study on the use of an alternative binder/recycling agent for the commonly used bitumen emulsions and foamed bitumen. The recommended mix design, introduced in this paper was used in many trial sections and projects, which showed the validity of this mix design and the introduced recycling agent with multi-functions including rejuvenating, bonding, plasticizing, etc. properties. The followings are some of the remarks found out during lab-scale works and field experiences.

- Determining the white grading (after extraction) curve of the RA would be useful for having a continuous final grading curve. Practical experiences showed that cold recycled asphalts with very fine-graded RA are more susceptible to disintegration and vice versa.
- According to several mix design and field experiences, 4% was found the optimum level of residual moisture. Hence, as primary material characterization, determining the moisture content is of utmost importance.
- Cantabro particle loss was found as a useful testing method during the mix design phase, representing the level of cohesion and susceptibility of the compacted mixture to the disintegration interface to the traffic load.
- According to this study and many other mix designs works, 2-2.5% was found the optimum concentration of the recycling agents.
- Apart from the type of the recycling agent, both for rehabilitation works and asphalt layers, cutting geometrically and cleaning the distressed zone and the application of prime coat/tack coat bitumen emulsion results in more durable laid asphalt mixtures and are strongly recommended.
- The field experiences showed that the introduced recycling agent is compatible with powder asphalt colouring additives. This characteristic makes this type of cold recycled asphalt suitable for paving low-medium traffic roadways, cycling paths, and playgrounds. In this case, the addition of hydraulic cement would decrease the workability of the mixture considerably and may not use. Otherwise, in case of using hydraulic cement, simply increasing the humidity of the mix would allow the workability of the mix.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge Eng. Zoran Krušić from HSH Chemie, Eng. Lorenzo Sangalli, and Eng. Klajdi Kulla from Iterchimica S.p.A. for their contributions in managing and realizing the projects discussed in this paper.

References

- [1] Ma, T.; Wang, H.; Zhao, Y.; Huang X.; Pi Y. 2015. Strength Mechanism and Influence Factors for Cold Recycled Asphalt Mixture, *Advances in Materials Science and Engineering*, Vol. 2015, Article ID

181853. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/181853>
- [2] Tabaković, A.; McNally, C.; Fallon, E. 2016. Specification development for cold in-situ recycling of asphalt", *Journal of Construction and Building Materials*, Vol.102, 1, pp.318 – 328. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.154
 - [3] Davidson, K. J.; Kucharek, A.; Houston. G. 2006. A review of cold mix processes in Canada.
 - [4] SHRP-H-348,1993, *Manuals of Practice*, ISBN 0-309-05607-1
 - [5] Eskandarsefat, S.; Venturini, L.; Sangalli, L.; Baccellieri, L.; Kulla K. (2019). 100% cold recycled asphalt mixture using a multi-functional rejuvenating agent. *Proceedings of Road and Environment*, 23 to 25 Oct. 2019, Vrnjacka Banja, Serbia. ISBN: 978-86-88541-12-1
 - [6] ANAS S.p.A., *Capitolato Speciale Di Appalto, Norme tecniche per l'esecuzione del contratto, Parte 2, Pavimentazioni stradali*
 - [7] Eaton, R. A.; Joubert, R. H.; Wright, E. A. 1989. *Pothole Primer. A Public Administrator's Guide to Understanding and Managing the Pothole Problem*. Special Report 81-2, US Army Corps of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory.
 - [8] Miller Paving Limited, *Cold In-Place Recycling*. Ontario pavement products group. (on-line) available at: <https://www.millergroup.ca/services/paving-construction/pavement-recycling/cold-in-place-recycling/> . (23.01.2020)
 - [9] Wirtgen GmbH, 2010. *Cold Recycling Wirtgen Cold Recycling Technology*. 3rd edition, ISBN 3-936215-05-7
 - [10] Comune di Milano, 2016. *Specifiche Tecniche. Listino Prezzi per l'esecuzione di opere pubbliche manutenzioni*.
 - [11] Jacobson, T.; Hornwall, F. (2000). *Cold recycling of asphalt pavement - mix in plant*. *Proceedings of 2nd Eurasphalt and Eurobitume congress, Barcelona, Spain. book 2 - session 2*
 - [12] Senior Arrieta, V.; Eliécer Córdoba Maquilón J. 2014. Resistance to degradation or cohesion loss in Cantabro test on specimens of porous asphalt friction courses. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 162 (2014) 290 – 299. doi: 10.1016/j.sbspro.2014.12.210

PUTNA MREŽA KOJU ODRŽAVA NOVI PAZAR – PUT D.O.O. – ZAHTEVI I EFEKTI POBOLJŠANJA

Mirsada Uglič¹

¹ Novi Pazar – put d.o.o. Novi Pazar, mirsada.uglic@np-put.rs

Rezime: Kako terenski i klimatski uslovi utiču na odabir položaja trase i elemente puta treba istaći da je 56% ukupne dužine državnih puteva I i II reda koje održava Novi Pazar – put položeno u brdsko – planinskom terenu.

Mere i način održavanja puteva, kako u zimskom tako i u letnjem periodu, su u direktnoj vezi sa vrstom i kvalitetom kolovoznog zastora na putevima. Od ukupne dužine putne mreže Novi Pazar – puta 13,1% je još uvek sa makadamskim kolovozom i neproseceno. U poslednjih pet godina od 2015.-2019.godine, zahvaljujući ulaganjima države na putnoj mreži koju održava Novi Pazar – Put, poboljšano je stanje kolovoza u ukupnoj dužini od 25,9km.

Efekti poboljšanja su vidljivi i evidentni odmah a isti se vremenom povećavaju i nadograđuju. Vremenom, sa korišćenjem poboljšanih deonica puta, zahtevi za novim poboljšanjima bivaju jasniji i konkretniji.

Ključne reči:putna mreža, kvalitet kolovoza, poboljšanje, efekti

ROAD NETWORK MAINTAINED BY NOVI PAZAR – PUT LCC - REQUIREMENTS AND EFFECTS OF IMPROVEMENT

Mirsada Uglič¹

¹ Novi Pazar – put d.o.o., Novi Pazar, mirsada.uglic@np-put.rs

Abstract: As terrain and climatic conditions affect the choice of route position and road elements, it should be noted that 56% of the total length of state roads of I and II order maintained by the company Novi Pazar - Put is laid in hilly - mountainous terrain.

Measures and manner of road maintenance, both in winter and in summer, are directly related to the type and quality of road pavement. Of the total length of the road network in Novi Pazar - the road, 13.1% is still with macadam road and not passable.

In the last five years from 2015 to 2019, thanking to the investments of the Government on the road network of Novi Pazar – Put., the condition of the roads has improved in the total length of 25.9 km.

The effects of improvement are visible and evident immediately, and they increase and upgrade over time. Over time, using of improved road sections, the requirements for new improvements become clearer and more concrete.

Keywords: road network, road quality, improvement, effects

1. UVOD

Novi Pazar – put d.o.o., Novi Pazar održava putnu mrežu državnih puteva dužine 805km na području ukupne površine 4.738km². Dužinu od 805 km državnih puteva čine putevi I reda u dužini 308,3km i putevi II reda u dužini od 496,7km. Teritorijalno ova putna mreža pripada području gradova Kraljevo i Novi Pazar i tri opštine Raška, Sjenica i Tutin. Pripadajuća dužina putne mreže i površina po područjima je data u Tabeli 1.

Tabela 1. Pripadajuća površina po područjima

Područje	Površina(km ²)	Putna mreža (km)	Putevi I reda (km)	Putevi II reda (km)
Kraljevo	1.529	199,506	109,804	89,702
Raška	666	157,274	38,956	118,318
Novi Pazar	742	152,659	60,049	92,610
Sjenica	1.059	178,522	66,628	111,894
Tutin	742	117,072	32,885	84,187
UKUPNO:	4.738	805,033	308,322	496,711

Izvor: Arhiva Novi Pazar - put

Da bi se shvatile specifičnosti obima i vrste aktivnosti koje Novi Pazar – put ima po pitanju izgradnje i održavanja putne mreže na ovom području treba znati odlike područja, kako njegove fizičko-geografske karakteristike tako i klimatske.

¹ Mirsada Uglič: mirsada.uglic@np-put.rs

2. TERENSKI USLOVI

Prema vrstama predela kojima se pruža putna mreža koju održava Novi Pazar – put, zavisno od područja oko 56% putne mreže se nalazi na brdovito – planinskom terenu dok se u ravničarskom terenu pruža oko 20% putne mreže a u brežuljkastom oko 24%. Po područjima dužina putne mreže po vrstama terena i njihov % su dati u Tabeli 2.

Tabela 2. Pregled dužine putne mreže po vrstama terena po područjima

Područje	dužina(km)	Ravničarski teren	%	Brežuljkasti teren	%	Brdoviti teren	%	Planinski teren	%
Kraljevo	200	86	43	58	29	12	6	44	22
Raška	157	36	23	49	31	19	12	53	34
Novi Pazar	153	37	24	35	23	31	20	50	33
Sjenica	178			21	12	73	41	84	47
Tutin	117			33	28	66	56	18	16
UKUPNO:	805	159	20	196	24	201	25	249	31

Izvor: Arhiva Novi Pazar - put

Područje na kome Novi Pazar – put održava putnu mrežu predstavlja posebnu geografsku celinu koju odlikuje planinsko – kotlinski reljef. Ono obiluje većim vodnim tokovima u čijim kotlinama se pružaju glavni putni pravci ovog područja.

Dolina Ibra predstavlja kičmu drumskog i železničkog saobraćaja, Ibarskom dolinom se pružaju deo državnog puta IB reda broj 31 Raška – Jarinje i deo državnog puta IB reda broj 22 deonica Kraljevo – Raška i deonica Ribarići – Granica sa Crnom Gorom.

Dolinom reke Studenice pruža se deo putnog pravca IB reda broj 30 Ivanjica - Ušće.

Rečni tok Uvca prati deo putnog pravca IB reda broj 29 Prijepolje – Sjenica – Novi Pazar.

Državni put IIA 203 Novi Pazar – Tutin većim delom prati tok Sebečevske reke.

Karakteristike kotlinskih trasa u pogledu elemenata situacije su ograničeni uslovi za vođenje trase i primenjeni radijusi koji i pored toga što se radi o državnim putevima koji po Pravilniku moraju odgovarati računskoj brzini $V_r=80\text{km/h}$ ($R_h=250\text{m}$) odgovaraju $V_r=60\text{km/h}$ ($R_h=120\text{m}$).

Naime, svi projekti rehabilitacije državnih puteva IB reda koje održava Novi Pazar – put su rađeni za računsku brzinu $V_r=60\text{km/h}$, pa i u tom pogledu, zbog određenih terenskih ograničenja, postoje deonice na kojima su napravljeni izuzeci, odnosno gde su primenjeni i elementi manjih karakteristika od zahtevanih:

1. Na rehabilitaciji deonice IB 22 Ušće – Biljanovac LOT 17 u mestu Bojanići veličina postojećeg putnog pojasa, izgrađeni stambeno-poslovni objekti i veliki nagib kosine prema reci Ibar uslovlili su primenu radijusa $R_h=110\text{m}$.
2. Na rehabilitaciji deonice IB 30 Raška – Jarinje RRSP/RRW-IB30RJ/2015-9, blizina rečnog korita Ibra sa jedne strane i položaj železničke pruge Raška – Kosovska Mitrovica sa druge strane uslovlili su primenu radijusa manjih od $R_h=120\text{m}$. Naime, u zoni ukrštaja trase puta i železničke pruge primenjeni su radijusi $R_h=45\text{m}$ i $R_h=55\text{m}$, dok su na delu prilaza Jarinju primenjeni horizontalne krivine čiji se radijusi kreću od 75m do 105m.



Slika 1. Izvođenje radova na pružnom prelazu na IB31, Raška – Jarinje

Slika 2. Izvođenje asfalterskih radova na pružnom prelazu na IB31, Raška - Jarinje

Izvor: Arhiva Novi Pazar – put" d.o.o.

3. Na rehabilitaciji deonice IB 29 Aljinoviće – Sjenica RRSP/RRW-IB29PS/2018-02 na delu rečnog toka Uvca primenjen su minimalni radijusi $R_h=30m$ i $R_h=32m$. Pored ove deonice na ovom putnom pravcu koji predstavlja vezu državnog puta IB 22 preko Pešterske visoravni sa Bosnom terenski uslovi su ograničavajući faktor za vođenje trase i na delu od Belih Voda (NV 750m) do Duge Poljane (NV 1150m). Ova denivelacija od 400m na udaljenosti od 5,5km savladana sa 13 serpentina.
 4. Trasa državnog puta IIA reda broj 203 Novi Pazar – Tutin, zbog terenskih ograničenja s jedne strane i toka Sebečevske reke sa druge strane sadrži elemente situacije koji su manji od propisanih. Računska brzina za koju je urađen projekat rehabilitacije je $V_r=40km/h$. Minimalni radijus prema projektom zadatku je $R_h=50m$, a zbog terenskih uslova primenjeni su radijusi $R_h=40m$, kao i $R_h=35m$. Procentualno učešće radijusa horizontalnih krivina manjih od minimalnog iznosi oko 15%.
- Terenski uslovi definišu i raspoloživi prostor za definisanje poprečnog profila puta. Zbog brdsko planinskog reljefa trase puteva se vode obodom planinskih strana zbog čega je poprečni profil puta najčešće u zaseku.



Slika 3. IB 22 deonica puta Kraljevo - Ušće

Izvor: Arhiva Novi Pazar – put

Ovaj tip poprečnog profila prilikom izvođenja radova zahteva posebnu pažnju kod izvođenja radova na iskopu kosine zaseka na jednoj strani, odnosno izrade stepenastog zaseka i nasipa na drugoj. Problem koji se najčešće javlja kod iskopa kosine zaseka je formiranje nove kosine koja, u slučaju da projektovani nagib nije adekvatan geološkom sastavu terena izaziva novi problem urušavanja i klizanja nestabilne kosine u fazi izvođenja radova, odnosno pojave odrona kasnije u fazi eksploatacije.



Slika 4. IB 29 deonica puta Aljinoviće - Sjenica

Izvor: Arhiva Novi Pazar – put

Terenski uslovi utiču na odabir elemenata puta u fazi projektovanja ali i na odabir načina, odnosno tehnologije izvođenja radova. Naime, stešnjeni terenski uslovi u brdovitim odnosno planinskim predelima utiču na način organizacije radova, na učinke ljudi i mašina, a posebno ako se radi o radovima koji se izvode pod saobraćajem. Tada se kao poseban problem javljaju radovi na pristupnim putevima za izradu objekata zidova i propusta, i to posebno zbog smanjenja bezbednosti kako radnika i mašina koji izvode radove tako i svih učesnika u saobraćaju.



Slika 5. Proširenje kolovoza na IB 31 Raška – Jarinje



Slika 6. Izrada stepenastog zaseka na IB 31 Raška - Jarinje

Izvor: Arhiva Novi Pazar-put



Slika 7. Stepenasti zasek na IB31Raška - Jarinje



Slika 8. Izrada potpornog zida na IB31Raška - Jarinje

Izvor: Arhiva Novi Pazar – put



Slika 9. Sanacija klizišta na IB30 Ivanjica - Ušće



Slika 10. Pristupni put za zid na IB29 Aljinoviće - Sjenica

Izvor: Arhiva Novi Pazar-put

3. KLIMATSKI USLOVI

U pogledu klime prostor na kom Novi Pazar – put održava mrežu državnih puteva odlikuju umereno-kontinentalna klima u dolinama reka i nižim predelima do 800m nadmorske visine, subplaninska na područjima sa nadmorskom visinom od 800 do 1200m i planinska na područjima sa nadmorskom visinom preko 1200m. Zavisno od klime broj dana sa snežnim pokrivačem se razlikuje od područja do područja. U Tabeli 3. dat je prosečan broj dana sa snežnim padavinama po područjima.

Tabela 3. *Prosečan broj dana sa snežnim pokrivačem po područjima*

Područje	Broj dana
Kraljevo	42,8
Raška	84
Kopaonik	163
Novi Pazar	60
Sjenica	100

Izvor: Arhiva Novi Pazar - put

Kao što terenski uslovi utiču na odabir elemenata puta i organizaciju radova na građenju a kasnije i na određene zahteve u održavanju, tako i klimatski uslovi utiču na način održavanja puta bezbednim u toku godine za odvijanje saobraćaja.

4. SPECIFIČNOSTI ODRŽAVANJA PUTNE MREŽE NOVI PAZAR - PUTA

Zbog sveg napred iznetog uslovi održavanja putne mreže na području Novi Pazar – puta su specifični i pored toga što je osnovni zahtev održavanja puteva isti kao i kod ostalih preduzeća – omogućiti svim korisnicima u saobraćaju bezbedno korišćenje puta kao objekta u svim vremenskim uslovima.

Specifičnosti se ogledaju u sledećem:

1. Trase puteva su uglavnom u zaseku zbog čega je poseban zahtev i poseban problem održavanje kosina u stabilnom stanju, njihovoj zaštiti od urušavanja i obezbeđivanju puta od odrona,



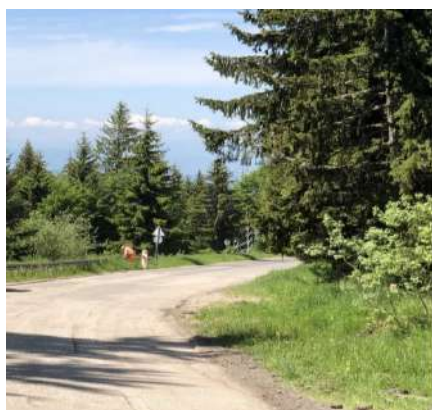
Slika 11. *Radovi na čišćenju odrona i sanaciji nestabilnih kosina*



Slika 12. *Radovi na čišćenju odrona i sanaciji nestabilnih kosina*

Izvor: Arhiva Novi Pazar-put

2. Trase puta u zaseku imaju relativno male površine za košenje trave ali zato imaju veći zahtev za obezbeđivanje preglednost puta sečenjem šiblja i rastinja



Slika 13. *Radovi na košenju trave i kresanju šiblja i drveća*

Izvor: Arhiva Novi Pazar-put

3. Pojava odrona na kotlinskim trasama puteva ima dodatni problem češćeg oštećenja saobraćajne signalizacije i opreme puta nego na trasama puta u ravničarskim terenima

- Oštra planinska klima, duge zime sa dosta snežnih padavina zahtevaju veće angažovanje ljudi i mašina na uklanjanju snega i spečavanju pojave leda na kolovozu
- Poseban problem kod održavanja puteva u zimskim uslovima predstavljaju putevi sa makadamskim kolovozom, koji čine 13,1% ukupne putne mreže koju održava Novi Pazar – put. Održavanje ovih puteva se vrši još uvek buldozerom i utovarivačima, jer makadam ne dozvoljava korišćenje savremenih sredstava za održavanje puteva u zimskim uslovima.



Slika 14. Radovi na čišćenju snega utovarivačem **Slika 15.** Radovi na čišćenju snega kombinirkom
Izvor: Arhiva Novi Pazar-put

Dodatni problem kod održavanja ovih puteva u letnjim uslovima je činjenica da se radi o putevima sa većim podužnim nagibima trase, zbog čega se usled padavina na njima javljaju vododerine usled spiranja kamenog agregata sa puta, što dodatno smanjuje bezbednost učesnika u saobraćaju na ovim putevima.



Slika 16. Vododerine na makadamskom putu IIA 197 **Slika 17.** Vododerine na makadamskom putu IIA 197
Deonica Tuzinje – Karajukića Bunari Deonica Rasno - Tuzinje

Izvor: Arhiva Novi Pazar-put

5. POBOLJŠANJE STANJA PUTNE MREŽE NOVI PAZAR - PUTA

U poslednjih pet godina od 2015.-2019.godine sredstvima šire društvene zajednice na području mreže Novi Pazar – puta asfaltirano je 11,9km makadamskog kolovoza (IIA 201 L=8,5km, prekidi na IIA 202 L=1,8km, IIA 197 L=1,6km) poboljšano je stanje na 14,0km puteva sa asfaltnim kolovozom (IB 31 L=10,5km, IIA 209 L=2,0km, IIA 210 L=1,5km)

Sa poboljšanjem stanja kolovoza na putevima u prvom redu se povećava protočna moć puta, povećava se brzina kretanja, obezbeđuju se komotni elementi puta, povećava bezbednost kretanja svih učesnika u saobraćaju.

Sa smanjenjem trajanja vožnje između destinacija stvaraju se uslovi za njihovu privrednu, kulturnu i svaki drugi vid saradnje.

Sa poboljšanjem stanja kolovoza stvaraju se uslovi i za izgradnju pratećih sadržaja uz put – benzinskih pumpi, servisa za popravku, trgovina i drugo.



Slika 18. Benzinska pumpa u Karajukića Bunarima



Slika 19. Prilaz selu Leskova, opština Tutin

Izvor: Arhiva Novi Pazar-put



Slika 20. Centar sela Leskova, opština Tutin

Izvor: Arhiva Novi Pazar-put

Sa asfaltiranjem makadamskih puteva (sva tri putna pravca su na Pešterskoj visporavni) vratila se živost na prostorima kuda ti putevi prolaze. Počela je gradnja vikendica, otvorene su benzinske pumpe, pogoni za preradu mleka, obnovljena je farma za uzgoj ovaca u Karajukića Bunarima, niču nove kuće. Deo novih objekata pripada mladima koji su odlučili da ne napuštaju imanja a dobar deo novih objekata pripada ljudima koji su otišli na rad u inostranstvo. Te kuće su dokaz da ti ljudi nameravaju da sada kad su promenjeni uslovi života i dođu u svoj kraj.



Slika 21. Novi objekti na Pešteri, u blizini puta



Slika 22. Novi asfalt na Pešteri, i objekti blizu puta

Izvor: Arhiva Novi Pazar-put

3. ZAKLJUČAK

Gradnja puteva je investicija koja ostaje generacijama. Istina je da se radi o velikim investicionim ulaganjima ali efekti koje donosi izgradnja puta su višestruko veća vrednost. Uzimajući u obzir da su proizvodnja zdrave hrane, nezagađena priroda, razvoj seoskog turizma ali i mogućnost gradnje fabrika zbog dobrog prilaza nastojanja i cilj, dugoročna orijentacija našeg društva, posebno na prostoru Pešterske visoravni, onda izgradnju svakog kilometra puta treba sa posebnom pažnjom pratiti i nagraditi. Jer se pokazuje, kao i do

sada u toliko mnogo slučajeva, da je put život (“VIA VITA”). Bez puteva naša sela se napuštaju, ljudi odlaze za boljim životom a ogromna prostranstva sela ostaju pusta. Na drugoj strani sa svakim kilometrom stvara se mogućnost za bolji i brži prilaz svakoj destinaciji, za gradnju novih objekata, za oživljavanje prostora.

Zahvale

Zahvaljujem se kolegama na saradnji i pomoći na prikupljanju potrebne fotodokumentacije.

Literatura

- [1] AD “Novi Pazar – put” - Monografija – 45 godina postojanja AD “Novi Pazar – put”, 2007.
- [2] AD “Novi Pazar – put” - Izgradnja, rehabilitacija i rekonstrukcija javnih saobraćajnica, 2011.
- [3] AD “Novi Pazar – put” – Pola veka na putevima, 2012.
- [4] AD “Novi Pazar – put” – Procesi u realizaciji gradilišta, 2013.
- [5] Arhiva “Novi Pazar – put”

IMPLEMENTATION OF PERFORMANCE BASED MAINTENANCE CONTRACTS IN THE REPUBLIC OF SERBIA

Nebojša Radović¹, Igor Jokanović², Miloš Šešlija¹

¹ University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia

² University of Novi Sad, Faculty of Civil Engineering, Subotica, Serbia

Abstract: Public Enterprise "Roads of Serbia" (PERS) has gained experience with Performance Based Maintenance Contracts (PBMCs) for approximately 1,200 km of the road network in 2004-2008. In 2016, PERS adopted a strategic plan to introduce performance-based maintenance contracts throughout the whole road network. The first six contracts, covering about 3,000 km, have been signed and works on maintaining the road network under the new model entered into the third year of implementation. This paper analyzes the experience gained in the procurement and implementation of contracts in order to further spreading of performance-based maintenance contracts throughout the Republic of Serbia's national road network.

Keywords: roads, performance based maintenance, service level, contract

1. INTRODUCTION

In 2016, Public Enterprise "Roads of Serbia" (PERS) adopted a strategic plan to introduce performance-based maintenance contracts (PBMCs) throughout the whole road network. The first six contracts, covering about 3,000 km, have been signed in 2018 and works on maintaining the road network under the new model entered into the third year of implementation. The valuable experience is gained in the procurement and implementation of contracts that will facilitate further spreading of performance-based maintenance contracts throughout the Republic of Serbia's national road network.

2. PRINCIPLES OF PBMC

2.1. Key Objective and Context of PBMC

Performance-based maintenance contracting (PBMC) for roads is designed to increase the efficiency and effectiveness of road asset management and maintenance. It should ensure that the physical condition of the roads under contract is adequate for the needs of road users, over the entire period of the contract.

PBMCs differ significantly from method-based contracts [1,2,4,5] that have been traditionally used to maintain roads. The basic difference is that under PBMC, most of the payments to be made to the contractor are based on measured "outputs" reflecting the target conditions of the roads under contract, expressed through "service levels". These service levels are defined in the contract. Another major difference is that the contractor is fully responsible for the design of the works which are necessary to reach the required service levels, and the durability and performance of the roads over a longer period.

PBMC within the road sector can be "pure" or "hybrid". The latter combines features of both method- and performance-based contracts. Some services are paid on a unit rate basis, while others are linked to meeting performance indicators.

Road agencies have developed the PBMC approach because it offers several advantages over more traditional approaches [1]:

- cost savings in managing and maintaining road assets.
- the ability to manage the road network with fewer staff for supervising the works.
- better customer satisfaction with a better level of road service.
- stable multi-annual financing for maintenance.

PBMC can deliver higher customer satisfaction by aligning contractor payments with the needs of the road users. Their needs are directly incorporated in the performance indicators specified in the contract. Performance specifications set a minimum level of service that the contractor has to achieve during the entire contractual period.

A PBMC approach can ensure stable financing for the maintenance program over a longer-term if compared with a traditional contract based on a drawing as well as unit prices and envisaged quantities. A PBMC typically

¹ Corresponding author: radovic.nebojsa62@gmail.com

covers a period of several years. A PBMC may cover either only individual assets (e.g. only traffic signs, or only bridges) or all road assets (from right-of-way to right-of-way) within a road corridor.

The level of complexity of a PBMC can range from “simple” to “comprehensive”, depending on the number of assets and the range of services included [1,2,5]. A “simple” PBMC would cover a single service (e.g. only mowing, only street light maintenance) and could be awarded for relatively short periods (several months or one year). A “comprehensive” PBMC would typically cover all road assets with the right-of-way and comprise the full range of services needed to manage and maintain the contracted road corridor. Such services would include routine maintenance, periodic maintenance, and traffic accident assistance, etc.

The PBMC guarantees that variation orders are minimized, and the contractor is generally paid in equal monthly instalments throughout the contract period. The risk for cost overruns is transferred to the contractor. The contractor is responsible for planning, designing, and carrying out all the services, supplies and works, that he believes necessary to achieve and maintain the level of service levels stated in the contract agreement. The service levels are defined from a road user’s perspective and may include factors such as average travel speeds, riding comfort, safety features, etc. If the service level is not achieved in any given month, the payment for that month may be reduced or even suspended.

Road agencies that have adopted a PBMC approach have achieved [1]:

- Cost savings from 10% up to 40%. In addition, recent evaluations indicate that the savings in costs accrued from the Performance-Based Road Rehabilitation and Maintenance Contracts in Argentina (CREMA) are in order of 12 to 18% compared with traditional method-based contracts.
- Expenditure certainty. As the contractor is paid a fixed price, based on a regular schedule, the road agency has full control of expenditures without unexpected variation orders.
- Improved condition of the contracted road assets and fewer road sections in poor condition. Many road agencies have acknowledged that on completion of a PBMC, road assets are generally returned either in a satisfactory or improved condition compared to the conditions before the PBMC was awarded.
- Greater road user satisfaction. Road users appear to become more satisfied with the services delivered and the condition of the roads maintained under PBMCs.
- Multi-year financing of maintenance programs.

2.2. Implementation Experiences

PBCs differ widely in their complexity and duration of contract. An overview of the contract duration and the complexity of some of PBCs in some selected countries is illustrated in Figure 1. below:

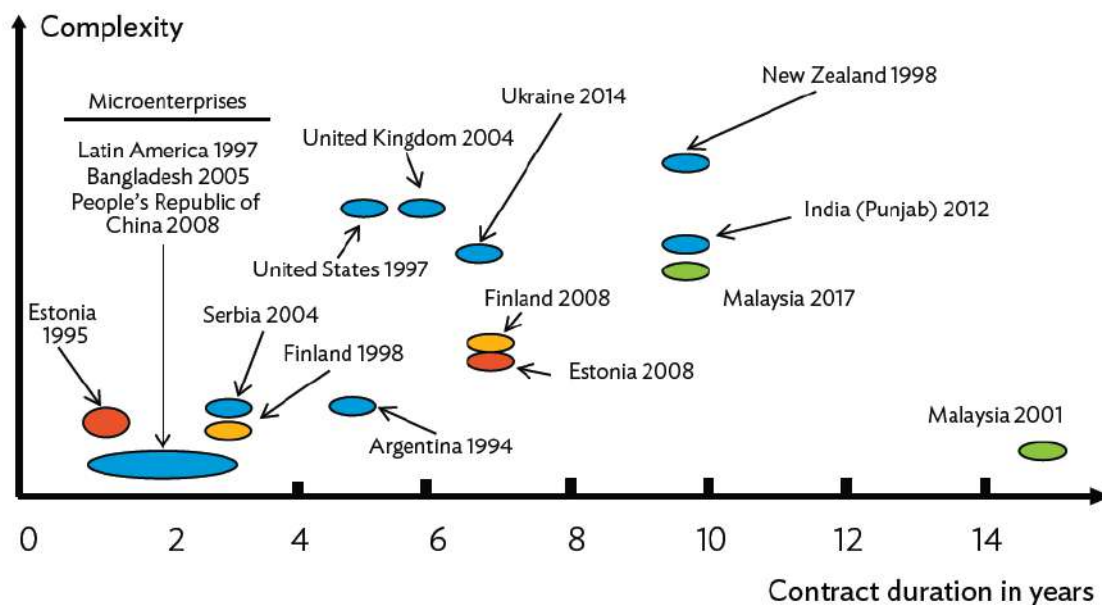


Figure 1. Complexity and Duration of Selected Performance-Based Road Maintenance Contracts
Source: G. Zietlow, 2015. [2]

Conventional Contracts are 3 to 5 years and range from input to output to outcome based and are used for specialist asset management activities like pavement repairs, emergency works, drainage, signage, delineators, litter control, vegetation control, pavement markings, bridge management, traffic counting and traffic operations center.

2.3. Performance Indicators

Many PBMCs have experienced difficulties due to application of overly complicated performance criteria which prove problematic to implement and enforce. The indicators need to be:

- Clearly defined.
- Simple to measure and evaluate.
- Realistic and achievable, reflecting Road Authorities' service level expectations for respective road categories.
- Bound in terms of response times. Indicators for lump-sum payment items should define:
 - The element to be assessed (nature and location) and the required performance standard to be achieved – trigger level (at which action is required) and the minimum level (above which demerit points are awarded),
 - The length over which linear elements, such as road pavement, drainage, or barriers, are to be evaluated. A short evaluation length represents a higher performance standard. Elements, such as signs, marker posts and culverts are evaluated individually.
 - The time-period within which the contractor is required to take corrective action – the response time.
 - The payment reduction that will be applied if the response times are not respected.

These indicators should be summarized in tabular format, backed up by a full-length description in the specifications.

Indicators for measured items should define:

- The period within which the contractor is required to take corrective action – the response time.
- The payment reduction that will be applied if the response times are not respected.

2.3. Estimating the Costs

The key requirements are summarized as follows (*Pakkala, 2005*) [2]:

- Robust and good data of existing road network assets and what are the present costs of these assets at existing levels of service.
- Good funding stream for maintenance, if funding continues to decline then the costs for repair tend to escalate.
- Requires expertise, good tendering practices, clear, and concise contract language. It is difficult to write all conditions in the contract.
- Having common standards and performance measures.
- A good understanding and relationships between the client and service providers.
- Partnering or partnering board. Head to head competition among service providers.
- Good communications and sharing knowledge with all parties.

The literature review and research [4,5,6] suggest that the successful implementation of PBMC requires the proper estimation of costs. Contract terms, documents and performance standard will vary in different countries.

As PBMC is a long-term contract, it will not be possible to change anything once the contract has been started. However, developing countries faced difficulties in estimating costs at an early stage of implementing PBMC as it is a very new concept for them.

3. PERS EXPERIENCE IN PBMC

3.1. Pilot OPBMC Project in Serbia (2004-2008)

In the period from 2004 to 2008 pilot output and performance based maintenance contracting (OPBMC) for routine and winter road maintenance works was carried out in the Republic of Serbia for about 1,200 km of road network in regions of Mačva and Kolubara (Figure 2). The project was financed by the World Bank.

3.1.1. Basic Information

The World Bank Project included implementation of two pilot contracts for output and performance-based maintenance contracting (OPBMC) for routine and winter road maintenance on about 1,200 km of road network in Mačva and Kolubara districts for three years, plus an additional two years (2004-2008).

The main characteristics of the pilot project were:

- Procurement of routine road maintenance works by international bidding procedures involving interested companies from the private sector.
- Separating routine maintenance contracting from all other type of works (construction, reconstruction, rehabilitation and periodic maintenance);
- Introducing into practice service quality level, lump sum payments and demerit points for non-compliance with the requested standards into practice, as well as other typical performance-based contract characteristics, for the certain types of routine maintenance items.
- Applying a new winter maintenance service organization, winter maintenance performance, and a payment model based on RWIS (Road Weather Information System).

3.1.2. Legal and Technical Aspects

It was necessary to redefine road categories for routine and winter road maintenance in accordance with the existing road classification, Public Road Law and Rulebook for road maintenance:

- The categories of roads for routine and winter road maintenance were defined
- The technical specifications for the routine maintenance of roads and bridges were defined
- The desired service level (quality of construction), including its measurement and control, was defined
- Penalties (demerit points) were defined
- The minimum set of construction machinery for the execution of maintenance works was defined.

The main differences compared to the previous “classic” contracts were:

- Introduction of works paid by lump-sum
- Maintenance categories were defined
- Application of “demerit points”
- Using Road Weather Information System (RWIS) in the process of road winter maintenance
- Self-performance of the contractor (with introduction of an internal control unit for evaluation of performance)

3.1.3. Procurement and Contracting

The contract for the work belonged to the so-called: “Hybrid contract” model:

- Procurement of Works: ICB procedures (World Bank small works contracts)
- Procurement of consulting services: QCBS procedures.

Within the TRP project two contracts were signed for road maintenance under the principle OPBMC (OPBMC – output and performance based maintenance contracts). Contracts relating to the two pilot territories of Mačva and Kolubara over a total length of 1177 km were implemented in the period from 2004 to 2008.

3.1.4. Lessons Learned

The following lessons can be considered as learned [2,3]:

- After initial problems in adapting to the new concept of road maintenance in the first year of the implementation, the pilot project was completed successfully.
- Engagement of consultants on the pilot project, especially through continuing education of contractors, as well as the establishment of procedures and records, significantly contributed to its successful completion.
- Consumption of materials for pavement maintenance was significantly reduced and savings were achieved in total costs over the first year of implementation of the contract, particularly in comparison with the parameters for the rest of the Serbian road network.
- The most significant savings were made in winter maintenance.

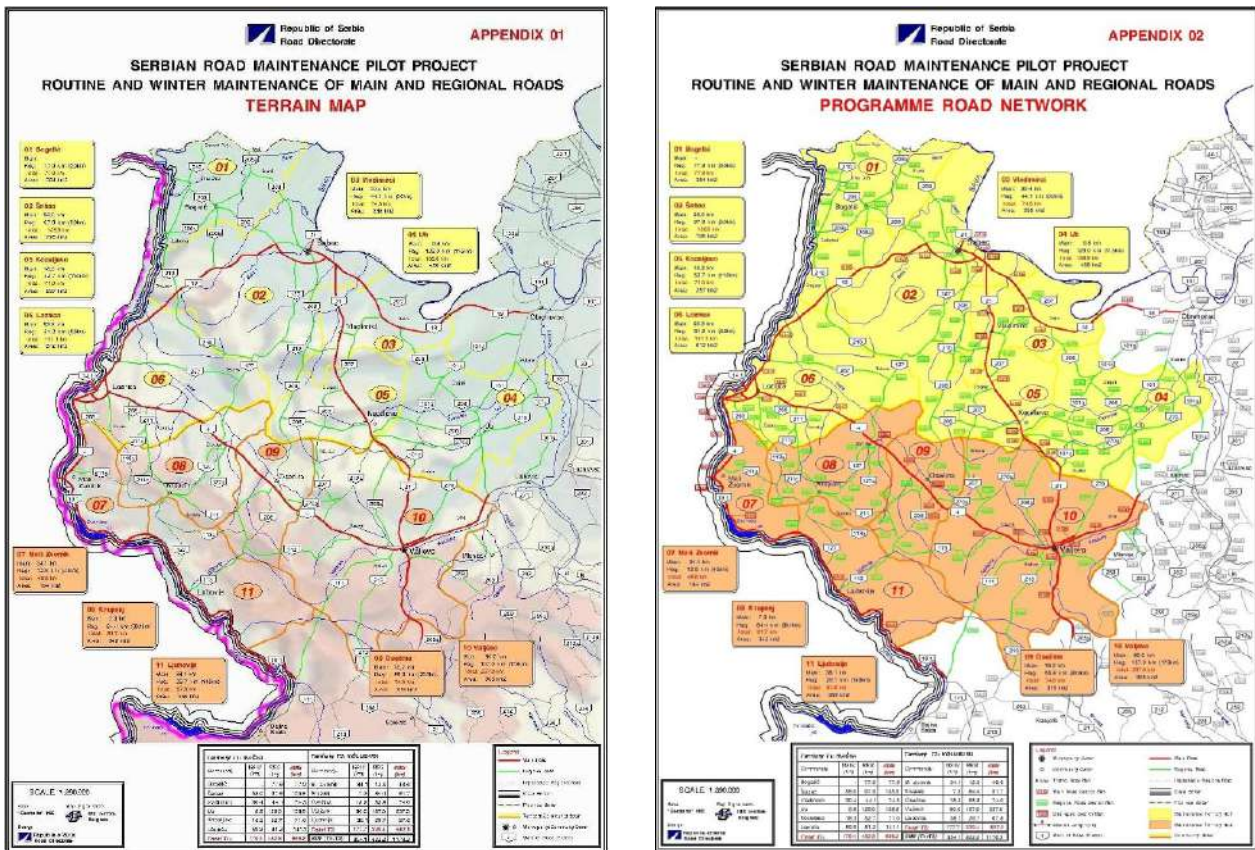


Figure 2. Pilot Contract Areas for OPBMC Pilot Project in Serbia
Source: PERS [2,3]

3.1.5. Highlights

- The Republic of Serbia was the first country in the region to implement PBMC for roads. PERS was the leading road authority in region in preparation and implementation of PBMCs for roads.
- Preparation and implementation of the pilot project was supported by the World Bank and Twinning Agreement between PERS and the SNRA (SweRoad).
- The role of the international consultant (SNRA) and domestic consultant (Highway Institute) was significant for realization of the whole pilot project.
- A manual for the PBMC Supervising Consultant was prepared.
- RWIS was implemented and used in the winter seasons 2005/2006, 2006/2007 and 2007/2008 (TRP Project) and 2008/2009 (PERS financing).
- The project was separately combined with rehabilitation projects (10 rehabilitated sections in the pilot areas, in total length of 240 km, financed by the World Bank).
- Savings in maintenance costs are disputable (many internal/external factors to be considered), but obvious.
- Average routine maintenance costs (including winter maintenance costs) during the five-year period (2005-2009) were EUR 4,285/km.
- The satisfaction of road users was not tested at the end of the project.

3.2. Ongoing PBMCs (2018-2020)

3.2.1. Basic Information

During February 2018 PERS six new PBMCs covering about 3,000 km of category I and II state roads. The procurement of the PBM works was carried in accordance with the national Public Procurement Law. Type of PBM Contract is “hybrid” which combines features of both method- and performance-based contracts. Some services are paid on a unit rate basis, while others are linked to meeting performance indicators. About 27% of the specified maintenance activities are paid on the lump-sum basis while the rest of activities (73%) are

paid on the basis of measured quantities and unit rates bases. The model of PMB contract relates mainly to the routine (summer and winter) maintenance activities and presents improved and adapted pilot PBM contract from 2004. The duration of the contracts is three (3) years.

The public procurement was grouped into six lots, as follows:

Lot 1: Centre 8 (C8) municipalities:	Brus, Aleksandrovac, Trstenik, Kruševac, Varvarin, Čičevac, Kuršumlja, Blace;
Lot 2: East 3 (E3) municipalities:	Knjaževac, Svrlijig, Sokobanja, Boljevac, Zaječar;
Lot 3: South 1 (S1) municipalities:	Kuršumlja, Blace, Prokuplje, Merošina, Žitorađa, Niš, Doljevac, Aleksinac, Ražanj;
Lot 4: South 2 (S2) municipalities:	Babušnica, Bela Palanka, Dimitrovgrad, Gadžin Han, Piroć;
Lot 5: South 3 (S3) municipalities:	Medveđa, Bojnik, Lebane, Leskovac, Vlasotince, Crna Trava;
Lot 6: South 4 (S4) municipalities:	Preševo, Bujanovac, Vranje, Vladičin Han, Trgovište, Surdulica, Bosilegrad.

The ongoing PBMC's territories are graphically presented on the Figure 3.

3.2.2. Preparation of Project

Preparation of PBMCs for approx. 3,000km of state road network was supported through two IFI's projects:

- EUD Framework Contract Europe Aid/127054/C/SER/multi
Project Title: Serbia – FWD BENEFICIARIES 2009 – LOT 2: Preparation of Technical Requirements and Tender Dossier for Introduction and Development of Performance-Based Road Maintenance on Serbian National Road Network EuropeAid/127054/C/SER/multi.
Duration: 6 months (15.01.-14.06.2014)
Consultant: Parsons Brinckerhoff Consortium, UK
- EUD Project: 12SER01/11/251
Project Title: Introduction and Development of Performance-Based Road Maintenance on Serbian National Road Network
Duration: 22 months (21.07.2015 - 05.11.2017)
Consultant: Egis International, France

3.2.3. Procurement and Contracting

The procurement process and contracting is presented below:

19.05.2017.	Invitation for Submission of Bids
07.08.2017.	Public Bid Opening <i>Seven Bidders submitted their Bids (total 10 Bids):</i> <i>Lot 1 - 2 Bids (1 rejected)</i> <i>Lot 2 - 1 Bid</i> <i>Lot 3 - 2 Bids</i> <i>Lot 4 - 1 Bid</i> <i>Lot 5 - 1 Bid</i> <i>Lot 6 - 3 Bids (1 rejected)</i>
23.10.2017.	Award Decision
31.01.2018.	Contract signing – Lot 2, Lot 4 and Lot 5
27.02.2018.	Contract signing – Lot 1, Lot 3 and Lot 6

In conclusion, the procurement and contracting process lasted about 9.5 months and Bidders with the lowest prices offered won the contracts. The procurement process was concluded successfully in accordance with Public Procurement Law of the Republic of Serbia.



Figure 3. On-going PBMCs territories
Source: PERS [7]

3.2.4. Classification of activities

Activities are grouped under the following headings:

- Management Services
- Operation Services
- Routine Maintenance
- Winter Maintenance
- Preservation works
- Emergency Works

The works in each category are as follows:

- Management services (program of performance including maintaining the road database, self-control unit, etc., reporting, and administrative duties),
- Operational Services (inspections, patrolling, traffic management, protection of the right of way),
- Routine maintenance and repair (summer maintenance). Because of the number of assets and activities, this is broken down into the following chapters:
 - Road body and roadway (vegetation, shoulders, slopes)
 - Pavement maintenance (paved, unpaved and cobblestone roads);
 - Drainage system (drains, culverts, channels)
 - Safety elements (signs, markings, barriers, markers, reflectors etc.)
 - Bridges and tunnels (non-specialized routine maintenance)
- Winter maintenance (snow removal, friction control);

- Preservation works (asphalt resurfacing, surface treatment);
- Emergency maintenance (repairs due to landslides and flooding or other natural events).

There are a total of some 114 activities, of which 31 are paid as lump sums (for cyclic maintenance activities) with suggested payment periods for a single maintenance season. All activities are assessed according to performance criteria. Lump-sum activities are assessed according to monthly quality inspections and during/after weather events in winter. Measured items are assessed according to response time following receipt of instructions from the Project Manager.

3.2.5. Lessons Learned

The following lessons can be considered as learned through the first two years of implementation:

- The PBMCs in the Republic of Serbia have generally stabilized, although with instances of continuing non-compliance with contracted level of service obligations.
- There is need for improvement of Contract's Condition with respect to qualification criteria and capability of Bidders to successfully perform PBMCs.
- There is concern regarding market capability, capacity, and competition.
- There is a need to more precisely define the procedure for execution of lump sum works.
- The quantities from the BoQ, for measured items, for each lot have been found in many cases to significantly understate the required level of activity.
- Rehabilitation works have to be included in PBMCs, with the need to ensure that the level of design or study required from the Contractor for pavement preservation works are provided.

3.2.6. Highlights

- Preparation of the project lasted more than 2 years.
- Project supported by IFIs (EUD Belgrade, World Bank)
- The role of the international consultants (Parsons Brinckerhoff Consortium and EGIS International) was significant for preparation of the project
- Support of IFIs (incorporation of successfully tendered PBMCs for 3,000 km of national road network as DLIs within RRSP)
- Still not fully tackled all legal, financial, technical, and institutional arrangements.
- 3 of 6 existing Road Maintenance Companies continued maintenance on "their" territories (lot 2, 4 and 5 – only 1 bid)
- Maintenance Costs:
 - Lot 1: 8,508 EUR/km
 - Lot 2: 8,923 EUR/km
 - Lot 3: 5,034 EUR/km
 - Lot 4: 7,855 EUR/km
 - Lot 5: 9,053 EUR/km
 - Lot 6: 7,030 EUR/km
- Average contracted routine maintenance costs (including winter maintenance costs) during the three-year period (2018-2021) are 7,734 EUR/km .
- Costs of procurement and installation of RWIS (18) are not included in bids.

4. Conclusions

Although the Republic of Serbia has valuable experience in preparation and implementation of PBMC, there are still several legal, financial, institutional, and technical issues to be settled.

There are ongoing activities of importance for introduction of PBMCs to other territories:

- Six ongoing PBMCs in Serbia, started from 1 April 2018 (great opportunity for monitoring and improving of maintenance standards and performance indicators).
- Consultant Services for Road Network Condition Survey (RNCS), started on 17 August 2018 (data collection for preparation of bidding documents for introduction of PBMC to other territories).
- Loan Agreement (Loan Number 8792-YF) for Enhancing Infrastructure Efficiency and Sustainability Program between Republic of Serbia and International Bank for Reconstruction and Development (IBRD) – EUR 60 million for road maintenance (introduction of PBMC to other territories, with disbursement-linked indicators and results).

- Harmonization of existing legal and financial framework with respect to road sector reform in the Republic of Serbia

The following steps are important for further implementation of PBMCs to other territories:

- It is necessary to harmonize the existing legal and financial framework with respect to procurement and implementation of PBMCs in Serbia, to provide stable financing of multi-year maintenance contracts (at least 5-7 years)
- Update / extend the PBMC Strategic Plan to other territories (including motorways as separate package)
- Procurement and installation of additional RWIS necessary to cover all maintenance territories
- Construction of 60 maintenance depots to be owned by PERS in purpose to put all prospective Bidder in equal position
- Prepare bidding documents for implementation of PBMC on other territories. Keep the existing format of documents applied to the current six PBMCs in Serbia with improved technical specifications (maintenance standards and performance indicators)
- The way forward: prepare and launch a PBMC pilot project for improvement /rehabilitation of selected road section(s), with a minimum duration of 5 to 7 years

Acknowledgements

The presented research was done with the support of the PE "Roads of Serbia" and presents part of project "Road Sector Reform in the Republic of Serbia" accomplished by Joint Venture Deloitte doo Beograd, Deloitte Central Europe Ltd, WYG International Ltd, as well as SYSTEMA Transport Planning Consultants Ltd. The authors are grateful for their efforts and understanding of all the authorities who approved the operation and use of the data.

References

- [1] Stankevich, N., Qureshi, N., Queiroz, C. 2005 (2009). *Performance-based Contracting for Preservation and Improvement of Road Assets*. THE WORLD BANK, WASHINGTON, DC Transport Note No. TN-27. 11 p.
- [2] Radović, N., Mirković K., Šešlija, M., Peško, I. 2013. *Output and performance based road maintenance contracting - case study Serbia*. Tehnički vjesnik - Technical Gazette, Vol. 21, No. 3: 681-688.
- [3] Radović N., Subotički G., Šešlija M. (2013). Održavanje puteva po principu "Output and Performance Based" ugovaranja radova. Konferencija Savremena građevinska praksa (Andrić, 2013). 203-226.
- [4] Radović, N., Jokanović, I., Begović, E., Ciobanu, N. (2016). Road maintenance contracting strategy in Moldova, Zbornik radova Drugog srpskog kongresa o putevima, Beograd, Srbija. 38-44.
- [5] Jokanović, I., Begović, E., Radović, N. (2016). Izazovi i faktori uspjeha kod primjene ugovora o održavanju puteva prema definisanom nivou usluge, Zbornik radova 5. BiH kongresa o cestama, Sarajevo, Bosna i Hercegovina. 367-382.
- [6] Jokanović, I. (2013). Primenljivost ugovora o održavanju puteva prema definisanom nivou usluge u Bosni i Hercegovini, Put i saobraćaj, Srbija, god. LIX, br. 4. 31-42.
- [7] <https://www.putevi-srbije.rs> (25.05.2020.)

RAZVOJ MODELA ZA FAKTORE KOREKCIJE UGIBA FLEKSIBILNIH KOLOVOZNIH KONSTRUKCIJA S OBZIROM NA TEMPERATURU

Mladenović Goran¹, Ištoka Otković Irena², Orešković Marko³

¹ Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, emladen@imk.grf.bg.ac.rs

² Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i Arhitektonski fakultet Osijek, iirena@gfos.hr

³ Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, moreskovic@grf.bg.ac.rs

Rezime: Temperatura asfaltnih slojeva ima, pored opterećenja, najznačajniji uticaj na veličinu ugiba ispod samog opterećenja ili blisko opterećenju. Postojeći modeli za faktore korekcije razvijeni su na bazi inostranih iskustava i ne podržavaju u potpunosti asfaltnu mešavinu koje se primenjuju u regionu. U radu je prikazano istraživanje sa ciljem da se razviju modeli za faktore korekcije koji se mogu primeniti u postupcima analize ugiba i proračuna nosivosti postojećih kolovoznih konstrukcija. Istraživanje se sastoji iz tri dela. Moduli asfaltnih mešavina AB11s za habajući sloj i BNS 22sA za gornji noseći sloj dobijeni su na osnovu master krivih konstruisanih na bazi laboratorijskih ispitivanja modula krutosti ovih mešavina. Proračun ugiba vršen je programom EVERSTRESS za tri nivoa fleksibilnih i polukrutih kolovoznih konstrukcija, sa debljinama asfaltnih slojeva od 100 mm do 210 mm. Dobijeni ugibi poslužili su za proračun faktora korekcije na referentnu temperaturu od 20°C za raspon temperatura od 10°C do 30°C koji se smatra realnim i poželjnim za merenje ugiba fleksibilnih kolovoznih konstrukcija. Konačno, model za faktore korekcije razvijen je i validiran primenom neuronskih mreža. Model obuhvata fleksibilne i polukrute kolovozne konstrukcije, i pored temperature asfaltnih slojeva uključuje i debljinu slojeva i rastojanje ugibomera od centra opterećenja.

Ključne reči: Ugib, fleksibilna kolovozna konstrukcija, modul krutosti, neuronske mreže, regresioni modeli

DEVELOPMENT OF MODEL FOR TEMPERATURE CORRECTION FACTORS OF FLEXIBLE PAVEMENT DEFLECTIONS

Mladenović Goran¹, Ištoka Otković Irena², Orešković Marko³

¹ University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, oreskovic@grf.bg.ac.rs

² Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Civil Engineering and Architecture, iirena@gfos.hr

³ University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, emladen@imk.grf.bg.ac.rs

Abstract: The temperature of asphalt layers has, in addition to loading, the most significant influence on the pavement deflections below the load and within the deflection bowl. Existing models for temperature correction factors have been developed on the basis of foreign experience and do not take into account the asphalt mixtures used in the region. The paper presents a research with the aim of developing models for correction factors that can be applied in the procedures of deflection analysis and bearing capacity calculation of existing pavement structures. The research consists of three parts. The stiffness moduli of asphalt mixtures AC11s for the wearing course and AC 22sA for the base layer were obtained from their master curves, which were constructed on the basis of laboratory tests of stiffness modulus. The calculation of deflection was performed by the EVERSTRESS program for three levels of flexible and semi-rigid pavement structures, with asphalt layer thicknesses from 100 mm to 210 mm. The obtained deflections were used for the calculation of the correction factor to the reference temperature of 20°C for the temperature range from 10°C to 30°C, which is considered realistic and desirable for deflection measurements on flexible pavement structures. Finally, a model for correction factors was developed and validated using neural networks. The model includes flexible and semi-rigid pavement structures, and in addition to the temperature of the asphalt layers, it also includes the thickness of the layers and the distance of the deflection from the center of the loading.

Keywords: Deflection, flexible pavement, stiffness modulus, neural networks, regression models

1. UVOD

Temperatura asfaltnih slojeva ima, pored opterećenja, najznačajniji uticaj na veličinu ugiba ispod samog opterećenja ili blisko opterećenju. Postojeći modeli za faktore korekcije, koji se primenjuju za korekciju ugiba u postupcima za analizu nosivosti kolovoznih konstrukcija razvijeni su na bazi inostranih iskustava, a neki od njih datiraju iz vremena kada je vršena korekcija samo maksimalnog ugiba, s obzirom da je raspoloživa oprema uključivala samo Benkelmenovu gredu ili eventualno deflektograf LaCroix. U međuvremenu je u regionu nabavljen veći broj ugibomera sa padajućim teretom, što je omogućilo primenu sofisticiranih modela proračuna poput analize različitih parametara defleksionih bazena, kao i povratnog proračuna modula slojeva kolovoznih konstrukcija (backcalculation). Za primenu ovih modela je neophodno što tačnije proceniti ugibe konstrukcije u

referentnim uslovima, što znači da je neophodna korekcija i drugih ugiba, a ne samo maksimalnog. S druge strane, raspoloživi modeli ne podržavaju u potpunosti asfaltne mesavine, kao ni strukturu kolovoznih konstrukcija koje se primenjuju u regionu.

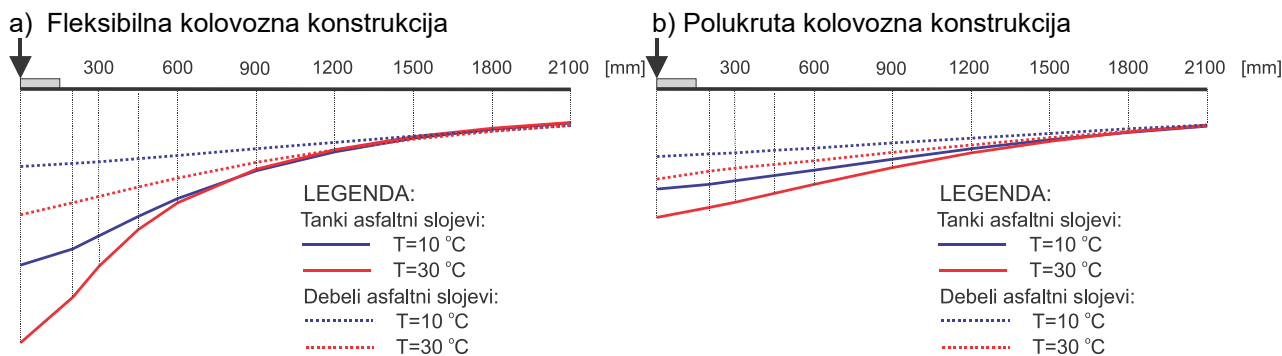
Stoga je cilj ovog rada bio da se razviju modeli za korekciju ugiba s obzirom na temperature asfaltnih slojeva koji će uzeti u obzir realne karakteristike materijala, kao i strukture kolovoznih konstrukcija zastupljene na putevima u regionu.

2. PREGLED POSTOJEĆIH MODELA ZA KOREKCIJU UGIBA

Temperatura asfaltnih slojeva kolovozne konstrukcije u vreme merenja ugiba predstavlja jedan od najznačajnijih faktora koji utiču na vrednosti izmerenih defleksija, pogotovo onih koje se nalaze bliže samom opterećenju.

U uputstvu AASHTO [1] za dimenzionisanje kolovoznih konstrukcija je definisan opšti postupak za korekciju maksimalnog ugiba, koji je u skladu sa samim postupkom određivanja efektivne nosivosti kolovoznih konstrukcije. Međutim, značajan broj postupaka za analizu nosivosti kolovoznih konstrukcija se bazira i na primeni drugih defleksija u okviru defleksionog bazena osim maksimalne i postavlja se pitanje koje defleksije i u kojoj meri treba korigovati da bi dali uporedive parametre nosivosti kolovozne konstrukcije. Primer za to je Indeks zakrivljenosti, koji predstavlja razliku između maksimalnog ugiba i ugiba izmerenog na 300 mm od centra opterećenja i na čiju vrednost značajno utiče temperatura asfaltnih slojeva prilikom merenja.

Odgovor na pitanje koje defleksije i u kojoj meri treba korigovati zavisi od tipa kolovozne konstrukcije i debljine asfaltnih slojeva (slika 1), ali i od tipa bitumena i vrste, odnosno krutosti asfaltne mešavine. U novije vreme se sve više primenjuje polimer modifikovan bitumen u habajućem i veznom (ukoliko postoji), a sve češće i u nosećim asfaltnim slojevima kolovozne konstrukcije, što ima značajnog efekta na njihovu krutost, pa samim tim i na rezultujuće defleksije površine kolovozne konstrukcije.



Slika 1. Defleksioni bazeni za tanke i debele fleksibilne i polukrute kolovozne konstrukcije na temperaturama asfaltnih slojeva od 10 °C i 30 °C

U pojedinim zemljama su vršena određena eksperimentalna istraživanja kako bi se definisale odgovarajuće procedure za korekciju ugiba. Van Gurp [2] je analizirao uticaj okoline na deformaciju kolovoza u Holandiji i definisao postupak proračuna faktora korekcije za različite opcije indeksa zakrivljenosti defleksionog bazena primenom jednačine:

$$TNF = 1 + \left(a_1 + \frac{a_2}{h_1} \right) * (T_A - 20) + \left(a_3 + \frac{a_4}{h_1} \right) * (T_A - 20)^2 \quad (1)$$

gde su:

TNF – faktor korekcije

T_A – temperatura asfaltnog sloja (°C)

h_1 – debljina asfaltnog sloja (mm)

a_1, a_2, a_3, a_4 – koeficijenti datu u tabeli 1 u funkciji od parametra za koji se vrši korekcija.

Tabela 1. Koeficijenti Van Gurp-ovog modela za faktore korekcije

Parametar	a_1 ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	a_2 ($\text{mm}/^{\circ}\text{C}$)	a_3 ($0.001\ ^{\circ}\text{C}^{-1}$)	a_4 ($\text{mm}/^{\circ}\text{C}$)
d_o	0.01661	-0.67095	0.28612	-0.01408
$d_o - d_{225}$	0.05955	-2.73223	1.48011	-0.08171
$d_o - d_{300}$	0.05398	-2.61130	1.28439	-0.07493
$d_o - d_{450}$	0.04720	-2.39175	1.05022	-0.06371
$d_o - d_{600}$	0.04190	-2.15168	0.87228	-0.05301

Izvor: Van Gurp, C. [2]

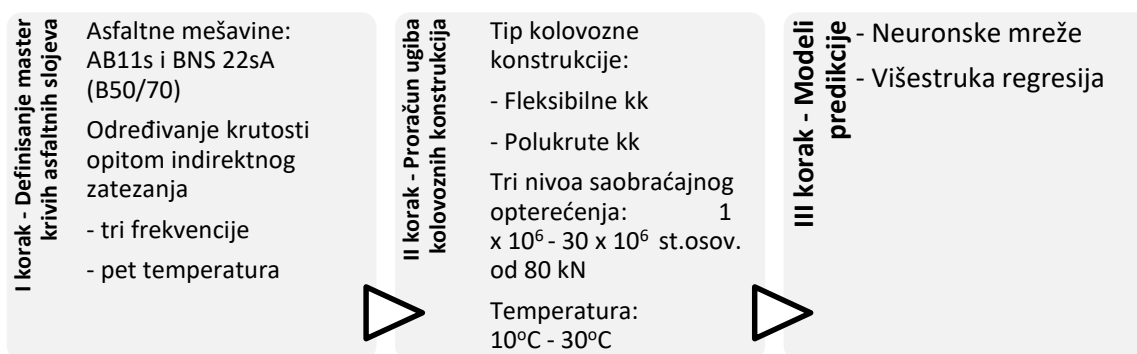
Chen [3] je razvio univerzalnu jednačinu za korekciju ugiba i modula u Teksasu. Ova studija je preporučila da treba korigovati samo ugibe na rastojanju manjem od 203 mm od centra opterećenja, što je vrlo diskutabilno, pogotovo kod kolovoznih konstrukcija sa debljim asfaltnim slojevima. Lukanen i ost. [4] su na bazi analize LTPP podataka razvili modele za parametre defleksionog bazena koji zavise od debljine asfaltnih slojeva, temperature u sredini debljine asfaltnih slojeva, krutosti posteljice, dubine do čvrstog (nedeformabilnog) sloja i geografske širine. Kao indikator krutosti posteljice korišćen je ugib na 914 mm (36 in) od centra opterećenja. Ovi modeli se mogu primarno koristiti za proračun parametara defleksionog bazena u funkciji temperature, pa onda posredno i za proračun faktora korekcije. U pogledu faktora za korekciju maksimalnog ugiba d_o , dobijene relacije daju sličnu zavisnost kao i AASHTO uputstvo. Park i ost. [5] su analizirali primenu LTPP postupka na deonicama u Severnoj Karolini i zaključili da ovaj postupak daje nedovoljnu korekciju za ugibe kolovoznih konstrukcija sa asfaltnim slojevima debljim od 242 mm, pri visokim temperaturama.

Neuronske mreže su često korišćeni alat u rešavanju inženjerskih problema [6]. Interes naučne javnosti za primenu neuronskih mreža [7] i neuro-fuzzy logike [8] u predviđanju ponašanja kolovoznih konstrukcija ne jenjava. Neuronske mreže se koriste u analizi ponašanja kolovoza pod opterećenjem [9,10], za predviđanje 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].

Konkretni cilj ovog rada je da se na setu fleksibilnih i polukrutih kolovoznih konstrukcija koje pokrivaju tipičan raspon saobraćajnog opterećenja za puteve u Srbiji i regionu izvrši proračun i modeliranje ugiba pri rasponu temperatura asfaltnih slojeva od 10°C do 30°C , uzimajući u obzir master krive krutosti tipičnih asfaltnih mešavina dobijene laboratorijskim ispitivanjem i da se razviju modeli za korekciju svih ugiba u defleksionom bazenu, što bi omogućilo korigovanje i parametara defleksionog bazena koji se primenjuju za proračun nosivosti postojećih kolovoznih konstrukcija.

3. METODOLOGIJA

Istraživanje prikazano u radu se sastoji iz tri dela (slika 2).

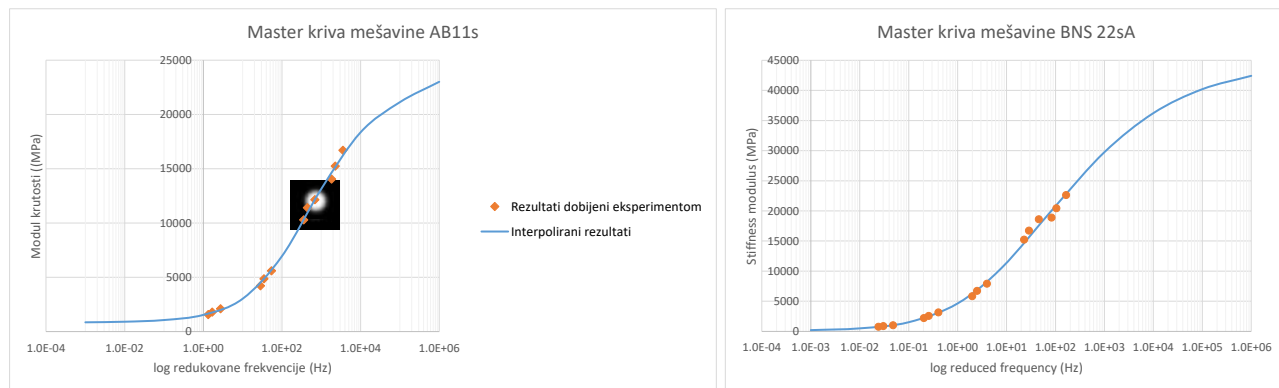


Slika 2. Metodologija određivanja modela za faktore korekcije ugiba kolovoznih konstrukcija s obzirom na temperaturu

Prvi deo sastojao se u ekperimentalnom ispitivanju modula krutosti asfaltnih mešavina AB11s, koja se koristi za habajući sloj, i BNS 22sA, koja se koristi za gornji noseći sloj kolovoznih konstrukcija. Ispitivanje je vršeno opitom indirektnog zatezanja na frekvencijama od 2 Hz, 2.51 Hz i 3.98 Hz. Uzorci obe asfaltna mešavine su

ispitani na temperaturama od 5°C, 10°C, 200°C i 30°C, dok je asfaltna mešavina BNS 22sA ispitana i na temperaturi od 40°C. Obe mešavine su rađene sa putnim bitumenom B 50/70.

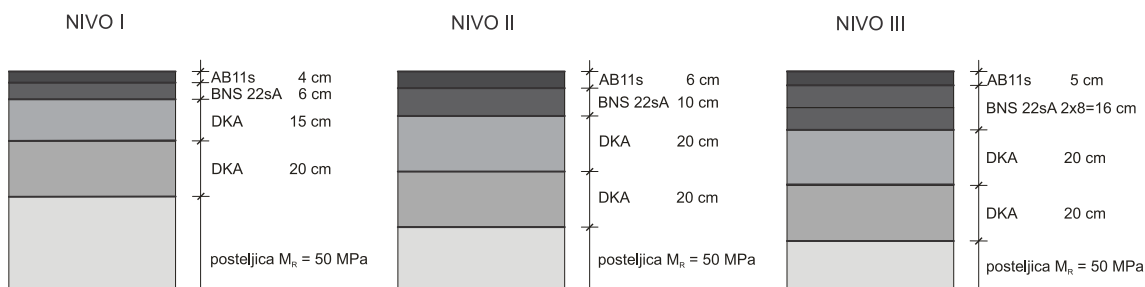
Master krive, određene primenom sigmoidalnog modela za referentnu temperaturu od 20°C, su prikazane na slici 3. Redukovane frekvencije su određene primenom Arhenijusove jednačine.



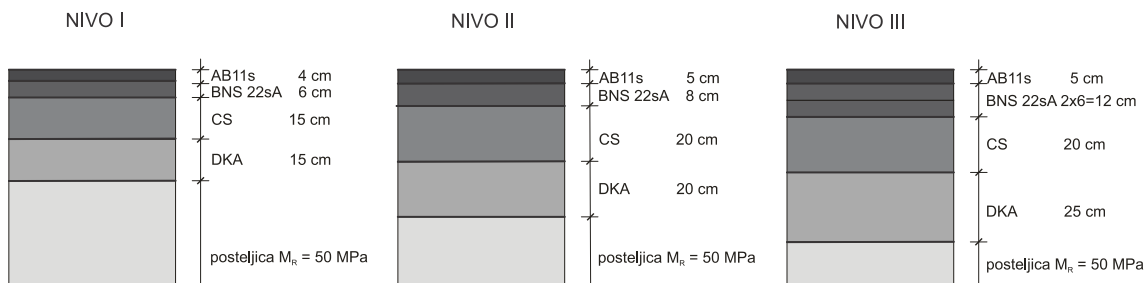
Slika 3. Master krive asfaltnih mešavina korišćenih u analizi

Za proračun su definisane po tri fleksibilne i polukrute kolovozne konstrukcije koje generalno pokrivaju raspon saobraćajnog opterećenja od 1×10^6 do 30×10^6 standardnih osovina od 80 kN, koji odgovara najvećem delu puteva u Srbiji i regionu (slika 4). Za posteljicu je usvojena vrednost CBR = 5%, odnosno povratni modul $M_r = 50$ MPa. Za donju podlogu je modelirana primena drobljenog kamenog agregata kod fleksibilnih kolovoznih konstrukcija (slika 4a), odnosno drobljenog kamenog agregata i cementne stabilizacije kod polukrutih kolovoznih konstrukcija (slika 4b). Debljina asfaltnih slojeva se kretala od 10 do 21 cm za fleksibilne, odnosno od 10 do 17 cm za polukrute kolovozne konstrukcije.

a. Fleksibilne kolovozne konstrukcije



b. Polukrute kolovozne konstrukcije



Slika 4. Kolovozne konstrukcije korišćene u analizi

U tabeli 2 date su karakteristike slojeva kolovozne konstrukcije koje su primenjene u proračunu.

Tabela 2. Karakteristike slojeva kolovozne konstrukcije

Sloj	Debljina (cm)	Modul (MPa)	Poasonov koeficijent
Zastor AB 11s	4 - 6	2.800 – 15.750	0.35
Gornji noseći sloj BNS 22sA	6 - 16	4.200 – 20.500	0.35
Cementna stabilizacija	15 - 20	8.000	0.20
Donji noseći sloj - DKA	30	130	0.40
	35	138	
	40	148	
	45	156	
Posteljica		50	0.45

Proračun uticaja u kolovoznoj konstrukciji izvršen je primenom modela EVERSTRESS. Modelirano je opterećenje od 50 kN koje se prenosi preko kontaktne ploče radijusa 15 cm. Ugibi kolovozne konstrukcije su računati ispod opterećenja i na rastojanjima od 200 mm, 300 mm, 450 mm, 600 mm, 900 mm, 1200 mm i 1500 mm, 1800 mm i 2100 mm od centra opterećenja.

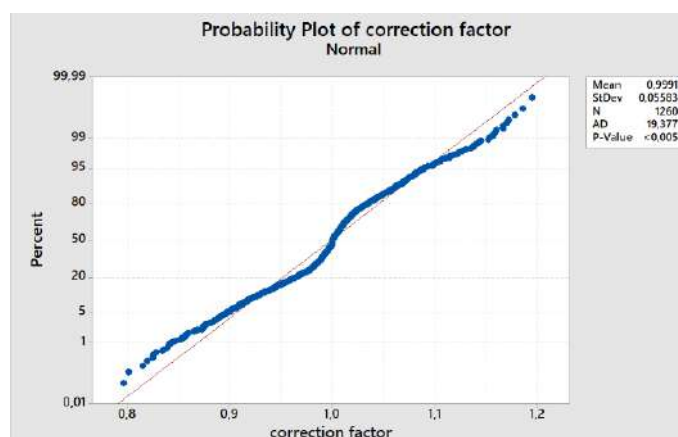
Treći deo istraživanja je obuhvatio analizu podataka i razvoj modela za predikciju faktora korekcije s obzirom na temperaturu. Osnovni statistički podaci baze podataka prikazani su u tabeli 3.

Tabela 3. Osnovni statistički podaci

	N	SV	SD	Madiana	Min	Max	Varijanca	AD	p
Faktor korekcije	1260	0,9991	0,05583	1,000	0,79669	1,19522	0,00312	19,38	< 0,005

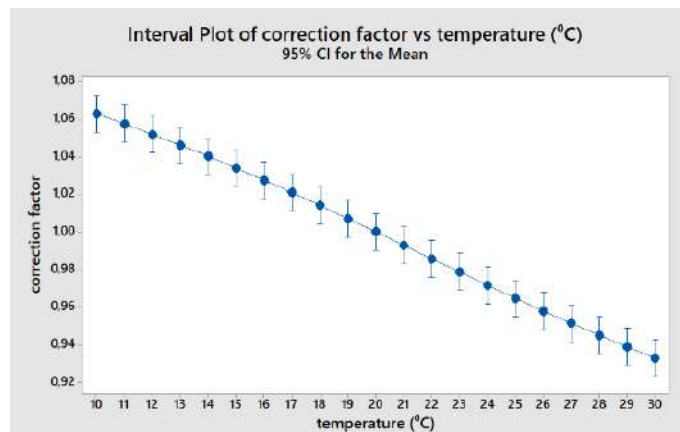
SV- srednja vrednost, SD – standardna devijacija, AD – rezultat Anderson Darling testa, p-vrednost AD testa

Normalnost podataka je testirana Anderson-Darling testom. Nulta hipoteza testa je da podaci prate normalnu distribuciju i postavljen je nivo značajnosti od 0,05. Prema rezultatima prikazanim na slici 5, nulta hipoteza se može odbaciti (p-vrednost < 0,05) i može se zaključiti da podaci ne prate normalnu distribuciju.



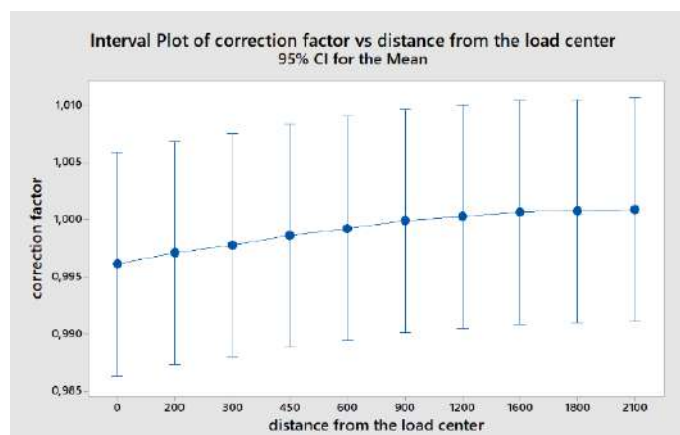
Slika 5. Grafikon verovatnoće faktora korekcije

Pirsonova korelacija se koristi za procenu jačine i pravca povezanosti između dve neprekidne varijable koje su linearno povezane. Utvrđena je jaka negativna korelacija između temperature i faktora korekcije za celu bazu podataka (Pearson-ov koeficijent korelacije, $r = -0,725$ i statistička značajnost Pearson-ovog koeficijenta korelacije, p-vrednost = 0,000, što zadovoljava uobičajenu graničnu vrednost za statističku značajnost $p < 0,05$). Zavisnost faktora korekcije i temperature ($^{\circ}\text{C}$) prikazana je na slici 6.



Slika 6. Zavisnost faktora korekcije i temperature (°C)

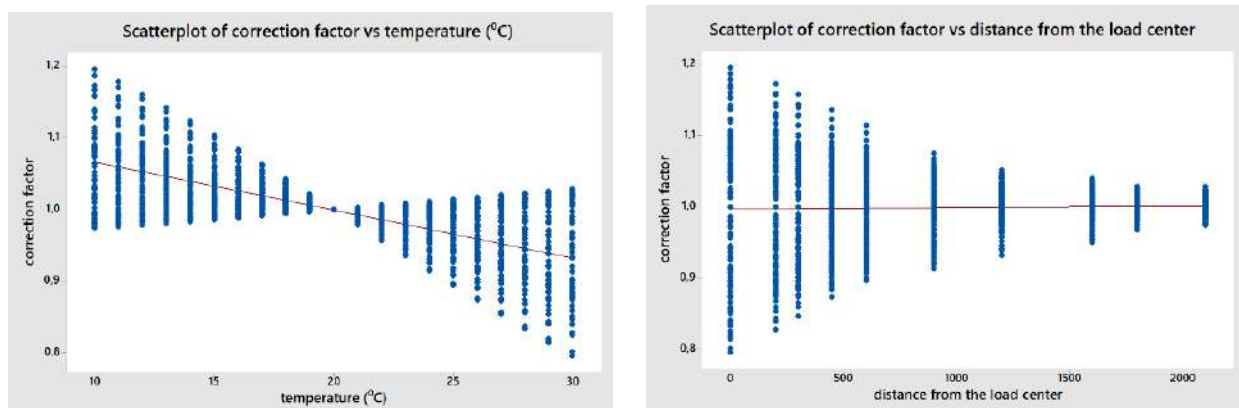
Analizirana je zavisnost udaljenosti od centra opterećenja (mm) i faktora korekcije na cijeloj bazi podataka (slika 7). Može se uočiti da je zavisnost korekcionih faktora od udaljenosti od centra opterećenja sve manja kako se ide ka spoljnim delovima defleksionih bazena.



Slika 7. Odnos faktora korekcije i udaljenosti od centra opterećenja (mm)

Za svaki tip kolovozne konstrukcije napravljena je analiza uticaja debljine asfaltnih slojeva na faktor korekcije. Uticaj je utvrđen, ali se nije pokazao kao statistički značajan prema statističkom modelu, dok prema modelu neuronske mreže jeste.

Na slici 8 prikazana je distribucija podataka faktora korekcije (scatterplot) za dve najuticajnije ulazne varijable.



Slika 8. Raspodela faktora korekcije u odnosu na temperaturu (levo) i udaljenost od centra opterećenja (desno)

4. MODELI PREDIKCIJE

U okviru ovog poglavlja prikazan je razvoj modela predikcije primenom neuronskih mreža, kao i regresioni modeli za fleksibilne i polukrute kolovozne konstrukcije.

4.1 Model predikcije primenom neuronske mreže

U prvom delu ovog potpoglavlja će biti prikazan model predikcije primenom neuronskih mreža, a zatim njegova nezavisna validacija.

4.1.1 Model predikcije

Baza podataka faktora korekcije ima 4 ulazna parametra, kao što je opisano u prethodnom poglavlju. Baza podataka sadrži ukupno 1260 primera, a slučajnim odabirom izdvojeno je 40 primera koji će poslužiti kao validacijska baza za nezavisnu validaciju modela. Od baze podataka koja sadrži ukupno 1220 podataka za učenje neuronske mreže unutar software-a NeuroShell2 napravljena su dva skupa podataka – trening skup (80%) sa 976 primera za učenje neuronske mreže i test skup (20%) sa 244 primera za ocenu uspešnosti predikcije. U postavkama je zadato da se pamte težinski koeficijenti za najbolji rezultat na test skupu podataka.

Ovako velika baza podataka u najvećem broju slučajeva sprečava problem pretreniranosti mreže. Jedan od uzroka pretreniranosti može biti odnos broja ulaznih parametara i veličine skupa za treniranje mreže. Ukoliko je broj ulaznih parametara velik, a broj primera u skupu za učenje mali, mreža će radije pamtiti, nego učiti i generalizovati na trening setu podataka. Treba imati u vidu da odnos broja ulaznih parametara i veličine skupa za učenje mreže nisu jedini uzrok koji dovodi do efekta loše generalizacije mreže, pa će se u okviru ovog rada napraviti ocena generalizacije mreže u dva koraka – u okviru software-a na test skupu podataka (244 podatka) i nezavisna validacija na nezavisnom skupu za validaciju (40 podataka).

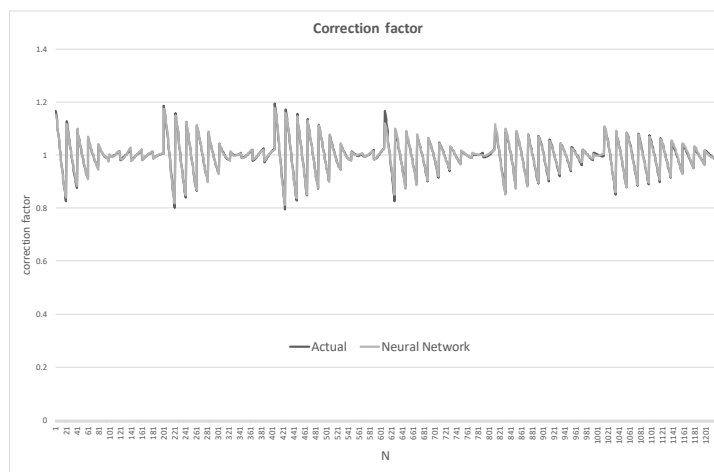
Podaci o konfiguraciji i osnovnim karakteristikama Ward net mreže koja je dala najbolji rezultat predikcije dati su u tabeli 4.

Tabela 4. Podaci o konfiguraciji i osnovnim karakteristikama Ward net mreže

SLOJEVI	BROJ NEURONA	FUNKCIJA AKTIVACIJE
Ulazni sloj	4	Linear [-1,1]
Skriveni sloj 1	20	Gaussian
Skriveni sloj 2	20	Tanh
Skriveni sloj 3	20	Gaussian compact
Izlazni sloj	1	Logistic

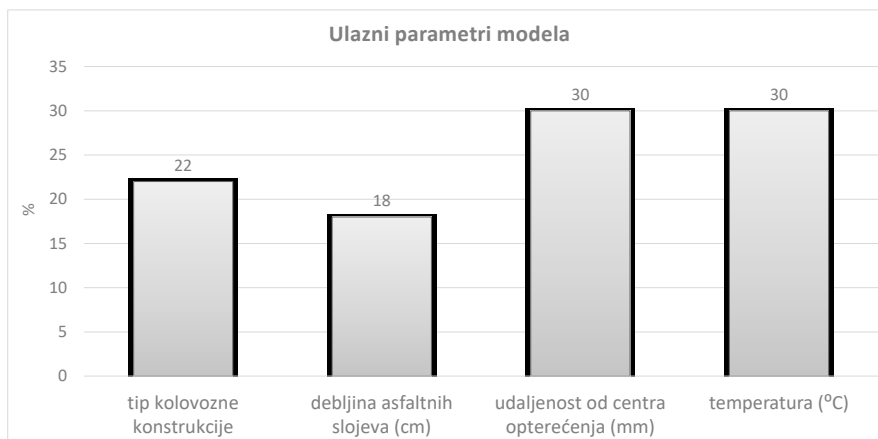
Model predikcije faktora korekcije dao je sledeće rezultate, koeficijent višestruke determinacije $R^2= 99,2 \%$, koeficijent korelacije 99,6%, srednja asolutna greška 0,003 (minimalna 0, maksimalna 0,047), što govori da niti jedan rezultat predikcije nije imao grešku veću od 5%.

Rezultati predikcije neuronske mreže na bazi podataka u odnosu na ciljne podatke prikazani su na slici 10.



Slika 10. Odnos stvarnih i faktora korekcije primenom neuronske mreže

Ovako dobar rezultat predikcije daje osnovu za analizu uticaja svakog ulaznog parametara na rezultat predikcije, što je prikazano je na slici 11.



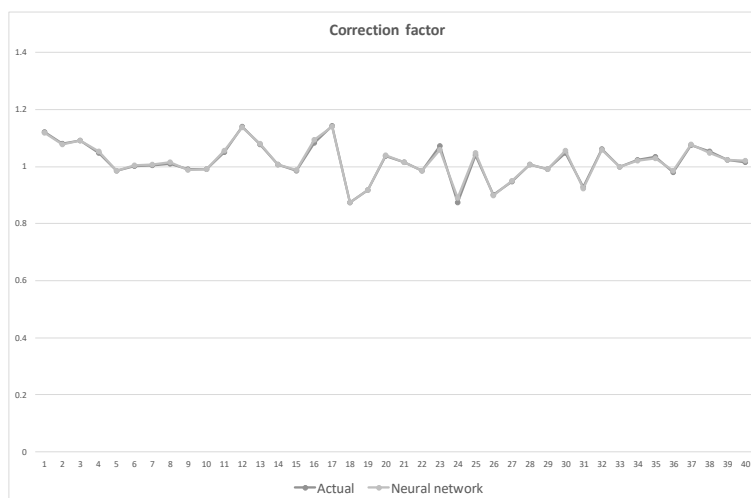
Slika 11. Uticaj ulaznih parametara na rezultat predikcije

Iz rezultata je jasno vidljivo da je neuronska mreža prepoznala sve ulazne parametre kao značajne u formiranju modela predikcije i matematički ih povezala sa ciljnim vrednostima predikcije sa vrlo visokom korelacijom. Na osnovu slike 11 se vidi da rastojanje ugibomera od centra opterećenja ima najznačajniji uticaj na faktore korekcije pored same temperature. Takođe značajan uticaj ima i tip kolovozne konstrukcije (fleksibilna ili polukruta), dok sama debljina asfaltnih slojeva ima najmanji uticaj.

4.1.2 Validacija modela

Cilj formiranja modela je da se uspostavi zavisnost između ulaznih varijabli i ciljne zavisne varijable i da se funkcija predikcije koju je formirala neuronska mreža može koristiti na novim skupovima podataka. U slučajevima kada funkcija predikcije na novim podacima daje dobru korelaciju sa ciljnim vrednostima, može se smatrati da ima dobru generalizaciju (tačnost rezultata modeliranja) i takav model može se koristiti u primerima kada ne postoje izmerene ciljne vrednosti, nego samo ulazni podaci. Nezavisna validacija daje realan uvid u tačnost modela i po pravilu je potrebno napraviti ovaj korak pre primene modela u naučnoj i stručnoj praksi.

Nezavisna validacija ovog modela napravljena je na skupu od 40 podataka, koje neuronska mreža nije videla niti u trening skupu, niti u test skupu podataka. Pokazatelji uspešnosti validacije modela su sledeći: srednja apsolutna greška predikcije je 0.0037, minimalna greška je 6.43395E-05, a maksimalna 0,018, dok je koeficijent korelacije je 99.69%. Rezultati jasno pokazuju da mreža ima sposobnost generalizacije i da su rezultati predikcije modela još i bolji nego na trening skupu podataka (slika 12).



Slika 12. Rezultati validacije modela

4.2 Statistički modeli višestruke regresije

Visoka korelacija koju je dao model neuronskih mreža ukazuje na mogućnost da bi i statistički modeli višestruke regresije mogli imati potencijal, a jednostavniji su za primenu. Zbog različitog uticaja debljine asfaltnih slojeva za različite tipove kolovoznih konstrukcija napravljeni su odvojeni statistički modeli višestruke regresije za fleksibilne i za polukrute kolovozne konstrukcije.

4.2.1 Fleksibilna kolovozna konstrukcija

Model višestruke regresije za faktor korekcije za fleksibilne kolovozne konstrukcije glasi:

$$C=1.1935+0.008369*X1-0.000193*X2-0.010678*X3+0.000039*X3^2-0.000412*X1*X3+0.000010*X2*X3$$

pri čemu su:

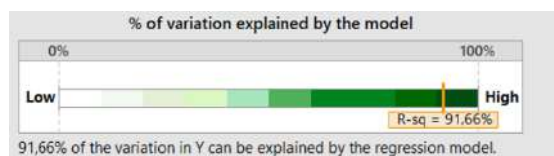
C – faktor korekcije

X1 – debljina asfaltnih slojeva (cm)

X2 – rastojanje od centra opterećenja (mm)

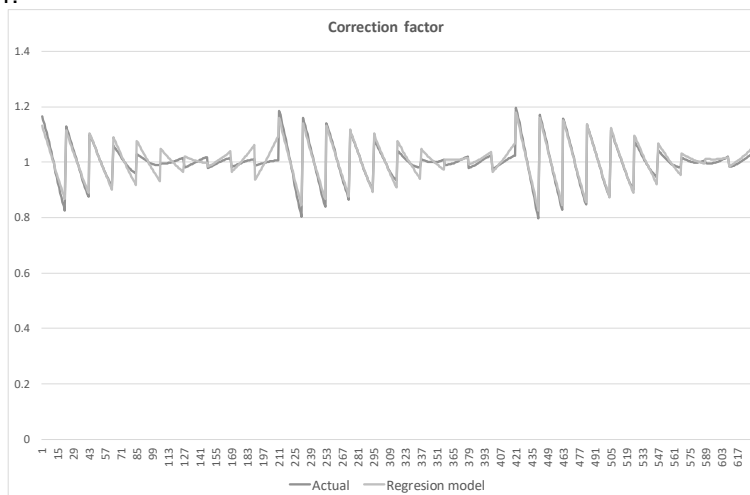
X3 – temperature asfaltnih slojeva (°C)

Srednja apsolutna greška modela iznosi 0.0167, koeficijent višestruke determinacije je $R^2 = 91.66\%$ (slika 13), a koeficijent korelacije 95,41%.



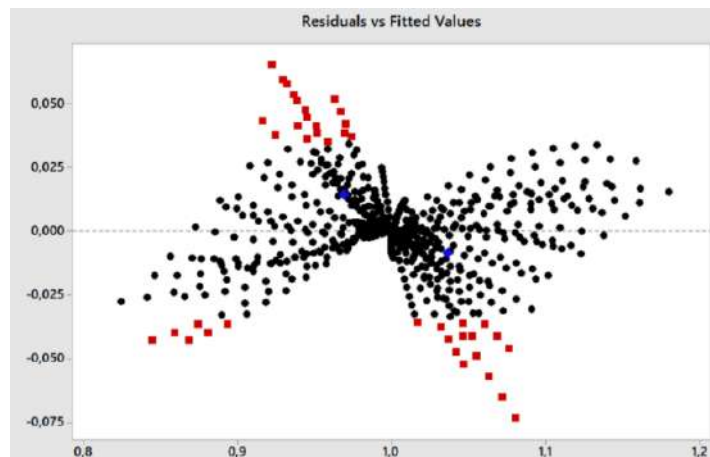
Slika 13. Stepen varijabilnosti objašnjen regresionim modelom za fleksibilne kolovozne konstrukcije

Rezultati predikcije regresionog modela za predikciju faktora korekcije za fleksibilnu kolovoznu konstrukciju prikazani su na slici 14.



Slika 14. Rezultati predikcije regresionog modela za fleksibilne kolovozne konstrukcije

Podaci obuhvaćeni prihvatljivom predikcijom modela prikazani su na slici 15.



Slika 15. Neprihvatljive (crveno) u odnosu na prihvatljive vrednosti predikcije (crno) za regresioni model za fleksibilne kolovozne konstrukcije

4.2.2 Polukruta kolovozna konstrukcija

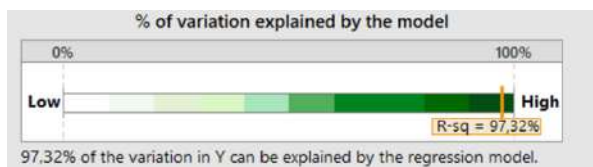
Model višestruke regresije za faktor korekcije za polukrute kolovozne konstrukcije glasi:

$$C = 1.16467 + 0.003587 \cdot X_1 - 0.000116 \cdot X_2 - 0.006570 \cdot X_3 - 0.000083 \cdot X_3^2 - 0.000193 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0.000006 \cdot X_2 \cdot X_3$$

pri čemu su:

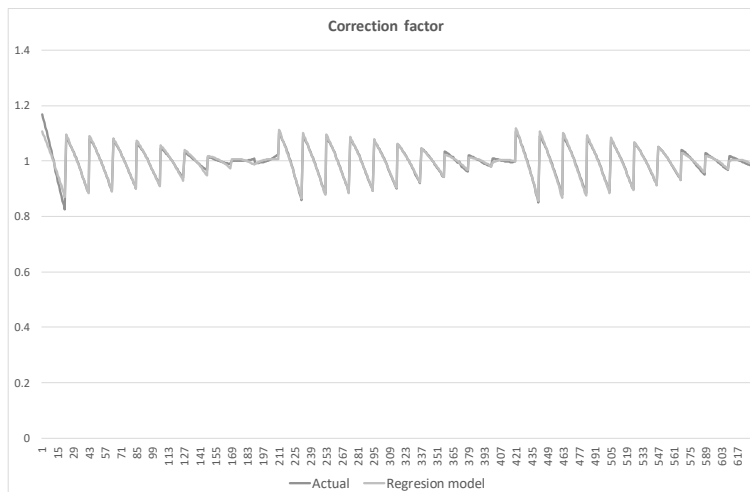
- C – faktor korekcije
- X1 – debljina asfaltnih slojeva (cm)
- X2 – rastojanje od centra opterećenja (mm)
- X3 – temperature asfaltnih slojeva (°C)

Srednja apsolutna greška modela je 0.0048, koeficijent višestruke determinacije je $R^2 = 97.32\%$ (slika 16), a koeficijent korelacije 98,65%.



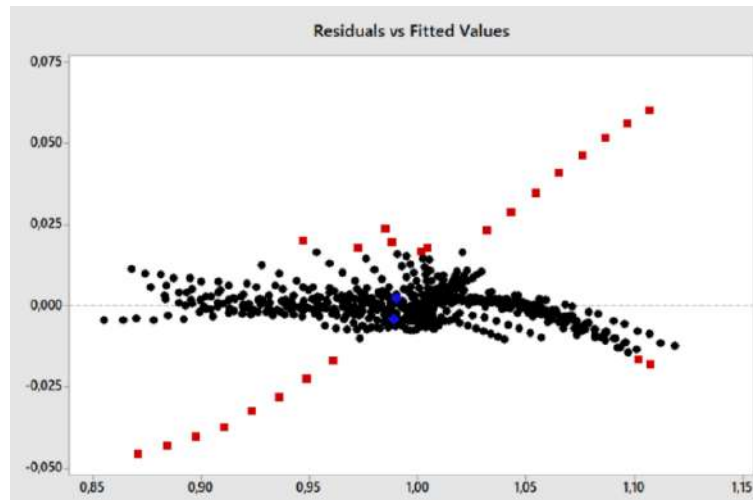
Slika 16. Stepen varijabilnosti objašnjen regresionim modelom za polukrute kolovozne konstrukcije

Rezultati predikcije regresionog modela za faktore korekcije za polukrutu kolovoznu konstrukciju prikazani su na slici 17.



Slika 17. Rezultati predikcije regresionog modela za polukrute kolovozne konstrukcije

Podaci obuhvaćeni prihvatljivom predikcijom modela prikazani su na slici 18.



Slika 18. *Neprihvatljive (crveno) u odnosu na prihvatljive vrijednosti predikcije (crno) za regresioni model za polukrute kolovozne konstrukcije*

4. ZAKLJUČAK

Određivanje faktora korekcije izmerenih ugiba fleksibilnih i polukrutih kolovoznih konstrukcija u zavisnosti od temperature asfaltnih slojeva predstavlja izuzetno važan korak u određivanju nosivosti postojećih kolovoza, koji ima veliki uticaj na rezultat proračuna i posledično na rešenje rehabilitacije/rekonstrukcije postojeće kolovozne konstrukcije.

U radu su prikazani predikcioni modeli za određivanje faktora korekcije primenom neuronskih mreža, kao i primenom višestruke regresije. Modeli su razvijeni na bazi proračuna ugiba seta fleksibilnih i polukrutih konstrukcija koje obuhvataju realne uslove saobraćajnog opterećenja u regionu, kao i realne karakteristike primenjenih materijala u konstrukcijama.

Kod modela baziranog na neuronskoj mreži jasno je potvrđeno da pored temperature najznačajniji uticaj ima rastojanje ugibomera od centra opterećenja, što je u saglasnosti sa raspodelom napreznja od opterećenja u kolovoznoj konstrukciji.

Modeli zasnovani na višestrukoj regresiji su razvijeni posebno za fleksibilne i posebno za polukrute kolovozne konstrukcije i pored temperature i rastojanja od centra opterećenja uključuju i debljinu asfaltnih slojeva. Za oba razvijena modela su dobijene vrednosti R^2 od preko 90%, što ukazuje da su oni u stanju da pouzdano procene odgovarajuće vrednosti faktora korekcije, a pogodni su za svakodnevnu inženjersku primenu u analizi nosivosti kolovoznih konstrukcija.

Literatura

- [1] AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993.
- [2] Van Gorp, C. Characterization of seasonal influences on asphalt pavements with the use of falling weight deflectometers, dokt.dis, Delft Technical University, 1995.
- [3] Chen, D.-H.; Bilyeu, J.; Lin, H.-H.; Murphy, M. Temperature correction on falling weight deflectometer measurements. Transp. Res. Rec. 2000, 1716, 30–39.
- [4] Lukanen, E.O.; Stubstad, R.N.; Briggs, R. Temperature Predictions and Adjustment Factors for Asphalt Pavement; FHWA-RD-98-085; Office of Infrastructure Research and Development, Federal Highway Administration: Washington, DC, USA, 2000.
- [5] Park, H.M.; Kim, Y.R.; Park, S. Temperature correction of multiloading-level falling weight deflectometer deflections. Transp. Res. Rec. 2002, 1806, 3–8.

- [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 Software30(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.; Amirkhanian, 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/ASCE0899-15612009216253)
- [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)

GUARD – SMART FLEXIBLE PROTECTION SYSTEMS AGAINST NATURAL HAZARDS

Vjekoslav Budimir¹, Helene Lanter², Sascha Schultes²

¹ Geobruigg AG Representative Office Croatia, Avenija Većeslava Holjevca 40, 10000 Zagreb, Croatia
vjekoslav.budimir@geobruigg.com

² Geobruigg AG, Aachstrasse 11, 8590 Romanshorn, Switzerland, helene.lanter@geobruigg.com;
sascha.schultes@geobruigg.com

Abstract: Flexible steel protection systems against natural hazards are difficult to access in mountainous areas and inherently become difficult to monitor and maintain over the years. Many small-scale events, such as rockfall below the service energy limit (SEL) defined by the EAD 340059-00-0106 or debris flows under the maximum impact pressure of the net, acc. to EAD 340020-00-0106, go unnoticed, but the repetition of several events into a protection system still needs regular maintenance to guarantee full performance in case the design event occurs. Furthermore, experience has shown that the corrosion can vary strongly in small localised areas and lead to unpleasant surprises. Therefore, the understanding of microclimates favourable to the corrosion process needs to improve. A newly developed IoT device, called GUARD, was developed aiming to provide monitoring of flexible steel protection systems. It is equipped, amongst others, with a rope force sensor and an accelerometer. The second target of the device is to pass from repair and preventive maintenance to the concept of predictive maintenance by evaluating the local corrosivity and the associated lifetime of the protection system with a specially developed corrosion sensor. These sensors have been deployed over the past years on 40 sites in 13 countries in Europe. Even many of flexible protection barriers are equipped with GUARD in North America, Hawaii, Australia and New Zealand. This contribution aims to highlight the monitoring with the GUARD and the inspection concept that can be developed from it, with a highlight on the data collected so far.

Keywords: IoT device, flexible protection system, GUARD, predictive maintenance

1. INTRODUCTION

According to the definition of the Internet of Things (IoT), it should automatically link relevant information from our environment and make it available in the network, it is shown in Figure 2. The increased need for information comes from the fact that we increasingly want to know about the status of things, some of which were previously difficult to obtain, but which are essential. This condition information consists, for example, of data on the current use, aging or environmental conditions of the object and is intended to improve usability, such as early recognition of the need for maintenance, the replacement of elements or the improvement of the environment.

This paper aims to illustrate the purpose of IoT in the field of infrastructure protection against natural hazards by means of flexible protection solutions.

These protection solutions represent the object about which it is necessary to generate status information. Until now, the condition has been determined by periodic inspections, sometimes laborious or dangerous manual work. Often, certain protective measures were also forgotten over time, resulting in a renewed threat to the transport infrastructure if this protective solution is not maintained. The condition information that is of primary interest is, on the one hand, the "filling condition" of a protection solution. Can it still provide the necessary protection if it is two-thirds full? On the other hand, its aging process. Corrosion attacks the steel and the stability decreases over time.

By using IoT technology, when this condition information is collected, on the one hand, the planning of maintenance work can be planned efficiently and it is no longer necessary to move into a dangerous area on the off chance for the purpose of periodic examinations, and on the other hand, the aging process can be monitored and a possible replacement of a protection solution after several decades can be planned into the budget at an early stage.

The expansion of settlements, the melting of permafrost or frequent heavy rainfall events are a few examples that require protection against rockfall and debris flows in more and more places. In the last 30 years, rockfall barriers made of steel wire nets have become established world-wide as a protective solution. Parallel to the flexible rockfall barriers, flexible debris flow barriers have been developed and installed worldwide, as well as avalanche barriers made of mesh in the fracture area.

¹ Vjekoslav Budimir: vjekoslav.budimir@geobruigg.com

1.1. Problem definition

One aspect of the transport infrastructure is its condition monitoring in more or less real time in order to carry out or plan targeted maintenance. Protection against natural hazards is another aspect that significantly influences the operation and maintenance of the infrastructure. There are various protective solutions to stop natural hazards, for example, flexible protective fences made of steel mesh. These are installed at the edge of the infrastructure and should be maintained regularly.

Protective structures are mostly built in the mountains or on the sea coasts. The systems are usually located in rough terrain; they are difficult to reach and visual monitoring is often not possible. The control and maintenance of such systems have been neglected in many places in recent decades. Some of these solutions have also been forgotten, mostly hidden by growing vegetation. However, this poses a considerable danger if, for example, a rockfall fence slowly fills up and is not cleared. If the largest possible rockfall, for which the fence was designed, should then occur, the energy absorption capacity is not guaranteed in such a case.

Another scenario outside of impacts from falling rocks or a debris flow, for example, is the slow but safe degradation of corrosion protection exposed to the environment. Different corrosion classes are standardized and determine the expected service life. Depending on the location and local conditions (e.g. frequent scattering of salt on the road), the corrosion class can be over or underestimated, leading to over-dimensioning of the protection solution or, in turn, to early maintenance measures or even replacement of a protection solution that was not yet included in the budget planning.

Maintenance is event and location-dependent. In practice, those responsible usually define intervals for the on-site inspection of the barriers. This can mean one to several times a year. But even with frequent checks, an event can remain undetected for a long time. If then an event, for example a major rockfall, reduces the protective capacity, or the corrosion of certain elements, there is subsequently an unnecessary safety risk.

In order to better document the inventory of flexible protection solutions, monitor them in real-time and plan maintenance work in advance, a multifunctional IoT sensor called GUARD has been developed, see Figure 1. After a detailed presentation of the device, additional application examples will be shown.

2. INTRODUCTION

A device was developed that measures the environmental conditions, i.e. humidity, temperature, corrosion process, as well as dynamic and quasi-static load by means of the acceleration sensor and force measurement in the rope.

2.1. Development of an IoT device according to the IoT definition [1].

Depending on the application, it must be possible to retrieve the information on the physical device by means of RFID or QR code. This is the case with this device, in that RFID makes it possible to upload updates to the device, as well as a QR code, which makes it possible to directly record all relevant information via a web app during installation, or to display it in the data platform. On the other hand, it is also required that the information that is transmitted can be edited. In this case, the requirements are relatively high, the hardware must be reliable, have a low maintenance effort (since a high failure rate requires maintenance work on a large number of devices that are sometimes far apart or difficult to reach), and have a low energy consumption. Finally, the acquisition costs should be relatively low, since as many physical locations as possible need to be equipped. The developed GUARD fulfilling all these requirements. It has a low energy consumption, the measured data are sent at least weekly or immediately in case of extraordinary events, and the device is equipped with a battery that has a life span of about 7 to 10 years, depending on where it is exposed (warm/cold, good/bad network connection).

The data is transmitted via the mobile network (GSM/UMTS/LTE) and displayed in a login-protected data platform. There, the transmitted data can be evaluated and interpreted and the warning process can be defined.



Figure 1. GUARD Hardware development over the last few years
 Source: (Gebrugg AG)

2.2. Sensors in the Guard

The specially developed sensor technology measures the corrosion process taking place, is equipped with temperature and humidity sensors, is equipped with acceleration sensors that can report a dynamic process and also measures the force in the support cables of the protective solution in order to perceive slow, pseudo-static changes in the system. The data is transmitted directly to a cloud via the mobile network (GSM, UMTS or LTE). An online platform allows the viewing of the processes taking place in quasi real-time (see figure 1). Responsible persons thus know the status of their barrier not only directly after an on-site inspection, but continuously.

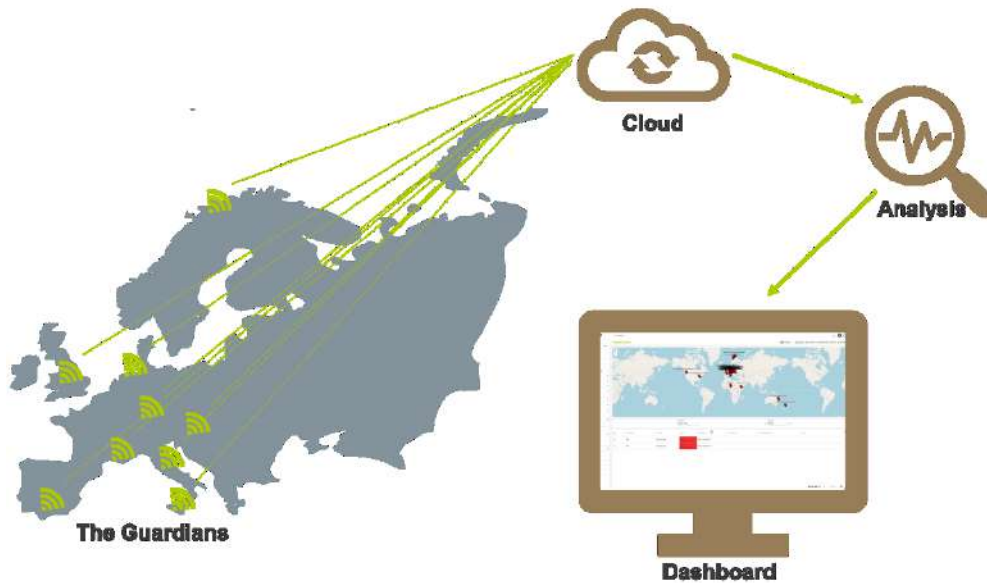


Figure 2. Functional principle of the data transmission of the guards and the anecdotes of their data.
 Source: (Gebrugg AG)

Table 1. The sensor technology and technical specifications

Rope force measurement	Up to 30.000 kg
Acceleration	0 g to 200 g
Orientation	XYZ axis
Corrosion	Current (µA)
Temperature	- 50°C to 80°C
Humidity	0% - 100%
Energy	Battery voltage (V); running time 7 to 10 years
Signal strength	RSSI

Source: (Gebrugg AG)

2.3. Dynamic load cases

The dynamic load cases, such as a rock fall, a debris flow or tree fall during a storm or forestry work, are detected and measured by means of two acceleration sensors. The two sensors measure two ranges between 0 and 15g and 0 and 200g. In the long term, the data collected should enable a statement to be made about the possible location of an impact, as a rockfall protection structure can be several 100m long, as well as an estimate of the size of the stone or the volume of a mudflow. Here, the collection and interpretation of data at several locations is elementary. Algorithms can be developed from this database in the future.

2.4. Static load cases

Static load cases, such as slowly increasing snow cover, load of filled material after a debris flow, etc, are determined by means of a rope force measurement. Therefore, the GUARD is mounted on one of the supporting ropes or restraining ropes of the shoring, see Figure 3. Thanks to a minimal deflection of the rope under the GUARD, the force of the rope can be determined via strain gauges.



Figure 3. Guiding the rope along the Guard and the wire rope clamp, allows measurement of the force in the rope.

Source: (Geobrugg AG)

2.5. Corrosion

Besides dynamic, gravitational natural events, corrosion is the most important factor for a reduced service life of plants [2].

Worldwide field experience has shown that the corrosion classes according to EN ISO 12944-2 [3] vary greatly in a small space and can lead to unpleasant surprises. Therefore, the understanding of microclimates favouring corrosion needs to be improved.

One aim of the GUARD is to enable the transition from repair and preventive maintenance to predictive maintenance by assessing local corrosivity. Among other things, this device is equipped with a specially developed corrosion sensor. The corrosion sensor constantly monitors the environmental conditions of the barrier and allows a statement to be made about the service life of an installed flexible protection system, leading to the concept of predictive maintenance.

Corrosion is problematic in the field of natural hazard protection because the functionality of protection systems depends on the full integrity of their components. An adequate description of the corrosiveness of the future site of a steel protection system is fundamental to ensure the correct corrosion protection on the steel components. Nowadays, the corrosiveness of the environment is defined according to EN ISO 12944-2 and described in 6 different corrosion classes from C1 to CX. This environmental definition leaves much room for interpretation. The lifetime prediction of wire zinc coatings according to ISO 9223:2012-05 [4], for example, is always inaccurate by at least a factor of two according to EN ISO 12944-2. Where, simply put, C1 is unproblematic for a Zn-Al coating, which, on the other hand, quickly disappears in a C5 environment. Unfortunately, these classes are very general and based only on regional climatic aspects. The corrosion process is more complex and depends on several factors that can vary greatly locally. Factors that create a

microclimate that differs from the corrosivity classification based on regional climate are, for example, an industrial plant that emits polluted air, the presence of local water rich in chloride or sulfur, areas that are always in the shade and therefore wetter, or, on the other hand, very dry areas with some salt input that is not regularly washed off. The de-icing of roads in winter also induces a microclimate along the first meter above the road, which leads to accelerated corrosion due to the salt input, although in an alpine environment one would think that the corrosivity class must be C2. The need to develop a special corrosion sensor seemed to be of utmost interest to define and monitor such microclimatic areas around protection systems.

The predicted lifespan of a protective structure, for example, can be between 30 and 90 years according to the defined climate and standard. Without ongoing measurements, the lowest value must be assumed, which can cause unnecessary costs and is also not convincing in terms of sustainability. With ongoing measurements, the infrastructure manager knows the real corrosion and can act accordingly.

The corrosion sensor was tested in a climate chamber and on various test sites.

The results in the climate chamber and the results on the test sites seem to indicate a proportionality between the measured current and the weight loss on the corrosion sensor. Over 200 sensors have been used so far and initial results seem to confirm the trend. Further conclusions can only be drawn if the devices are used outdoors for a longer period of time.

2.6. Remaining sensors and displaying the data

The remaining sensors, such as temperature and humidity, as well as the voltage of the battery and the signal strength of the mobile network, allow a plausibility check (do the temperatures correspond to the environment) and a status display of the respective device in order to be able to carry out any maintenance on the device itself at an early stage. The data is clearly displayed on the online platform and provides a variety of decisive information on the current condition of the protection solution. The calculated removal rates of the corrosion sensor are also displayed, as well as the converted deflection of the rope as a force in Newton.

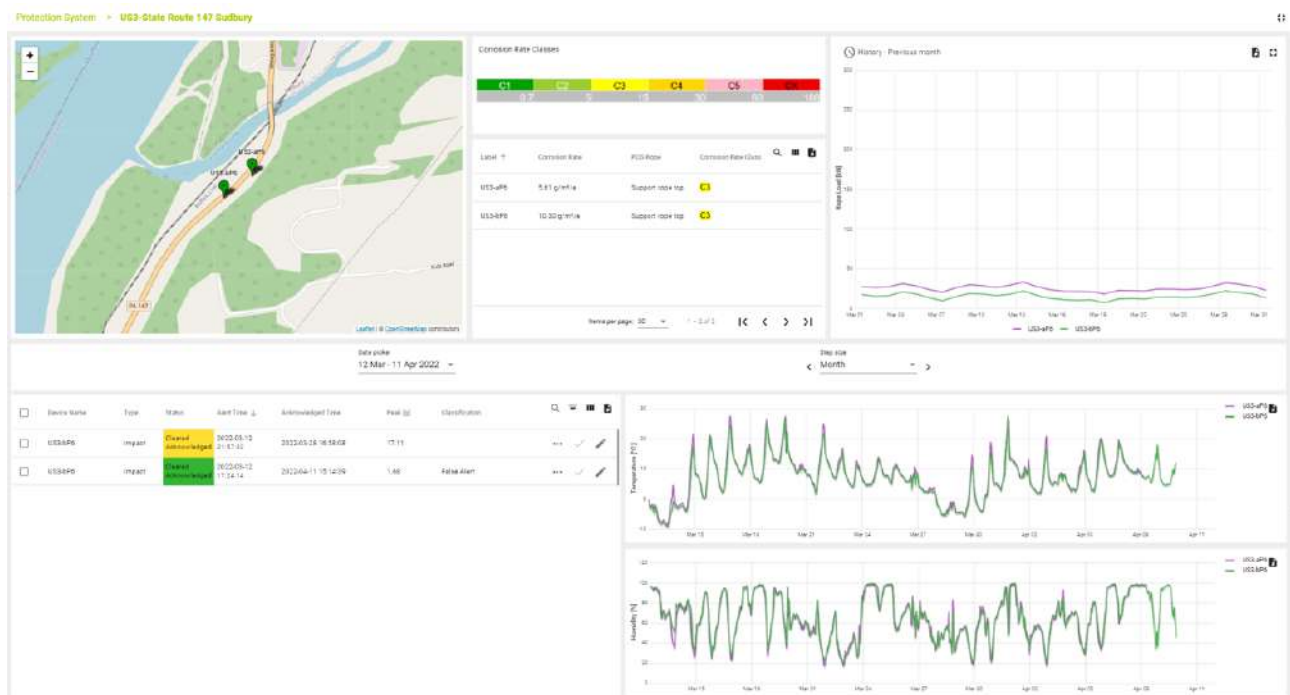


Figure 4. Example: Overview of shoring on the platform.
Source: (Geobrugg AG)



Figure 5. Guard mounted on the support cable of a rock-fall protection structure.
Source: (Geobrugg AG)

3. APPLICATION EXAMPLE WITH DYNAMIC IMPACTS

First Guards were installed at several rockfall and debris flow barriers across Europe in summer 2019. The locations were selected based on known frequent impacts and highly corrosive areas. A rockfall protection net protecting a road was equipped with three guards (see Figure 4.).

As can be seen in the pictures, this shoring is a typical example, which, despite its proximity to the protective infrastructure, is increasingly dis-appearing under the growing vegetation and is slowly being filled with small debris and foliage (see Figure 5. and 6.).



Figure 6. Rockfall protection barrier disappearing into the vegetation
Source: (Geobrugg AG)



Figure 7. *Barrier filled in over time*
Source: (Gebrugg AG)

On 16 June 2020, a small rockfall occurred. It was a boulder with edge lengths of about 100 cm x 100 cm x 40 cm and a mass of about 1,000 kg. A GUARD installed in the field adjacent to the impact recorded the rockfall event: Acceleration 14,7 g, at 18:00:32 (see Figure and 7. and 8.).

The event immediately triggered an SMS and e-mail message about the impact via the platform. This enables those responsible for maintenance to take appropriate measures.



Figure 8. *Impact on 16. June 2020.*
Source: (Gebrugg AG)

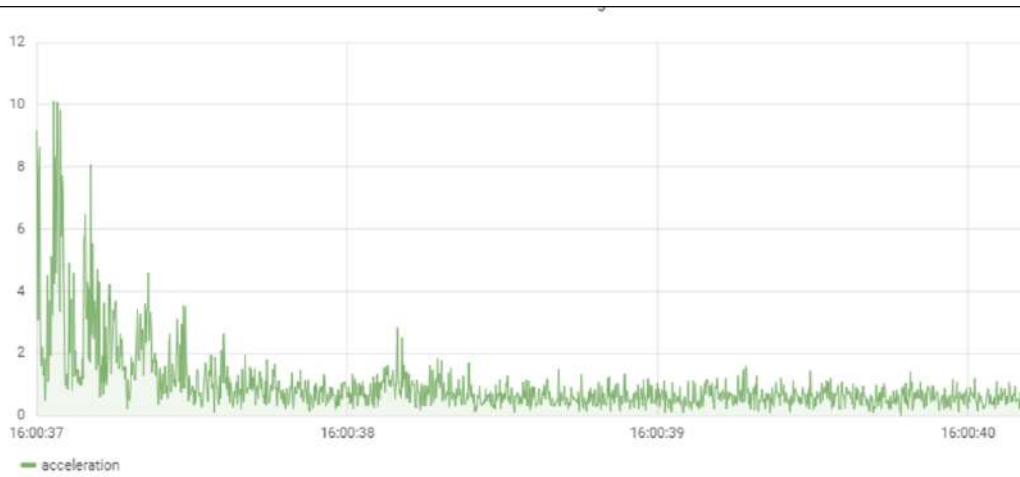


Figure 9. Absolute acceleration of rockfall on 16.06.2020
Source: (Gebrugg AG)

On 4 March 2021, another dynamic impact triggered a report, this time it was a piece of a tree trunk during forestry work (see Figure 9. and 10.).



Figure 10. Cutting of a tree trunk after clearing and grubbing of vegetation around the construction.
Source: (Gebrugg AG)

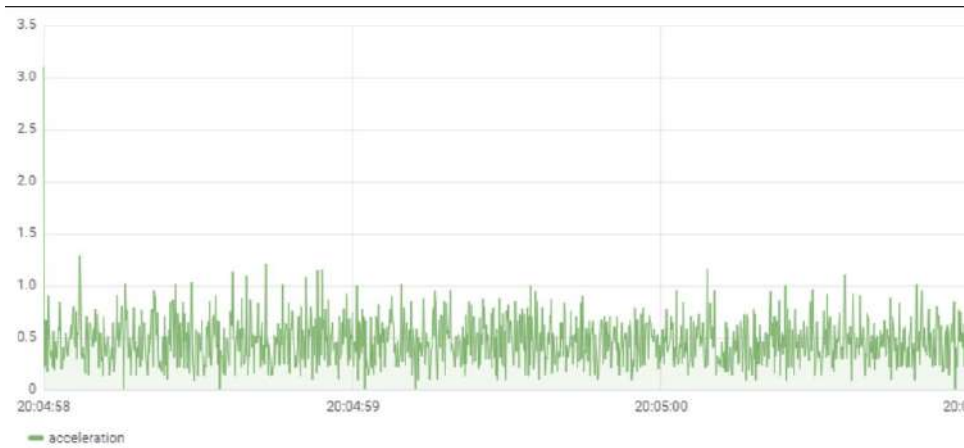


Figure 11. *Absolute acceleration on 04.03.2021 due to the tree trunk impact.*
 Source: (Geobrugg AG)

4. COLLECTING DATA WORLDWIDE

These sensors have been deployed over the past years on 40 sites in 13 countries in Europe (see Figure 11.). Even many of flexible protection barriers are equipped with GUARD in North America, Hawaii, Australia and New Zealand. The aim is to use the information to improve the evaluation by developing algorithms to automate data interpretation. The data will also provide the basis for planning more needs-based inspections and making lifetime estimations more accurate in the future.

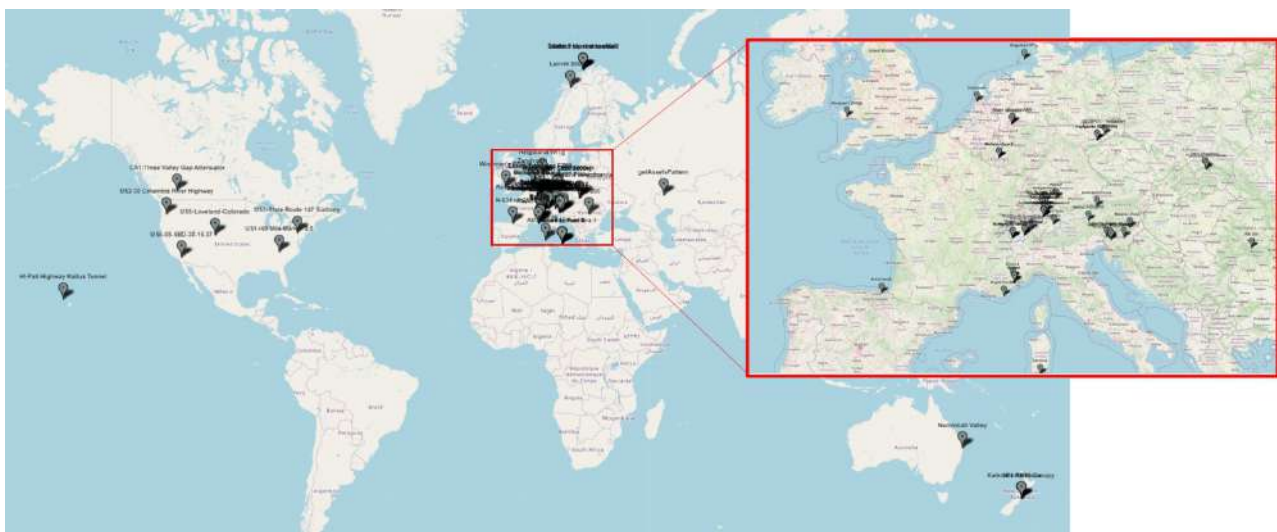


Figure 12. *Platform print-screen with an overview of worldwide sensors*
 Source: (Geobrugg AG)

3. CONCLUSION

This article on the GUARD shows the development of an IoT device for monitoring shoring against natural hazards to protect infrastructure. The GUARD can be installed in a few minutes - on systems from a wide range of manufacturers. With its independent power supply, it works for up to ten years without on-site device maintenance. The GUARD provides the most important information to ensure that protective measures function reliably. It has been tested under a wide range of conditions at various locations in Europe. This IoT solution should make it possible to carry out fewer inspections or inspections on demand and still ensure 24/7 monitoring. This reduces the inspection costs of the shoring and increases the safety level for the workers in the danger zone and the shoring itself. Preventive maintenance is also possible. Over time, events are logged and important conclusions can be drawn by combining data, e.g. wildlife (rockfall), weather data (debris flow) and air pollution (corrosion). This monitoring solution makes it possible to achieve smart infrastructures of existing and new buildings in the field of natural hazard prevention.

References

- [1] "Internet of Things." Wikipedia, Wikimedia Foundation, 26 Apr. 2021, https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things
- [2] Hofmann, H., Hörtnagl, A., Sorg, M., von Wartburg, J., 2020. Development of a digital device for monitoring and predictive maintenance of flexible steel protection systems against natural hazards. Proceedings of the 14th Congress Interpraevent 2020.
- [3] ISO 9223:2012-05 Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification, determination and estimation
- [4] Corrosion protection of steel by coatings and coatings 4; DIN EN ISO 12944-1 to DIN EN ISO 12944-8; 1998 Beuth

RAZVOJ ZE-MAX SOFTVERA I PRIMJENA U GRAĐEVINSKIM LABORATORIJAMA

Bojan Lemez

Institut za građevinarstvo „IG“ Banja Luka, lemez88@gmail.com

Rezime: Upotrebom softverskih rješenja postignuta je digitalizacija, kao rješenje organizacionih problema u funkcionisanju građevinskih laboratorija. U Centralnoj laboratoriji Instituta za građevinarstvo „IG“ Banja Luka razvijen je i praktično primijenjen program ZE-MAX, čije su mogućnosti prikazane u ovom radu.

Ključne reči: Laboratorija, softver.

DEVELOPMENT OF ZE-MAX SOFTWARE AND USE IN CONSTRUCTION LABORATORIES

Bojan Lemez

Institut za građevinarstvo „IG“ Banja Luka , lemez88@gmail.com

Abstract: Use of software solutions in the functioning of construction laboratories. Digitization as a solution to organizational problems in construction laboratories. Development of the ZE-MAX program and its practical application in the Central Laboratory of the Institute of Civil Engineering "IG" Banja Luka.

Keywords: Laboratory, software.

1. UVOD

Primjena programa (softverskih rješenja) u radu građevinske laboratorije u zadnjih par decenija znatno se povećala, u toj mjeri da je danas nezamisliv svakodnevni rad građevinskih laboratorija bez upotrebe nekih od programa. U načelu, softvere koji se koriste u građevinskim laboratorijama možemo podijeliti u četiri kategorije :

- Industrijski softveri (softveri integrisani u mjerne instrumente, npr. presa za beton, kidalice za čelik itd.)
- Digitalni obrasci (softveri u kojima su definisani radni obrasci i tabele koje se ručno popunjavaju prilikom ispitivanja, a potom se unošenjem podataka u digitalnu verziju obrasca vrši daljnja obrada i manipulacija podacima – npr. radni obrasci za izvođenje opita kreirani u excelu itd.)
- Programi za pisanje izvještaja (nakon izvođenja opita i obrade podataka sljedeći korak jeste pisanje izvještaja u programima – najčešće su to word i excel)
- LIMS (Laboratory information management system) softveri koji se bave upravljanjem tokovima izvršavanja poslova i slično.

Akcentat u ovom radu biće na LIMS softverima i njihovoj primjeni u građevinskim laboratorijama.

Laboratory information management system (LIMS) jeste kategorija rješenja na bazi softvera koji podržavaju procese u modernim laboratorijama. Osnovne osobine uključuju praćenja toka poslova, fleksibilnu „arhitekturu“ i „interfejs“ za razmjenu podataka, koji podržava primjenu u zadanom okruženju, ali ne moraju biti ograničeni samo na navedeno. Karakteristike i upotreba LIMS softvera evoluirala je kroz vrijeme od jednostavnog praćenja toka poslova i planiranja realizacije u alate koje procesuiraju mnogobrojne aspekte i informacije u laboratoriji. S povećanjem količine i obima posla u građevinskim laboratorijama, upotreba nekih od programskih rješenja postaje neophodna za dobro funkcionisanje sistema unutar organizacije.

U nastavku je prikazan sam tok razvoja jednog LIMS softvera sa praktičnom primjenom u Centralnoj laboratoriji Instituta za građevinarstvo „IG“ Banja Luka.

2. Razrada teme

Softver je po definiciji set instrukcija koji „govori“ kompjuteru kako da radi. Osnovna funkcija svakog softvera jeste da na brz i efikasan način rješava probleme. Najjednostavniji primjer jesu aplikacije na „pametnim“

telefonima koje nam rješavaju mnoge probleme, a da toga nismo ni svjesni. Jedan od primjera koji smo gotovo svi već usvojili jeste internet/mobilno bankarstvo.

Primjer:

Problem: čekanje u redovima za plaćanje računa i transfer novca (trošenje vremena)

Rješenje: aplikacija internet bankarstvo (skraćuje utrošak vremena).

Život u 21. vijeku nezamisliv je bez upotrebe softvera. Neke od industrija u potpunosti su ovisne o specijalizovanim softverima, izrađenim za njihove potrebe. Zamislite kupovinu u supermarketu bez digitalnog kreiranja računa – npr. 50 artikala na nota račun, sabiranje ručno – složićemo se da to i nije baš praktično. Ovaj praktični primjer najbolji je pokazatelj toga u kojoj sferi upotreba softvera ima najbolju efikasnost, a to je povećanje produktivnosti smanjenjem trajanja operacija.

Građevinska industrija bar u sferi izvođenja, za razliku od projektovanja, nije u velikoj mjeri ovisna o upotrebi specijalizovanih softvera ali se taj trend polako napušta. Uvođenjem BIM tehnologije u praksu i ova grana građevinske industrije postaje digitalizovana. U narednih desetak godina neće biti moguće pratiti gradilište bez uvođenja BIM tehnologije, koja se već sad zahtijeva na svim projektima koje finansiraju evropske banke. Građevinska laboratorija kao spona između projektovanja i izvođenja u ovom trenutku negdje je na pola puta u pogledu implementacije softvera. Prve tri kategorije softvera navedenih u uvodu u velikoj su mjeri već zastupljene u laboratorijama. Upravo četvrta grupa softvera – LIMS softveri u skorijoj budućnosti podići će organizaciju i dinamiku poslovanja na znatno viši nivo.

Povećanje obima posla, broja zaposlenih, oblasti i vrsta ispitivanja dovode do problema u samoj organizaciji i upravljanju tokovima izvršenja poslova. Uvođenje LIMS softvera znatno ubrzava dinamiku i organizaciju poslovanja unutar kompanije.

Činjenice ukazuju na to da institucije koje su zadržale stare modele organizacije zaostaju u samoj dinamici u poređenju sa institucijama koje su preuzele savremene modele poslovanja, tj. izvršile digitalizaciju sfera poslovanja.

Iz svega navedenog možemo zaključiti da se prilikom rasta broja klijenata ili obima posla povećava broj osoblja, a samim tim i komunikacija klijent–zaposleni, menadžment–zaposleni postaje sve kompleksnija. Klasični načini komunikacije – verbalno i putem imejla – u ovim slučajevima postaju neefikasni.

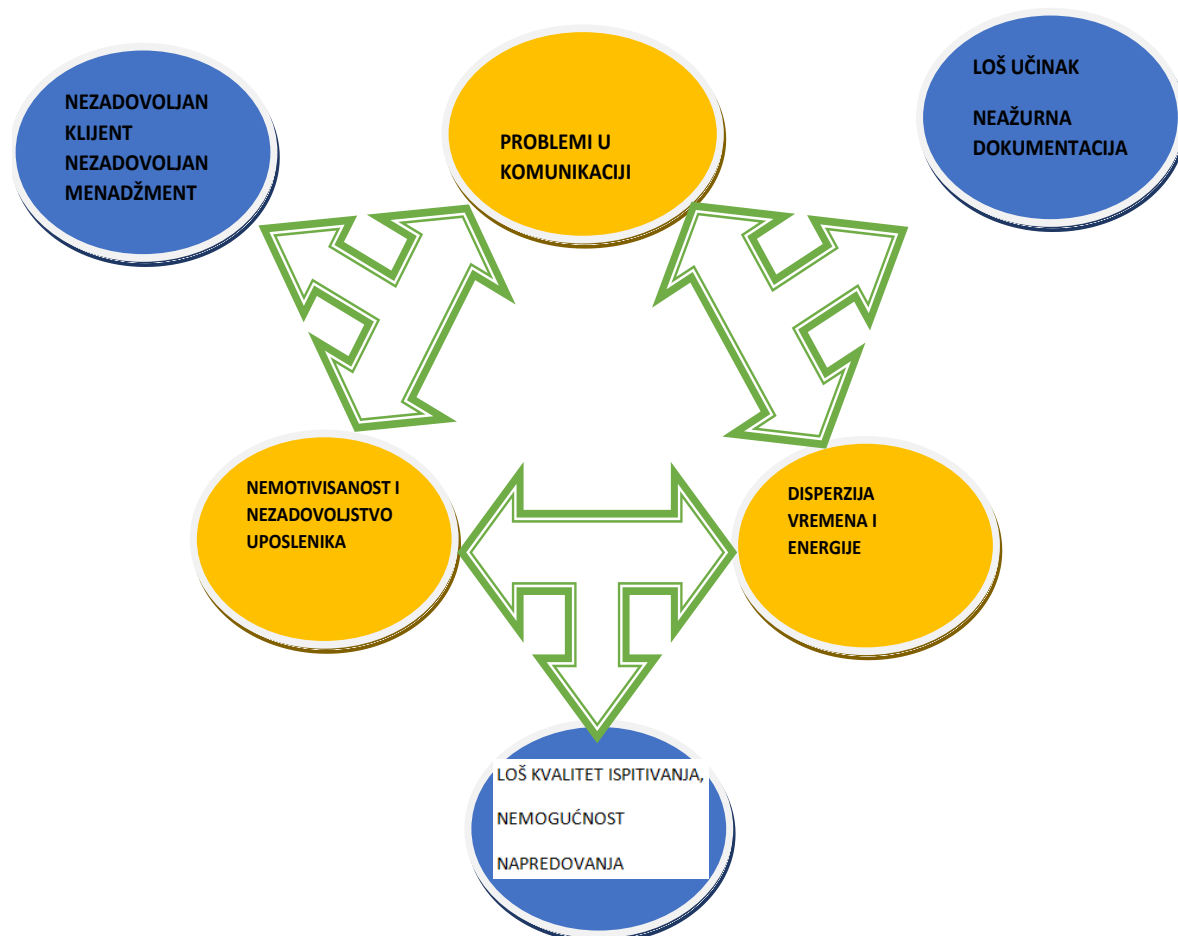
Upotrebom LIMS softvera gorenavedena problematika bi se minimizovala, što bi poslovanje dovelo do znatno brže i kvalitetnije realizacije.

2.1. Detekcija problema

Pošto je već navedeno da programi služe za rješavanje problema, bilo je neophodno da se oni i detektuju.

Prilikom kreiranja nekog programa detekcija problema koje taj program rješava ključna je faza. Sama efikasnost i primjena u najvećoj mjeri zavise od toga da li su detektovani ključni problemi i na koji su način riješeni. Vremenom su se kroz poslovanje laboratorije izdvojili problemi koji se mogu svrstati u sljedeće kategorije:

1. Problemi u komunikaciji: komunikacija unutar odsjeka laboratorije, među odsjecima, komunikacija na relaciji klijent–osoblje, menadžment–osoblje, tehničko–netehničko osoblje i slično.
2. Disperzija vremena i energije: Repetitivni poslovi koji čine 90 % ukupne djelatnosti građevinske laboratorije zahtijevaju unos jednih te istih podataka na više mjesta, što predstavlja bespotrebno gubljenje vremena i energije na ono što nije od posebnog značaja, a u konačnici i gubitak novca. Takođe, pretraživanje postojećih podataka, izvještaja i slično uzima dosta vremena.
3. Nemotivisanost i nezadovoljstvo uposlenika: Do nezadovoljstva uposlenika dolazi najčešće u kombinaciji prethodna dva problema, a još jedan bitan faktor jeste i ne vrednovanje rada.



Slika 1. Šematski prikaz detektovanih problema

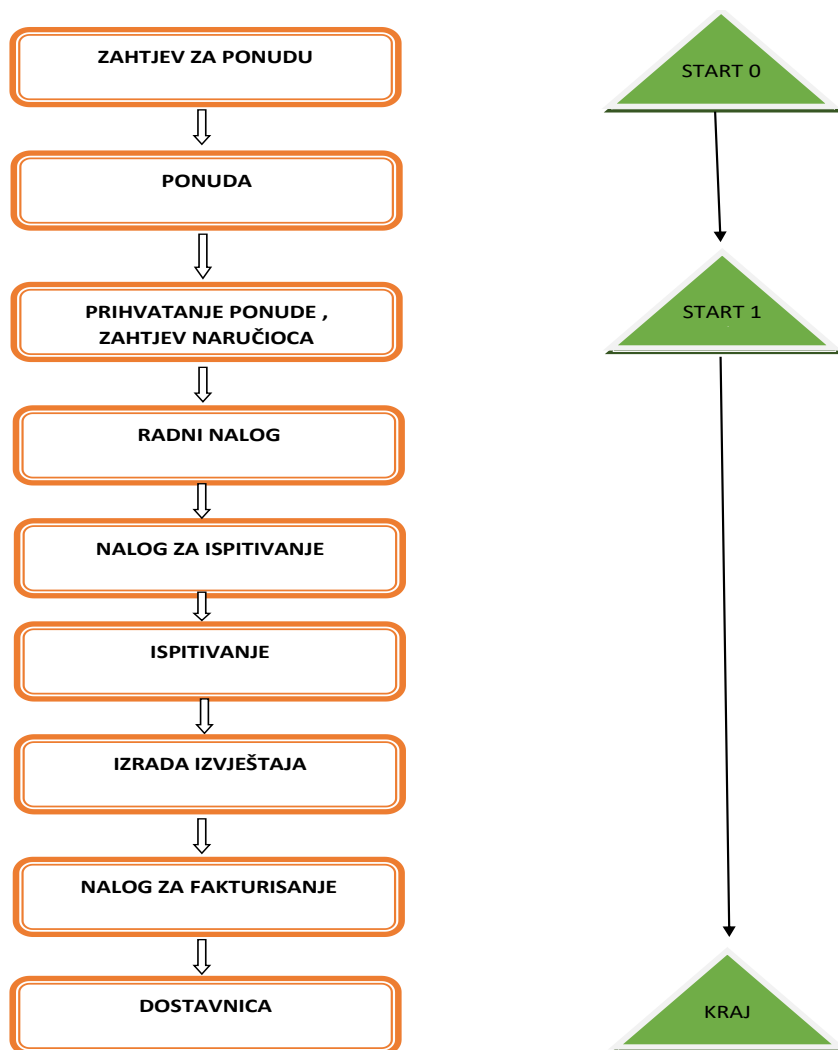
2.2. Pronalaženje rješenja

Prilikom osmišljavanja programskog rješenja uzeti su u obzir bazični problemi: disperzija vremena i energije, problem u komunikaciji, kao i stvaranje jednostavnog načina kvantifikovanja rada odsjeka i pojedinaca zaposlenih u odsjecima, u nadi da će se rješavanjem ovih problema stvoriti dobar preduslov za postavljanje zdravijeg sistema poslovanja. Ideja je da se sagledaju procesi koji se odvijaju u normalnom poslovanju, te da se digitalizacijom smanji vrijeme potrebno za njihovo obavljanje, kao i broj ljudi koji učestvuju u obavljanju procesa. Ustanovljeno je da se u laboratoriji obavljaju sljedeći procesi:

- Ispitivanje uzoraka, elaboriranje dokumentacije i finaliziranje ugovora
- Nabavka materijala i opreme
- Pisanje mjesečnih i godišnjih izvještaja
- Popis opreme
- Revizija i pregled dokumentacije Poslovnika kvaliteta centralne laboratorije.

Procese smo podijelili u dvije kategorije – primarni i sekundarni. Primarni proces podrazumijeva ispitivanje materijala i pisanje izvještaja, tako da u radu svakodnevno postoji više simultanih primarnih procesa. Ostali procesi, kao što su nabavka materijala i opreme, pisanje mjesečnih i godišnjih izvještaja itd. jesu sekundarni. Za razliku od primarnih procesa, sekundarni procesi odvijaju se povremeno.

Primarni proces predstavljen je šematski na slici 2.



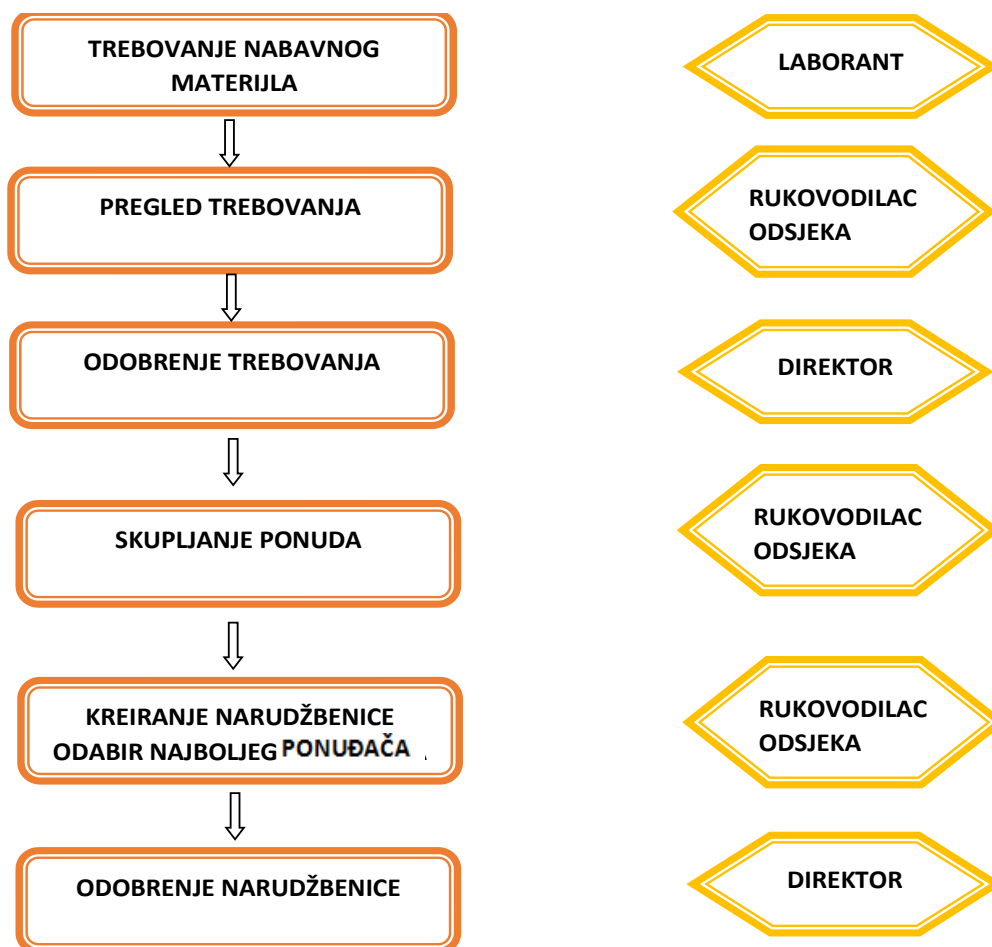
Slika 2. Šematski prikaz procesa: Ispitivanje uzoraka, elaboriranje dokumentacije i finalizovanje ugovora

Na slici se može vidjeti da se proces ispitivanja materijala i pisanja izvještaja sastoji od sedam do devet koraka u zavisnosti od toga da li je u pitanju novi klijent, ili su odnosi s klijentom unaprijed riješeni nekim ugovorom. Po formiranoj organizacionoj šemi, da bi se posao obavio, potrebna je saradnja minimalno tri osobe – koordinator, šef odsjeka i ispitivač. Koordinator prihvata zahtjeve za ponude i zahtjeve za ispitivanja, šef odsjeka izdaje naloge za ispitivanja i piše izvještaje, te naloge za fakturisanje i dostavnice, a ispitivač ispituje materijal i ispunjava obrasce s rezultatima opita.

Ako se uzme u obzir realna situacija da se dnevno započinje minimalno pet poslova, može se lako zaključiti da se mnogo usmeno komunicira i samim tim postoji realna mogućnost da se nešto zaboravi, previdi i slično. Isto tako, prilikom analize svih obrazaca koji se ispunjavaju, uočeno je da se na mnogo mjesta koriste isti podaci kao što su naziv klijenta, naziv gradilišta, predmet ispitivanja i slično. Optimizacija procesa zamišljena je tako da se formiraju baze podataka klijenata i materijala. Nakon toga, svi dokumenti izuzev izvještaja automatski se generišu na osnovu podataka iz baza. Tako npr., jednom unesen naziv klijenta u ponudi provlači se kroz cijeli proces do dostavnice. Na ovaj način smanjuje se vrijeme izrade prpratne dokumentacije nekoliko puta, a mogućnost greške prilikom kreiranja u potpunosti je eliminisana. Takođe je osmišljeno da se proces obavlja korak po korak, tako da se ne može prijeći na sljedeći korak dok se ne završi prethodni. Krajnji rezultat jeste ažurna („up to date“) dokumentacija.

Sekundarni procesi:

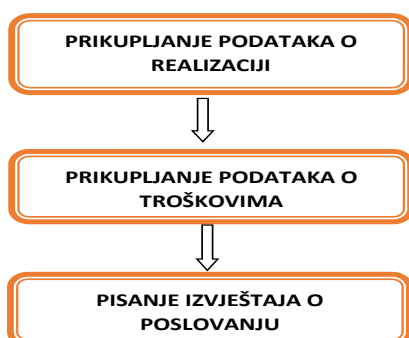
- Nabavka materijala i opreme:



Slika 3. Šematski prikaz procesa: Nabavka materijala opreme

Iz šematskog prikaza procesa nabavke opreme možemo vidjeti da sam proces zahtijeva interakciju minimalno tri osobe, kao i kreiranje dokumenata „trebovanje“ i „narudžbenica“. Proces digitalizacije osmišljen je tako da se kreiraju baze podataka trebovanih materijala i dobavljača. Prilikom kreiranja trebovanja jednom uneseni materijal iz baze automatski se povlači, a prilikom kreiranja narudžbenice svi podaci vezani za dobavljača automatski se povlače. Proces se obavlja u koracima.

- Pisanje mjesečnih i godišnjih izvještaja o poslovanju



Slika 4. Šematski prikaz procesa: pisanje mjesečnih i godišnjih izvještaja o poslovanju

Iz šematskog prikaza može se vidjeti da se proces odvija u tri faze – od toga dvije faze podrazumijevaju prikupljanje podataka, a jedna pisanje samog izvještaja. U zavisnosti od obima posla, samo prikupljanje podataka predstavlja obiman proces, a prilikom unosa podataka postoji velika mogućnost da se napravi greška. Osim toga, troši se vrijeme koje se može svrstati u neproduktivno jer se u tom procesu poslovi od kojih preduzeće ima koristi zaustavljaju. Rješenje se ogleda u tome da softver sam obrađuje podatke koji su već uneseni prilikom provođenja primarnog procesa i sekundarnog procesa (nabavke opreme), te da se formiraju statistički podaci u vidu ostvarenog prihoda i troškova po odsjecima. Tako je u procesu smanjen utrošak vremena rukovodioca i koordinatora sektora. Osim toga, cilj je da se na ovaj način dobiju mjerodavni i tačni podaci.

- Popis opreme

Popis opreme obavlja se jednom ili više puta godišnje ako za to postoji potreba. Analizom procesa ustanovljeno je da se polazi od spiskova opreme iz računovodstva, te da se formira komisija od najčešće tri člana koja provjerava stanje opreme. Ovaj proces obavezan je i prilikom razmatranja rješenja, tako da se nije mogao optimizovati da bi se izbjegao. Ono na šta se obratila pažnja jeste efektivnost operacije. Naime, veliki utrošak vremena prilikom popisa odlazi samo na pronalaženje opreme, jer se često administrativni naziv, tj. naziv pod kojim je neki dio opreme kupljen, ne poklapa s praktičnim nazivom. Optimizacija procesa osmišljena je tako da se napravi baza podataka u koju će se jednom unijeti oprema zajedno sa kataloškim nazivima, kao i nazivima koji se koriste u redovnoj upotrebi. Osim toga, smatra se da je neophodno da se unese i fotografija instrumenta, tako da se vrijeme trajanja popisa maksimalno skрати, a da prikupljeni podaci budu što mjerodavniji.

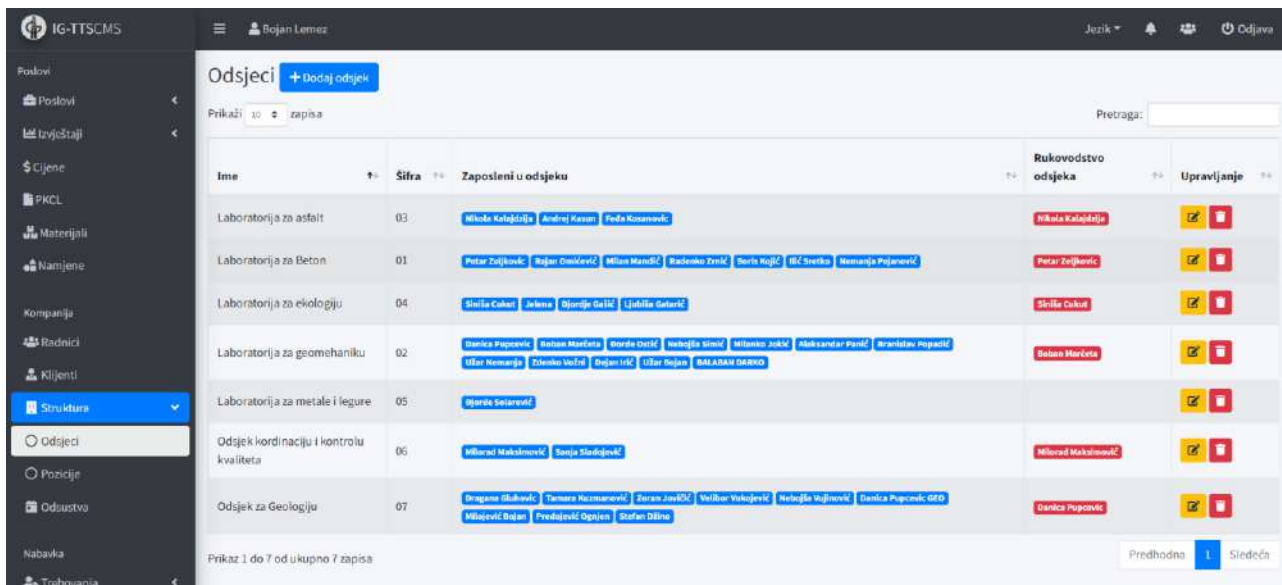
- Revizija i pregled dokumentacije Poslovnika kvaliteta Centralne laboratorije

Da bi rezultati građevinskih laboratorija bili mjerodavni, potrebno je da laboratorija bude akreditovana po EN ISO/IEC 17025 standardu. Standard propisuje da svaka laboratorija ima svoj priručnik kvaliteta kojim se definišu procesi i procedure rada u laboratoriji. Problem predstavlja to što je postojeća dokumentacija priručnika kvaliteta preobimna i nepregledna. Jedna procedura poziva se na drugu itd. Krajnji rezultat jeste da se priručnik praktično ne koristi. Rješavanje ovog problema zamišljeno je tako da se napravi digitalna forma priručnika kvaliteta i da se dokumenti povežu kako bi ih se u isto vrijeme moglo otvoriti više međusobno povezanih. Ovaj način omogućava da se prilikom čitanja jednog dokumenta lako mogu pregledati svi dokumenti koji su s njim u vezi.

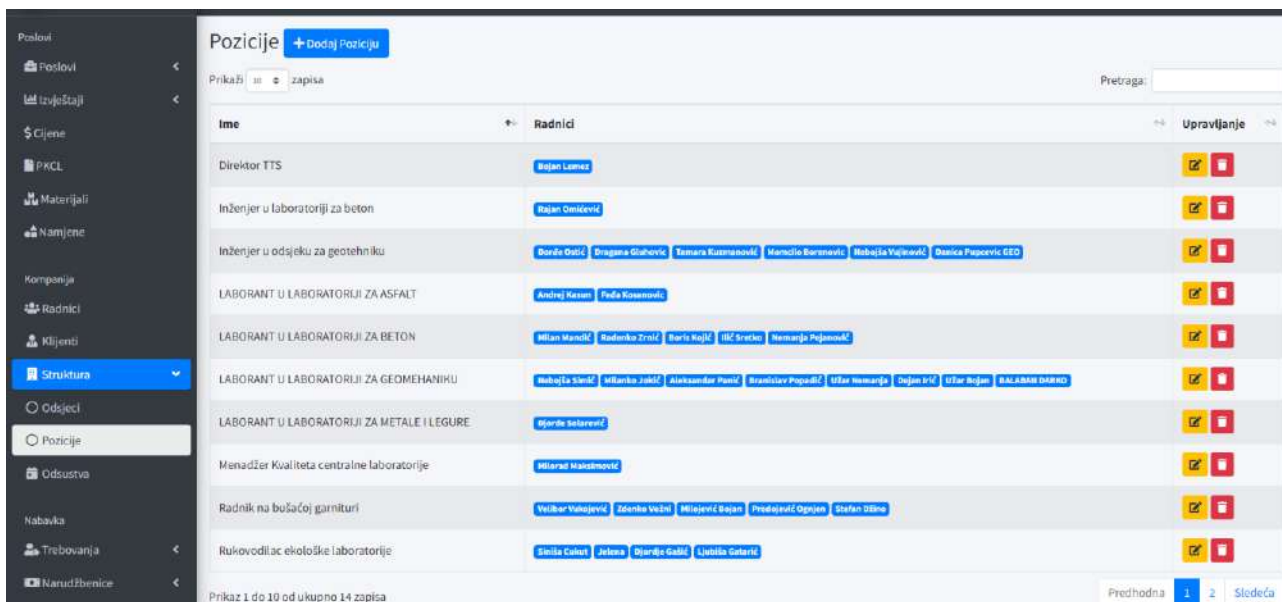
2.3. Implementacije rješenja

Nakon utvrđivanja problema, započeto je kreiranje softvera ZE-Max. Odabrano je da softver bude na web-platforni, napisan u programskom jeziku PHP. Tako bi se omogućilo korištenje softvera s bilo koje lokacije koja ima pristup internetu. A pristup softveru nezaposlenom osoblju ograničio bi se upotrebom pristupnih šifri, koje su jedinstvene za svakog korisnika.

Na samom početku bilo je neophodno to da se u programu može definisati organizaciona struktura laboratorije, tj. odsjeci i pozicije u kompaniji. Na ovaj način omogućeno je kreiranje neograničenog broja odsjeka, pri čemu se svakom odsjeku dodjeljuju naziv, šifra, uposlenici i rukovodstvo (vidjeti sliku 5). Sljedeći korak jeste kreiranje panela u kojem bi se definisale pozicije u organizaciji (direktor, rukovodilac odsjeka, laborant i sl). Program je osmišljen tako da se može kreirati neograničen broj pozicija (vidjeti sliku 6). Završna faza organizacione strukture jeste panel u koji se unose korisnici programa tj. uposlenici (vidjeti sliku 7). Ovo je ujedno i najbitniji panel u cijelom programu jer se u njemu, osim kreiranja profila za pristup softveru, dodjeljuju i permisije (dopuštenja) korisnicima. Permisije su srce softvera jer se njima definiše šta koji uposlenik može raditi u programu. Na ovaj način korisnik se u korištenju programa ograničava na sadržaj za koji se smatra da je njemu prikladan. Uopšteno, postoje četiri vrste permisija (CRUD permisije), a to su permisije za kreiranje, korištenje, mijenjanje i brisanje sadržaja iz programa. Praktično, to znači da npr. laborant u laboratoriji vidi samo poslove vezane za njegov odsjek, i to samo naloge za ispitivanje, te nema mogućnost mijenjanja, dodavanja niti brisanja, a njegov nadređeni ima mogućnost kreiranja stavki i modifikovanja, dok osoba koja je nadređena svima može još dodatno da briše stavke iz programa (vidjeti sliku 8).



Slika 5. Izgled panela za kreiranje odsjeka u organizaciji



Slika 6. Izgled panela za kreiranje pozicija u organizaciji

Ime	E-mail Adresa	Odsjek	Pozicija	Upravljanje
Aleksandar Panić	aleksandarpanic58@yahoo.com	Laboratorija za geomehaniku	LABORANT U LABORATORIJU ZA GEOMEHANIKU	[Edit] [Delete]
Andrej Kasun	andrejkasun.56@gmail.com	Laboratorija za asfalt	LABORANT U LABORATORIJU ZA ASFALT	[Edit] [Delete]
BALABAN DARKO	bala.bandarko@yahoo.com	Laboratorija za geomehaniku	LABORANT U LABORATORIJU ZA GEOMEHANIKU	[Edit] [Delete]
Boban Marčeta	boban.marjeta@institutig.com	Laboratorija za geomehaniku	Rukovodilac laboratorije za geomehaniku	[Edit] [Delete]
Bojan Lemez	bojan.lemez@integralgrupa.com	Nijedan	Direktor TTS	[Edit] [Delete]
Boris Kojić	boris.kojic@institutig.com	Laboratorija za Beton	LABORANT U LABORATORIJU ZA BETON	[Edit] [Delete]
Branislav Popadić	branepop@gmail.com	Laboratorija za geomehaniku	LABORANT U LABORATORIJU ZA GEOMEHANIKU	[Edit] [Delete]
Danica Pupčević	danica.pupcevic@institutig.com	Laboratorija za geomehaniku	Rukovodilac laboratorije za geomehaniku	[Edit] [Delete]
Danica Pupčević GEO	danica.pupcevic1@institutig.com	Odsjek za Geologiju	Inženjer u odsjeku za geotehniku	[Edit] [Delete]
Dejan Irić	d.irić@gmail.com	Laboratorija za geomehaniku	LABORANT U LABORATORIJU ZA GEOMEHANIKU	[Edit] [Delete]

Slika 7. Izgled panela za unošenje korisnika

Entitet	Pregledaj	Kreiraj	Uredi	Obrisi
Vehicles	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Equipment	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Departments	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Positions	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Clients	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Employees	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Materials	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Purposes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prices	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Documents	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vacations	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vehicle Reservations	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

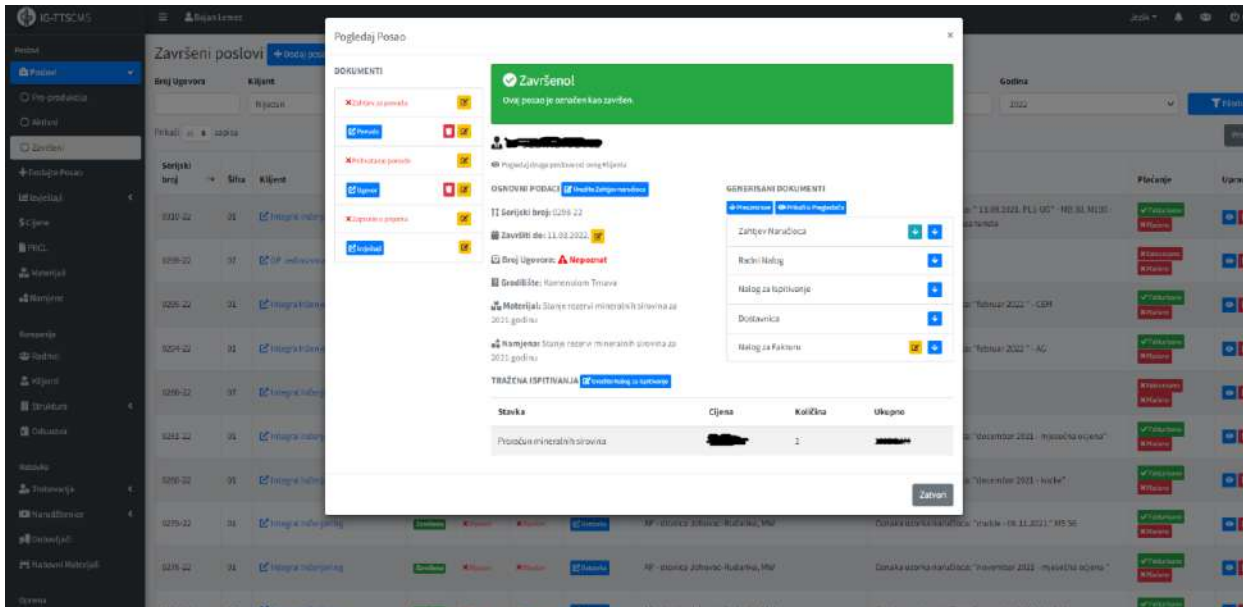
Slika 8. Izgled panela za dodjeljivanje permisija

Osim panela za definisanje organizacione strukture, morali su još biti definisani i paneli za unošenje podataka u baze klijenata i dobavljača, kao i panel koji će omogućiti digitalizaciju cjenovnika.

Kada je kreirana mogućnost unošenja strukture organizacije, kao i baza podataka, prešlo se u digitalizaciju primarnih i sekundarnih procesa.

- Primarni proces koji se bavi tokom realizacije poslova u laboratoriji je digitalizovan tako da korisnici softvera koji imaju permisiju kreiraju posao u panelu, gdje iz padajućih menija biraju u kojoj je fazi posao (predprodukcija / faza ugovaranja ili produkcija / faza izvršavanja), ko je klijent i na koji se odsjek posao odnosi. Zatim se unose dokumenti (zahtjev za ponudu, ponuda, prihvatanje ponude) i definiše rok završetka posla. Pritiskom na dugme „dodaj posao“ u programu se on i kreira, te mu se automatski dodjeljuje identifikacioni broj (br. protokola) i generiše radni nalog. Nakon što je posao kreiran, njegovim pregledom otvara se panel za izvršavanje posla, u kojem program korisnika vodi po

stavkama. Prvo korisnik mora kreirati nalog za ispitivanje, nakon toga unose se izvještaji, a potom nalog za fakturu. Svi koraci obavljaju se u programu ispunjavanjem formi. Nakon kreiranja naloga za fakturu, program automatski generiše dostavnicu i označava posao kao završen. Pregledom završenog posla na jednom mjestu imamo uvid u sve dokumente koji se odnose na njegovo izvršavanje (vidjeti sliku 9). Na taj način se 7–9 koraka navedenih u poglavlju 2.2 svelo na ispunjavanje četiri forme, s tim da se većina podataka potrebnih za ispunjavanje formi povlači iz unaprijed definisanih baza podataka. Na ovaj način znatno se ubrzao proces kreiranja papirologije koja prati izvršenje posla i povećala tačnost podataka. U progamu su svi poslovi prikazani tabelarno u tri kategorije: „Predprodukcija“, „Aktivni“ i „Završeni poslovi“. Svaki od tabelarnih prikaza ima filtere pomoću kojih se na jednostavan način može doći do informacija o bilo kojem poslu. Dovoljno je da znamo neku od informacija: br.ugovora / naziv klijenta / naziv gradilišta / br. protokola...



Slika 9. Izgled panela – završeni poslovi (prikaz generisane dokumentacije)

- Sekundarni procesi

Nabavka materijala i opreme:

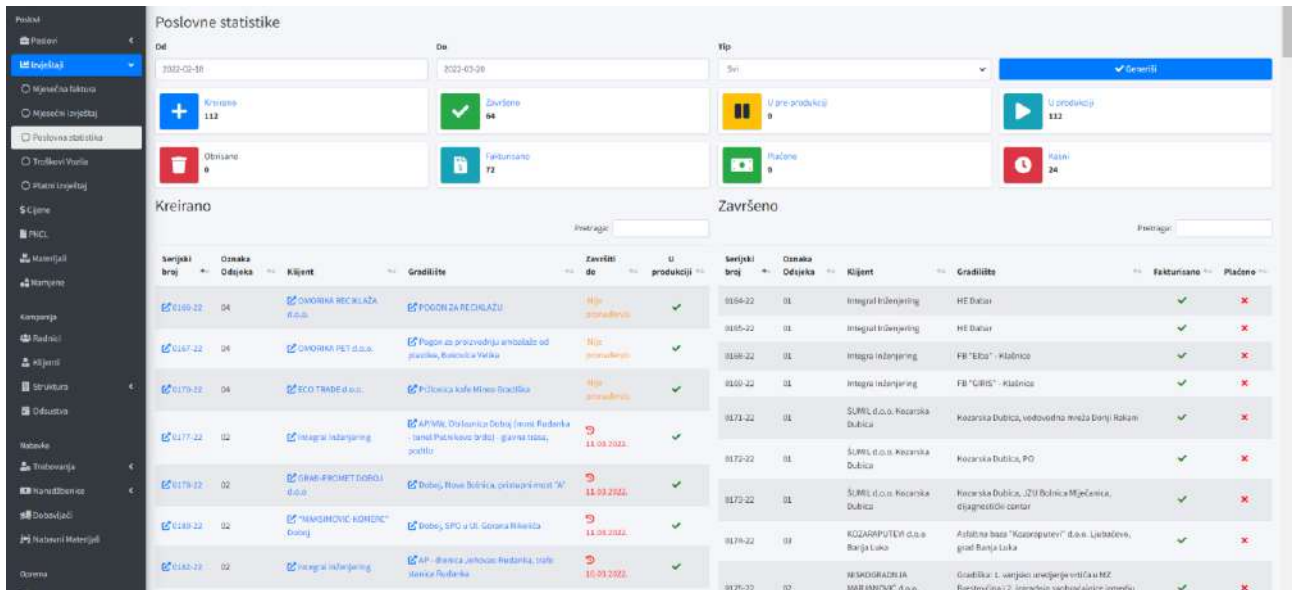
Proces nabavke materijala i opreme digitalizovan je tako da se trebovanje kreira u programu. Prilikom kreiranja trebovanja, automatski se definiše ko kreira trebovanje za potrebe određenog odsjeka, a upisuje se datum trebovanja i datum isporuke. Zatim se čekira da li se roba fakturiše ili ne, iz opadajućeg menija bira se stavka koja se treba, upisuje se količina potrebna za nabavku i relevantne bilješke u vezi sa trebovanjem materijala. Nakon toga osobe koje imaju ovlaštenje pregledaju i odobravaju trebovanje čekiranjem.

Sva kreirana trebovanja materijala prikazana su u programu tabelarno i uz pomoć filtera može se jednostavno pronaći svako od njih.

Nakon trebovanja kreira se narudžbenica u digitalnoj formi pri čemu se uzimaju podaci iz trebovanja, unose izabrani izvršioci usluga, dodjeljuje jedinstveni broj i unose ponude. Kreiranu narudžbenicu još jednom pregleda osoba koja ima ovlaštenje, upisuje se novčani iznos i prosljeđuje dobavljaču na izvršenje. Na ovaj način proces je višestruko ubrzan jer se svi podaci povlače iz ranije definisanih baza. Jednom unesen podatak u bilo kojoj od faza poslije se automatski koristi, čime se izbjegava unošenje jednih te istih podataka više puta. I što je najbitnije, na jednom mjestu imamo prikaz svih trebovanja i narudžbenica.

Pisanje mjesečnih i godišnjih izvještaja

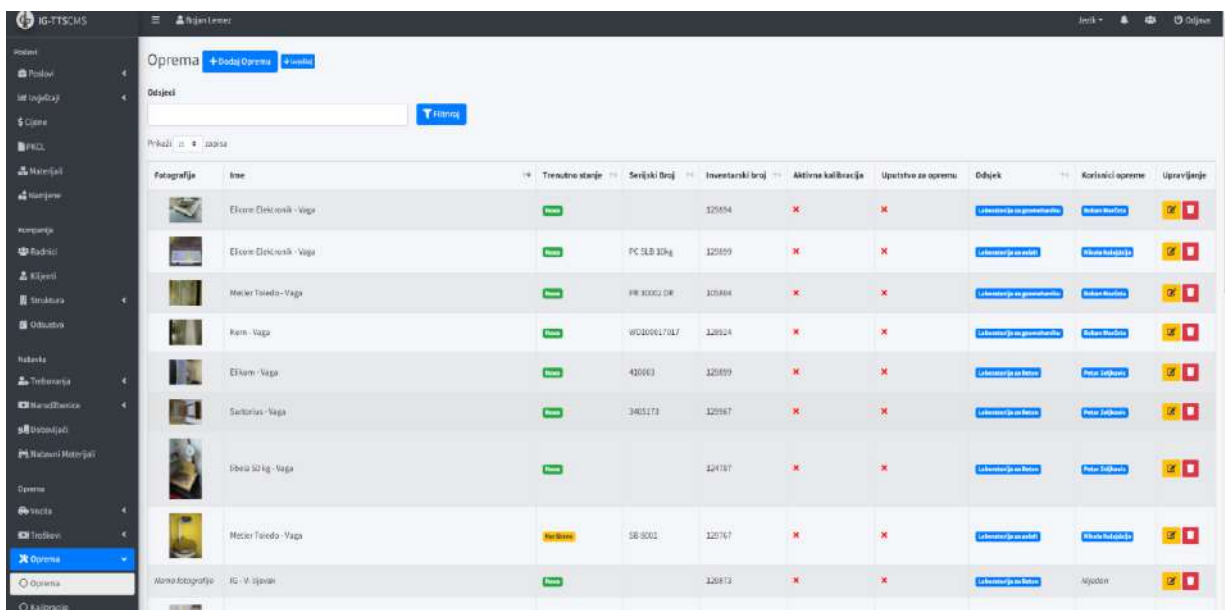
Najviše vremena u ovom procesu odlazi na prikupljanje podataka. Iz tog razloga razvijen je panel u programu „Izvještaji“. Pošto je digitalizovano izvršenje poslova i proces nabavke, svi potrebni podaci nalaze se u bazama podataka. Panel „Izvještaji“ kreiran je s ciljem da se statistički obrade već uneseni podaci. Tako je proces prikupljanja podataka u potpunosti prebačen na softver i ne zahtijeva učešće uposlenika. U ZE-Max programu sada jednostavno pritiskom na dugme dobijamo generisane izvještaje u kojima imamo mogućnost da prikazemo: broj aktivnih i završenih poslova u nekom vremenskom intervalu, ukupnu realizaciju, realizaciju po odsjecima i troškove poslovanja (vidjeti sliku 10).



Slika 10. Izgled panela za generisanje statističkih podataka

Popis opreme

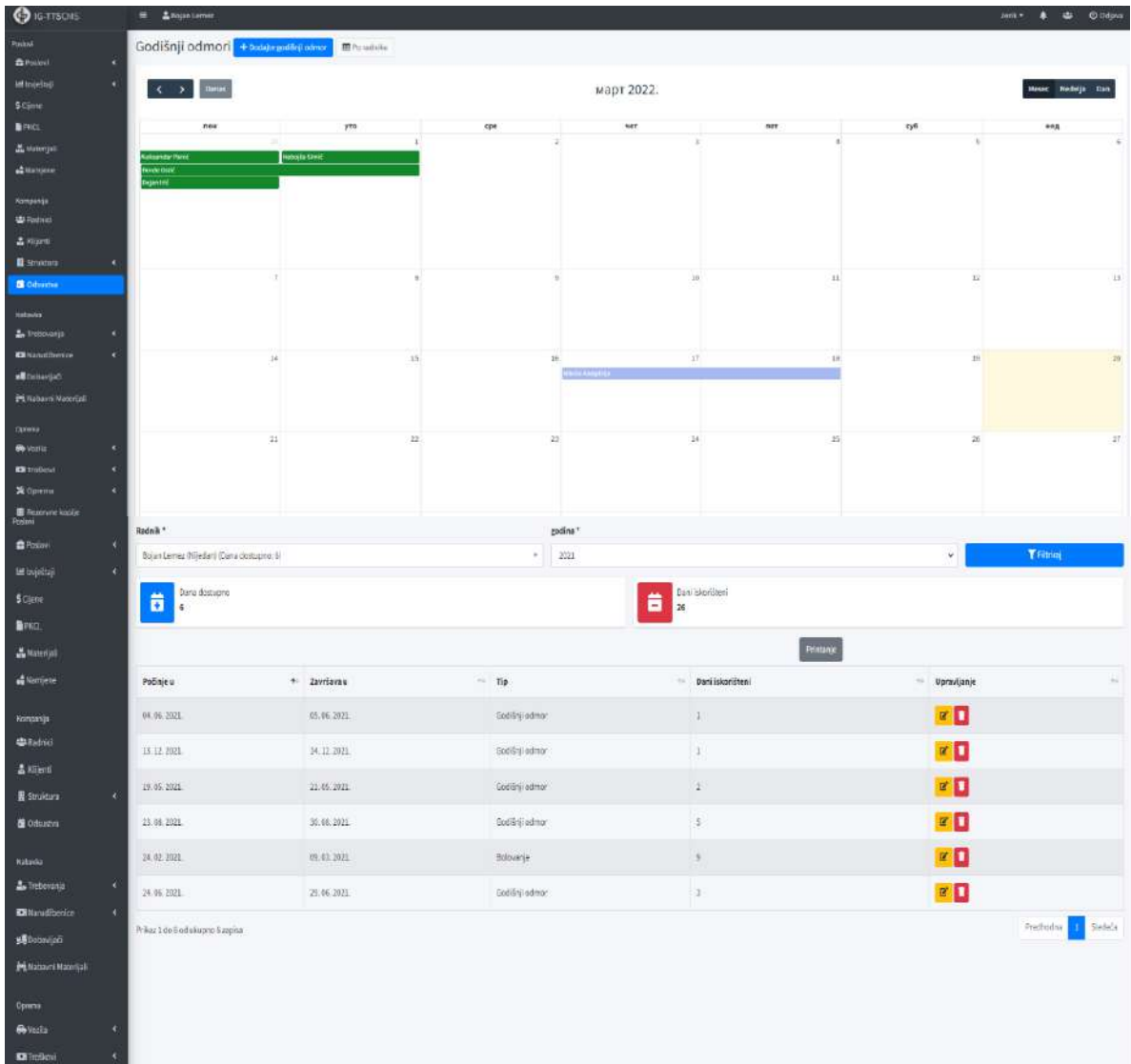
Proces popisivanja opreme optimizovan je tako da je kreiran panel u softveru u koji se unosi oprema. Prilikom unosa upisuju se sve relevantne informacije o instrumentu, fotografija instrumenta i uputstvo za korištenje. Jednom unesena oprema u program prikazana je tabelarno i na „klik“ se generiše dokument u vidu tabele s instrumentima. Osim toga što je prikaz cjelokupne opreme dostupan na jednom mjestu i što se filtriranjem može vrlo brzo doći do informacija o instrumentu, prilikom popisa popisivač ima tabelarno prikazane sve podatke i fotografiju samog instrumenta, što proces popisivanja uveliko olakšava i ubrzava (vidjeti sliku 11).



Slika 11. Izgled panela za evidenciju laboratorijske opreme

Revizija i pregled dokumentacije Poslovnika kvaliteta Centralne laboratorije

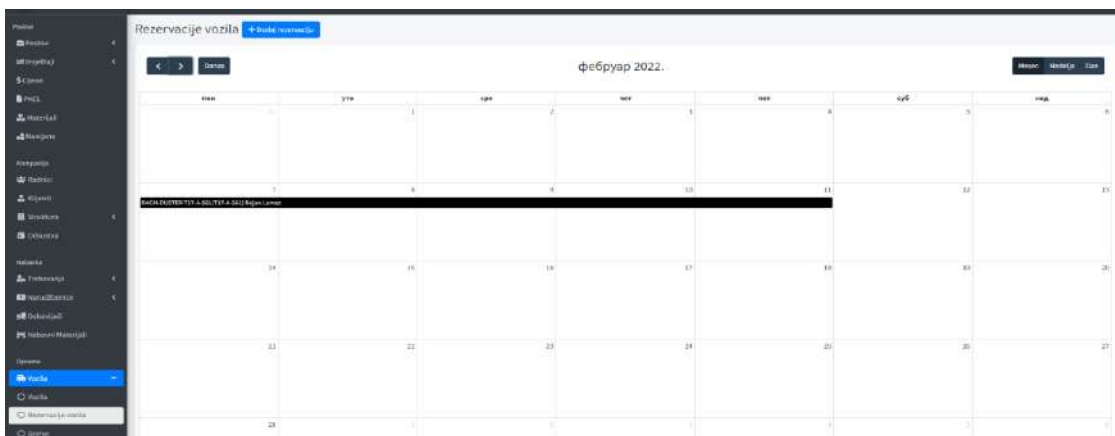
Prilikom kreiranja softvera, kreiran je panel PKCL. U ovaj panel unose se već postojeći dokumenti priručnika kvaliteta Centralne laboratorije. Nakon unošenja, dokumenti su dostupni za pregled u softveru i na jednostavan način iz kaskadnog opadajućeg menija može se vidjeti sadržaj dokumenta, kao i svih pratećih dokumenata (vidjeti sliku 12 i 13).



Slika 14. Izgled panela odsustva, grafički prikaz odsustva i pregled odsustva pojedinca

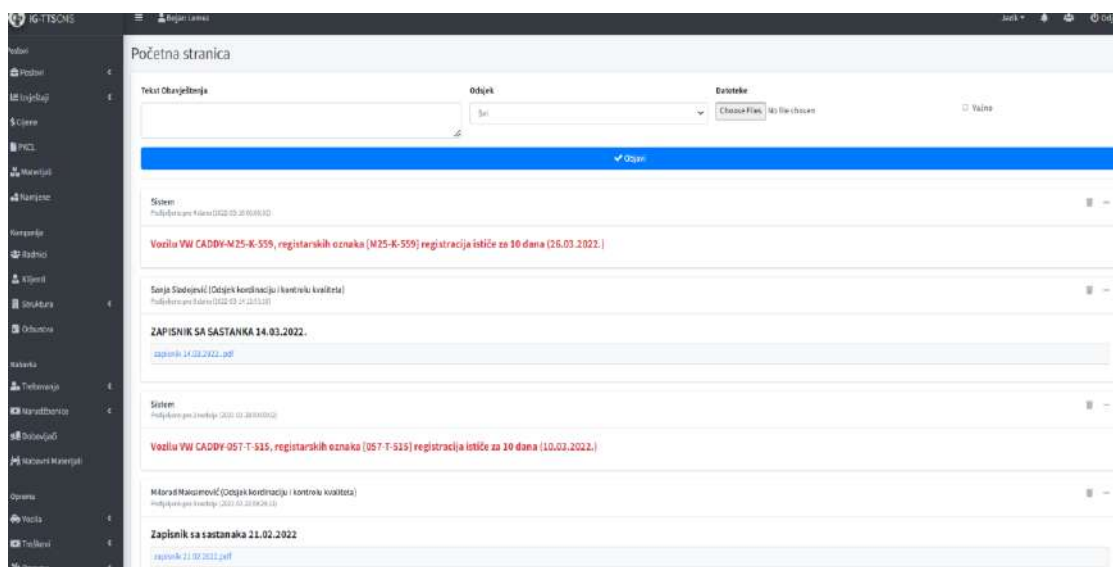
Dodatno, u programu su razvijeni moduli vozila i oglasna tabla.

U modulu vozila upravlja se voznim parkom, a osmišljen je tako da se kreiraju entiteti vozila. Zatim se troškovi potrošnje goriva i popravke pridružuju entitetima, tako da se mogu pratiti troškovi koje preduzeće ima, a vezani su za vozni park. Pored ovih opcija, softver ima i modul rezervacije vozila, koji se koristi da bi se pojedina vozila rezervisala za predviđene terene. Ovo je posebno korisno ukoliko više ljudi koristi iste automobile. Na ovaj način omogućava se bolja organizacija rasporeda terenskih ispitivanja (vidjeti sliku 15).



Slika 15. Izgled panela vozila

Panel „oglasna tabla“ služi za obavještanje korisnika programa. U njemu pojedini korisnici mogu postavljati obavještenja, a dodatna je opcija sistemskog obavještanja o vremenu isteka registracije vozila kako bi se izbjegli nepotrebni troškovi (vidjeti sliku 16).



Slika 16. Izgled panela „oglasna tabla“

Posljednji modul koji je razvijen jeste modul rezervnih kopija, koji korisniku omogućava kreiranje „backupa“ podataka i time smanjuje ranjivost programa na sajber napade.

Uz program je radi lakšeg korištenja napisano i detaljno uputstvo za primjenu.

2.4. Case study „IG“ primjena i nadogradnja softvera

Nakon faze osmišljavanja arhitekture softvera ZE-Max i izrade samog softvera koja je trajala nešto više od pola godine, program se počeo primjenjivati u Centralnoj laboratoriji Instituta za građevinarstvo „IG“ Banja Luka. Početak primjene je 01. 03. 2021 godine. Na samom početku održan je sastanak sa svim uposlenicima, na kojem im je distribuisano uputstvo za upotrebu softvera i održana kratka demonstracija primjene programa. Potom je dogovoreno da se naredna dva mjeseca vodi paralelna primjena softverskog načina vođenja poslovanja i dosadašnjeg načina. Takođe je radnicima koji su počeli koristiti softver skrenuta pažnja na to da zapisuju sve greške koje uoče, kao i prijedloge za poboljšanje. Nakon isteka probnog perioda otklanjanja svih uočenih grešaka i pravljenja ispravki na osnovu sugestija korisnika, softver je u potpunosti zamijenio dosadašnji način poslovanja. Nakon godinu dana korištenja stvorena je može se slobodno reći impozantna baza podataka od blizu 3000 izvještaja, cca 170 klijenata i cca 100 dobavljača. Posebno je korisna baza podataka podizvođača, u kojoj se u svakom momentu može naći više dobavljača od kojih se može tražiti ponuda za navedene radove.

2.5 Coming soon

Naredna faza u razvoju softvera jeste kreiranje modula za pisanje izvještaja. Trenutno se izvještaji pišu u nekom od postojećih programa (word ili excel) i u PDF formatu čuvaju u softveru ZE-Max. Cilj je da se osmisli poseban modul u kojem će se pisati izvještaji. Svrha modula bila bi skraćivanje vremena utrošenog na izradu izvještaja, a što je još bitnije, čuvanje svih rezultata u bazama podataka. Na ovaj način stvaraju se preduslovi za brzu statističku obradu rezultata ispitivanja, koji se odnose na isti predmet.

Za jedan od primjera može se uzeti taj da se za manje od minute dolazi do tabelarnog prikaza i statistički obrađenih rezultata ispitivanja asfaltne mase habajućeg sloja na auto-putu dužine nekoliko desetina kilometara, ili, pak, rezultati postignute pritiskne čvrstoće marke betona proizvedenog na jednoj betonari u periodu od jedne godine ili više.

3. ZAKLJUČAK

Upotreba posebno prilagođenih softvera u poslovanju građevinskih laboratorija u mnogome ubrzava administrativne poslove, smanjuje potrebu za administrativnim kadrom i ostavlja više prostora inženjerskom kadru da se bavi strukom i/ili usavršavanjem. Poseban akcenat stavlja se na sigurno arhiviranje podataka ispitivanja i na konstantno proširivanje baza podataka, koje u zavisnosti od veličine višestruko povećavaju svoju vrijednost kroz vrijeme.

Case study Centralne laboratorije Instituta za građevinarstvo „IG“ Banja Luka pokazuje da se vrijeme koje je ranije odlazilo na administrativne poslove višestruko smanjilo. Takođe, kvantifikovanje i vrednovanje rada pojedinaca u mnogome je olakšano.

Posebnu prednost predstavlja to što se jednim centralnim programom može kontrolisati rad isturenih terenskih laboratorija i odjeljenja.

Zahvale

Posebnu zahvalnost dugujem Filipu Vujnoviću, programeru koji je bez previše ulaznih podataka sproveo sve što je zamišljeno, Institutu za građevinarstvo „IG“ koji je imao hrabrosti odvažiti se za primjenu nečeg novog, te porodici koja mi je pružala nesebičnu podršku za vrijeme trajanja razvoja softvera.

Literatura –

- INTERNET:

- [1] Wikipedia free Internet-based encyclopaedia, started in 2001 available at:
https://hr.wikipedia.org/wiki/Glavna_stranica

ZAŠTITA ARMIRANOG BETONA OD KOROZIJE METODOM KATODNE ZAŠTITE

mr Vladimir Radovanović

TECHART d.o.o., techartbg@gmail.com

Rezime: Armirano betonske konstrukcije se projektuju da traju 50 godina i duže, što je realno ako nema korozije armature. Međutim usled prirode betona kao poroznog materijala i kontaminacije betona hloridima i/ili ugljen-dioksidom iz atmosfere, dolazi do korozije armature, što dovodi do oštećenja objekta ili čak kolapsa konstrukcije pre isteka projektovanog radnog veka. Korozija uzrokuje ogromne ekonomske štete u vidu rekonstrukcije objekta, izmena ili zatvaranja saobraćaja. Rešenje je u primeni katodne zaštite. Primenom katodne zaštite se potpuno sprečava pojava korozije na novim objektima, odnosno zaustavlja se korozija na postojećim objektima dok god su ispunjeni kriterijumi standarda SRPS EN ISO 12696 čime se višestruko produžava radni vek objekta uz smanjenje troškova održavanja i očuvanje stabilnosti objekta.

Ključne reči: *katodna zaštita, korozija, armatura, beton.*

CATHODIC PROTECTION OF REINFORCED CONCRETE

M.Sc. Vladimir Radovanovic

TECHART d.o.o., techartbg@gmail.com

Abstract: Reinforced concrete structures are designed to last 50 years and longer, which is realistic if there is no corrosion of the reinforcement. However, due to the nature of concrete as a porous material and contamination of concrete with chlorides and/or carbon dioxide from the atmosphere, corrosion occurs, leading to damage to the structure and even collapse of the structure before the designed service life. Corrosion causes enormous economic damage in the form of reconstruction of the facility, change, or closure of traffic. The solution is in the application of cathodic protection. The application of cathodic protection completely prevents the occurrence of corrosion on new structures, and stops corrosion on existing structures as long as the criteria of SRPS EN ISO 12696 are met, which multiplies the service life of the structure while reducing maintenance costs and preserving the stability of the structure.

Keywords: *cathodic protection, corrosion, reinforcement, concrete.*

1. UVOD

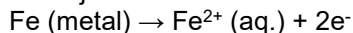
Korozija armature u betonu je elektrohemijski proces. Usled različitih uticaja dolazi do razlike električnog potencijala između tačaka na čeliku koji je u kontaktu sa elektroprovodnom sredinom – elektrolitom, u ovom slučaju betonom. Formira se koroziona ćelija koja sadrži: katodu, anodu, metalnu vezu između katode i anode i elektrolit potreban za tok jona. Katoda je deo armature koji je elektro-pozitivniji od drugog dela koji predstavlja anodu u korozionoj ćeliji, koja je u suštini električno kolo. Deo armature koji spaja anodnu i katodnu zonu je metalna veza za transfer elektrona, a okolni beton je elektrolit kroz koji teče struja u obliku jona.

Ima više pristupa kojima se može sprečiti korozija armature. Svi se baziraju na ukidanju nekog od elemenata korozione ćelije. Upotrebom membrana i premaza, sprečava se prodor vlage što dovodi do povećanja električnog otpora za korozivnu struju i smanjuje se količina kiseonika koji je neophodan za hemijske reakcije. Dodavanje aditiva za vodonepropusnost deluje slično. Problem sa armirano betonskim konstrukcijama je što je nemoguće potpuno sprečiti prodor kontaminata do armature, poput hlorida iz soli za odmrzavanje i CO₂ iz atmosfere u kombinaciji sa vlagom. Sve betonske konstrukcije su u nekom delu izložene silama zatezanja i deformacijama što neminovno dovodi do pojava mikro prslina zaštitnog sloja betona, što je dovoljno da armatura bude izložena koroziji. Obzirom da je osnovna uloga armature da preuzme sile zatezanja, utoliko je veći značaj zaštite od korozije armature u zoni zatezanja. Katodna zaštita je jedina metoda koja može da se primeni bez obzira na prisustvo vlage, hlorida ili karbonizaciju betona usled CO₂. Princip katodne zaštite je da se u masu betona ugrade namenske anode, tako da se koroziona reakcija izmesti sa armature na namensku anodu, koja je i predviđena da izdrži anodne reakcije. Dok god se koroziona reakcija odvija na namenskoj anodi, čelična armatura predstavlja katodu i ne korodira. Sistemi katodne zaštite se mogu projektovati da traju i duže od 100 godina. Ako nema korozije armature, nema posledičnog oštećenja betona, objekat zadržava prvobitnu stabilnost, a troškovi održavanja objekta su smanjeni.

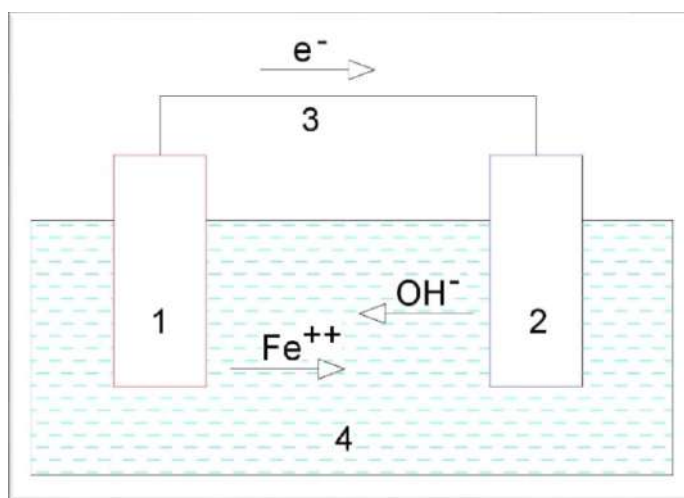
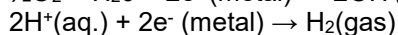
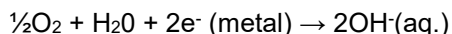
2. ZAŠTITA ARMIRANOG BETONA OD KOROZIJE METODOM KATODNE ZAŠTITE

2.1 Korozija i pasivizacija čelične armature

Izloženi čelik će korodirati u vlažnoj atmosferi zbog razlika u električnom potencijalu na površini čelika, formirajući anodna i katodna mesta. Metal oksidira na anodi gde se javlja korozija prema sledećoj hemijskoj reakciji:



Istovremeno, na katodnim mestima dolazi do redukcije. Tipični katodni procesi su:



Slika 1. Osnovna šema korozione ćelije: 1 – anoda (elektro negativniji metal), 2 – katoda (elektro pozitivniji metal), 3 – metalna veza između anode i katode, 4 – elektrolit;
Source: (Izvor, TECHART katalog)

Elektroni proizvedeni tokom ovog procesa provode se kroz metal, dok se formirani joni transportuju kroz vodu iz pora betona, koja deluje kao elektrolit. Kvalitetan beton za čeličnu armaturu je okruženje visoke alkalnosti zbog prisustva hidroksida natrijuma, kalijuma i kalcijuma koji nastaju tokom reakcija hidratacije. Većina okolnog betona deluje kao fizička prepreka mnogim agresorima čelika. U takvom okruženju čelik je pasivan i svaki mali prekid njegovog zaštitnog oksidnog filma se ubrzo popravlja. Međutim, ako se alkalnost okoline smanji, na primer neutralizacijom atmosferskim ugljen-dioksidom, ili u slučaju da depasivizirajući anjoni kao što je hlorid dođu do čelika, onda može doći do smanjenja pH i ozbiljne korozije armature. Ovo može dovesti do mrlja od rđe na betonu i delaminacije betona zbog povećanja zapremine korodirane armature, povezanog sa konverzijom gvožđa u gvožđe oksid.

Faktori koji određuju brzinu korozije čelika u betonu su: prisustvo jonski provodljive vodene faze u kontaktu sa čelikom (tj. voda u porama betona), postojanje anodnih i katodnih mesta na metalu u kontaktu sa ovim elektrolitom i dostupnost kiseonika da bi se omogućilo odvijanje reakcija.

Propustljivost betona je važna u određivanju stepena do kojeg spoljašnje agresivne supstance mogu da ugroze čelik. Debeli betonski pokrivač niske propustljivosti će verovatno sprečiti jone hlorida iz spoljašnjeg izvora da dođu do čelika i izazovu depasivizaciju zaštitnog sloja armature.

Tamo gde je adekvatnu debljinu zaštitnog sloja betona teško postići zbog dizajna ili gde se očekuje agresivno okruženje, kao što su betonske površine mostova, tunela ili parkinga, može biti potrebna dodatna zaštita za ugrađeni čelik. Zaštita čelične armature može se izvesti na više načina.

Sama čelična armatura se može učiniti otpornijom na koroziju obezbeđivanjem zaštitnog premaza na bazi epoksidne smole ili nanošenjem prevlake od nerđajućeg čelika ili cinkovanjem. U ekstremnim okolnostima, može se koristiti armatura od nerđajućeg čelika. Ograničavajući faktor upotrebe armature otporne na koroziju je visoka cena.

Nema sumnje da je najefikasniji način zaštite čelika koji je ugrađen u beton adekvatna debljina zaštitnog sloja betona visoke čvrstoće i niske propustljivosti bez depasivirajućih jona kao što su hloridi. Međutim, u praksi, beton se ugrađuje u velikim količinama u svim vremenskim uslovima i okruženjima, izložen industrijskoj atmosferi, solima za odmrzavanje i morskoj vodi. Kontaminirane materijale i propuste u ugradnji je teško u potpunosti izbeći, ali razumevanjem često složenih hemijskih i elektrohemijskih uslova koji mogu postojati, moguće je primeniti metod za izgradnju struktura koje će trajati i duže od 100 godina.

2.2 Mehanizam propadanja betona

Većina armirano betonskih konstrukcija širom sveta vrši svoju funkciju i nije značajno ugrožena od korozije. Manji broj struktura je oštećen usled dejstva agresivnih komponenti iz spoljašnje sredine ili zbog nekompatibilnosti sastojaka betona. Problemi mogu nastati kao rezultat lošeg dizajna, loše specificiranog betona, loše izrade i niza drugih faktora.

Mehanizmi propadanja betona su prvenstveno hemijsko-fizičke prirode (tj. hemijska reakcija sa formiranjem proizvoda veće zapremine od reaktanata koji proizvode fizičke efekte kao što su pucanje i delaminacija) i odvijaju se u tri faze:

Faza 1: Inicijacija (t_0) – Koncentracija agresivnih vrsta je nedovoljna za pokretanje bilo kakve hemijske reakcije ili se hemijska reakcija odvija veoma sporo. Nije došlo do fizičkog oštećenja betona. Trajanje t_0 može varirati od nekoliko minuta do projektovanog veka trajanja konstrukcije;

Faza 2: Propagacija (t_1) – Hemijske reakcije počinju ili se nastavljaju, može doći do fizičkog oštećenja betona, ali nije dovoljno da ugrozi konstrukciju. Ubrzanje procesa propadanja obično se dešava tokom ove faze zbog povećane dostupnosti agresivnih jona ili modifikacije betonskog okruženja;

Faza 3: Raspadanje (t_2) – Brzo raspadanje konstrukcije. Kombinovani efekti fizičkih i hemijskih procesa su dovoljno izraženi da konstrukcija više nije bezbedna i potrebni su obimni radovi na sanaciji ili u ekstremnim slučajevima rušenje.

2.3 Faktori koji utiču na stopu korozije

Okruženje koje obezbeđuje kvalitetan beton za ugrađenu čeličnu armaturu je okruženje visoke alkalnosti (uglavnom $> \text{pH } 13$), koje stvaraju hidroksidi natrijuma, kalijuma i kalcijuma koji se oslobađaju tokom različitih reakcija hidratacije. Pored toga, najveći deo okolnog betona deluje kao fizička barijera za većinu supstanci koje mogu dovesti do degradacije armature.

Pod uslovom da se ovo okruženje održava, čelik ostaje pasivan i svi mali prekidi u stabilnom zaštitnom oksidnom filmu se ubrzo popravljaju. Međutim, ako se alkalnost okoline smanji, na primer reakcijom sa atmosferskim ugljen-dioksidom (karbonizacija), ili ako su depasivirajući hloridni joni prisutni na površini čelika, može doći do korozije, što rezultira gubitkom poprečnog preseka armature i delaminacijom betona.

2.3.1 Debljina zaštitnog sloja

Neadekvatni zaštitni sloj betona je uvek povezan sa područjima visokog rizika od korozije zbog karbonizacije i prodiranja hlorida. Merenjem debljine zaštitnog sloja, područja visokog rizika mogu se lako identifikovati.

2.3.2 Pukotine u zaštitnom sloju betona

Generalno, dva oblika pukotina su od interesa kada se ocenjuje stanje armiranobetonske konstrukcije; one prisutne pre početka korozije koje bi mogle da inteziviraju procese korozije (npr. usled skupljanja ili pomeranja konstrukcije) i one koje su nastale kao direktna posledica korozije gde ekspanzivni proizvodi korozije dovode do pucanja i lomljenja betona.

2.3.3 Prisustvo hloridnih jona

Hloridni joni mogu ući u beton na dva načina:

- mogu se dodati tokom mešanja, namerno kao aditiv ili kao kontaminant u originalnim sastojcima, ili
- mogu ući u beton iz spoljašnjeg izvora kao što su morska voda ili so za odmrzavanje;

Kada hloridni joni stignu do armature u dovoljnim količinama, oni će depasivirati ugrađeni čelik razbijanjem zaštitnog oksidnog sloja koji se normalno održava u alkalnom okruženju.

Koncentracija hloridnih jona potrebnih za pokretanje i održavanje korozije zavisi od alkalnosti i pokazano je da postoji skoro linearna veza između koncentracije hidroksil jona i odgovarajućeg graničnog nivoa hlorida. Merenje koncentracije hlorida je definisano u standardu SRPS EN 14629.

2.3.4 Karbonazacija

Ugljen-dioksid prisutan u atmosferi kombinuje se sa vlagom u betonu i formira ugljenu kiselinu. Ova kiselina reaguje sa kalcijum hidroksidom i drugim alkalnim hidroksidima u vodi u porama betona, što dovodi do smanjenja alkalnosti betona. Na brzinu kojom dolazi do ove neutralizacije utiču faktori kao što su nivoi vlage i

kvalitet betona. Dubina karbonizacije u konstrukciji može se prilično lako utvrditi upotrebom fenolftaleinskog indikatora na sveže izloženom materijalu u skladu sa SRPS EN 14630.

2.3.5 Uticaj okoline

Mikroklima kojoj je armiranobetonski element izložen direktno utiče na verovatnoću i obim korozije armature. Faktori kao što su nivoi hloridnih jona i pH su već razmatrani, ali najvažniji aspekt lokalne sredine je nivo vlage. Karbonizacija, ulazak hloridnih jona, otpornost i brzina korozije su sve pod velikim uticajem stepena zasićenja vlage.

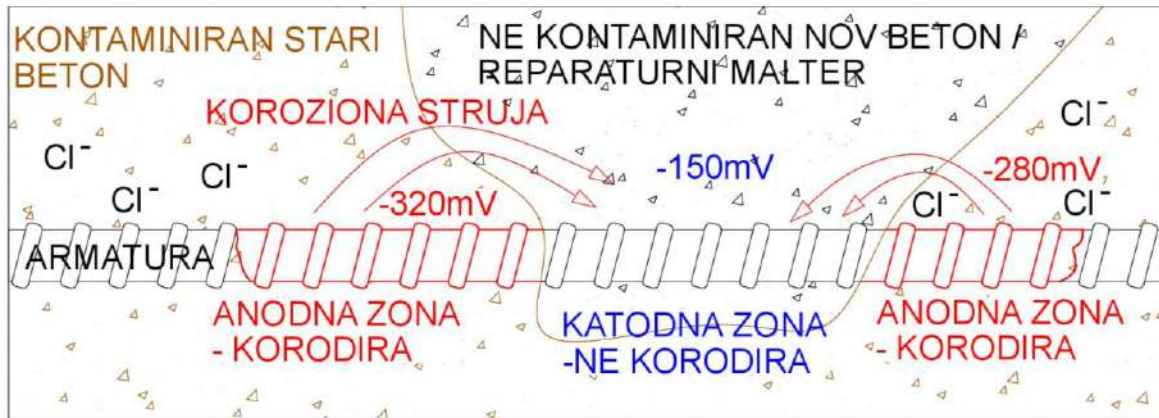


Slika 2. Karakteristično oštećenje konstrukcije od korozije;
Source: (Izvor, Istockphoto)

2.4 Konvencionalne popravke betona i korozija

Popravka postojećih armiranobetonskih konstrukcija gde je korozija već aktivna i gde su prisutne pukotine i odvajanje delova betona, obično podrazumeva uklanjanje odvojenog betona i ugradnju novog betona/reparaturnog maltera.

Sa aspekta korozije ovakva popravka predstavlja armaturu u dve susedne hemijski različite sredine, gde je novi beton bez kontaminacije (hloridi i/ili CO₂), a stari okolni beton je kontaminiran, ali još uvek bez vidljivih oštećenja. Posledica ove razlike u elektrolitu je pojava razlike potencijala i izazivanje korozione struje, gde se armatura u starom betonu ponaša kao anoda (korodira), a armatura u novom betonu se ponaša kao katoda (ne korodira). Posle svega par godina pojavljuju se oštećenja na starom betonu oko popravke, što se naziva „prstenastom“ anodom. Uklanjanje i zamena svog kontaminiranog betona na konstrukciji zahvaćenog karbonizacijom ili kontaminacijom hloridima bi sprečilo pojavu „prstenaste anode“ ali to je često previše skupo rešenje ili teško izvodljivo sa aspekta organizacije radova. Optimalno rešenje za ovaj problem je primena katodne zaštite samo za „zakrpe“ betona bez obzira što je okolni beton zahvaćen karbonizacijom ili kontaminiran.



Slika 3. Primer korozijske ćelije kod konvencionalnih popravki betona;
Source: (Izvor, TECHART katalog).



Slika 4. Primer „prstenaste“ anode – korozijska se nastavlja oko popravke betona;
Source: (Izvor, The Principles and Practice of Galvanic Cathodic Protection for Reinforced Concrete Structures Technical Note 6, G Sergi, J Broomfield and N Davison)

2.5 Katodna zaštita

Katodna zaštita podrazumeva da se u sistem uvodi namenska veštačka anoda. Jednosmerna struja se prenosi sa veštačke anode kroz elektrolit - beton na armaturni čelik koji treba da se zaštiti. Struja prolazi kao tok jona kroz vodu u porama betona do armature. Efekti struje katodne zaštite su:

- odbija sve hloridne jone od površine čelika;
- stvara hidroksilne jone koji popravljaju bilo kakvo oštećenje zaštitnog sloja pasivnog oksida na čeliku i povećavaju alkalnost u betonu na površini čelika;
- smanjuje potencijal anodnih (korodirajućih) oblasti na čeliku tako da struja više ne teče iz njih i korozijska prestaje;

Sistemi katodne zaštite se dele na:

- Sistem katodne zaštite sa nametnutom strujom i
- Sistem katodne zaštite sa galvanskim anodama.

Princip delovanja je isti, ali se razlikuju namenske anode koje koriste, oblast primene i magnitude zaštitne struje. Katodna zaštita sa nametnutom strujom je prvi put isprobana na armirano-betonskom mostu kasnih 1950-ih u SAD. Sada se primenjuje na milionima kvadratnih metara betonske površine širom sveta. Galvanska katodna zaštita je prvi put primenjena na armiranom betonu 1990-ih na Floridi, SAD.

2.5.1 Sistem katodne zaštite sa nametnutom strujom

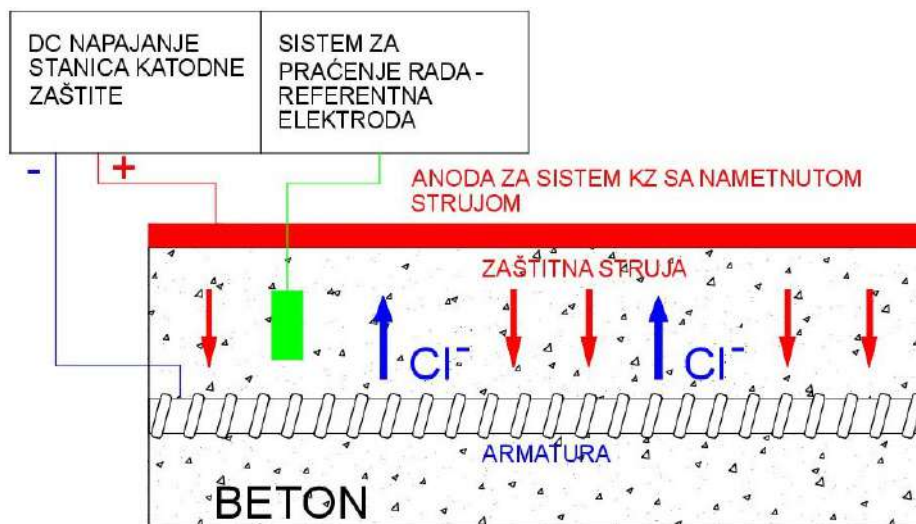
Katodna zaštita sa nametnutom strujom se bazira na izvoru jednosmerne struje koji obezbeđuje zaštitnu struju od namenske anode kroz elektrolit (vodu u porama betona) ka zaštićenoj metalnoj površini, da bi se promenio smer električnih struja povezanih sa procesom korozije. Anoda mora biti raspoređena po području koje treba zaštititi. Materijal za anode mora biti dovoljno robusan da izdrži hemijske reakcije i uslove eksploatacije. Postoji više tipova anoda koji mogu da se koriste u zavisnosti od konkretne strukture, uslova eksploatacije i dužine radnog veka.

Na raspolaganju su prvenstveno četiri osnovna tipa anodnih sistema, a to su:

- Provodni premazi;
- MMO titanijumska anoda u formi mreže ili trake;
- Provodni cementni sloj;
- Diskretne anode.

Pre nego što se instalira sistem katodne zaštite sa nametnutom strujom, potrebno je uzeti u obzir sledeće faktore za projektovanje:

- Obim oštećenja betona i prirodu i obim prethodnih popravki;
- Rezultate istraživanja: dubinu karbonizacije i profil hloridnih jona;
- Debljinu zaštitnog sloja betona;
- Električnu otpornost betona i postojećih popravki;
- Raspored armature i površinu iste;
- Električni kontinuitet armature;
- Metalne elementi i čelične konstrukcije u kontaktu sa betonom šticeog objekta;
- Moguću lokaciju za sistem električnih kablova;
- Dodatnu nosivost konstrukcije;
- Prisustvo čelika za prednaprezanje radi izbegavanja ili kontrole rizika od vodonične krtosti.



Slika 5. Model sistema katodne zaštite sa nametnutom strujom;
Source: (Izvor, TECHART katalog)

Sistemi katodne zaštite sa nametnutom strujom zahtevaju praćenje rada, obično u intervalima od šest meseci. Upotreba referentnih elektroda ugrađenih u beton omogućava daljinsko praćenje i kontrolu, bilo na stanici katodne zaštite ili daljinski.

Korisni efekti katodne zaštite sa nametnutom strujom su:

PRIMARNI

- Negativna polarizacija čelika (električni potencijal je postao negativniji u odnosu na vrednost pre nametanja zaštitne struje);
- Sve lokalno generisane korozione ćelije su nadjačane;

SEKUNDARNI

- Uklanjanje hloridnih jona putem jonske migracije;
- Povećanje koncentracije hidrosilnih jona na čeličnoj armaturi i povećanje pH okolnog betona;

2.5.2 Sistem katodne zaštite sa galvanskim anodama

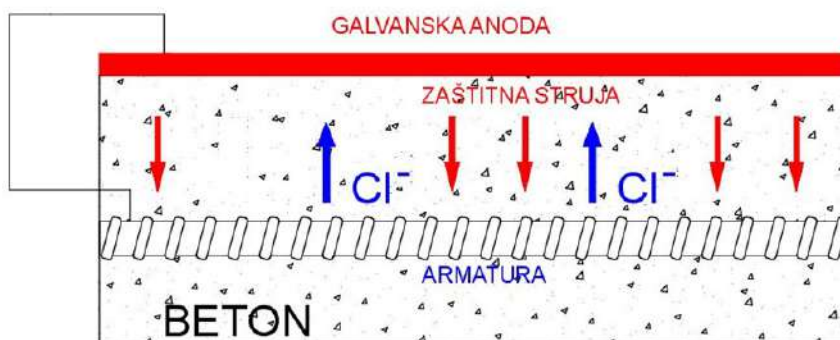
Sistem se sastoji od anode na bazi legure cinka koja je u električnom kontaktu sa armaturom. Usled prirodne razlike potencijala između cinka i čelika, struja samostalno teče od galvanske anode ka čeliku i izaziva sledećenje efekte:

- Negativnu polarizaciju čelika;
- Odbijanje jona hlorida od čelika;
- Realkalizaciju betona oko armature.

Postoji više tipova galvanskih anoda za atmosferski izložene betonske konstrukcije, poput:

- Termički prskani cink ili aluminijum-cink-indijum;
- Cink u specijalno formulisanim malterima;
- Legure cinka u obliku mrežice, fiksirane na beton i prekrivene malterom;
- Legura cinka u formi tankog lima pričvršćena za konstrukciju provodljivim lepkom;
- Diskretne cinkane anode ugrađene u masu betona.

Galvanske anode korodiraju jer su elektronegativnije od čelika. Princip rada je sličan pocinkovanju čelične konstrukcije. Kako ne postoji napajanje električnom energijom, ne postoji način kontrole ili podešavanja sistema galvanske katodne zaštite, osim dodavanjem više anoda. Galvanska katodna zaštita je stoga jednostavnija od katodne zaštite sa nametnutom strujom, ali daje niži nivo kontrole korozije, manje zaštitne struje i ima kraći radni vek.

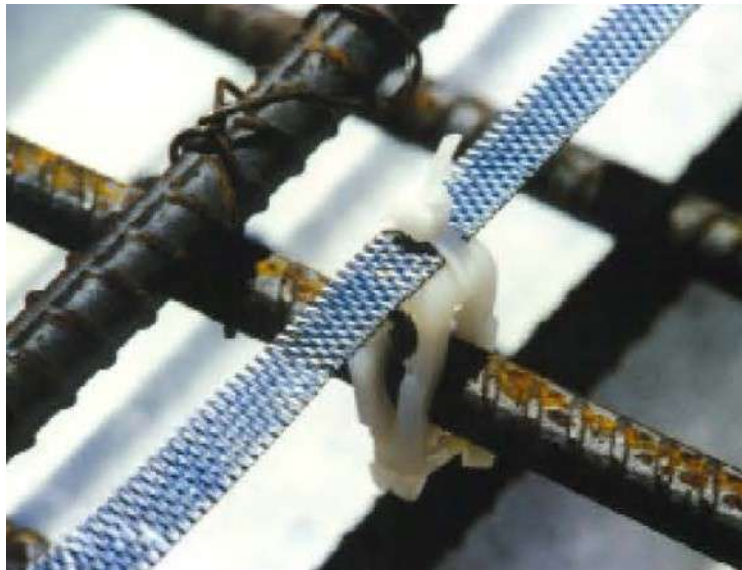


Slika 6 – Model sistema katodne zaštite sa galvanskim anodama
Source: (Izvor, TECHART katalog)

2.6 Primena katodne zaštite na nove konstrukcije u fazi izgradnje

Katodna zaštita novih armiranobetonskih konstrukcija (koja se ponekad naziva i katodna prevencija, jer je to metoda koja se koristi za sprečavanje nastanka korozije) se koristi u korozivnim sredinama, kao i za konstrukcije u manje korozivnim sredinama, ali gde su dugovečnost i garantovana izdržljivost od posebne važnosti. Korozivne sredine se obično definišu kao one u kojima armirani beton može biti izložen rutinskom izlaganju hloridima tokom radnog veka konstrukcije, na primer, morske konstrukcije, konstrukcije autoputa ili tunela podvrgnute solima za odleđivanje i konstrukcije posebne industrijske primene. Katodna zaštita može sprečiti koroziju armature na svim nivoima kontaminacije hloridima, čineći tako armiranobetonske konstrukcije trajnim u agresivnom okruženju za relativno dug životni vek (obično preko 100 godina). Katodna zaštita primenjena na armiranobetonske elemente pre početka korozije zahteva približno jednu desetinu energije za sprečavanje korozije od one potrebne za zaustavljanje i sprečavanje korozije nakon što je korozija započela. Tako, sistemi katodne zaštite za nove konstrukcije predstavljaju niže troškove instalacije i rada, koriste manje materijala zbog niže potrebne zaštitne struje i ekološki su prihvatljiviji u poređenju sa popravkama oštećenja betona ili naknadno ugrađenom katodnom zaštitom tokom radnog veka konstrukcije.

Troškovi katodne zaštite pri izgradnji objekta su u proseku reda veličine oko 5% objekta koji se štiti. Cena zavisi od veličine štice betonske površine. Generalno manja je cena po m² površine koja se štiti ako je ukupna štice površina veća jer se troškovi stanice katodne zaštite raspodeljuju na veću površinu. Pri proceni troškova treba imati u vidu da se može uraditi optimizacija troškova, odnosno odabir površina betona koje su više ugrožene korozijom. U tom slučaju katodna zaštita se primenjuje samo na odabrane površine betonske konstrukcije što utiče na smanjenje ukupnog troška.



Slika 7 – MMO trakasta anoda postavljena na armaturu za sistem KZ sa nametnutom strujom pre ugradnje betona
Source: (Izvor, CPCL katalog)

2.7 Zahtevi za ugradnju katodne zaštite

Katodna zaštita zahteva da armatura (tj. katoda) bude električno povezana tj. kontinualna, što se postiže pomoću veznih žica neophodnih za konstrukciju armaturnog kaveza, a gde je to prikladno, one se mogu dopuniti zavarenim spojevima. Obezbeđivanje odgovarajućeg električnog kontinuiteta može se lako proveriti pre postavljanja betona. Najčešći oblik anode koji se koristi za novogradnju izloženu atmosferi su titanijumske trake obložene metalnim oksidom (MMO). One se ugrađuju u zaštitni sloj betona pomoću nemetalnih pričvršćenja. Da bi se sprečili kratki spojevi, važno je osigurati da trake ostanu električno izolovane od armature tokom ugradnje i postavljanja betona. Razvijene su standardne metode fiksiranja koje su omogućile da se na ovaj način ugradi više hiljada kilometara anodnih traka. Anode, kablovi i referentne elektrode se postavljaju na armaturu pre izlivanja betona. Posle proveravanja spojeva, vrši se ugradnja betona. Neophodno je obezbediti da tipovi izolacije kablova, materijal anode i sve pomoćne komponente imaju potreban projektni vek. Ubrzane metode ispitivanja, na primer NACE TM 02945, dostupne su da bi se demonstrirao životni vek anodnih materijala. Kablovi se obično završavaju u razvodnim kutijama na površini betona. Sistemi katodne zaštite obično imaju automatsko upravljanje, daljinski nadzor i kontrolu.

2.8 Ispitivanje korozije postojećih betonskih konstrukcija

Ispitivanje korozije na betonskim konstrukcijama se sve više koristi za praćenje degradacije objekta, kao i za definisanje područja kojima je potrebna popravka. Korozija armature počinje kao lokalizovan problem. Utvrđivanje rizika od korozije ne može se postići samo nasumičnim uzorkovanjem hlorida i vizuelnim/delaminacionim pregledima. Testiranje treba da bude pravilno planirano od strane kompetentnih stručnjaka i prilagođeno specifičnim potrebama svake strukture.

Početni uzrok korozije je obično rezultat niza međusobno povezanih promenljivih:

- promene u permeabilnosti betona uzrokovane lokalnim razlikama u sastavu, zbijanju i očvršćavanju;
- greške u konstrukciji koje dovode do područja sa tankim betonskim slojem preko armature;
- varijacije u okruženju;

što dovodi do područja sa povišenim sadržajem hloridnih jona ili velikom dubinom karbonizacije. Prvi slučajevi iniciranja korozije često će biti u oblastima gde se na određenom elementu poklapaju propusni beton, tanak zaštitni sloj betona i teži uslovi sa aspekta uticaja okoline. Takođe, često postoji kašnjenje od nekoliko godina između trenutka ugrađivanja čelika koji postaje korozivno aktivan i razvoja korozije koja dovodi do vidljivih oštećenja.

Konstrukcije se često mogu podeliti na različite kategorije izloženosti i ugroženosti od korozije. Na primeru mosta se razlikuju zone koje su izložene kvašenju i hloridima iz soli za odmrzavanje (dilekacije, poluspojevi, drenaža i dr.) i površine koje su zaštićene oblikom mosta od padavina te su izložene samo karbonizaciji.

Cilj sveobuhvatnog ispitivanja korozije treba da bude razumevanje mehanizma korozije, utvrđivanje rizika i razvoj strategije popravke i održavanja koja obezbeđuje najbolje tehničko i komercijalno rešenje za konstrukciju.

Najčešće korišćene metode za utvrđivanje rizika od korozije su:

1. Vizuelni pregled;
2. Ispitivanje delaminacija betona;
3. Merenje električnog potencijala i mapiranje.

Nalazi 1, 2 i 3 treba da se koriste za odabir reprezentativnih lokacija za:

- Detaljno merenje i mapiranje električnog potencijala;
- Izradu profila hloriga;
- Ispitivanje dubine karbonizacije;
- Praćenje brzine korozije;
- Ispitivanje električne otpornosti betona.

2.9 Katodna zaštita za postojeće konstrukcije

Katodna zaštita se može ugraditi i na postojećim objektima. Primenom katodne zaštite korozija se zaustavlja i poprečni presek armature se više neće smanjivati. Obično se katodna zaštita ugrađuje u okviru rekonstrukcije i popravki armirano betonskih konstrukcija. Neophodno je izvršiti poveru i omogućiti električni kontinuitet armature. U zavisnosti od odabranog tipa anoda vrši se priprema površine betona ili se prosecaju kanali za trakaste anode ili se buše rupe za diskretne anode;



Slika 8 - MMO trakasta anoda postavljena u posečen žljeb pre ugradnje maltera
Source: (Izvor, <https://www.vector-corrosion.com/lida-mmo-titanium-anodes>)



Slika 9 - Izgled zida posle ugradnje distribuiranih diskretnih anoda
Source: (Izvor, *The Principles and Practice of Galvanic Cathodic Protection for Reinforced Concrete Structures Technical Note 6*, G Sergi, J Broomfield and N Davison)

Troškovi primene katodne zaštite na postojećim objektima gde je korozija već prisutna su veći nego u slučaju kada se katodna zaštita postavi pri izgradnji objekta. Razlog je veća potreba za zaštitnom strujom što iziskuje veće količine materijala katodne zaštite a i usled pratećih troškova za građevinske radove i izradu pristupa konstrukciji. Prateći građevinski radovi obuhvataju uklanjanje odvojenog betona, pripremu betonske površine, postavljanje skela, ugradnju novog betona, itd. Racionalno je ugraditi sistem katodne zaštite prilikom rekonstrukcije objekta. Primer troškova katodne zaštite mosta se može videti u literaturi: [5] Case Study - Utilization of Cathodic Protection to Extend the Service Life of Reinforced Concrete Bridges – An Overview of the Installation and Maintenance of the Cathodic Protection Systems Protecting the Howard Frankland and Crescent Beach Bridges FHWA-HIF-22-004: <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/preservation/docs/hif22004.pdf>

3. ZAKLJUČAK

Većina armiranobetonskih konstrukcija pokazuje odličnu izdržljivost i dobre performanse tokom svog projektnog veka, međutim agresivno okruženje ili loša građevinska izvedba mogu dovesti do korozije armaturnog čelika u betonu.

Glavni mehanizmi za koroziju su ulazak ugljen-dioksida iz atmosfere (karbonizacija) i napad hlorida od ulivenih ili difuznih hlorida. Obzirom da se saobraćajnice tretiraju solju protiv zamrzavanja i izložene su povećanom zagađenju atmosfere, kao takve su posebno ugrožene od korozije.

Najčeći uzrok oštećenja betona je korozija armature, tj. porast zapremine korozionih naslaga usled stvaranja oksida gvožđa armature što stvara sile dovoljne za pucanje betona. Mehanizmi korozije i propadanja su u suštini isti i za karbonizaciju i za napad hloridima.

Primena katodne zaštite je najefikasnija metoda za sprečavanje i zaustavljanje korozije armature bez obzira na prisustvo vlage, karbonizacije, jona hlorida. Katodna zaštita se može primeniti na nove i na postojeće konstrukcije. Katodna zaštita sprečava koroziju dok god je ispunjen kriterijum standarda SRPS EN ISO 12696. Primenom katodne zaštite radni vek konstrukcije se višestruko produžava, a troškovi održavanja se smanjuju jer nema više oštećenja betona i posledičnih popravki. Primenom katodne zaštite se čuva životna sredina jer se čuvaju resursi inače potrebni za popravke betona i sprečava se zagađenje koje se stvara pri popravkama;

Zahvale

Zahvaljujemo se kompaniji TECHART doo na pomoći pri izradi ovog rada.

Literatura

- [1] John Drewett and John Broomfield 2018. An Introduction to Electrochemical Rehabilitation Techniques Technical Note 2. UK.
- [2] G Sergi, J Broomfield and N Davison 2018. The Principles and Practice of Galvanic Cathodic Protection for Reinforced Concrete Structures. Technical Note 6. UK.
- [3] Chris Atkins 2018. Cathodic Protection of Prestressed Concrete Technical Note 21.UK.
- [4] NACE 2010. CP 4 - Cathodic protection specialist course manual. USA.
- [5] Case Study - Utilization of Cathodic Protection to Extend the Service Life of Reinforced Concrete Bridges – An Overview of the Installation and Maintenance of the Cathodic Protection Systems Protecting the Howard Frankland and Crescent Beach Bridges FHWA-HIF-22-004 <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/preservation/docs/hif22004.pdf>

LOKALNI UPRAVLJAČ PUTEVIMA

Đorđe Vranješ¹ Bojan Marić²

¹ Akademija tehničko umetničkih strukovnih studija Beograd, Odsek visoka železnička škola, Zdravka Čelara 14, 11000 Beograd, Srbija, email djordje.vranjes@vzs.edu.rs

² Univerzitet Istočno Sarajevo, Saobraćajni fakultet Doboj, Republika Srpska (BiH), Vojvode Mišića 52, Doboj, email bojan.marić@sf.ues.rs.ba

Rezime: Na osnovu iskustava u radu od početka primene novog Zakona o putevima u Republici Srbiji, autori u ovom radu prikazuju prednosti i nedostatke u radu lokalnih upravljača putevima u opština i gradovima. Autori su pokušali da sumiraju najbolju praksu i da ukažu donosiocima odluka na značaj formiranja lokalnog upravljača puta i mogućnostima za efikasan rad i upravljanje u funkciji unapređenje bezbednosti saobraćaja na putevima.

Ključne reči: Upravljač putevima, lokalne samouprave, bezbednost saobraćaja.

LOCAL ROAD SAFETY MANAGER

Đorđe Vranješ¹ Bojan Marić²

¹ Academy of Technical and Artistic Vocational Studies Belgrade, Department of Higher Railway School, Zdravka Čelara 14, 11000 Belgrade, Serbia, email djordje.vranjes@vzs.edu.rs

² University of East Sarajevo, Faculty of Transport and Traffic Engineering Doboj, Republika Srpska (BiH), Vojvode Mišića 52, Doboj, email bojan.marić@sf.ues.rs.ba

Abstract: Based on the experience in the work since the beginning of the implementation of the new Law on Roads in the Republic of Serbia, the authors in this paper present the advantages and disadvantages of local road managers in municipalities and cities. The authors tried to summarize the best practice and to point out to the decision makers the importance of forming a local road manager and the possibilities for efficient work and management in the function of improving traffic safety on the roads.

Keywords: Road manager, local governments, traffic safety.

1. UVOD

Brojna istraživanja pokazala su, takođe, značajan uticaj puta, samostalno ili u sprezi sa drugim faktorima, na nastanak saobraćajnih nezgoda i njihovih posledica. Procenjuje se da su uticajni faktori koji se odnose na put i okolinu puta, u sadejstvu sa čovekom i vozilom, zastupljeni u svakoj trećoj saobraćajnoj nezgodi (34%), (PIARC, 2003).

U Republici Srbiji grupa uticajnih faktora puta i putne okoline 2016. godine je bio zastupljen u svakoj petoj saobraćajnoj nezgodi sa poginulim licima. Veliki uticaj puta na nastanak saobraćajnih nezgoda se ogleda u činjenici da put i njegova okolina utiču i na vozača i na vozilo. Detaljnom analizom ovih podataka, uporedno sa drugim podacima o saobraćajnim nezgodama, mogu se uočiti važne činjenice o uticaju puta na nastanak saobraćajnih nezgoda i u skladu sa tim planirati mere za unapređenje pozitivnog uticaja puta i njegove okoline na bezbednost saobraćaja.

Brojni elementi puta mogu se analizirati kao značajni za bezbednost saobraćaja. Pojedini elementi puta mogu imati uticaja na nastanak saobraćajnih nezgoda, kada govorimo o uticaju puta na aktivnu bezbednost saobraćaja. Sa druge strane, određeni elementi puta utiču na veličinu posledica saobraćajnih nezgoda koje su se dogodile, u kom slučaju govorimo o uticaju puta na pasivnu bezbednost saobraćaja.

Kada se govori o putu kao faktoru bezbednosti saobraćaja, posebno se mogu izdvojiti sledeće karakteristike koje su značajne za bezbednost saobraćaja:

- Vrsta puta – različite kategorije puteva mogu se razlikovati prema režimu saobraćaja, strukturi učesnika u saobraćaju, brzini kretanja, tehničko-tehnološkim karakteristikama,

¹ Đorđe Vranješ, zadužen za korespondenciju: email: djordje.vranjes@vzs.edu.rs

strukturi i učestalosti konflikata u saobraćaju, i sl.;

- Trasa / geometrija puta – radijus krivina, nagibi, promene radijusa krivina i nagiba kolovoza, poprečni profil puta;
- Prosečan broj priključnih puteva (raskrsnica) – broj konflikata koji se mogu realizovati u nezgodu;
- Stanje kolovoza – atmosferski uslovi na kolovozu (mokar i prljav kolovoz, sneg, led).

O uticaju pojedinih elemenata puta na bezbednost saobraćaja najbolje govori istraživanja koja su pokazala značajno očekivano smanjenje saobraćajnih nezgoda, kao rezultat sprovedene provere bezbednosti saobraćaja (puta) i primenjenih mera (PIARC, 2007):

- korekcija neispravnih saobraćajnih znakova (smanjenje od 5 – 10%),
- postavljanje zaštitnih ograda duž nasipa (smanjenje od 40 – 50%),
- obezbeđivanje „čistih“ zona pored puta (smanjenje od 10 – 40%),
- uklanjanje prepreka koje ometaju preglednost (smanjenje do 5%).

Prepoznajući put kao faktor koji značajno može doprineti prevenciji saobraćajnih nezgoda i smanjenju težine njihovih posledica, razvijene države su odavno u svoju praksu uvele sprovođenje različitih savremenih procedura unapređenja bezbednosti puta. Savremene procedure imaju za cilj da spreče nastanak saobraćajnih nezgoda i njihovih posledica i po pravilu se sprovode bez „čekanja“ da dođe do nastanka saobraćajnih nezgoda. Savremene procedure pre svega analiziraju bezbednosne karakteristike puteva i njihov uticaj na bezbednost saobraćaja na posmatranoj deonici puta.

Zakonom o putevima (u daljem tekstu; Zakon) definiše se da je upravljač javnog puta je javno preduzeće, privredno društvo i drugi oblici organizovanja koji u skladu sa zakonom kojim se uređuje položaj javnih preduzeća mogu da obavljaju delatnost od opšteg interesa.

Upravljanje javnim putevima je delatnost od opšteg interesa. Upravljanje javnim putevima obuhvata:

- 1) planiranje, projektovanje, izgradnju, rekonstrukciju, održavanje i zaštitu javnog puta;
- 2) vršenje investitorske funkcije na projektovanju, izgradnji, održavanju i rekonstrukciji javnog puta;
- 3) organizovanje i obavljanje stručnih poslova na projektovanju, izgradnji, rekonstrukciji, održavanju i zaštiti javnog puta;
- 4) ustupanje radova na projektovanju, izgradnji, održavanju, rekonstrukciji i stručnom nadzoru javnog puta;
- 5) organizovanje stručnog nadzora nad izgradnjom, rekonstrukcijom, održavanjem i zaštitom javnog puta;
- 6) organizovanje naplate i kontrolu naplate naknada za upotrebu javnog puta, vršenje javnih ovlašćenja;
- 7) praćenje stanja putne mreže;
- 8) zaštitu javnog puta;
- 9) označavanje javnog puta i vođenje evidencije o javnim putevima i o saobraćajno-tehničkim podacima za te puteve;
- 10) upravljanje saobraćajem i organizovanje i obavljanje brojanja vozila na javnom putu.

Delatnost upravljanja državnim putevima obavlja javno preduzeće, odnosno društvo kapitala čiji je jedini vlasnik Republika Srbija.

Delatnost upravljanja državnim putevima II reda, odnosno delovima državnih puteva II reda, koji se nalaze na teritoriji autonomne pokrajine, obavlja javno preduzeće, odnosno društvo kapitala čiji je jedini vlasnik autonomna pokrajina.

Delatnost upravljanja državnim putevima može da obavlja i drugo društvo kapitala, kome je nadležni organ poverio obavljanje delatnosti upravljanja državnim putevima, u skladu sa zakonom kojim se uređuje javno-privatno partnerstvo i koncesije.

U ovom radu fokus će biti usmeren na upravljače putevima u opštinama i gradovima u Republici Srbiji (u daljem tekstu: lokalni upravljači putevima).

Delatnost upravljanja opštinskim putevima, ulicama i nekategorisanim putevima, koji nisu deo državnog puta I i II reda, može da obavlja javno preduzeće, odnosno društvo kapitala čiji je jedini vlasnik jedinica lokalne samouprave, kao i drugo društvo kapitala i preduzetnik, kome je nadležni organ jedinice lokalne samouprave poverio obavljanje delatnosti upravljanja opštinskim putevima, ulicama i nekategorisanim putevima, u skladu sa zakonom kojim se uređuje javno-privatno partnerstvo i koncesije.

Javno preduzeće, društvo kapitala ili preduzetnik koji obavlja delatnost upravljanja javnim putevima iz člana 9. stav 2. ovog zakona je upravljač javnog puta.

Iz svega navedenog se može zaključiti da lokalni upravljač puteva ne mora biti isključivo javno preduzeće ili drugi oblik javnog sektora, već navedene poslove može obavljati i drugo privatno preduzeće koji dobije nadležnosti od lokalne skupštine opštine ili grada na čijoj teritoriji se sprovode aktivnosti u skladu sa Zakonom.

2. NADLEŽNOSTI LOKALNOG UPRAVLJAČA PUTEVIMA

Zakonom je definisano da se upravljaču javnog puta poverava se vršenje javnih ovlašćenja koja se odnose na:

1) izdavanje uslova za izradu tehničke dokumentacije za izgradnju i rekonstrukciju saobraćajnog priključka na javni put i donošenje rešenja investitoru o ispunjenosti izdatih uslova;

2) izdavanje uslova za izradu tehničke dokumentacije, odnosno za postavljanje linijskog infrastrukturnog objekta na javnom putu i zaštitnom pojasu javnog puta (železnička infrastruktura, elektroenergetski vod, naftovod, gasovod, objekat visinskog prevoza, linijska infrastruktura elektronskih komunikacija, vodovodna i kanalizaciona infrastruktura i dr.) i donošenje rešenja investitoru o ispunjenosti izdatih uslova;

3) izdavanje saglasnosti za održavanje sportske ili druge priredbe na javnom putu;

4) izdavanje dozvole za obavljanje vanrednog prevoza na javnom putu;

5) izdavanje dozvole za prekomerno korišćenje javnog puta;

6) izdavanje odobrenja za postavljanje reklamnih tabli i panoa;

7) izdavanje odobrenja za postavljanje uređaja za obaveštavanje ili oglašavanje na javnom putu;

8) izdavanje saglasnosti za preusmeravanje saobraćaja na javni put u slučaju obavljanja radova na izgradnji, rekonstrukciji, održavanju i zaštiti javnog puta.

Upravljaču državnog puta poverava se vršenje javnih ovlašćenja koja se odnose na izdavanje saglasnosti za izgradnju dodatnih elemenata državnog puta iz člana 84. stav 3. ovog zakona i izdavanje saglasnosti za izgradnju autobusnog stajališta iz člana 85. stav 2. ovog zakona.

Akti iz stava 1. tač. 4), 5), 6), 7) i 8) i stava 2. ovog člana izdaju se na osnovu prethodno izdatih saobraćajno-tehničkih uslova.

Upravljač javnog puta dužan je da odluči po zahtevu za:

1) izdavanje uslova za izradu tehničke dokumentacije iz stava 1. tač. 1) i 2) ovog člana u roku propisanom zakonom kojim se uređuje planiranje i izgradnja;

2) izdavanje saglasnosti, odnosno dozvole iz stava 1. tač. 3), 4) i 8) ovog člana, u roku od osam radnih dana od dana podnošenja zahteva;

3) izdavanje dozvole, odnosno odobrenja iz stava 1. tač. 5), 6) i 7) ovog člana, u roku od 30 dana od dana podnošenja zahteva.

Upravljač državnog puta dužan je da odluči po zahtevu za izdavanje saglasnosti za izgradnju dodatnih elemenata državnog puta iz člana 84. stav 3. ovog zakona i izdavanje saglasnosti za izgradnju autobusnog stajališta iz člana 85. stav 2. ovog zakona, u roku od 15 dana od dana podnošenja zahteva.

Protiv akta iz stava 1. ovog člana, može se izjaviti žalba Ministarstvu, odnosno organu autonomne pokrajine nadležnom za poslove saobraćaja, odnosno nadležnom organu jedinice lokalne samouprave, u roku od 15 dana od dana dostavljanja tog akta.

Upravljač javnog puta dužan je da o aktu donetom u vršenju javnih ovlašćenja vodi evidenciju koju ažurira na dnevnom nivou i objavljuje na svojoj internet stranici.

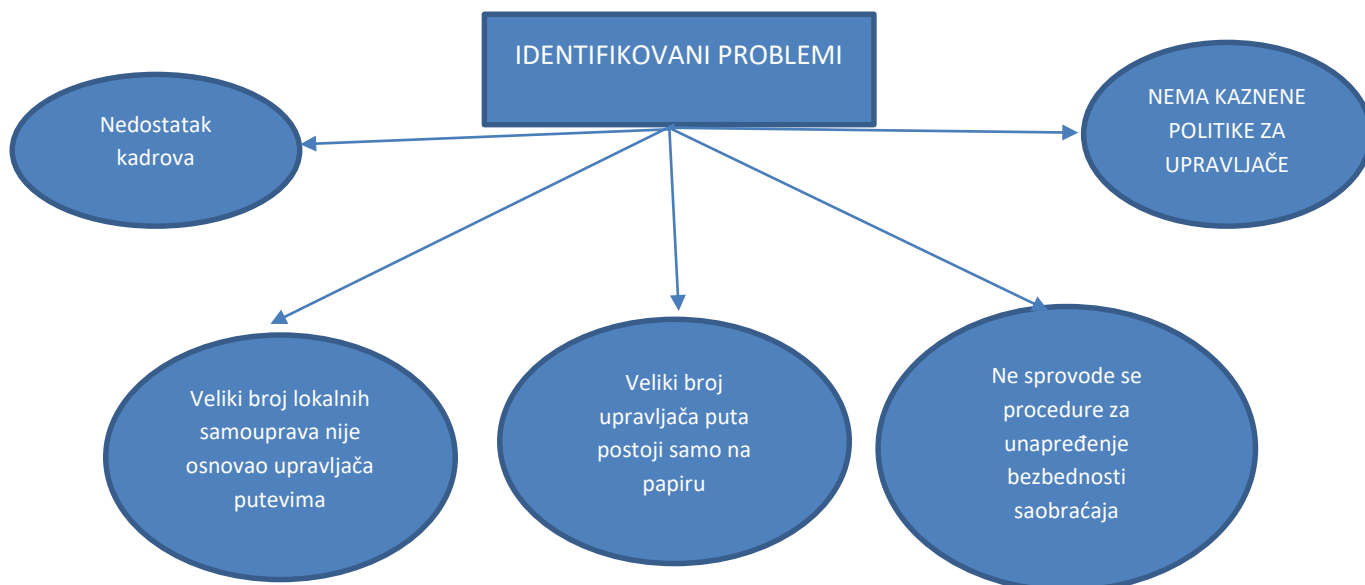
Ukoliko se rešenje iz stava 1. tač. 1) i 2) ovog člana izdaje investitoru koji je fizičko lice, evidencija sadrži ime, prezime i adresu investitora.

Evidencija o izdatim aktima iz stava 1. tač. 3)-8) ovog člana sadrži podatke o pravnom licu, odnosno preduzetniku (naziv i sedište pravnog lica, odnosno preduzetnika).

Sve nabrojane procedure i nadležnosti definisane Zakonom i podzakonskim aktima su u velikoj većini lokalnih samouprava samo pusto slovo na papiru. Radi se svakako o jako dobro definisanoj normativi, ali je problem u njenom sprovođenju zaista veoma veliki. U nastavku su prikazani neki od definisanih problema u dosadašnjem radu lokalnih upravljača putevima u Republici Srbiji.

2.1. Problemi u vezi sa uspostavljanjem i funkcionisanjem lokalnih upravljača putevima

Od kako je stupio na snagu novi Zakon od 2018. godine i kako su doneti određeni podzakonski akti, vremenom su se u prasi iskristalisali problemi koji su sistematski prikazani na slici br. 1.



Slika 1. Uočeni nedostaci u radu lokalnih upravljača putevima

2.1.1. Nedostatak kadrova

Najveći problem sa kojim se suočavaju lokalni upravljači puteva je nedostatak odgovarajuće kadrovske strukture. Tu se na prvom mestu misli da lokalne samouprave imaju jako mali broj saobraćajnih i građevinskih inženjera koji bi po prirodi posla trebalo da obavljaju poverene poslove. To se odnosi na nedostatak odgovarajućeg kadra koji bi organizovao dosledno sprovođenje odredbi Zakona, kao i drugih alata i procedura koje su od značaja za unapređenje bezbednosti na lokalnim putevima. Kao ključan razlog za nedostatak kadrova navode se veoma mala finansijska sredstva koja se odvajaju za zarade zaposlenih u ovoj instituciji.

2.1.2. Nedostatak osnivanja upravljača puta kao institucije

Veliki broj lokalnih samouprava uopšte nije osnovao upravljača puta, niti je bilo kome poverio vršenje navedenih poslova. Odlukama skupštine opštine/grada trebalo bi da se osnuje upravljač puta ili da se ovlašćenja za upravljanje putevima povere određenom lokalnom preduzeću koje bi imalo kapaciteta da sprovodi zakonske odredbe u segmentu upravljanja putevima i unapređenja bezbednosti saobraćaja. Razlog neosnivanja navedenog subjekta može se poistovetiti sa nedostatkom jasne slike o ulozi upravljača puta i njegovim mogućnostima u radu u lokalnim samoupravama u Republici Srbiji.

2.1.3. Upravljač puta samo na papiru

Pojedine lokalne samouprave u Republici Srbiji donele su i usvojile akte u vezi sa uspostavljanjem i radom upravljača putevima, ali njegov rad nikada nije zaživeo. Ovo se posebno može videti u segmentu izdavanja tehničkih uslova u procedurama za ishodovanje lokalcijskim uslova ili građevinskih dozvola, gde lokalne samouprave ne pribavljaju tehničke uslove od imaoca javnog ovlašćenja u segmentu upravljanja putevima.

2.1.4. Ne sprovode se procedure za unapređenje bezbednosti na putevima

Savremene procedure za unapređenje bezbednosti putne infrastrukture u skladu sa Zakonom su:

- Procena uticaja puta na bezbednost saobraćaja ("Road Safety Impact Assessment")
- Revizija bezbednosti saobraćaja (puta) ("Road Safety Audit"),
- Provera bezbednosti saobraćaja (puta) ("Road Safety Inspection"),
- Mapiranje rizika ("Risk Mapping"),
- Identifikacija i rangiranje opasnih mesta (crne tačke),
- Nezavisna ocena uticaja puta na saobraćajne nezgode sa poginulim licima.

Kod velike većine lokalnih upravljača puta navedene procedure se uopšte ne sprovode. Kao ključni razlog za to navodi se nedostatak finansijskih sredstava i odsustvo kaznene politike u pogledu odgovornosti za nesprovođenje svih obaveznih alata.

2.1.5. Nedostatak kaznene politike prema lokalnim upravljačima puteva

Neki od problema bezbednosti saobraćaja u Republici Srbiji u vezi sa bezbednošću puteva, koji su prepoznati Strategijom, podrazumevaju neprimenjivanje i kršenje propisa u oblasti bezbednosti puteva, nesprovođenje propisanih procedura i alata za unapređenje bezbednosti puta, neprepoznavanje puta kao uzroka saobraćajnih nezgoda, nelegalne priključke na javne puteve, nekvalitetno održavanje puteva, i sl.

Nadležni inspektor jedinice lokalne samouprave, u vršenju poslova inspekcijskog nadzora nad primenom propisa kojima se uređuje zaštita opštinskih puteva i ulica, ima prava, dužnosti i ovlašćenja republičkog inspektora za državne puteve utvrđenih ovim zakonom.

U veoma malom broju slučajeva su u dosadašnjoj praksi u Republici Srbiji bili pokrenuti postupci u vezi sa odgovornostima lokalnih upravljača putevima za nesprovođenje zakonom propisanih poslova. Kaznene odredbe su jasno definisane, ali se i ovde javlja nedostatak inspektora za puteve u opštinama/gradovima koji bi vršili nadzor nad primenom istih. Svakako da bi jasnija i doslednija represivna politika dala veoma bolje rezultate u radu lokalnih upravljača putevima.

3. ZAKLJUČAK I PREDLOG MERA ZA UNAPREĐENJE

Na osnovu prikazanog u dosadašnjem radu, može se zaključiti da uloga i značaj lokalnih upravljača putevima još uvek nije jasno iskristalisana u opština i gradovima u Republici Srbiji. U vezi sa tim, obrazloženi su identifikovani problemi koji su se do sada iskristalisali u doslednoj primeni novog zakona.

Najveći problemi u primeni odredaba novog zakona kriju se u segmentima prolaska državnog puta kroz naselja i pojma "dodir državnog i opštinskog puta". Lokalne samouprave nemaju jasnu sliku o njihovim nadležnostima po pitanju prolaska državnog puta kroz naselje i obavezama u vezi sa održavanjem puteva i saobraćajne signalizacije. U njihovom radu često se kao izgovor koristi "mi nismo nadležni za državne puteve", a nemaju ni jasnu sliku ni predstavu o obavezama koje imaju kod državnih puteva u naselju i van naselja.

Zakonom o bezbednosti saobraćaja na putevima u članu 157. stav.2 definisano je da na delu puta gde dolaze u dodir državni i opštinski putevi, odnosno ulice u naselju, organ jedinice lokalne samouprave je dužan da, prilikom tehničkog regulisanja saobraćaja iz svoje nadležnosti, odluku uskladi sa načinom tehničkog regulisanja saobraćaja na državnom putu. Termin "dodir" nigde u normativima nije jasno definisan i ne može se zaključiti koliki je njegov obuhvat. Iz toga proizilazi da lokalne samouprave nemaju jasnu granicu njihove

nadležnosti kod ovakvih slučajeva. Potrebno je da u budućim izmenama i dopunama odredbi Zakona bude detaljnije pojašnjen termin dodir puteva i njegov obuhvat.

Konačno, jako je bitna svakodnevna saradnja lokalnog i državnog upravljača putevima. Ovo se posebno misli u segment deonice državnih puteva koji prolaze kroz naselja. U praksi se javlja niz nejasnoća kod lokalnih samouprava po pitanju nadležnosti za izdavanje tehničkih uslova za priključenje na saobraćajnice, tehničkih uslova i odobrenja za postavljanje reklamnih table i panoa pored državnog puta u naselju i sl. Zbog toga je potrebno u velikoj meri raditi na stručnom usavršavanju kadrova koji rade u lokalnim upravljačima puteva i publikovati najbolja iskustva iz prakse kako bi to bilo dostupno svim lokalnim samoupravama.

Zakonom o naknadama za korišćenje javnih dobara definisane su vrste i visina naknada koje lokalni upravljač puteva može da naplaćuje. Lokalne samouprave su dužne da u skladu sa tim donesu odgovarajuće akte, a nadzorni odbor lokalnog upravljača putevima da usvoji procedure i cenovnik za pružanje usluga. Posle toga, upravljač puta ima dobru mogućnost da naplati i značajno prihoduje od sprovođenja predmetnih usluga. Međutim, u postojećoj praksi se naplate navedenih naknada minimalno ostvaruju, upravo iz nedostatka pune primene normative u lokalnim samoupravama.

Ključni predlozi za unapređenje postojeće prakse u radu lokalnih upravljača puta treba da obuhvate sledeće segmente:

- Da se lokalne samouprave osnuju lokalne upravljače putevima,
- Da se donesu i usvoje svi predviđeni normativni akti za rad upravljača puta,
- Da se usvoje cenovnici za usluge upravljača puta,
- Da se zaposle odgovarajući kadrovi,
- Da se izvrši stručno usavršavanje radnika u lokalnim upravljačima putevima
- Da se vrši konstantna saradnja sa državnim upravljačem putevima,
- Da se publikuju najbolja iskustva i prakse u vezi sa radom lokalnih upravljača putevima u Republici Srbiji i dr.

Literatura

- [1] Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima (Sč glasnik RS br. 41/2009, 53/2010, 101/2011, 32/2013 - odluka US, 55/2014, 96/2015 - dr. zakon, 9/2016 - odluka US, 24/2018, 41/2018, 41/2018 - dr. zakon, 87/2018, 23/2019 i 128/2020 - dr. zakon)
- [2] Zakon o putevima ("Sl. glasnik RS", br. 41/2018 i 95/2018 - dr. zakon) <https://www.paragraf.rs/propisi/zakon-o-putevima.html 01.04.2022>. godine
- [3] Zakon o naknadama za korišćenje javnih dobara (Sl. glasnik RS", br. 95/2018, 49/2019, 86/2019 - usklađeni din. izn., 156/2020 - usklađeni din. izn. i 15/2021 - dop. usklađenih din. izn.
- [4] PIARC (2003) Road Accident Investigation Guidelines for Road Engineers.
- [5] PIARC (2007) Road Safety Handbook.
- [6] PRIRUČNIK ZA UNAPREĐENJE BEZBEDNOSTI PUTEVA SA PREDLOGOM MERA I MOGUĆNOSTIMA LOKALNOG UPRAVLJAČA PUTA I ZEMLJIŠTA ZA SMANJENJE UTICAJA PUTA I PUTNE OKOLINE NA NASTANAK SAOBRAĆAJNIH NEZGODA, Agencija za bezbednost saobraćaja Republike Srbije, Beograd, 2016.

PUTNO METEOROLOŠKI INFORMACIJSKI SISTEMI (PMIS) – NOVE RAZVOJNE MOGUĆNOSTI

Petar Dragić¹

¹ CGS Labs doo Braće Ribnikar 63A, 21000 Novi Sad Srbija, petar.dragic@cgs-labs.com

Alenka Šajn Slak

CGS Labs d.o.o. Brnčičeva ulica 13, 1000 Ljubljana Slovenija, alenka.sajn@cgs-labs.com

Borut Sila

CGS Labs d.o.o. Brnčičeva ulica 13, 1000 Ljubljana Slovenija, borut.sila@cgs-labs.com

Samo Čarman

CGS Labs d.o.o. Brnčičeva ulica 13, 1000 Ljubljana Slovenija, samo.carman@cgs-labs.com

Rezime: *Informacijski sistem za vremenske uslove na putevima (PMIS) koristi se dugi niz godina kao podrška obavljanju zimskog održavanja puteva. U radu su predstavljena iskustva iz Slovenije. Zimsko održavanje puteva danas se suočava sa dva izazova. S jedne strane, klimatske promene koje uzrokuju jače vremenske događaje na koje se službe za održavanje moraju unapred pripremiti, s druge strane nove tehnologije poput automatizovanih procesa, novih IoT senzora i mobilnih senzora, novih ICT mogućnosti, velikih podataka, veštačke inteligencije, koji menjaju način rada ovih službi i mogu pomoći zimskoj službi. Kroz rad biće predstavljen i koncept održive zimske službe na putevima.*

Ključne reči: *putno-meteorološki informacijski sistem (PMIS), putno-meteorološke stanice, sistem za podršku pri odlučivanju (MDSS), održiva zimska služba*

ROAD WEATHER INFORMATION SYSTEMS (RWIS) – NEW DEVELOPMENT OPPORTUNITIES

Petar Dragić¹

¹ CGS Labs doo Braće Ribnikar 63A, 21000 Novi Sad Serbia, petar.dragic@cgs-labs.com

Alenka Šajn Slak

CGS Labs d.o.o. Brnčičeva ulica 13, 1000 Ljubljana Slovenia, alenka.sajn@cgs-labs.com

Borut Sila

CGS Labs d.o.o. Brnčičeva ulica 13, 1000 Ljubljana Slovenia, borut.sila@cgs-labs.com

Samo Čarman

CGS Labs d.o.o. Brnčičeva ulica 13, 1000 Ljubljana Slovenia, samo.carman@cgs-labs.com

Abstract: *Road weather information system (RWIS) have been used to support road winter maintenance services in Slovenia for many years. Experiences are introduced in the paper. Road winter maintenance is nowadays facing two challenges. On the one hand, climate change, which brings about stronger weather events to which maintenance services must be prepared in advance, on the other hand, new technologies such as automated processes, new IoT sensors and mobile sensors, new ICT options, large data, artificial intelligence, that change the mode of operation of these services and can help the winter service. A concept of sustainable road winter service will be introduced as well.*

Keywords: *road weather information systems (RWIS), road weather station, maintenance decision support system (MDSS), sustainable winter service*

1. UVOD

Zbog klimatskih promena, čiji su uticaji sve vidljiviji, zime su postale ekstremnije i nepredvidive, što one koji upravljaju putevima vodi ili prisiljava na stalno prilagođavanje i menjanje svojih praksi. Poslednjih deset godina zime su često bile posebno oštre; korisnici puteva u mnogim regijama sveta bili su izloženi ekstremnijim vremenskim pojavama, koje su ponekad trajale dosta dugo. Zatvaranje puteva postalo je uobičajeno, broj nesreća uzrokovanih vremenom je česta pojava, čak je i so postala retka i cenjena roba. U takvim prilikama organizacija zimske službe složen je zadatak. U suprotnosti sa tim ponegde su se prilike promenile tako da zimi prevladavaju blaži vremenski uslovi; uobičajeno zamrznuta tla u severnim predelima se tope, područja stalne zaleđenosti se smanjuju, ređaju se ciklusi zamrzavanja i topljenja, temperature se kreću oko nule, a

¹ Autor zadužen za korespondenciju: petar.dragic@cgs-labs.com

upravljanje uslovima na poleđenim putevima je otežano. Za ublažavanje izmenjenih vremenskih pojava i njihovih posledica i uticaj na bezbednost puteva, potrebno je osiguravati pouzdane vremenske informacije i prognoze, unaprediti prakse povezane sa zimskim održavanjem puteva kao i povezane sa zakonodavstvom tj. propisima.

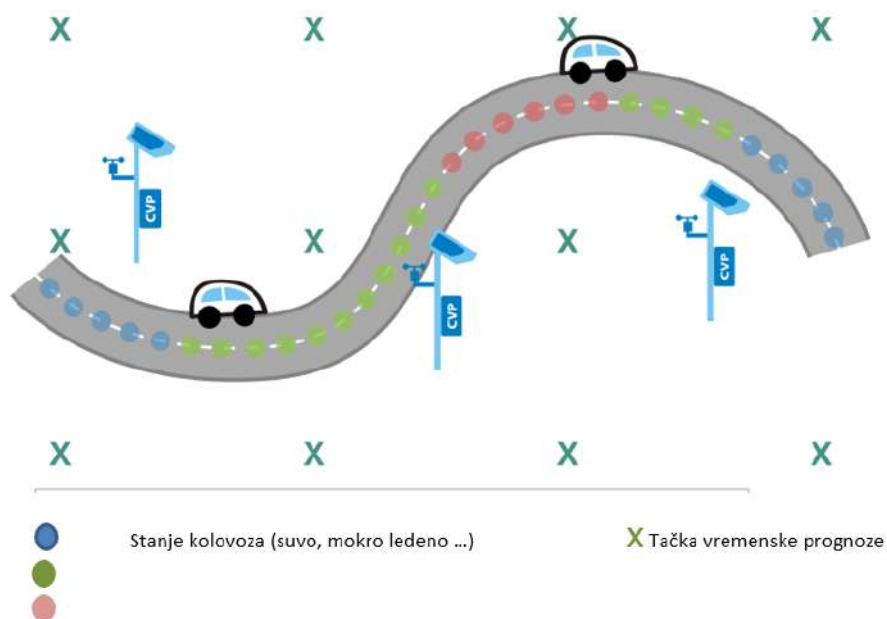
Zanimljivo je da se ti novi izazovi podudaraju sa razvojem novih tehnologija na području senzora i IT-a, što nam omogućava razvoj novih, ili unapređenih rešenja, koji pomažu kod donošenja odluka i sprovođenju zimskog održavanja.

2. STANJE TEHNOLOGIJE NA PODRUČJU PROGNOZE METEOROLOŠKOG STANJA KOLOVOZA

Zimske službe svuda po svetu kod svog odlučivanja koriste tzv. putno-meteorološke informacione sisteme (PMIS) koji daju uvid u trenutne i buduće vremenske prilike na putevima. Učinci korišćenja takvih sistema su povećana bezbednost na putevima i smanjenje troškova zimskog održavanja jer omogućavaju manju upotrebu materijala za posipanje, manje zagađenje okoline i bolju organizovanost zimske službe.

Putno-meteorološke stanice prate trenutno stanje kolovoza merenjem meteoroloških parametara. Najvažniji merač je putni senzor ugrađen u telo puta koji meri temperaturu asfalta (na površini i na različitim dubinama), debljinu vodenog filma i koncentraciju soli, daje temperaturu smrzavanja i stanje kolovoza. U upotrebi su i beskontaktni merači koji deluju pomoću IR svetlosti i mere temperaturu puteva i prijanjanje. Stanice su obično opremljene i meračima za merenje temperature i relativne vlažnosti vazduha, padavina, sunčevog zračenja i vetra. Moderni PMIS sistemi prikazuju merenja iz stanica, prikaze vremenske prognoze pa i specijalnu prognozu temperature i stanja kolovoza (suvo, mokro, zasneženo, zamrznuto...) do 12 sati unapred, a te vrednosti izračunava fizički energetsko-akumulacioni ili statistički model. Te prognoze nude informacije za službu održavanja puteva, a dragocene su kod donošenja odluka, pre svega odluke o preventivnom posipanju neposredno pre događaja (zbog čega se koristi manje soli nego za mere nakon padavina) te se omogućavaju značajne uštede i manji negativni uticaj na okolinu.

Opisane prognoze obično se daju za tačke putno-meteoroloških stanica, a profesionalni izazov je, kako uspostaviti specijalnu meteorološku prognozu temperature i stanja kolovoza po celoj mreži puteva linearno, tj. i u područjima između putno-meteoroloških stanica. U tu svrhu se služimo različitim ekstrapolacijskim i interpolacijskim metodama i termalnim mapiranjem. Linearne prognoze su potrebne zbog bitnih razlika u temperaturi asfalta usled različite geološke podloge, osunčanosti, uticaja gradova ili npr. šuma. Temperaturu različitu od kolovoza imaju i infrastrukturni objekti kao što su mostovi, podvožnjaci i nadvožnjaci, koji po zimi često predstavljaju kritičnu tačku na nekom delu puta. Profesionalni izazov je i validacija takvih linearnih prognoza (Murphy i Ruzanski, 2022).

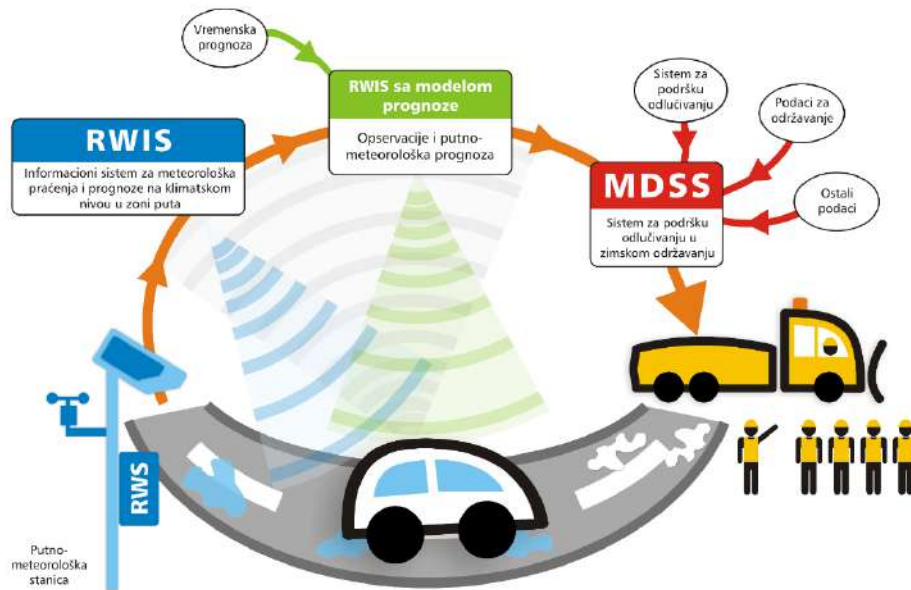


Slika 1. Linearna prognoza temperature i stanja kolovoza
Source: CGS Labs d.o.o.

Osim sistema PMIS, zahtevniji korisnici koriste i modul za pomoć kod odlučivanja MDSS (engl. maintenance decision support system) koji službama za održavanje predlaže mere (kad, gde, sa čim soliti), vrednuje ih i tako im pomaže kod važnih odluka u vezi zimskog održavanja puteva.

Studije ukazuju na to da već postojeći putno-meteorološki informacijski sistemi omogućavaju 30% uštedu u materijalima posipanja i 20% uštedu radnih sati, a neki čak govore o uštedama od 50% (DeVries, 2018.).

U Sjedinjenim Američkim Državama raspolažu sa najnaprednijim vremenskim sistemima, a u Evropi u vezi toga prednjače skandinavske zemlje.



Slika 2. Osnove Sistema PMIS/MDSS
Source: CGS Labs d.o.o.

3. PMIS I MDSS U SLOVENIJI

Vremenski sistem za puteve u Sloveniji implementiran je na autoputevima (DARS), državnim putevima (DRSI) i na nekim opštinskim putevima. Sistem je jedan od najnaprednijih u Evropi.

Ukupno je na slovenačkim putevima postavljeno oko 90 putno-meteoroloških stanica. Osim merenja sa tih stanica, u sistem je uključena i kratkoročna vremenska prognoza visoke rezolucije INCA te modeli prognoze ALADIN, a obe priprema nacionalna meteorološka služba ARSO. Prognozu temperature i stanje kolovoza proračunava model METRo (Crevier in Delage, 2001), kojeg smo na temelju višegodišnjih testiranja nadogradili. U osnovi, to je model koji se temelji na toplotno-bilansnoj jednačini energetskih tokova:

$$R=(1-\alpha)S+\epsilon I-\epsilon\sigma T_{s}^4-H-L_a \pm E \pm L_f \pm P+A,$$

gde je R energetski tok koji kolovoz dobije iznad površine, α je albedo, S je ugao upada sunčevih zraka, ϵ je emisivnost, I je ugao upada infracrvenog zračenja, σ je Stefan-Boltzmannova konstanta, T je temperatura kolovoza, H je tok osetne topline, L_a je isparavajuća toplota vode, E je tok isparavanja, L_f je toplota odmrzavanja vode, P je intenzitet padavina, a A antropogeni toplotni tok.

U sistemu DARS PMIS implementirali smo i linearnu prognozu temperature i stanja kolovoza (Kršmanc s sod., 2016.) sa rezolucijom 30 m koju smo prošle zime optimizovali.

Linearna prognoza visoke rezolucije predstavljala je temelj za izradu modula za upravljanje merama i vrednovanje njihove učinkovitosti. Modul automatski predlaže mere aktivnosti zimske službe (čišćenje/posipanje, količinu i vrstu materijala posipanja, početak i kraj mere, lokaciju, angažovanje vozila i vozača...) i predviđa njihov uticaj povezano sa izračunatom prognozom temperature i stanja kolovoza. Korisnici mogu mere menjati i povezivati, a i sami mogu predlagati svoje mere.

Sve mere i intervencije se arhiviraju pa je moguća njihova naknadna analiza. Korisnicima je na raspolaganju i jednostavan interfejs za komunikaciju sa ekipama za održavanje.

Kad se mera završi, modul izračunava analizu učinkovitosti (Jensen et al., 2013.) na svim putno-meteorološkim stanicama koje se nalaze na području provedene mere. Pri tome uzima u obzir: najveću brzinu vetra, najveću debljinu leda/snega/vodenog filma na kolovozu i najnižu temperaturu kolovoza. Namena proračuna je vrednovanje izvođenja mera posipanja i čišćenja na pojedinim delovima autoputa.

4. NOVE RAZVOJNE MOGUĆNOSTI

Profesionalni izazov sa kojim se susreću svi koji razvijaju PMIS/MDSS sisteme širom sveta je kako nakon izvedenog soljenja predvideti koncentraciju preostalog dela soli do 12 sati unapred i tu informaciju uzeti u obzir kod ponovne prognoze stanja kolovoza i kod predloga novih mera. Očigledno je naime, da su zbog odsutnosti te informacije sledeće prognoze stanja kolovoza manje precizne, službe održavanja izvode posipanje kad to više nije potrebno ili sole višom koncentracijom soli nego što je to potrebno.

Uvođenje disruptivnih tehnologija kao što su merenje mobilnim sensorima, IoT, veštačka inteligencija, velike baze podataka itd. u budućnosti će znatno poboljšati učinkovitost sistema PMIS i MDSS.

Na tržištu se već nude mobilni senzori za dinamičko merenje temperature i stanja kolovoza, a vodeći proizvođači su Lufft, Teconer i MetSense. Njihovo delovanje možemo predočiti kao termalno mapiranje u realnom vremenu. Svi koji razvijamo PMIS/MDSS sisteme razvijamo rešenja za istovremeni unos tih dinamičnih podataka u postojeće vremenske sisteme i za trenutno izračunavanje novih prognoza na temelju sadašnjih mobilnih merenja (dinamično linearno prognoziranje stanja kolovoza). Mobilni merači postavljaju se na vozila, najčešće su to nadzorna vozila zimske službe. A potrebno je osigurati dovoljno vremena za obilaske, te studije pokazuju da je vreme obilaska od 2 sata (ponavljanje merenja na istom mestu svaka dva sata) dovoljno za očitavanje promene temperature i stanja kolovoza, što već omogućava dovoljno brzo i učinkovito delovanje zimske službe (Haavasoja in Karki, 2018.). Cena takvih mobilnih merača je vrlo visoka tako da opremanje dovoljnog broja vozila takvim sensorima često predstavlja izazov. Mobilni senzori će ubuduće služiti i za verifikaciju povezanih prognoza temperature i stanja kolovoza i označavaće značajan napredak kod procene pouzdanosti prognoze.

Na tržištu se već pojavljuju prvi merači koji stanje kolovoza detektuju na većoj površini, npr. 2DRoad, stacionarna meteorološka kamera proizvođača MetSense AB, na površini 6X6 metara (Bogren J. s sod. 2018.). Dalji razvoj mora ići u smeru sniženja cena takvih merača jer se merenja trebaju izvoditi na što više mesta.

Inače se oni koji razvijaju proizvode u svetu bave i automatizacijom analize slika i polažu velike nade u tzv. „Image based winter road condition monitoring“ (Pan s sod., 2018; Namkoong, 2018.).

Uključivanje IoT senzora i merenja takođe će značajno uticati na razvoj PMIS/MDSS sistema. U svetu je izveden velik broj demonstrativnih projekata, tako da su u vremenske sisteme uključili podatke iz vozila, npr. podatke o radu brisača, podatke o brzini vozila, upotrebi ABS-a, paljenju maglenki, merenja temperature vanjskog vazduha... i potvrdili da ti podaci ili merenja mogu biti vrlo korisni za sisteme PMIS/MDSS (Coudert, 2018.). Međutim trenutne poteškoće kod upotrebe tih podataka su povezane sa dostupnošću ličnih podataka.

Veliki broj merenja i veliki broj podataka u vremenskim sistemima omogućava i upotrebu veštačke inteligencije i mašinskog učenja, pa i te nove mogućnosti utiču na optimizaciju pri odlučivanju u zimskoj službi.

5. RAZVOJ PMIS/MDSS ZA ODRŽIVU ZIMSKU SLUŽBU

Jak svetski trend je i briga za okolinu i sa tim povezana održiva zimska služba (Giloppé in Chambers, 2018.).

Zbog pritiska korisnika puteva, a i zbog pritužbi da kolovozi nisu bili odgovarajuće održavani, dolazi do preterane ili nepotrebne upotrebe materijala za posipanje što nije održiva praksa i ima ekološke i finansijske posledice.

Soljenje je za bezbednu vožnju u zimskim snežnim uslovima neophodno, a sa odvodnjavanjem vode so prodire u zemlju, te preko odvodnih jaraka može uticati na kvalitet tla, vode, a i na životinjski i biljni svet. Zato je soljenje potrebno pažljivo planirati.

Uvođenje održivosti kod zimske službe podrazumeva stvaranje ravnoteže između ekoloških, ekonomskih i društvenih potreba (DeVries, 2018.).

Saobraćaj, a posebno zastoji i čekanja u saobraćaju, takođe izuzetno zagađuju vazduh. Prema podacima Agencije Republike Slovenije za okolinu, emisije gasova sa efektom staklene bašte iz saobraćaja u Sloveniji do godine 2014. povećali su se za 166% u poređenju sa 1986. godinom. I u EU su se emisije tih gasova povećale u periodu 2008.- 2013, a u periodu 1990. - 2014. je bilo povećanje za 13% (u Sloveniji u tom razdoblju za nekih 97%). Glavni izvor gasova sa efektom staklene bašte je uglavnom drumski saobraćaj, koji učestvuje čak sa 99% u svim emisijama. Uticaj koji imaju emisije iz saobraćaja u ukupnim emisijama gasova sa efektom staklene bašte (32,5% 2014. g.) i nedovoljno učinkovite mere za njihovo smanjenje otežavaju Sloveniji izvršavanje preuzetih obaveza (ARSO, 2018.). Sa boljim i naprednijim vremenskim informacijama se učinkovitost zimskog održavanja povećava, poboljšava se prohodnost puteva, a i zastoja je manje.

Održive zimske službe i kriterijumi za istu najbolje su razvijene u SAD. Postoje brojni postupci evaluacije održivog delovanja zimske službe sa brojnim smernicama iz najboljih praksi. Na univerzitetu Washington State University najbolje prakse za uvođenje održivog delovanja zimske službe podelili su u 7 grupa, i to:

- pasivne mere za nadzor snega (npr. zaštite od vetra i nekorisćenje soli),
- operativne strategije (npr. preventivno posipanje),
- poboljšanje vremenskih prognoza (i posledično pametnije posipanje),
- postavljanje automatskih sistema za posipanje,
- napredne tehnologije za čišćenje,
- novi materijali na putevima,
- sistemi za podršku kod donošenja odluka o održavanju MDSS (Shi X, 2018.).

Sve te mere naime zamenjuju ili smanjuju upotrebu soli kod zimskog održavanja puteva, što znači da smanjuju uticaj soli na okolinu.

Pa korišćenje informacija o vremenu omogućava zimskoj službi znatno bolje i održivo delovanje i aktivnosti (DeVries, 2018.).



Slika 3. Zimska služba DARS u aktivnosti, zima 2018
Source: Jernej Trnkoczy, CGS Labs d.o.o.

6. ZAKLJUČAK – ZIMSKO ODRŽAVANJE PUTEVA U BUDUĆNOSTI

Razvoj sistema PMIS/MDSS teči će u smeru sve veće optimizacije upotrebe posipnog materijala i povećanja učinkovitosti sistema. U zimsku službu će se na taj način najpre uvesti digitalizacija, koja će rezultovati procesnim promenama, automatizacijom (npr. automatsko doziranje soli u vozilima s obzirom na prognozu stanja kolovoza i s obzirom na mikrolokaciju te prognoze), te automatizacijom odlučivanja, a u budućnosti i obavljanju zimske službe autonomnim vozilima. Vremenski sistemi biće povezani sa BIM modelima za održavanje infrastrukture. Putevi će biti otporniji na klimatske promene, postupci koje će izvoditi zimska služba biće s druge strane održiviji.

Vizija je i da će vremenska informacija, tj. informacija o stanju kolovoza biti ubrzo dostupna i vozaču u automobilu, odnosno da će stanje kolovoza biti parametar koji će uticati na odabir puta i brzinu vožnje autonomnih vozila. U budućnosti će vozila međusobno komunicirati što će doprineti svakako i većoj sigurnosti na putevima.

Literatura

- [1] ARSO (2018). Okoljski kazalci, Promet. Available at: <http://kos.arslo.gov.si/sl/teme/transport> (03.09.2018)
- [2] Borgen, J., Gustavsson, T., Hagberg, P. (2018) – Innovative detection of road surface conditions in two dimensions by 2dRoad. 19th International Road Weather Conference. Smolenice, Slovačka, SIRWEC
- [3] Coudert, O., Bouilloud, L. (2018) – Short Term Alarm System for Road Weather. XVth International Winter Road Congress. Gdansk, Poljska, PIARC
- [4] Crevier, L. P.; Delage, Y. 2001. METRo: A New Model for Road-Condition Forecasting in Canada. Journal of Applied Meteorology 40:2026-2037.
- [5] DeVries, R. M., Brodige, P., Adams, R. (2018) – Implementing and Using Weather Data in a City or County Environment. XVth International Winter Road Congress. Gdansk, Poljska, PIARC
- [6] Giloppé, D., Chambers, A. (2018) – Introductory report of Technical Committee B.2 winter service. XVth International Winter Road Congress. Gdansk, Poljska, PIARC
- [7] Pan, G., Fu, L., Yu, R., Kwon, T. J. (2018) – Image based automated winter road condition monitoring – a deep learning approach. 19th International Road Weather Conference. Smolenice, Slovačka, SIRWEC
- [8] Haavasoja, T., Kärki, O. (2018) – Using Buses for Road Weather Data Collection. XVth International Winter Road Congress. Gdansk, Poljska, PIARC
- [9] Jensen, D., Koeberlein, B., Bala, E., Bridge, P. (2013) – Ensuring and Quantifying ITS Return on Investment through the Development of Winter Maintenance Performance Measures. 20th ITS World Congress
- [10] Kršmanc, R., Korošec, M., Šajn Slak, A., Čarman, S. (2016) – Sistem za podporo pri odločanju pri zimskem vzdrževanju avtocest. 13. slovenski kongres o cestah in prometu. Portorož, DRC
- [11] Murphy, M., Ruzanski E. (2022) - Combining thermal mapping and route-based forecasting; XVI World Winter Service and Road Resilience Congress. Calgary, Kanada, PIARC
- [12] Namkoong, S. J., Min, J., Choi, K., Jeong, J. (2018) – Automatic Weather Detection Using CCTV Video Images for Discrimination of Driving Condition on Korean Expressway. XVth International Winter Road Congress. Gdansk, Poljska, PIARC
- [13] Shi, X. (2018). Seven best practices in sustainable winter highway maintenance operations. Available at: http://cem.uaf.edu/media/101214/7BestPractices_XianmingShi.pdf (03.09.2018)

РАЗВОЈ ИНТЕЛИГЕНТНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМА (ИТС) НА ДРЖАВНИМ ПУТЕВИМА РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ

Зоран Боројевић¹, дипл.инж.саобраћаја

ЈП „Путеви Србије“, zoran.borojevic@putevi-srbije.rs

Иван Терзић, дипл.инж.саобраћаја

ЈП „Путеви Србије“, ivan.terzic@jputevi-srbije.rs

Резиме: Примена Интелигентних Транспортних Система (ИТС) се намеће као решење за управљање саобраћајним токовима у циљу ублажавања негативних последица повећане мобилности и степена моторизације. Највеће предности ИТС-а се остварују интеграцијом примењених управљачких мера у јединствену платформу којом би се остварила већа искоришћеност прикупљених информација о саобраћају у циљу повећања ефикасности примењених мера. Стога је неопходно дефинисати и усвојити оквире развоја ИТС-а која би представљала водич за развој будућих транспортних система у складу са циљевима стратегије развоја транспорта на територији Републике Србије. У раду су приказане смернице за успостављање „Концепта развоја ИТС-а на државним путевима Републике Србије“ кроз преглед документационе основе за дефинисање развоја ИТС-а, предлог архитектуре и смернице за имплементацију.

Кључне речи: ИТС, архитектура, сервис

INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS (ITS) DEVELOPMENT ON STATE ROADS IN THE REPUBLIC OF SERBIA

Zoran Borojević, M.Sc.T&T.E

PE „Roads of Serbia“, zoran.borojevic@putevi-srbije.rs

Ivan Terzić, M.Sc.T&T.E

PE „Roads of Serbia“, ivan.terzic@jputevi-srbije.rs

Abstract: The use of Intelligent Transport Systems (ITS) is imposed as a solution for traffic flow management in order to mitigate the negative consequences of increased mobility and the degree of motorization. The greatest advantages of ITS are achieved by integrating the applied management measures into a single platform which would achieve greater use of the collected traffic information in order to increase the efficiency of the applied measures. Therefore, it is necessary to define and adopt the framework for the development of ITS, which would be a guide for the development of future transport systems in accordance with the objectives of the strategy for the development of transport in the territory of the Republic of Serbia. The paper presents guidelines for the establishment of the "Concept of ITS development on state roads of the Republic of Serbia" through an overview of the documentation basis for defining the development of ITS, architecture proposal and guidelines for implementation.

Кључне речи: ITS, architecture, services

1. УВОД

Интелигентни транспортни системи имају велики потенцијал у унапређењу ефикасности транспортног система, као и на пољу смањења штетних последица саобраћаја. Да би примена ИТС на путевима Републике Србије, била оптимална неопходно је дефинисати концепт развоја ИТС која ће узети у обзир достигнућа земаља које имају развијени ИТС и специфичности Републике Србије. Начела и принципи концепта развоја ИТС-а треба да дају смернице за дефинисање циљева који стратегијом треба да буду остварени, али треба да дефинишу и области које ће бити актуелне и после истека временског периода за који је концепт дефинисан.[1]

Интелигентни транспортни систем представља систем мера и технологија примењених у транспортном систему који обједињује информатичку и телекомуникациону технологију са циљем повећања нивоа безбедности саобраћаја, ефикаснијег одвијања саобраћаја са мање застоја и нижим нивоом загађења животне средине. Ови системи су састављени од великог броја компоненти, као што су различите врсте сензора, камера и елемената сигнализације, чији је рад подржан различитим управљачким и телекомуникационим технологијама, са основном функцијом обезбеђења оперативног управљања и контроле функционисања саобраћајног система.

Интегрисано окружење, засновано на примени савремених информационих и комуникационих технологија, помоћу инструмената транспортне политике треба да на свим нивоима обезбеди најшире могуће коришћење савремених ИТС апликација за праћење релевантних параметара транспорта (проток, брзина и густина тока, нивои еколошких показатеља, метеоролошки подаци). Потребно је

¹ Зоран Боројевић, дипл.инж.саобраћаја, zoran.borojevic@putevi-srbije.rs

успоставити центар за прикупљање, обраду и дистрибуцију релевантних података и стандардизовати примену ИТС, информационих и комуникационих технологија. [2]

Узимајући у обзир наведено, мисија развоја ИТС у Републици Србији је [1]:

- да створи услове за безбедан, ефикасан, поуздан и еколошки прихватљив друмски транспортни систем кроз планирање, развој и интегрисану примену интелигентних транспортних система;
- да подигне друштвену свест, нарочито свест доносилаца одлука, о користима које настају применом интелигентних транспортних система;
- да омогући оптималну интеграцију друмског транспорта у транспортни систем Републике Србије применом ИТС;
- да омогући бржу интеграцију транспортне мреже Републике Србије у трансевропску транспортну мрежу;
- да омогући знатно већи обим размене путника, ствари и информација на транспортној мрежи Републике Србије и преко ње;
- да омогући српским привредним и научним институцијама да повећају своју конкурентност у Југоисточној Европи и шире на пољу истраживања, развоја и примене ИТС;
- да установи смернице за институције и привредна друштва Републике Србије за развој и примену интелигентних транспортних система на мрежи државних путева.

Визија развоја ИТС у Републици Србији је [1]:

- Пројектовање, коришћење и управљање транспортним системом уз помоћ интелигентних транспортних система омогућава да сваки потребан вид саобраћаја може да допре до сваке заједнице у земљи на адекватан, безбедан, поуздан и ефикасан начин и у било ком тренутку током године.
- Доносиоци одлука у јавном и приватном сектору су прихватили да је развој и примена интелигентних транспортних система једна од основних мера за постизање циљева стратегије развоја транспорта.

Мрежа државних путева IA реда обухвата следеће аутопутеве:

- A1: Државна граница са Мађарском (гранични прелаз Хоргош) – Нови Сад – Београд – Ниш – Врање – Државна граница са Македонијом (гранични прелаз Прешево);
- A2: Београд – Обреновац – Лајковац – Љиг – Горњи Милановац – Прељина – Чачак – Пожега;
- A3: Државна граница са Хрватском (Гранични прелаз Батровци) – Београд;
- A4: Ниш – Пирот – Димитровград – Државна граница са Бугарском (Гранични прелаз Градина);
- A5: Појате – Крушевац – Краљево – Прељина.

Поред наведених путних праваца на мрежи државних путева IA реда, у поступку је припрема за изградњу и изградња путних праваца: Кузмин – Рача, Нови Сад – Рума – Шабац – Лозница, Панчево – Државна граница са Румунијом, Пожега – Државна граница са Црном Гором (Гранични прелаз Бољаре), Ниш – Мердаре, Државна граница са БиХ (Гранични прелаз Котроман) – Пожега и Ваљево - Лајковац – Бор.

Србија је копнена земља у центру Балканског полуострва и окружују је осам земаља: Мађарска (ЕУ), Румунија (ЕУ), Бугарска (ЕУ), Македонија, Албанија, Црна Гора, Босна и Херцеговина и Хрватска (ЕУ). Тако да је земља сада окружена са четири земље ЕУ, а те границе су уједно и спољне границе ЕУ. Кроз анализу саобраћаја у Србији, нарочито путног саобраћаја, потребно је узети у обзир и земље које су у самом региону близу Србије. Тако да треба у обзир узети и Турску, која има прилично распрострањену дијаспору широм Европе. Ова дијаспора ствара велику потражњу за објектима друмског саобраћаја, поред тога у Турској постоји значајна индустрија која подразумева размену добара са ЕУ, што захтева комерцијални саобраћај у оба смера који пролази кроз Србију.

Државни путеви IA реда треба да обезбеде квалитетно, ефикасно и равномерно повезивање привредних подручја, покрајина и региона унутар Републике Србије, посебно стављајући акценат на побољшање транспортних веза између развијенијих и мање развијених привредних подручја. Истовремено треба да омогуће ефикасније повезивање Републике Србије са окружењем, пре свега са суседним земљама.

У овом документу дат је преглед постојећег стања ИТС-а на државним путевима IA реда (додатак А), где су наведени системи за надзор и управљање саобраћајем на тунелима, а описани су и остали подсистеми ИТС-а на отвореним деоницама. Поред прегледа постојећег стања ИТС-а, описани су и текући пројекти кроз које се планира имплементација елемената ИТС-а (додатак Б). Уважавајући препоруке за имплементацију појединих подсистема ИТС-а, постојеће стање из ове области и актуелне пројекте, дат је предлог за имплементацију ИТС-а на државним путевима IA реда (додатак В).

На свим државним путевима IA реда који су у фази планирања и изградње, потребно је елементе ИТС-а развијати у складу са овим документом..

2. ДОКУМЕНТАЦИОНА ОСНОВА ЗА ИЗРАДУ КОНЦЕПТА РАЗВОЈА ИТС-а

Развој ИТС-а доприноси реализацији „Плана развоја железничког, друмског, водног, ваздушног и интермодалног транспорта у Републици Србији од 2015. до 2025. године“ који се реферише на „Стратегију развоја железничког, друмског, водног, ваздушног и интермодалног транспорта у Републици Србији од 2008. до 2015. године“ кроз испуњавање општих циљева (стратегијских и структурних) подизањем квалитета услуга транспортног система повећавањем ефикасности друмског саобраћаја и транспортног система, безбедности и заштите животне средине и применом циљно оријентисаног планирања и управљања саобраћајним токовима.

Како је мрежа државних путева IA реда део трансевропске транспортне мреже (ТЕН-Т), приликом планирања, пројектовања и имплементације ИТС-а треба водити рачуна о усаглашености са директивама 2000/40/ЕУ [4] и 2004/54/ЕУ [5]. Законски и подзаконски акти којима се уређују послови развоја, изградње и управљања путном инфраструктуром у Републици Србији усклађени су са наведеном директивама Европске Уније. Наведено се пре свега односи на „Закон о путевима (Сл. Гласник РС, бр. 41/2018 и бр. 95/2018 - др. закон)“ и подзаконске акте који проистичу из њега.

Документациони основ за дефинисање Концепта развоја ИТС на мрежи државних путева Републике Србије представљају смернице из докумената „Стратегије планирања, развоја и примене интелигентних транспортних система (ИТС) на путевима Републике Србије у функцији безбедности саобраћаја“ која је израђена од стране Саобраћајног факултета Универзитета у Београду и документ „ИТС стратегија за Републику Србију“ који је израђен од стране „EGIS International“ по захтеву „Коридори Србије д.о.о.“

Смернице за развој ИТС-а на државним путевима Републике Србије дефинисане су и у документу „Дугорочни и средњорочни план пословне стратегије и развоја 2017 – 2027“ ЈП „Путеви Србије“ којим су дефинисани концепти развоја путно метеоролошког информационог система и система видео надзора, као и смернице за примену стандарда из области ИТС-а. Дугорочни и средњорочни план пословне стратегије и развоја је основни стратешки документ ЈП „Путеви Србије“ за период 2017 – 2027. године [6]. Основ за израду овог документа је „Закон о јавним предузећима (Сл. Гласник РС, бр. 15/2016 и 88/2019)“. Стратегија се заснива на домаћим и међународним правним актима релевантним за пословање ЈП „Путеви Србије“, преузетим међународним обавезама, Планом развоја железничког, друмског, водног, ваздушног и интермодалног транспорта у Републици Србији од 2015-2025. год., оквирним стратешким документима која се односе на надлежности Јавног предузећа „Путеви Србије“ (нацрт Стратегија мултимодалног транспорта Републике Србије за период 2016-2025. година, нацрт Стратегија друмског саобраћаја од 2016-2025, интерним документима, програмима и плановима развоја Јавног предузећа „Путеви Србије“ [7].

Организациона структура на пословима управљања саобраћајем на државним путевима Републике Србије предложена је документом „Реформа путног сектора“ израђена од стране консултантске куће „Deloitte“.

Имплементацију ИТС-а на мрежи државних путева IA реда треба спровести у складу са важећим законима, подзаконским актима, директивом ЕУ, као и стандардима из предметних области.

3. ДОКУМЕНТАЦИОНА ОСНОВА ЗА ИЗРАДУ КОНЦЕПТА РАЗВОЈА ИТС-а

Моделирањем архитектуре обезбеђује се преглед свих типова услуга које је могуће остварити применом ИТС апликација. У складу са Чланом 4, Тачком 10 Директиве 2010/40/ЕУ: „Архитектура представља идејни пројекат у коме је дефинисана структура, понашање и интегрисање датог система у његову околину“. Развој и имплементација интелигентних транспортних система треба да задовољи захтеве који се односи на успостављање физичке и логичке архитектуре ИТС-а.

Физичка архитектура ИТС-а подразумева хијерархијску и просторну расподелу надлежности између управљачких центара и елементе ИТС-а на путној инфраструктури. Приликом развоја система за надзор и управљање саобраћајем на мрежи државних путева Републике Србије потребно је дефинисати четири хијерархијска нивоа управљања.

1) На највишем нивоу је **Републички центар** за надзор и управљање саобраћајем, који пре свега врши контролну функцију над радом центара нижег хијерархијског нивоа. Преко овог центра се остварује хоризонтална сарадња са другим институцијама из предметне области, као и комуникација са центрима истог ранга у земљама у окружењу у циљу координисаног управљања транзитним саобраћајним токовима, на трансевропској мрежи путева.

2) На следећем нивоу се налазе **Регионални центри**, чија функција је надзор и управљање саобраћајем на одабраним деоницама аутопутева и припадајућим подсистемима ИТС-а. Са овог

хијерархијског нивоа се врши примена оперативно управљачких планова на путним правцима и припадајућим објектима који су под надзором овог нивоа.

3) Трећи ниво представљају **локалне управљачке станице** из којих се врши надзор и управљање саобраћајем на једном или више објеката (тунел, мост, саобраћајна петља). На овом нивоу се могу аутономно без присуства посаде извршавати унапред дефинисане управљачке мере.

4) На најнижем нивоу су **системи за прикупљање података** дуж мреже државних путева и **обавештавање** или **вођење** корисника пута.

Избор локација националног и регионалних центара треба да буде у складу са просторном расподелом саобраћајне инфраструктуре која је под надзором, на довољној удаљености да се могу извршити хитни прегледи и интервенције. У односу на постојећу и планирану саобраћајну инфраструктуру регионални центри су:

- Републички центар (Београд);
- Регионални центар Београд (центар) – препорука је да буде обједињен са Републичким центром;
- Регионални центар Чачак (запад);
- Регионални центар Ниш (исток – југ);
- Регионални центар Нови Сад (север).

Логичка или функционална архитектура описује функционалне елементе (сервисни пакет) и њихове логичке интеракције (ток података) који задовољава системске захтеве. Да би се функционална архитектура успоставила потребно је дефинисати оперативно управљачке планове и токове информација између елемената физичке архитектуре помоћу централног система за надзор и управљање која аутоматизује процес управљања саобраћајем. Функционалну архитектуру потребно је ускладити са ИТС архитектуром на нивоу Европске Уније.

Организациону структуру управљача државних путева потребно је ускладити са предложеном хијерархијом управљања. ЈП „Путеви Србије“ унутар надлежног Сектора за управљачко информационе системе у саобраћају треба да прилагоди организациону структуру у складу са просторном расподелом и хијерархијским нивоима управљања како би се јасно дефинисале границе надлежности служби унутар надлежног сектора. Организациона структура надлежног сектора треба да уважи и обавезе које проистичу из „Закон о путевима (Сл. Гласник РС, бр. 41/2018 и бр. 95/2018 - др. закон)“ и подзаконске акте који проистичу из њега и директивама Европске Уније којима се уређује предметна област.

Сервисни пакет представља део логичке ИТС архитектуре који прикупља неколико различитих физичких делова (система и уређаја) и њихових функционалних делова и токова информација које заједно пружају жељену услугу. Сервисни пакети се начешће деле у следеће групе сервиса:

- **Сервис за информисање путника:** предпутно информисање, путно информисање возача, рутни водич и навођење, усклађивање вожње и резервисање капацитета, сервис за путовање и резервисање;
- **Сервис за управљање саобраћајем:** вођење саобраћајног тока, управљање инцидентним ситуацијама, захтевима путника, контрола и управљање заштитом животне средине, аутоматско и динамичко упозорење и извршавање, управљање безбедношћу немоторизованих учесника у саобраћају, управљање и надзор мултимодалних чворова;
- **Сервис за управљање јавним транспортом:** управљање јавним транспортом, путно информисање транзитних возила, реаговање на захтеве транзитних возила, контрола безбедности јавног транспорта;
- **Сервис за електронско плаћање:** електронска наплата путарине;
- **Сервиси за управљање комерцијални возилима:** електронско одобравање захтева за комерцијална возила, аутоматске безбедносне инспекције у друмском саобраћају, обавештавање о превозу опасних материја и одзив на инциденте, административни процес за комерцијална возила, управљање интермодалним транспортом, управљање комерцијалним возним парком;
- **Сервис за управљање хитним службама:** хитно обавештавање и безбедност појединца, одзив и управљање у случају елементарних непогода, управљање возилима хитних служби;
- **Систем за контролу и безбедност возила:** инфраструктура са системом за избегавање саобраћајних незгода
- **Сервис за чување података:** управљање архивираним подацима, и презентовање прикупљених података;
- **Сервис за одржавање инфраструктуре:** управљање зимским одржавањем инфраструктуре, управљање одржавањем путне инфраструктуре.

Мере за спречавање или ублажавање нежељених последица саобраћаја које се огледају кроз угрожавање безбедности људи и робе, појаве загушења и негативног утицаја на животну средину, најчешће се сврставају у један од наведених сервисних пакета.

4. СМЕРНИЦЕ ЗА ИМПЛЕМЕНТАЦИЈУ ИТС-а

На мрежи државних путева IА реда за чије је одржавање и управљање „Законом о јавним путевима“ одређено ЈП „Путеви Србије“, потребно је успоставити систем за надзор и управљање саобраћајем. Приликом успостављања предметног система потребно је уважити анализе безбедности саобраћаја на посматраној мрежи путева, али поред анализе безбедности саобраћаја потребно је предвидети и ризик од појаве саобраћајних загушења или других инцидентних догађаја који могу имати негативан утицај на безбедност саобраћаја, временске губитке и животну средину.

Потенцијално ризични путеви или деонице за настанак инцидентног догађаја сматрају се они путеви или деонице које испуњавају бар један од следећих критеријума:

- Саобраћај: висок интензитет саобраћаја где се појава засићеног саобраћајног тока јавља бар на једном делу аутопута или уколико има изражен сезонски пораст транспортних захтева;
- Карактеристике пута: места на коме се врши повезивање два или више пута (саобраћајне петље), грађевински објекти (тунели, вијадукти, мостови) или уколико постоји сложена геометрија пута (успони, мањи радијуси кривина);
- Метеоролошке појаве: временске појаве које утичу на смањење безбедности саобраћаја и смањење протока возила (магла, појава поледице, бочни ветар или обилне падавине).

Додатни критеријум за увођење система за надзор и управљање саобраћајем представља ефикасност самог система. Што је поузданији систем за праћење, тада су ефикасније управљачке мере које се примењују.

Примењени концепт развоја ИТС-а треба да у оквиру централног система за надзор управљање саобраћајем обухвати интегрисане системе за мерење и прикупљање података и системе за обавештавање корисника пута. Централни систем за надзор и управљање саобраћајем треба да интегрише следеће системе:

- 1) Систем за детекцију саобраћаја (аутоматски бројачи саобраћаја);
- 2) Систем за прикупљање метеоролошких података;
- 3) Систем знакова са изменљивим садржајем порука;
- 4) Систем видео надзора опште намене;
- 5) Систем за аутоматску детекцију инцидента;
- 6) Систем за контролу кретања возила у супротном смеру;
- 7) Систем за детекцију вангабаритних возила;
- 8) Систем за мерење осовинског оптерећења;
- 9) Безбедни паркинг за комерцијална возила;
- 10) Систем надзора и контроле над јавним осветљењем;
- 11) Комуникациона инфраструктура;
- 12) Енергетска инфраструктура;
- 13) Систем „V2V“ и „V2I“;
- 14) Тунелски системи.

Развој сваког од наведених система треба да буде оптимизован у складу са потребама за унапређење услова за одвијање саобраћаја. Полазну тачку у дефинисању стратешких оквира ИТС-а и каснији избор система и микролокација представља препознавање, праћење и анализа индикатора на основу којих се врши препознавања проблема, оптималан приступ за решавање проблема, а самим тим и најпогоднији алат који је потребно применити. Индикатори који се користе у анализи су:

- Индикатори безбедности саобраћаја
- Индикатори нивоа услуге путне мреже
- Индикатори утицаја саобраћаја на животну средину

Индикатори безбедности саобраћаја су показатељи понашања учесника у саобраћају, утицаја пута на настанак саобраћајну незгоду, утицаја возила на настанак СН и збрињавање повређених у СН.

Поред индикатора безбедности саобраћаја, потребно је пратити и показатеље нивоа услуге путне мреже. На основу ових показатеља утврђују се транспортни захтеви, вршни периоди и засићеност саобраћајног тока.

Индикатори који прате штетан утицај саобраћаја на животну средину презентују утицај издувних гасова, средства за одржавање путева и буке на животну средину

Утврђивањем узрока настанка саобраћајне незгоде, промена услова одвијања саобраћаја или извора загађења животне средине могу се одабрати најпогодније мере као што су модификовање карактеристика саобраћајног тока давањем препорука које се односе на брзину кретања, забрану претицања, најаву наилазка на уска грла, погоршање временских услова или чеоне препреке и учествовањем или организовањем кампања за унапређење безбедности саобраћаја.

У финалном извештају документа „Реформа путног сектора“ у Републици Србији (Deloitte), у прилогу 2.8. у коме је обрађен ИТС, наглашене су потребе за детаљном анализом безбедности саобраћаја и карактеристика саобраћајног тока при планирању и имплементацији елемената ИТС-а.

Избор и начин уградње опреме за сваки од наведених система треба да буде у складу са захтевима који су дати у овом документу и смерницама за пројектовање чија је припрема у току. У циљу интеграције у јединствену ИТС платформу, сва опрема мора да подржава стандардне индустријске протоколе и задовоље стандарде из предметне области (нпр.: TLS, Modbus, Modbus/TCP, IEC 61508 – SIL3, IEC 62443, IEC 60870-5-101, IEC 60870-5-104, IEC 61850, OPC, SSI, SNMP, Ethernet IP, DАTEX II и др.).

Приликом развоја и имплементације ИТС-а, потребно је у обзир узети већ постојећу ИТС инфраструктуру коју су увеле поједине чланице Европске Уније, како би се ускладио технолошки напредак.

5. КОНЦЕПТ УПРАВЉАЊА САОБРАЋАЈЕМ НА МРЕЖИ ДРЖАВНИХ ПУТЕВА

Узимајући у обзир основе за реализацију дугорочних и средњорочних планова пословне стратегије, а поштујући визију транспорта Републике Србије дефинисани су циљеви Концепта развоја ИТС-а:

- сврсисходно планирање и управљање транспортним токовима;
- смањење штетних ефеката транспорта на окружење;
- повећање безбедности у саобраћају;
- повећање ефикасности транспортног система.

5.1. Хијерархијски нивои управљања

Сваки ИТС систем који је потпуно функционалан и операбилан, треба да има могућност рада у:

- аутономном моду;
- полуаутономни моду;
- ручном моду и
- сервисном.

Аутономни радни мод подразумева да систем централног надзора и управљања без давања команди од стране оператера извршава унапред дефинисане планове реаговања, али оставља могућност праћења рада централног система за надзор. Аутономни радни мод се може извршавати и на локалном нивоу (локални контролер) само у случају када дође до прекида у комуникацији са централним контролером и централним системом за надзор и управљање. Покретање аутоматског радног мода треба да буде омогућено једноставном командом на графичком корисничком интерфејсу (енг. Graphical User Interface - GUI).

Полуаутономни радни мод подразумева да поједине одлуке у спровођењу предефинисаних планова реаговања доноси оператер. Овај радни мод треба пре свега да би се смањи утицај „лажних узбуна“. У полуаутономном радном моду централни систем за надзор и управљање прикупља и обрађује податке са уграђених система на основу којих у случају достизања утврђених граничних вредности даје аларм кориснику у контролно оперативном центру са предлогом плана реаговања.

Ручни радни мод подразумева начин рада при коме корисник у контролно оперативном центру сам врши покретање или измену плана реаговања помоћу графичког корисничког интерфејса.

Сервисни радни мод подразумева приступање сваком од система ИТС-а путем сервисне апликације. Сервисна апликација треба да омогући преглед и промену конфигурационих параметара самог уређаја, као и дијагностику отказа или грешки.

Сваки од подсистема ИТС-а мора одговорити на захтев управљања са више различитих нивоа. Први ниво управљања сваким системом је локално аутоматски у предефинисаном режиму рада. Други ниво је управљање од стране оператера преко графичког корисничког интерфејса са локалне управљачке станице (тунелско оперативни центри – ТОЦ, локални оперативни центри) Трећи ниво управљања је удаљено управљање из центара који имају регионални карактер и у којима је интегрисано више локалних управљачких станица. Четврти и највиши ниво је Републички центар за управљање саобраћајем који интегрише све Регионалне центре.

5.2. Дефинисање модела управљања саобраћајем

Ефикасно и ефективно управљање саобраћајем подразумева унапред дефинисане планове реаговања са следећим групама порука:

- 1) Управљање инцидентима;
- 2) Поруке за информисање корисника пута;
- 3) Стратегијско преусмеравање;
- 4) Радови на путу;
- 5) Кампањске поруке.

Планови реаговања подразумевају сет јасно дефинисаних управљачких функција над извршним системима тако да се благовремено информишу учесници у саобраћају о условима одвијања саобраћаја и омогући безбедно кретање. Управљачке функције плана реаговања потребно је унапред дефинисати узимајући у обзир утицај параметара које се прате (метеоролошки услови, карактеристике саобраћајног тока, детекција инцидентних догађаја, радови на путу итд...) и њихових тренутних вредности на основу којих се генеришу сигнали ка извршним елементима.

Када се унапред дефинишу планови реаговања, неопходно је дефинисати и хијерархију одзива планова на основу приоритета, тако да ако се у току спровођења једног плана реаговања догоди инцидент који подразумева спровођење плана реаговања вишег хијерархијског нивоа, план реаговања који је у току се аутоматски прекида и приступа се спровођењу другог плана реаговања.

Потребно је у циљу ублажавања утицаја инцидента на одвијање саобраћаја узети у разматрање локацију појаве инцидента како би се управљало саобраћајним током испред места инцидента (нпр. минимум два чвора пре деонице на којој је детектован инцидент).

У циљу реализације претходно наведеног, потребно је израдити пројекте управљања саобраћајем на државним путевима IA реда. Пројекат управљања треба да обухвати преглед постојећег стања из области ИТС-а, постојеће алголитме управљања (тунелски центри), управљачке апликације, планиране елементе ИТС-а и њихову свеобухватну интеграцију у јединствени систем управљања.

Пројекат управљања може да буде израђен посебно за сваки путни правац. Пројекат управљања треба да обухвати локације елемената преко којих се пружају информације кориснику (знакови са изменљивим садржајем порука), анализу граничних вредности транспортних захтева при којима се јавља засићеност саобраћајног тока и други релевантни параметри на основу којих се израђују привремени режими саобраћаја за сваки од планова реаговања. За планове реаговања код којих привремени режим саобраћаја подразумева преусмеравање возила на алтернативне руте, потребно је извршити анализу капацитета алтернативних саобраћајница и других ограничавајућих фактора. Сви режими управљања саобраћајем потребно је да буду дефинисани саобраћајним пројектом за који се издаје решење о одобреном режиму техничког регулисања саобраћаја од стране надлежног министарства.

Унапред предвиђени планови реаговања треба да садрже и генерисане поруке за предпутно информисање корисника пута путем веб портала или других медија за информисање грађана (радио, телевизија, смс и е-mail обавештења).

5.3. ИТС платформа

Највећа предност ИТС-а се остварује интеграцијом свих прикупљених података у јединствену платформу у циљу бољег искоришћења прикупљених информација о саобраћају, а самим тим повећала би се ефикасност и ефективност примењених управљачких мера.

Спровођење планова реаговања треба да буде порђано информацијама које се деле преко јединствене ИТС платформе базиране на ГИС технологији, а који би лицу које доноси одлуку за покретање плана реаговања дало ширу слику стања на другим путним правцима као што су радови на путу, ниво засићености саобраћајног тока, метеоролошке услове и друге информације. Јединствени информациони систем треба да обједини информације које се прикупљају од стране служби за одржавање путева (пунктови за одржавање и зимска служба), Информативни центар и центри за управљање саобраћајем свих нивоа. Јединствена ИТС платформа треба да омогући јединствени интерфејс за све имплементиране ИТС апликације и дигиталне сервисе.

Развој јединствене ИТС платформе треба да омогући интеграцију свих постојећих и будућих ИТС елемената преко којих се врши прикупљање података. ЈП „Путеви Србије“ треба да буде власник, администратор у управљач базе података која је део јединствене ИТС платформе, али да се оствари могућност за размену података са другим заинтересованим странама. Јединствена ИТС платформа треба да омогући међународну размену података са другим државама, стога морају се предвидети протоколи размене података који су већ усвојени од стране ИТС организација у Европској Унији.

5.4. Архитектура централног система за надзор и управљање

Да би се омогућило успостављање хијерархије управљања на начин описан у поглављу 5.1., неопходно успоставити архитектуру уређаја за контролу. Ова архитектура се може посматрати и као физичка (диспозиција уређаја за контролу), али као и логичка (хијерархијски ниво управљања). У ту сврху, потребно је архитектуру централног система за надзор и управљање саобраћајем на отвореним деоницама успоставити кроз три нивоа.

Ниво 1 подразумева имплементацију контролера на свакој саобраћајној петљи или карактеристичном објекту преко кога би се повезали уређаји за прикупљање података или извршни елементи. Контролер на овом нивоу би у нормалним условима размењивао податке са контролером из вишег нивоа и пратио и извршавао команде са вишег нивоа. У случају прекида комуникације са контролером из вишег нивоа, радио би у аутономном моду, односно пратио би параметре уређаја који врше мерења и покретао би предефинисане режиме који би били одобрени на овом нивоу.

Ниво 2 подразумева централни надзор и управљање интегрисаним системима из локалних управљачких станица или регионалног центра преко централног контролера и графичког корисничког интерфејса (SCADA). Други управљачки ниво треба да омогући полуаутоматски и ручни радни мод у случају када је посада присутна на објекту.

Ниво 3 подразумева највиши ниво управљања на нивоу републичког центра на коме би се интегрисали сви модули за управљање и преко којих би се вршио централни надзор саобраћајем на државним путевима IА реда.

6. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

Интегрисано окружење, засновано на примени савремених информационих и комуникационих технологија, помоћу инструмената транспортне политике треба да на свим нивоима обезбеди најшире могуће коришћење савремених ИТС апликација за праћење релевантних параметара транспорта (токови, брзина и густина, нивои еколошких показатеља, метеоролошки подаци).

У најопштијем смислу, када говоримо о побољшању нивоа безбедности саобраћаја применом ИТС-а, унапређење се остварује кроз смањење изложености саобраћају и ризицима у саобраћају, смањење ризика настанка незгоде и смањење последица незгоде која се догодила. Управљање Нивоом Услуге применом ИТС-а постиже се кроз хармонизацију брзине саобраћајног тока са тренутним условима и стратегијским преусмеравањима.

Развој ИТС-а на мрежи државних путева потребно је ускладити са ИТС архитектуром на нивоу Европске Уније, а у складу са тим развијати и усклађивати сервисне пакете (функционалну архитектуру). Пројекти чији је део имплементација ИТС-а морају уважити смернице и оквире дате у овом документу који се ослања на стратегијске документе за развој саобраћајне инфраструктуре, као и директиве Европске Комисије којима се уређује област ИТС-а.

Развој сваког од елемената ИТС-а треба да буде оптимизован у складу са потребама за унапређење услова за одвијање саобраћаја. Полазну тачку у дефинисању стратешких оквира ИТС-а и каснији избор система и микролокација представља препознавање, праћење и анализа индикатора на основу којих се врши препознавања проблема, оптималан приступ за решавање проблема, а самим тим и најпогоднији алат који је потребно применити. Предност треба давати сервисним пакетима који обезбеђују доступност података ка већем броју корисника. У поглављу 4. дате су основе за планирање елемената ИТС-а, а потребно је предвидети и интеграцију постојећих подсистема у јединствену ИТС платформу.

Највећа предност ИТС-а остварује се развојем јединствене ИТС платформе која ће омогућити прикупљање свих података на једном месту у циљу бољег искоришћења прикупљених информација о саобраћају, а самим тим повећања ефикасности и ефективности примењених управљачких мера. Детаљнији захтеви за развој ИТС платформе дат је у поглављу 5.

Имајући у виду интензиван развој нових технологија и њихову широку примену, потребно је радити на сталном унапређењу и пројектовању нових ИТС технологија.

Литература

- [1] Вујанић, М., Липовац, К., Антић Б., Хаџић, Д., Николић, Н.: „Стратегија планирања, развоја и примене ИТС на путевима Републике Србије у функцији безбедности саобраћаја“, Саобраћајни факултет универзитета у Београду, 2008.

- [2] Стратегија развоја железничког, друмског, водног, ваздушног и интермодалног транспорта у Републици Србији од 2008. до 2015. године., („Службени гласник РС“, број 4 од 13. јануара 2008.).
- [3] Плана развоја железничког, друмског, водног, ваздушног и интермодалног транспорта у Републици Србији од 2015. до 2025. године.
- [4] Directive 2010/40/EC of the European Parliament and of the Council of 7 July 2010 on the framework for the deployment of Intelligent Transport Systems in the field of road transport and for interfaces with other modes of transport Text with EEA relevance.
- [5] Directive 2004/54/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on minimum safety requirements for tunnels in the Trans-European Road Network.
- [6] „Дугорочни и средњорочни план пословне стратегије и развоја 2017–2027.“ ЈП „Путеви Србије“, Београд, 2017.
- [7] Deloitte, „Реформа путног сектора“ у Републици Србији, Београд.

ADAPTIVNI SISTEMI UPRAVLJANJA SAOBRAĆAJEM – PREGLED PRIMENE I SVRSISHODNOSTI

Nemanja Dobrota¹, Aleksandar Stevanović¹, Suhaib Alshayeb¹

¹ University of Pittsburgh, Department of Civil and Environmental Engineering, 3700 O'Hara Street, 715 Benedum Hall, Pittsburgh, PA 15261; ned47@upitt.edu

Rezime:

Još od prvih sistema u Australiji i Velikoj Britaniji pre više od 50 godina, Adaptivni Sistemi za Upravljanje Saobraćajem (ASUS) se i dalje razvijaju i instaliraju širom sveta. Dva glavna razloga koja čine ove sisteme popularnim su mogućnost prilagođavanja rada fluktuacijama u saobraćajnom toku kao i niži troškovi upravljanja tokom eksploatacije (usled eliminisanja troškova periodičnog noveliranja signalnih planova). Međutim, bez adekvatnog upravljanja, održavanja kao i usaglašavanja operativnih ciljeva agencije sa ciljevima ASUS, ovi sistemi mogu značajno pogoršati uslove u saobraćajnom toku što u određenim slučajevima može dovesti i do gašenja sistema. Stoga, spremnost agencije da upravlja ovim sistemima predstavlja ključan element za njegovo efikasno funkcionisanje. U ovom radu, ovi i mnogi drugi faktori koji mogu uticati na efikasan rad sistema i njihove koristi prilikom postupka vrednovanja su identifikovani na osnovu ankete agencija koje upravljaju adaptivnim sistemima u Sjedinjenim Američkim Državama sprovedene 2019. godine. Prikupljeni podaci su pohranjeni u bazu podataka koja je korišćena za razvijanje alata na osnovu koga korisnici mogu utvrditi različite karakteristike ASUS. Svrha ovog rada je da podigne svest svih donosioca odluka o glavnim faktorima koji mogu dovesti do (ne)uspešnog upravljanja ASUS kao i da prikaže koristi koje nastaju od uvođenja ovih sistema.

Ključne reči: *Adaptivni Sistemi za Upravljanje Saobraćajem, Razvoj, Vrednovanje, Baza podataka, Koristi.*

ADAPTIVE TRAFFIC CONTROL SYSTEMS – OVERVIEW OF DEPLOYMENTS AND BENEFITS

Nemanja Dobrota¹, Aleksandar Stevanovic¹, Suhaib Alshayeb¹

¹ University of Pittsburgh, Department of Civil and Environmental Engineering, 3700 O'Hara Street, 715 Benedum Hall, Pittsburgh, PA 15261; ned47@upitt.edu

Abstract:

Since their initial deployment in Australia and Great Britain over 50 years ago, Adaptive Traffic Control Systems (ATCSs) continue to be developed and used across the globe. Two main reasons for popularity of ATCSs are capability to adapt for a wide range of traffic flow fluctuations and reduced operating costs (by eliminating costs of traditional periodical signal retiming). However, without adequate monitoring, management and proper alignment of agencies' and ATCS's objectives these systems can deteriorate the performance of signals which in some cases can lead to system decommissioning. Thus, critical elements for efficient operation lies in agency readiness to operate these systems. In this paper, these and many other factors that impact deployment, operation, and evaluation were identified from ATCS-deploying agencies survey conducted 2019 in the USA. Data collected were populated in the database that served for development of filtering tool that can be used to investigate various characteristics of ATCSs. Purpose of this paper is to raise awareness to all stakeholders about major factors that can contribute to (un)successful management of ATCSs and present benefits resulting from ATCSs deployments.

Keywords: *Adaptive Traffic Control Systems, Deployments, Evaluations, Database, Benefits.*

1. INTRODUCTION

Traffic congestions and urban gridlocks accelerated the expansion of various traffic control strategies capable of responding to flow fluctuations. Traffic responsive pattern matching represents one particular strategy where based on several pre-developed signal timing plans, their scheduling will occur for certain conditions in traffic flow (e.g. threshold flow value is met). When tested in practice, this responsive strategy failed to improve conditions on urban networks. That fact gave a boost to the development of different Adaptive Traffic Control Systems (ATCSs). First systems were developed in the UK, Split Cycle Offset Optimization Technique (SCOOT, 1979), Australia, Sydney Coordinated Adaptive Traffic System (SCATS, 1981), Italy, Urban Traffic Optimization by Integrated Automation (UTOPIA, 1984), France, PROgramming DYnamic (PRODYN, 1984), Germany, SITRAFFIC MOTION (1986) and BALANCE (1994) [1].

¹ Nemanja Dobrota: ned47@pitt.edu

In the United States, Federal Highway Agency (FHWA) started development of ATCSs in early 80s. The first successfully deployed systems were OPAC (Optimization Policies for Adaptive Control), and RHODES (Real-Time Hierarchical Optimized Distributed and Effective System). These systems, although successful in operations when compared with the previous type of control, were not widely deployed mainly due to the complexity of their logic, and extensive detection requirements [1]. To respond to barriers for more extensive ATCS deployments FHWA launched the development of another ATCS, ATC Lite, whose primary role was to be more user-friendly and compatible with existing infrastructure (detection and hardware). As some of the brands developed abroad had challenges to adapt to the US market (mainly controller hardware, software interface, etc.) many US traffic controller vendors within the last ten years started the development of own ATCSs. Since 2008, the number of these systems has increased by more than 600%. There are several factors contributing to this rapid ATCSs growth: ATCSs were promoted as an effective tool for combating day-to-day and special event- traffic flow fluctuations, successful deployments (based on evaluation studies) encouraged many other agencies to deploy these systems, and finally emergence of new ATCSs brands which were more user friendly than the old ones. The emergence of these new ATCS brands (sometimes referred as 'plug-and-play ATCSs'), accompanied with good promotions and marketing, help to skyrocket ATCS deployments within the last 10 years. There are currently more than 350 ATCSs deployments in the US. The most notable systems are InSync, Centracs Adaptive, SyhncroGreen, Kadence, Transpartiy, etc.

Although in place for more than 50 years, there are still many questions that remained unanswered about operational and safety benefits of these systems. Traffic signal practitioners, various stakeholders and Intelligent Transportation Systems (ITS) engineers are very interested in finding out what type of benefits can be expected from ATCS deployments. Moreover, each deployment, followed by an evaluation study, needs to be more thoroughly examined to identify which of the factors and circumstances lead to its success or failure. In the cases where an ATCS deployment was not successful (and the system was decommissioned (partially or fully)), an examination of causes that lead to system decommissioning can result in a very valuable lesson to learn for future deployments. It is of particular interest to identify all of these factors for each ATCS deployment and evaluation and present them in a coherent and consistent framework. Thus, the first goal of this paper is to present a systematic approach for summarizing the most important factors regarding ATCSs by developing framework for data categorization, collecting the relevant data, populating the database, and developing tool for data retrieval from database. The second goal of this study is to present some of the findings regarding different aspects of ATCSs technology deployment by retrieving the data from the database using developed tool. Noteworthy, management and maintenance of ATCSs in the US is performed by several different agency types, State – Department of Transportation, County, and City agencies. For each agency type, institutional and organizational aspects may vary significantly (e.g. size of agency, workforce distribution, organizational structure, jurisdictional coverage, etc.). Thus, the authors of this study consider closely only relevant experience within City agencies.

Paper is organized in the following manner, first brief literature review is conducted to document relevant research efforts on surveying ATCS-deploying agencies, decision-making processes for selection of ATCSs, and ATCSs evaluation practices. Secondly, the process of framework development, data collection, development of the database, and tool for data retrieval is presented. Finally, some of the most important findings regarding ATCSs deployments and benefits reported from evaluation studies are discussed.

2. LITERATURE REVIEW

With increasing number of deployments, within the last couple of years, a number of studies were conducted to follow up with the current state of practice. Around the same time, Selinger and Schmidt (2009) and Stevanovic (2010), conducted survey of ATCS-deploying agencies in the US and abroad [2,3]. These surveys mainly identified major aspects of this technology (e.g. number of signals operating in adaptive regime, market share of different brands, agency organizational aspects etc.). Similarly, based on available literature Fehon and Peters (2010) and Zhao and Tian (2012) provided an overview of a major ATCSs in the US [4,5]. Lodes and Benekohal (2013) surveyed ATCS-deployed agencies to investigate costs and safety benefits of ATCSs [6]. Those studies provided an overview of agencies that deployed ATCSs (e.g. ATCS's capital and maintenance costs, safety and operational benefits, etc.) [2-6]. However, there remained a number of questions which have not been addressed, such as: requirements for an ATCS deployment (e.g. favorable traffic conditions), selection and procurement methods, evaluation procedures, etc. In the following section, we cover some of the key studies that have addressed some of these matters.

Fehon et al. developed extensive guidance for system engineering documents regarding assessment and selection of an ATCS [7]. This guidance document is feasible tool to examine conditions within an agency (e.g. jurisdictional, financial, operational, etc.), assess whether or not ATCS is likely to address anticipated network issues and to decide what type of adaptive control is appropriate for an agency. Mudigonda et al. (2008), developed GIS-based decision support system tool that combines macroscopic simulator and a rule-based

expert system to decide whether OPAC, SCOOT, or SCATS should be implemented [8]. Wang et al. (2013) developed a tool for indicating suitability for non-adaptive (e.g. TOD-actuated) or adaptive traffic control for a given network [9]. The study was conducted in the jurisdictional boundaries of the Oregon Department of Transportation, with a focus on three ATCSs brands, InSync, ACS-Lite and SCATS. Studer et al. (2015) documented costs, benefits, and limitations of different ATCSs (SCATS, SCOOT, InSync, and UTOPIA) based on literature review [10]. The main goal of this study was to provide decision-makers guidance on which ATCSs should be most appropriate for deployment on a specific network. Ban et al. (2016), developed a decision-making tool for practitioners in order to guide them in decision-making process whether to deploy adaptive control or not [11]. The tool is composed of two components, a decision tree for qualitative analysis and regression models with support vector machine (SVM) for quantitative analysis. In a more recent study, Sharma et al. (2018) developed a methodology to monitor and compare arterial corridors in terms of mobility-based performance measures [12]. Developed methodology serves to identify candidate corridors for retiming purposes and those suitable for ATCSs implantation. Zhao and Tian (2011) examined SCATS and ACS Lite performance within VISSIM and CORSIM to assess which brand should be deployed on a particular network [13]. Large group of studies examined performance of ATCSs for relatively short periods (one-time evaluations) [14,15]. However, there were attempts where systems were evaluated in a long-term fashion (e.g. over 20 years) [16].

This literature review showed that although many groups of authors proposed viable methods in determination of which system and on which network should be deployed, many aspects of implementing an ATCS were overseen that can be used in the process of decision making for ATCS deployment. For instance, deploying ATCS agency environment (i.e., agency jurisdiction, budget limitations, workforce, etc.), operational ATCS environment (i.e., pre-ATCS traffic control type, frequency of pre-ATCS signals fine-tuning, AADT on the busiest corridor where ATCS is deployed, etc.), evaluation environment (i.e., entity who initiated evaluation study, entity that conducted evaluation study, evaluation method and type, etc.). In addition, studies which serves to propose particular ATCS brand are mainly due to complexity of testing and simulating various systems, limited with number of ATCSs brands that are proposed. In one attempt based on real life deployments and evaluation studies within US, this paper summarizes all major factors important for an ATCS deployment and evaluation within City agencies. In addition, beside conclusions derived from obtained data in this study, using the developed tool, each individual can perform their analysis to learn more about deploying/evaluating environment of ATCSs and to assess to which level (based on conducted evaluations) benefits from such deployments are achieved.

3. METHODOLOGY

Several research steps were conducted to achieve the goal of this study. First, a literature review of relevant studies was conducted to identify all important factors (categories) that can affect system deployment, operation, and evaluation. For each identified category, proper definition/explanation was provided. In cases when a new data category is identified in literature that is not related to any so far identified category, framework was expanded. Identified categories were organized within corresponding sections (e.g. data category about agency workforce belongs to section that describes institutional aspects of deploying agencies and similar). Once all categories and subcategories were related to a particular section, framework was developed. Survey of ATCS-deploying agencies was then developed to cover all categories and subcategories identified in framework and it was delivered to more than 350 deploying agencies in the US. Considering that such a large number of survey criteria required a time-consuming data entry process for representatives of the surveyed agencies, a relatively low response survey rate was achieved. Data collected from the survey were used to populate database developed in MS Excel that was connected to number of developed dashboard pages (essentially framework sections) that allow tool users option to perform number of analysis using provided filtering options. Finally, all relevant findings were extracted from developed tool. More details about the more challenging methodological tasks are presented in brief in the following.

3.1. Framework for data categorization

The framework for data categorization of ATCS evaluations consists of four identified areas:

- Agency Details
- Details of Deployed ATCS
- Evaluation Information
- Evaluation Results

Within agency details, there are four main categories that were identified as important, which can influence deployment and operations of an ATCS. These categories are related to basic agency's information, its jurisdiction, workforce, and budgeting. Further, within details of deployed ATCS eight major categories are

identified to examine various perspectives of deployed ATCS, such as: basic info about deployed ATCS, selection method and installation process of the ATCS, area coverage of the ATCS, objectives and operational environment of the ATCS, communication and detection media of the ATCS, previously utilized traffic control system, capital and maintenance costs of the ATCS, system monitoring and operations. Evaluation details section covers general info about evaluation (e.g. who conducted study), tools used to perform evaluation, and details about evaluation study (e.g. evaluation method). Finally, evaluation results section covers the data categories related to performance measures used in evaluation studies to document benefits of the ATCS deployments. Two major data evaluation categories in this section are related to weekdays and special traffic events. The weekday results are grouped in three distinctive peak periods (AM, Mid-day, and PM). On the other hand, the special event could happen during any time periods such as AM off-peak period, weekend etc. More details about identified categories can be found elsewhere [17].

3.2. Development of database and Assessment Tool For Adaptive Traffic Control ((AT)2C)

Data gathered through the literature review and survey were used to populate the database. The database was developed in a Microsoft Excel as a single spreadsheet. This spreadsheet was organized using Excel’s Data Model feature that provided flexibility to integrate new data categories, build relationships within a workbook, etc. The database is designed in such a way where each column represents a category from the data categorization framework (e.g. agency type), and each row represents a single record/instance (as illustrated in Figure 1b)). Each record contains one of the following information elements: (i) agency and deployment details (when an evaluation was not conducted), or (ii) agency, deployment, and evaluation details, or (iii) agency and evaluation details (when a system was not deployed, but evaluation was done in simulation). Within the same workbook, several dashboards were developed with aim for users of tool to interact with collected data and perform analysis. The database connected with dashboards essentially represent Assessment Tool for Adaptive Traffic Control – (AT)2C. Each dashboard page consists of elements for visualization of data, filtering elements (slicers) for users to conduct analysis and several navigational buttons that serve to navigate through the tool. The (AT)2C is designed to provide two types of analyses: (i) analysis of the operational and institutional environment where the ATCSs are deployed, and (ii) analysis of reported benefits from the ATCS deployment. Illustration of AT2C process development is presented in Figure 1.

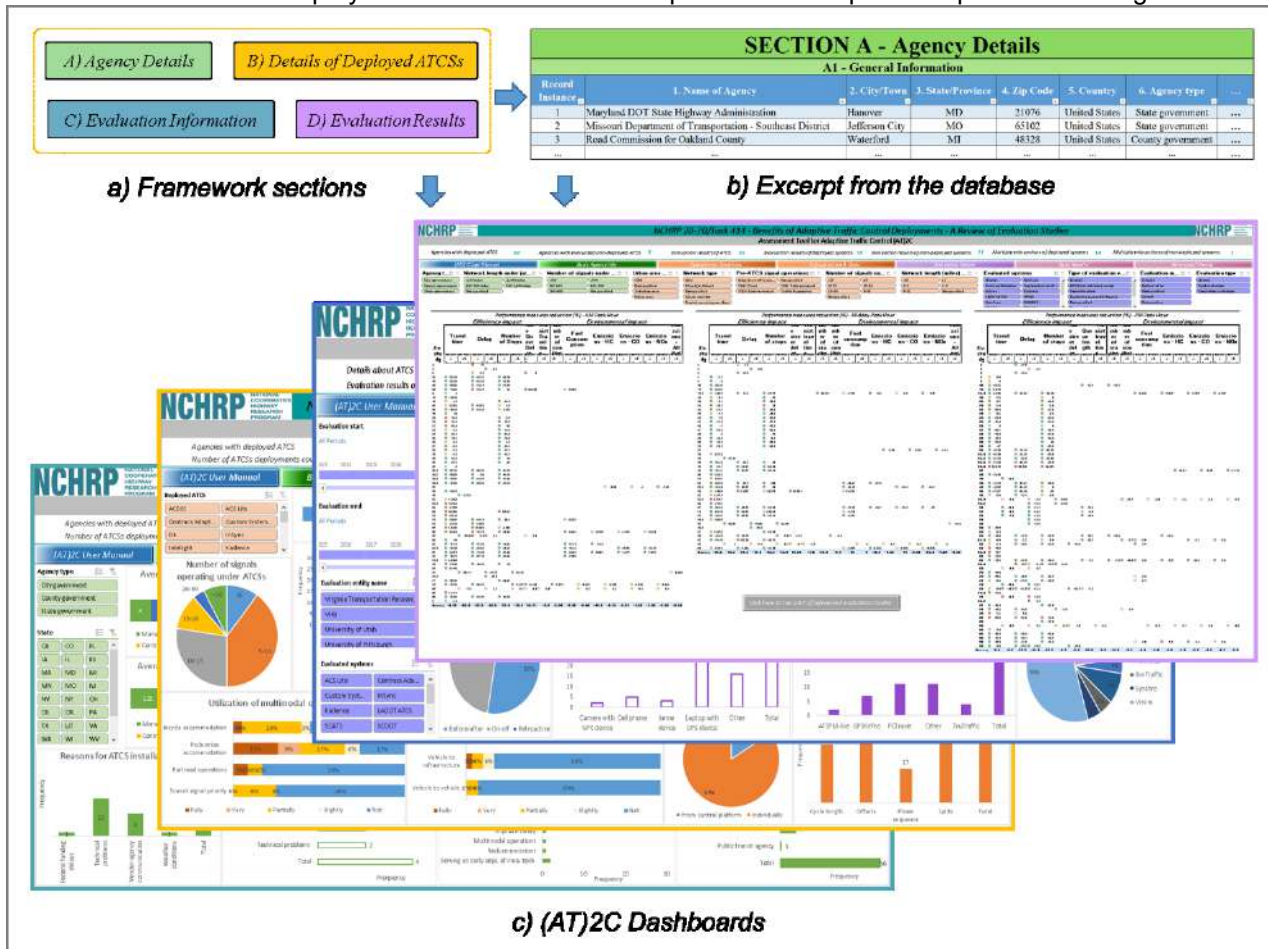


Figure 1. Process of (AT)2C development
Source: (Authors)

4. RESULTS AND DISCUSSION

Data were collected from several sources, using available literature and by surveying the ATCS-deploying agencies. Overall, data were collected for 54 agencies around the US, out of which 24 were City, 14 County, and 20 State agencies (Departments of Transportation). City agencies deployed 25 ATCSs. As pointed previously, considering that larger agencies (State and County) may have more complex institutional aspects (e.g. larger network size under operation, overlapping jurisdictions, etc.) particular focus in the following discussion is related only to City agencies.

4.1. Lessons learned

Based on reported data from ATCS-deploying City agencies, details regarding the institutional environment were compiled and presented in Figure 2. To understand agency operational conditions, let us first examine the relationship between the total number of signals and the number of signals that are coordinated. It is found that at least 50% of all signals within agencies are coordinated. Most of the agencies operate less than 300 signals (as shown in Figure 2a). When it comes to workforce, the average number of employees per category ranges between 2 (managers, engineers) to 4 (controller technicians). Training received for deployed system is another important aspect of successful system operations. It was found that on average each category received between 51 to 225 hours of training (as shown in Figure 2b)). When these numbers are divided by average number of employees per employee category, amount of training was provided in a range from 17 to 126 hours for other technicians and engineers respectively.

Involvement of other stakeholders in process of system deployment is important to ensure that needs and priorities of other entities are recognized, and to allow for the fact that system goals are sometimes defined by other authorities (e.g. transit departments). For reported deployments in 10 cases besides deploying agency other agencies (DOT/County/City) were involved in installation process. For 6 deployments, nobody else besides deploying agency was involved. Distribution of different agency types that were involved in system deployment are shown in Figure 2c). It is important to note that respondents were allowed to select multiple answers. Thus, numbers for different answer categories do not necessarily add up to total values presented in Figures 2c), 2d), and 2e). For 7 out of 25 deployed systems, installation delays occurred mainly due to technical problems or because of poor communication between ATCSs installation vendor and deploying agency (see Figure 2d)). For two deployments, ATCSs were turned off after their installation. In one case, system was not compatible with agency's expectations and practice (e.g. minimum requirements for pedestrian signal groups). In contrast, in another case, technical problems regarding detection technology and software issues were the main reasons.

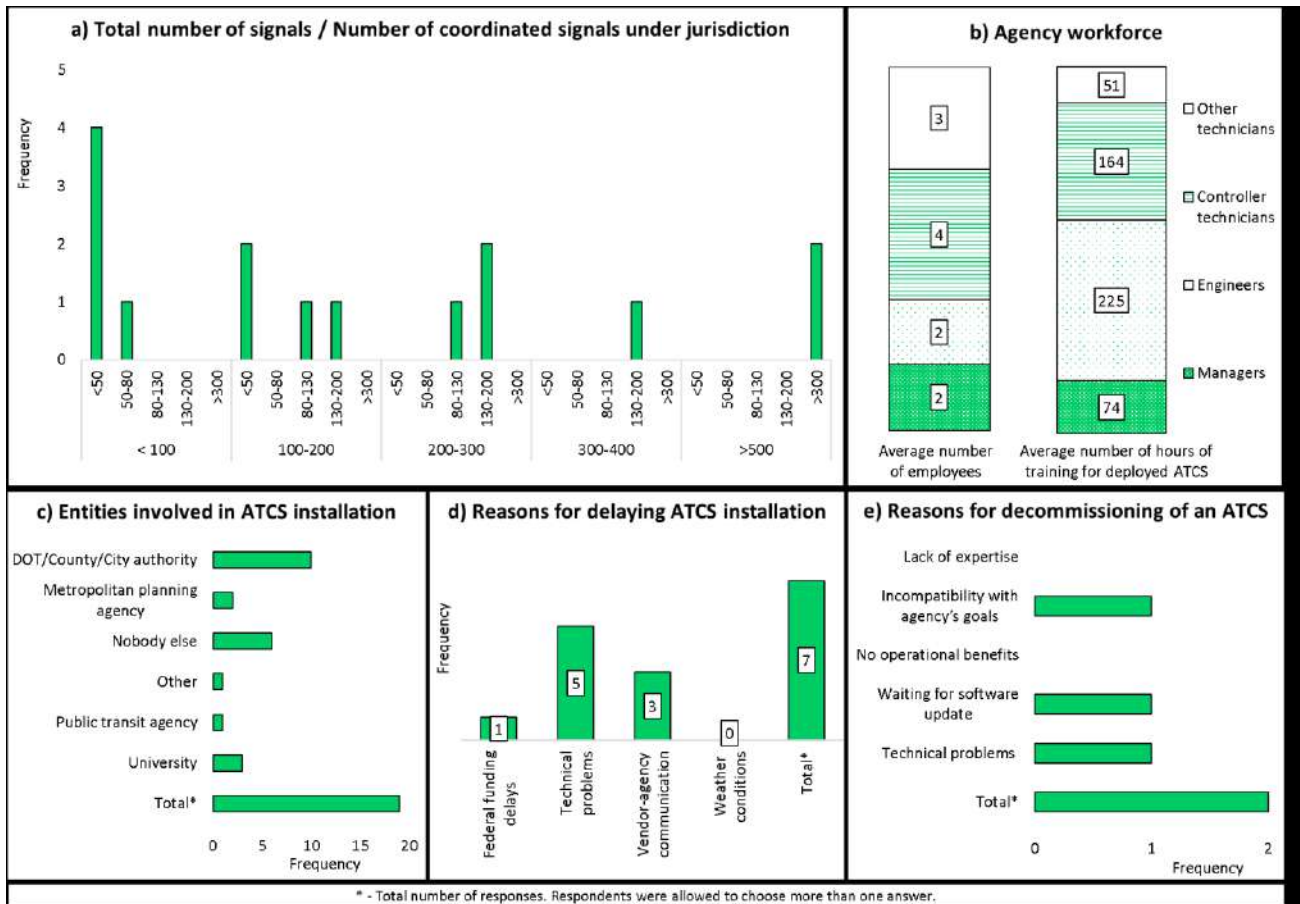


Figure 2. City Agencies Info
Source: (Authors)

Based on 25 deployed systems by 20 City agencies, we examine the operational aspects of ATCSs. In terms of system monitoring and operation, it was found that in most of the cases (~75%), ATCSs are operated from the central signal system, as shown in Figure 3a). Most deployed systems operate between 5 and 15 signals (~71%), and only in a small percentage (~4%) systems operate more than 30 signals (see Figure 3b)). This can be attributed to the fact that most of the surveyed agencies are mainly small city agencies that do not necessarily have long experience in this technology deployment. One way to characterize traffic variation on an ATCS network is to consider the daily difference between the highest and the lowest traffic. Considering that any network can have (close to) zero traffic during the night, the highest AADT recorded (on any of the road segments in the network), may be a simple (intuitive) way to indicate in which conditions a deployed ATCS operates. Figure 3c) shows the distribution of AADTs on the networks where ATCSs are deployed. There are several mechanisms that agencies follow to select and procure ATCSs. The two main approaches are procurement through competitive bidding or sole-source acquisitions. The competitive bidding represents a process where a deploying agency provides in-depth specifications for the adaptive project and invites vendors (contractors) to bid to get the job. Competitive bidding aims at obtaining goods and services at the lowest prices by stimulating competition. On the other hand, with the sole-source approach, a deploying agency procures a particular (unique) system where such a decision is justified by the case that such a system is the only one that can fulfill agency's requirements. Based on collected data, it was found that city agencies in 28% of cases apply competitive bidding selection methods, in terms of other methods (33%), agencies use score-systems, experimental methods, or inter-agency agreements, etc. However, 39% of deployments were selected using sole source methods (as shown in Figure 3d)). When it comes to the previous type of signal control and operations, it is found that ATCSs were installed on networks that were previously in 80% of cases actuated (semi and fully). In addition, for the previous type of control, signals were operating in a coordinated regime in 86% of cases. Hence, benefits of deployed systems can not be attributed to outdated systems (e.g. isolated signals, with no detection). On another side, assessing the benefits from ATCS will depend on the time period between the last signal-retiming and ATCS evaluation study. Based on survey results, it is reported that in around 30% of cases, signals were retimed in a period less than a year, which shows good retiming practice. However, most of the pre-ATCS signals were not retimed for a period of more than a year (as shown in Figure 3g)). This raises a flag that some of the benefits of ATCSs may be attributed to poor signals retiming.

When it comes to detection technology used by deployed systems, based on reported data, the most utilized technology is video detection (17 out of 21), followed by inductive loops (12 out of 21) and similar (see Figure 3h)). Important to note that not in all cases system utilize one detection technology (multiple answers were allowed for respondents). Finally, the average costs per intersection of ATCSs installation are around \$55,000, costs of ATCSs software (license) are about \$8,000, and reported maintenance costs are approximately \$1,200. The minimum and maximum values for each cost category are presented in Figure 3i).

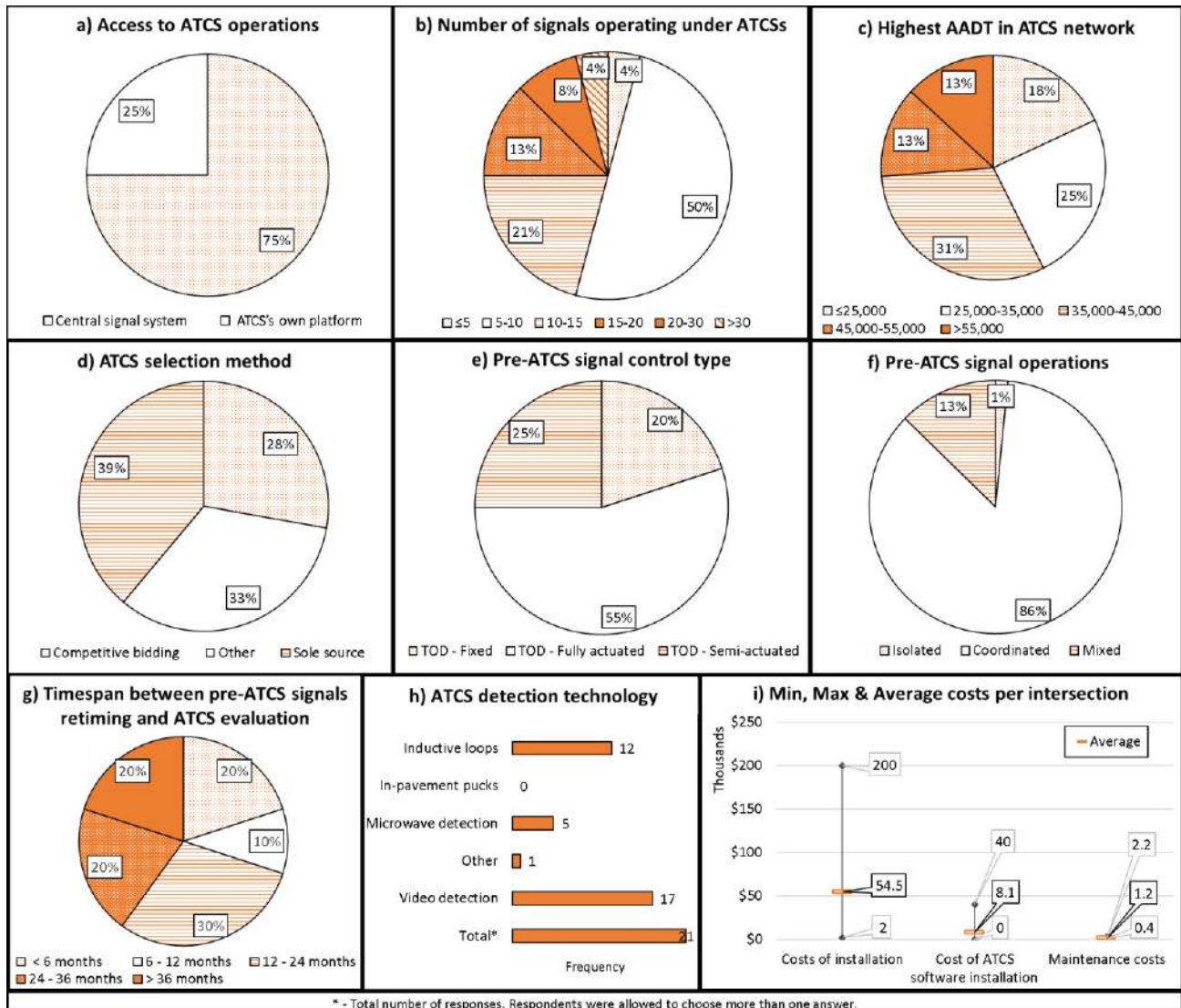


Figure 3. Details about ATCSs deployed by City agencies
Source: (Authors)

When it comes to the evaluation environment for systems deployed by City agencies, in most of the cases deploying agencies initiated an evaluation study (as shown in Figure 4a)). In respect to the entity that evaluated ATCSs, in most of the cases that were a Consulting firm or University (Academia institution) (as shown in Figure 4b)). In very few instances (2 out of 25), evaluation was done by the installation vendor. The distribution of deployed and evaluated brands covered in this study is shown in Figure 4c). Mostly deployed/evaluated systems by city agencies are InSync, ACS Lite, and SCATS. Field evaluation studies were performed in 84% of the cases, and only in 16% of evaluations, ATCSs were evaluated in the simulation environment. There are two main types of evaluation methods, 'before-after' and 'on-off'. In the 'before-after' evaluation method, 'before' study is done before an ATCS is installed in the field, usually while a conventional time-of-day (TOD) traffic signal control is operational. An 'after' study is then performed once the ATCS is deployed with an adaptive regime replacing the TOD control. There is usually a several-month time span between 'before' and 'after' evaluation. Traffic conditions during 'before' and 'after' studies can significantly vary (especially if there are strong seasonal traffic fluctuations), thus making (sometimes) results of such comparative studies unfair. In the 'on-off' evaluation method, both 'on' and 'off' studies are done after an ATCS is deployed in the field. In

the case of 'On' study the ATCS is turned on and the signals work in a (fully) adaptive mode. Logically, in the case of 'Off' study, the ATCS's adaptive operations are turned off, and a set of background TOD plans (mimicking before ATCS conditions) controls the traffic. In the case of 'on-off' study seasonal traffic variations can be avoided (if both studies are done within the same traffic season) but the issue could be made if the background TOD plans (working in 'Off' study) are not identical to the true TOD plans, which were in effect before the ATCS was deployed. In 72% of evaluations, agencies performed the 'before-after' method, followed by the 'on-off' method in 24% of cases (as shown in Figure 4e)). In very few instances the retroactive method was performed. More details about this approach can be found in the original study [17]. When it comes to field data collection for evaluation purposes, still most utilized hardware are GPS receivers combined with devices (e.g. laptops, cell phones, etc.) (see Figure 4f)).

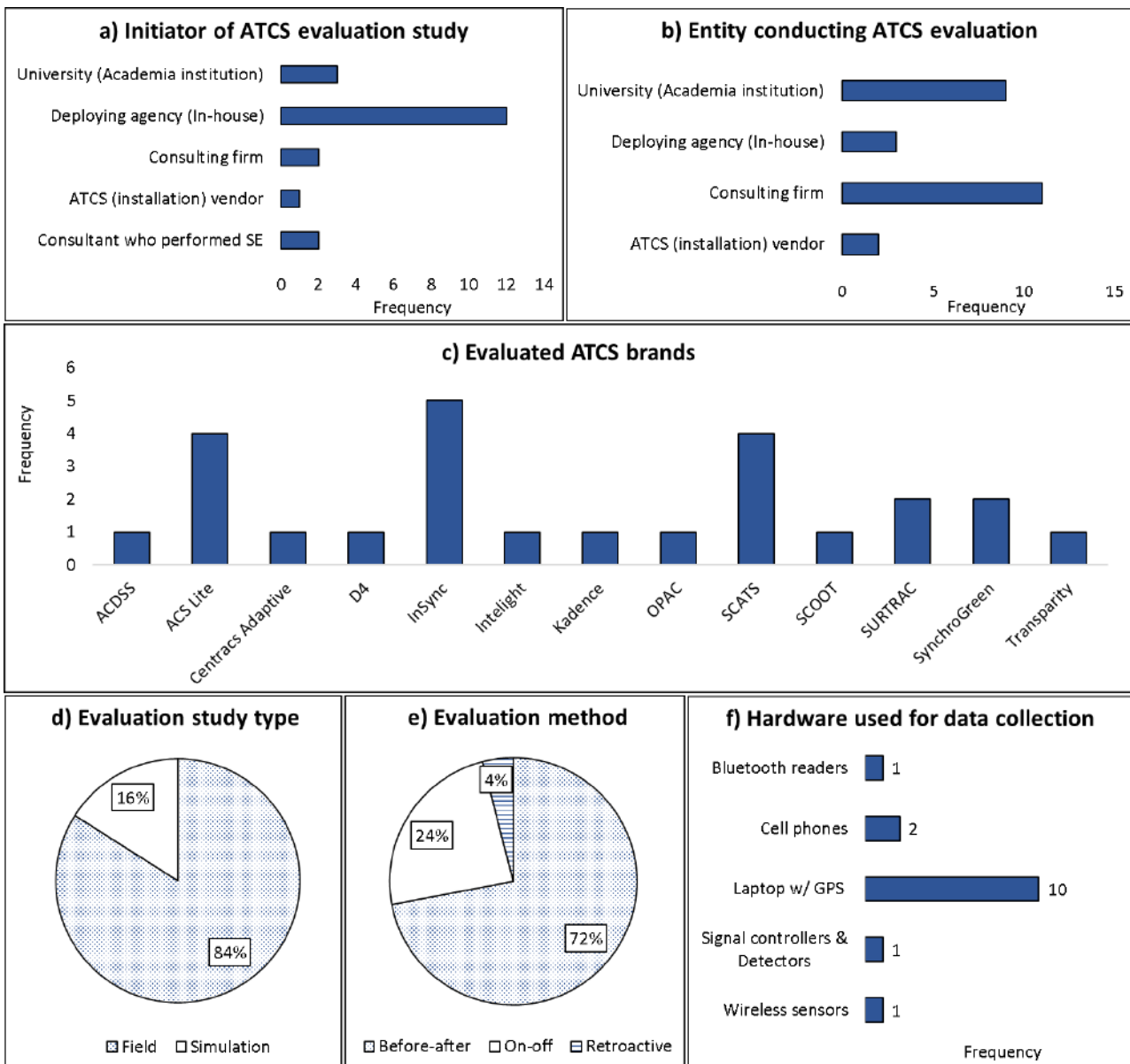


Figure 4. Details about ATCSs evaluation studies
Source: (Authors)

4.2. Benefits of ATCSs

The benefits of ATCSs were determined from evaluation studies by observing differences in values of performance measures before and after the ATCS deployment. Evaluations of ATCSs are mainly conducted during regular weekdays peak periods (AM, Midday, PM). However, there are instances where ATCS performance was evaluated during special events (e.g. Friday PM peak). When it comes to spatial aspect of evaluations, some studies reported benefits on intersection level, the other ones evaluated performance only

for major corridor’s (coordinated) through movements (usually by doing probe vehicle runs). Finally, in some evaluation studies, performance was evaluated on multiple routes in an attempt to assess performance on the overall network level. Thus, it was decided to limit coverage of the results to only two major levels: 1. Individual route(s), and/or 2. Network.

Table 1 shows the overall performance improvement of the ATCSs during each of the considered periods. For each evaluation period, based on a particular number of evaluation studies (denoted as ‘Studies (#)’), the average performance improvement was calculated (denoted as ‘Avg. (%)’). Considering that not every evaluation study provides results for every possible evaluation period and all of the performance measures, whenever some of the values were not available, this is denoted with ‘NR’ (as Not Reported). Negative values indicate that the relevant performance measures (e.g. delay, stops) have been reduced (which is an improvement that the adaptive system has brought), whereas the positive values indicate that the performance measures have increased (thus representing a deterioration of the system brought by ATCS timings).

Based on results from evaluation studies for systems deployed and operated by City agencies, it can be seen that ATCSs did bring benefits in various performance measures for different evaluation periods. For efficiency-related performance measures, benefits were reported in a range from -4.8% (Travel time Midday peak) to -52.6% (Number of stops Midday peak). In terms of environmental-related performance measures, ATCSs brought benefits in a smaller magnitude with maximum improvement up to -6.7% (Fuel consumption during AM peak period). In one instance, deterioration of performance was reported, or emissions for HC were increased by 5.9% (PM peak period). However, this can be considered as exemptions that do not change the generally positive picture of the ATCSs’ performances. Important to note that reported results represent aggregated values for all ATCSs brands deployed by city agencies. In other words, (AT)2C was used to perform filtering for the City agencies. A number of filtering processes were performed within (AT)2C in order to document the benefits of deployed ATCS. Since the reporting of these findings is too comprehensive for this paper, a reader is referred to the relevant report [17].

Table 1. Performance Measures Reductions for ATCSs Deployed by City Agencies

Impact type		Efficiency impact							Environmental impact							
		Travel time		Delay		Number of Stops		Number of Conflicts	Fuel Consumption		Emissions - HC		Emissions - CO		Emission s - NOx	Emissions - All Polutants
Time period		Routes based	Network level	Routes based	Network level	Routes based	Network level	Network level	Routes based	Network level	Routes based	Network level	Routes based	Network level	Routes based	Network level
AM peak	Studies (#)	12	2	10	3	10	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
	Avg. (%)	-16.9	-27.0	-32.1	-21.7	-40.6	-29.1	NR	-6.7	NR	-3.5	NR	-1.3	NR	-3.5	-0.2
Midday peak	Studies (#)	3	1	2	2	3	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
	Avg. (%)	-4.8	-32.8	-19.7	-32.1	-31.9	-52.6	NR	-4.8	NR	-6.5	NR	-4.5	NR	-3.4	-0.3
PM peak	Studies (#)	12	0	10	3	10	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0
	Avg. (%)	-13.9	NR	-29.6	-15.4	-34.3	NR	-4.8	-4.8	NR	5.9	NR	-5.5	NR	-3.6	NR
Friday PM peak	Studies (#)	4	0	4	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Avg. (%)	-19.1	NR	-31.6	NR	-57.4	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Average Saturday	Studies (#)	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Avg. (%)	-10.4	NR	-35.1	-20.4	-11.1	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

Source: (Authors)

5. CONCLUSIONS

This study presents an attempt to systematically summarize all important factors that can impact ATCSs deployments and benefits. Based on the literature review, a comprehensive framework for data categorization was developed. By conducting a survey of ATCS-deploying agencies, data were collected and used to populate the database. The number of dashboard pages that represent framework sections were developed and connected to the populated database to establish Assessment Tool for Adaptive Traffic Control ((AT)2C)). Finally, the data retrieval process from (AT)2C was performed for City government agencies to investigate the most important factors that can impact ATCSs deployment and evaluation benefits.

It was found that, on average, agencies provided training regarding deployed ATCSs in a range from 17 to 126 hours for other technicians and engineers, respectively. The ATCSs were turned off after they were installed in 2 out of 25 cases. In one case, ATCS was not compatible with agency’s expectations and practice (e.g. minimum requirements for pedestrian signal groups) whereas in another case technical problems regarding detection technology and software issues were the main reasons. Most of the deployed systems operate between 5 and 15 signals (71%), and only in a small percentage (4%) systems operate more than 30 signals. For 61% of deployed ATCSs, selection was made using competitive bidding and other procurement methods (e.g. score-systems, experimental methods, or inter-agency agreements). The ATCSs were deployed on networks that previously in 80% operated as actuated and in 86% in the coordinated regime. The most utilized detection technology is video followed by inductive loops. The average costs of installation per intersection are around \$55,000. Universities and consultant firms conducted evaluation study in 80% of cases, followed by

evaluations done in-house (by deploying agency) in 12% of cases and in only 8% ATCSs installation vendors were evaluation entity. Evaluations were conducted mainly in the field (84%) using 'before-after' method in 72% of cases. When it comes to benefits of deployed systems, benefits were reported for the number of efficiency-related performance measures in range from -4.8% (Travel time Midday peak) to -52.6% (Number of stops Midday peak). Considering that ATCSs were deployed on networks that previously operated mainly in actuated-coordinated mode, these results show that the benefits of ATCSs can be attributed to systems' capability rather than inadequate comparison with the outdated type of control (e.g. isolated fixed-time signals). Finally, it needs to be clarified that the findings reported in this study are based on the data obtained for City government agencies. More details about other agency types and the number of deployed/evaluated systems can be found in the original study [17]. In future, the authors plan, periodically, to collect relevant data on new ATCS deployments and evaluations and update the (AT)2C database.

6. ACKNOWLEDGMENTS

The results presented in this paper are from a study funded by the National Cooperative Highway Research Program, NCHRP 20-18 07/Task 414: Benefits of Adaptive Traffic Control Deployments — A Review of Evaluation Studies. The authors would like to thank all participating agencies that deployed ATCSs for their input as well as the NCHRP staff and project panel members for providing valuable suggestions during the course of the study.

References

- [1] Stevanovic, A., 2009. Review of adaptive traffic control principles and deployments in larger cities. In Proc. mobil. TUM 2009–Int. Sci. Conf. on Mobility and Transport (CD-ROM).
- [2] Selinger, M. and Schmidt, L., 2009. Adaptive traffic control systems in the United States. *HDR Engineering, Inc.*
- [3] Stevanovic, A., 2010. *Adaptive traffic control systems: domestic and foreign state of practice* (No. Project 20-5 (Topic 40-03)).
- [4] Fehon, K. and Peters, J., 2010, June. Adaptive traffic signals, comparison and case studies. In *Institute of Transportation Engineers Western ITE Meeting. San Francisco.*
- [5] Zhao, Y. and Tian, Z., 2012. An overview of the usage of adaptive signal control system in the United States of America. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 178, pp. 2591-2598). Trans Tech Publications Ltd.
- [6] Lodes, M. and Benekohal, R.F., 2013. *Safety benefits of implementing adaptive signal control technology: Survey results.*
- [7] Fehon, K., Krueger, M., Peters, J., Denney, R., Olson, P. and Curtis, E., 2012. *Model Systems Engineering Documents for Adaptive Signal Control Technology Systems-Guidance Document* (No. FHWA-HOP-11-027).
- [8] Mudigonda, S., Ozbay, K. and Doshi, H., 2008. Evaluation and selection of adaptive traffic control strategies on transportation networks: Decision support tool based on geographic information system. *Transportation Research Record, 2064*(1), pp.51-64.
- [9] Wang, Y., Lao, J.C.Y. and Xin, K.H.X., 2013. Criteria for the selection and application of advanced traffic signal systems Final Report.
- [10] Studer, L., Ketabdari, M. and Marchionni, G., 2015. Analysis of adaptive traffic control systems design of a decision support system for better choices.
- [11] Ban, X., Wojtowicz, J.M. and Li, W., 2016. *Decision-making tool for applying adaptive traffic control systems* (No. C-13-04). New York State Energy Research and Development Authority.
- [12] Sharma, A., Hawkins, N., Shaw, J.G., Knickerbocker, S. and Poddar, S., 2018. Performance-Based Operations Assessment of Adaptive Control Implementation in Des Moines, Iowa.
- [13] Zhao, Y. and Tian, Z., 2011. *Applicability of Adaptive Traffic Control Systems in Nevada's Urban Areas* (No. 092-09-803). Nevada. Dept. of Transportation.
- [14] Martin, P.T. and Stevanovic, A., 2008. *Adaptive Signal Control V-SCATS Evaluation in Park City, Utah* (No. MPC Report No. 08-200).
- [15] Tian, Z., Ohene, F. and Hu, P., 2011. Arterial performance evaluation on an adaptive traffic signal control system. *Procedia-Social and Behavioral Sciences, 16*, pp.230-239.
- [16] Radin, S., Chajka-Cadin, L., Fatcher, E., Badgley, J. and Mittleman, J., 2018. *Federal Highway Administration Research and Technology Evaluation Final Report: Adaptive Signal Control* (No. FHWA-HRT-17-007). FHWA. Office of Corporate Research, Technology, and Innovation Management.
- [17] Stevanovic, A., Dobrota, N., and Mitrovic, N., 2019. Nchrp 20-07/task 414: Benefits of adaptive traffic control deployments - a review of evaluation studies. Final Report. AASHTO. URL http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/nchrp/docs/NCHRP20-07_Task414FinalReport.pdf.

ADITIVI ZA MODIFIKACIJU ASFALTNIH MEŠAVINA

Tošković Đorđe¹, Pap Imre, Suzana Stefanović

¹ Institut za puteve AD, Beograd, Srbija, Bulevar Peka Dapčevića 45, toskovicns@hotmail.com

Rezime: Asfaltni putevi su u današnje vreme sve više izloženi porastu saobraćajnog opterećenja i hazardnim situacijama usled klimatskih promena. Oni predstavljaju faktor rizika za pojavu raznih oštećenja što utiče na smanjenje nosivosti, a time i na životni vek kolovoza. U cilju poboljšanja kvaliteta i trajnosti asfaltnog kolovoza stručnjaci u mnogim laboratorijama rade istraživanja novih asfaltnih mešavina sa dodatkom modifikovanih veziva i raznih aditiva. U ovom radu su prikazani rezultati ispitivanja dinamičkog modula krutosti asfaltnih mešavina tipa AB-11s za vrlo teško saobraćajno opterećenje, pri različitim temperaturama i frekvencijama opterećenja, u skladu sa SRPS EN 12697-26:2018 Aneks C. Upoređene su asfaltna mešavina sa bitumenom B 50/70, polimer-bitumenom PmB 45/80-65, bitumenom B 50/70 sa dodatkom aditiva na bazi aramida i poliolefina, kao i sa polimerom na bazi reciklirane plastike. U softverskom programu BISAR 3.0, za ispitane asfaltna mešavina, prikazana je analiza rezultata modula krutosti i zamora sa aspekta nosivosti kako bi se predstavila različita rešenja dimenzionisanja slojeva kolovozne konstrukcije.

Ključne reči: asfalt, modifikacija, krutost, nosivost, BISAR 3.0

ADDITIVES FOR MODIFICATION OF ASPHALT MIXTURES

Tošković Đorđe¹, Pap Imre, Suzana Stefanović

¹ Highway Institute, Belgrade, Serbia, Bulevar Peka Dapčevića 45, toskovicns@hotmail.com

Abstract: Asphalt roads are nowadays increasingly exposed to increased traffic loads and hazardous situations due to climate change. They represent a risk factor for the occurrence of various damages, which has the effect of reducing the load-bearing capacity and thus the life of the pavement. In order to improve the quality and durability of asphalt pavement, experts in many laboratories are researching new asphalt mixtures with the addition of modified binders and various additives. This paper presents the results of testing the dynamic modulus of stiffness of asphalt mixtures type AC 11 for very heavy traffic loads, at different temperatures and load frequencies, in accordance with SRPS EN 12697-26: 2018 Annex C. Asphalt mixtures with bitumen B 50/70 are compared with polymer-bitumen PmB 45/80-65, bitumen B 50/70 with the addition of additives based on aramid and polyolefin, as well as with polymer based on recycled plastic. The BISAR 3.0 software program, for the tested asphalt mixtures, presents an analysis of the results of modulus of stiffness and fatigue in terms of load capacity in order to present different solutions for pavement.

Keywords: asphalt, modification, stiffness, load-bearing capacity, BISAR 3.0

1. UVOD

Usled pojave globalnog zagrevanja, koja se manifestuje preko porasta srednje godišnje temeperature i incidentnih vremenskih pojava (ekstremnih temperatura i padavina), mogu se javiti oštećenja kolovozne konstrukcije u vidu pukotina, smanjenom otpornošću na zamor i osetljivošću na uticaj vode. Pored pukotina, mogu se javiti i plastične deformacije kolovoza-kolotrazi. Ovakva oštećenja imaju negativan uticaj na kvalitet vožnje korisnika puta i potrebno ih je sanirati ili preduprediti njihov nastanak. Jedno od rešenja za sprečavanje nastanka ovakvih oštećenja je modifikacija asfaltnih mešavina. Ovim postupkom, dobijaju se mešavine sa poboljšanim karakteristikama kao što su otpornost na trajne deformacije, otpornosti na zamor i pojavu termičkih pukotina [1].

Za poboljšanje karakteristika bitumena najčešće se koriste aditivi-polimeri, komercijalni ili reciklirani koji modifikuju karakteristike bitumena, odnosno asfaltnih mešavina. Pored SBS aditiva koji modifikuje bitumen [2], primenjuju se i dodaci u obliku vlakana koja u asfaltu formiraju strukturu u obliku trodimenzionalne mreže [3]. Pored ove dve modifikacije, predmet ispitivanja u ovom radu je i aditiv na bazi reciklirane plastike [4].

Cilj laboratorijskih ispitivanja, u ovom radu, je bio da se uporede dobijene vrednosti modula krutosti, asfaltna mešavina sa standardnim putnim bitumenom BIT 60 (B 50/70) u odnosu na asfaltna mešavina sa dodatkom modifikatora. Moduli krutosti su određeni na cilindričnim uzorcima u skladu sa standardom SRPS EN 12697-26:2018 Aneks C, na temperaturama (10, 20, 30 i 40 °C) i pri vremenu rastra opterećenja (60, 100, 124, 140, 160 ms) koje odgovaraju različitim brzinama kretanja vozila.

¹ Đorđe Tošković: toskovicns@hotmail.com

2. EKSPERIMENTALNI DEO

Ispitivanja u ovom radu obavljena su na asfaltnoj mešavini tipa asfalt-betona AB 11s (AC 11). Svi komponentalni materijali asfaltne mešavine (kamenno brašno, drobljeni pesak, agregat, bitumen), ispitani su u skladu sa važećim standardima. Za izradu asfaltnih mešavina AB 11s upotrebljeni su: kamenno brašno karbonatnog sastava, drobljeni pesak i drobljeni kameni agregat silikatnog sastava, što odgovara zahtevima standarda SRPS U.E4.014:90, za vrlo teško saobraćajno opterećenje.

Kao osnovno vezivo upotrebljen je putni bitumen vrste BIT 60 (B 50/70). Ispitivanje asfaltnih mešavina obavljeno je na uzorcima isečenim iz asfaltnih ploča spravljanim uz pomoć roler kompaktora (segmentnog nabijača) u skladu sa standardom SRPS EN 12697-33:2012. Temperatura pri kojoj su sabijani uzorci asfaltne mešavine, bila je od 150 do 160 °C u zavisnosti od korišćenog modifikatora.

2.1. Primenjeni aditivi u asfaltnim mešavina

Primenjeni aditivi u ovom radu su:

1. SBS polimer (PmB 45/80-65),
2. Polimer na bazi poliolefina i
3. Vlakna na bazi aramida i poliolefina.

2.1.1. SBS (styrene-butadiene-styrene) polimer

Primenom bitumena na bazi SBS polimera slika 1. (a), (polimer-bitumen), kao veziva povećava se otpornost i kvalitet asfaltne zastora na plastične deformacije kod povišenih temperatura, te otpornost na stvaranje pukotina na niskim temperaturama a naročito se povećava otpornost asfaltnih mešavina na zamor. Polimer modifikovani bitumen povećava elastičnost asfaltne mešavine i povećava se viskoznost na višoj temperaturi. (King et al.,1986).

2.1.2. Polimer na bazi poliolefina

Polimer, koji je korišćen u ovom radu, je plastomer na bazi poliolefina slika 1. (b), proizveden od mešavine polimera PELD (polietilen niske gustine) i PP (polipropilen), i koristi se kod modifikacije asfaltne mešavine tokom faze proizvodnje. Dodavanjem ovog polimera, dobija se asfalt poboljšanih fizičko-mehaničkih karakteristika, bez promene tehnologije proizvodnje asfaltne mešavine [5].

Polimer je u obliku peleta ili granula, omogućava dostizanje visokih priraštaja fizičko-mehaničkih i dinamičkih karakteristika asfaltne mešavine bez menjanja proizvodnih parametara. Polimer se dodaje u količinama od 0,25 %(m/m) u bitumeniziranim asfaltnim slojevima (BNS) i 0,30 %(m/m) u asfalt-betonima (AB i SMA). Polimer se lako disperzjuje u asfaltnoj mešavini tokom proizvodnje. Tehnologija proizvodnje i ugradnje asfalta, sem u povećanju temperature za 10°C, ne razlikuje se od klasičnog postupka izrade asfaltnog zastora.

2.1.3. Vlakna na bazi aramida i poliolefina

Mešavina vlakna je na bazi aramida i poliolefina slika 1. (c). Aramid je žute, a poliolefin sive boje. Pri mešanju sa vrelim asfaltom poliolefin se rastvara u bitumenu, dok se vlakna od aramida disperguju u mineralnoj mešavini i formiraju trodimenzionalnu strukturu u asfaltu. Za poboljšanje fizičko-mehaničkih i dinamičkih karakteristika asfaltnih mešavina vlakna se dodaju se u količini od 0,05%(m/m). Tehnologija proizvodnje i ugradnje asfalta je ista i ne razlikuje se od klasičnog postupka izrade asfaltnog kolovoza [6].



Slika 1. (a) sbs, (b) plastomer, (c) vlakna

2.2. Projektovanje sastava i ispitivanje asfaltnih mešavina AB 11s sa i bez vlakana

2.2.1. Sastav mineralnih mešavina AB 11s

Mineralna mešavina za asfalt-beton AB 11s projektovana je od drobljenog peska silikatnog sastava frakcije 0/2 mm i drobljenog kamenog agregata silikatnog sastava frakcija 2/4, 4/8 i 8/11,2 mm, uz dodatak kamenog brašna karbonatnog sastava u skladu sa graničnim pojasom iz SRPS U.E4.04:90.

U tabeli 1. prikazan je granulometrijski sastav mineralne mešavine AB 11s.

Tabela 1. *Granulometrijski sastav mineralne mešavine AB 11s, prolaz u %(m/m)*

	0,09 mm	0,25 mm	0,71 mm	2,0 mm	4,0 mm	8,0 mm	11,2 mm	16,0 mm
Projektovano	6,7	11,3	20,3	39,3	56,8	80,7	98,5	100
SRPS U.E4.014:90	3 - 11	8 - 18	16 - 30	31 - 48	49 - 65	75 - 87	97 - 100	100

2.1.2. Sastav asfaltnih mešavina AB 11s

Učešće komponentalnih materijala u asfaltnim mešavinama AB 11s prikazano je u tabeli 2. Optimalan sadržaj bitumena B 50/70 je određen Maršalovom metodom i iznosi 5,7%. U varijantama asfaltnih mešavina sa dodatkom aditiva praćena su uputstva i preporuke proizvođača. Polimer bitumen proizveden je u Rafineriji Pančevo i prema standardu SRPS EN 12591, odgovara vrsti polimer-bitumena PmB 45/80-65.

Polimer na bazi poliolefina dozira se u zagrejanu mineralnu mešavinu neposredno pre početka mešanja, nakon 5-10 sekundi dodaje se bitumen i sa mešanjem nastavlja do potpune homogenizacije.

Aramidna vlakna se dodaju prilikom mešanja zagrejene mineralne mešavine, a nakon homogenizacije mineralne mešavine dodaje se bitumen.

Temperatura spravljanja uzoraka asfaltnih mešavina sa B 50/70 iznosi 150 ± 3 °C, kao i za asfaltnu mešavinu sa dodatkom aramidnih vlakana. Uzorci asfaltnih mešavina sa dodatkom PmB i polimernih granula spravlja se na temperaturi 160 ± 3 °C.

Dimenzije uzoraka na kojima je vršeno ispitivanje su prečnika $\varnothing 100$ i debljine 50 mm i dobijeni su isecanjem iz asfaltnih ploča debljine 7 cm, spravljenih nabijačem sa valjkom, prema SRPS EN 12697-33:2018.

Tabela 2. *Sastav asfaltnih mešavina AB 11s sa 5,7 %(m/m) B 50/70*

	Mineralna mešavina
Kameno brašno	5,0
Drobljeni pesak frakcije 0/2 mm	33,0
Drobljeni agregat frakcije 2/4 mm	9,0
Drobljeni agregat frakcije 4/8 mm	31,0
Drobljeni agregat frakcije 8/11,2 mm	22,0
Svega:	100,0

U tabeli 3. date su vrednosti procentualnog učešća aditiva u odnosu na asfaltnu mešavinu.

Tabela 3. *Procentualno učešće aditiva u asfaltnoj mešavini*

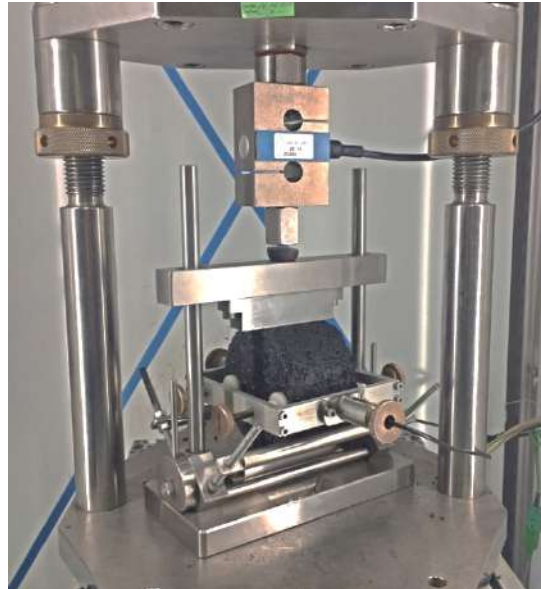
Asfaltna mešavina sa B 50/70 uz dodatak aditiva:	Polimer na bazi poliolefina	Aramidna vlakna
Učešće aditiva u odnosu na asfaltnu mešavinu	0,3 %	0,05 %

Dobijeni uzorci su imali približno iste zapreminske karakteristike. Zapreminska masa (Z_m) i maksimalna zapreminska masa (Z_{max}), određena prema SRPS EN 12697-5 i SRPS EN 12697-6 iznosili su $Z_m=2,420$ Mg/m³ i $Z_{max}=2,550$ Mg/m³, a šupljine u asfaltnim uzorcima, prema SRPS EN 12697-8, $V_s= 5,0 \pm 0,1$ %.

2.3. Dinamička ispitivanja asfaltnih mešavina

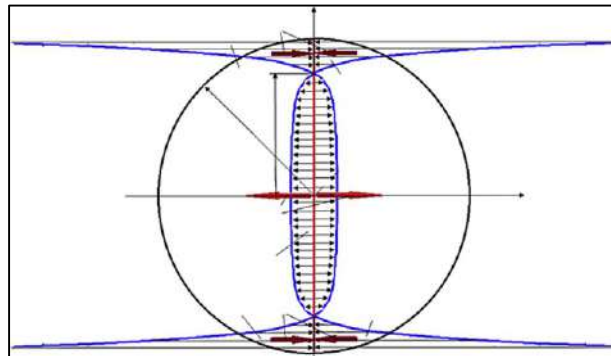
2.3.1 Određivanje indirektnog zateznog modula krutosti (E) (ITSM-test)

Dinamički modul krutosti asfaltna mešavina (E) određen je na asfaltnim uzorcima prečnika Ø100 i debljine 50 mm iz opita indirektnog zatezanja (ITSM – Indirect Tensile Stiffness Modulus), u skladu sa SRPS EN 12697-26:2018 Aneks C [7]. Ispitivanje je izvršeno na uređaju NAT (Nottingham Asphalt Tester NU-16) (slika 2).



Slika 2. Obit određivanja dinamičkog modula krutosti (E) iz opita indirektnog zatezanja

Metoda po kojoj je određen modul krutosti asfaltnih uzoraka je iz opita indirektnog zatezanja. Na uzorak se nanosi sila vertikalnog pravca koja proizvodi sekundarni napon u upravnom pravcu od delovanja vertikalne sile Slika 3. Prema teoriji elastičnosti, ova konfiguracija opterećenja proizvodi skoro konstantan napon duž približno 75 % prečnika uzorka [8].



Slika 3. Naponsko stanje pri opitu ITSM

U skladu sa standardom SRPS EN 12697-26:2018 Aneks C određen je modul krutosti na cilindričnim uzorcima uz pomoć jednačine (1).

$$E = \frac{F * (v + 0,27)}{(z * h)}$$

Gde je:

- F Sila pri kojoj se ostvaruje horizontalna dilatacija od $(50 \pm 3) \mu\epsilon$,
- v Poasonov koefijcent 0,35,
- h Debljina uzorka (mm),
- z Amplituda horizontalne deformacije dobijena tokom ciklusa opterećenja (mm).

Modul krutosti se dobija na osnovu vrednosti 5 uzastopnih ciklusa opterećenja sa pauzama između ciklusa od 3,0 s, kako bi se omogućila konsolidacija uzorka pre narednog ciklusa opterećenja. Raspon temperatura (10, 20, 30, 40 °C) i trajanja opterećenja (frekvencija) (60, 100, 124, 140, 160 ms), odabran je kako bi se obuhvatio što širi spektar uslova i kako bi se odredio uticaj ovih parametara na nosivost asfaltnih kolovoza.

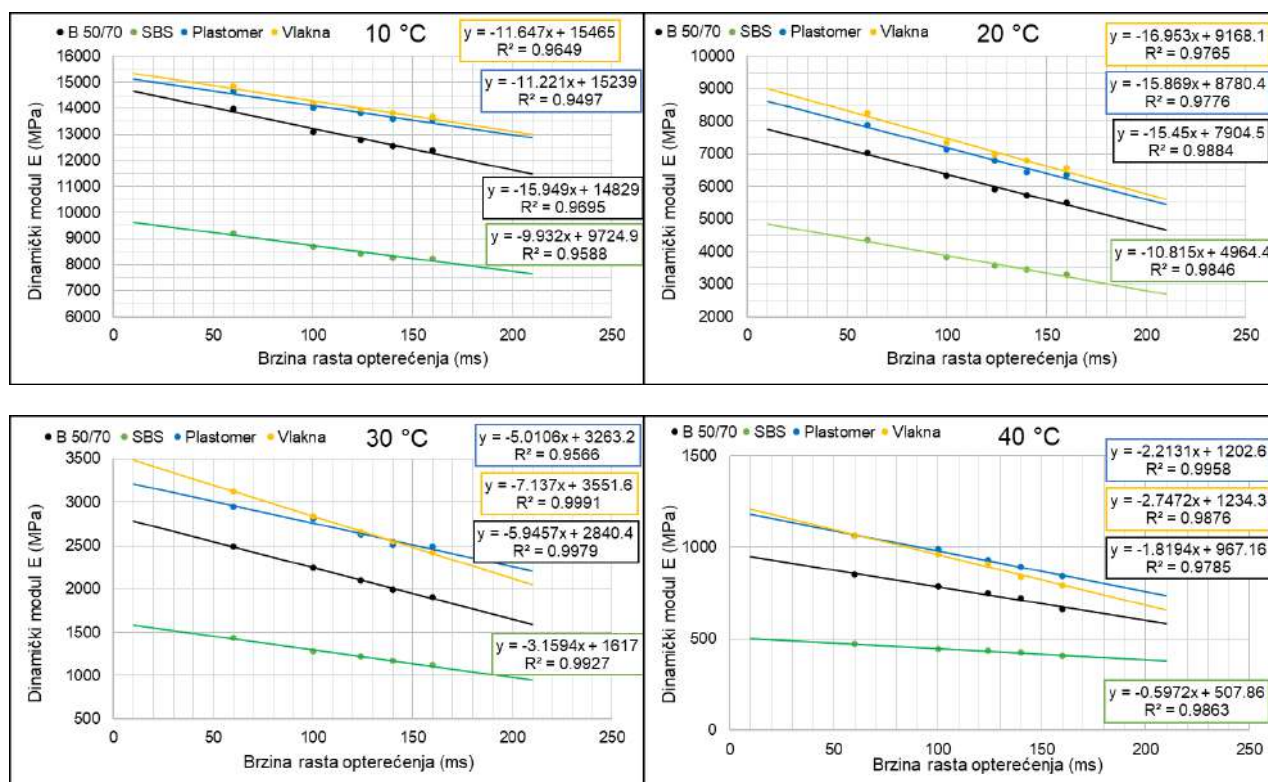
2.3.2. Rezultati ispitivanja indirektnog zateznog modula krutosti (E) (ITSM)

Ispitivanja dinamičkog modula krutosti, obavljena su na NAT uređaju NU-16. Uređaj je prilagođen standardu SRPS EN 12697-26. Može se koristiti za merenje modula krutosti i za određivanje otpornosti na zamor i otpornosti na plastične deformacije asfaltnih materijala.

Opite je izveden pod sledećim uslovima:

- temperatura: 10, 20, 30, 40 °C,
- vreme opterećenja: 60, 100, 124, 140, 160 ms,
- ponavljanje pulseva: $3,0 \pm 0,1s$,
- broj ciklusa opterećenja: 5.

Promene vrednosti modula krutosti posmatrane su u funkciji promene temperature (Slika 4) i promene vremena opterećenja (frekvencije) (Tabela 4).



Slika 4. Zavisnost modula krutosti od temperature

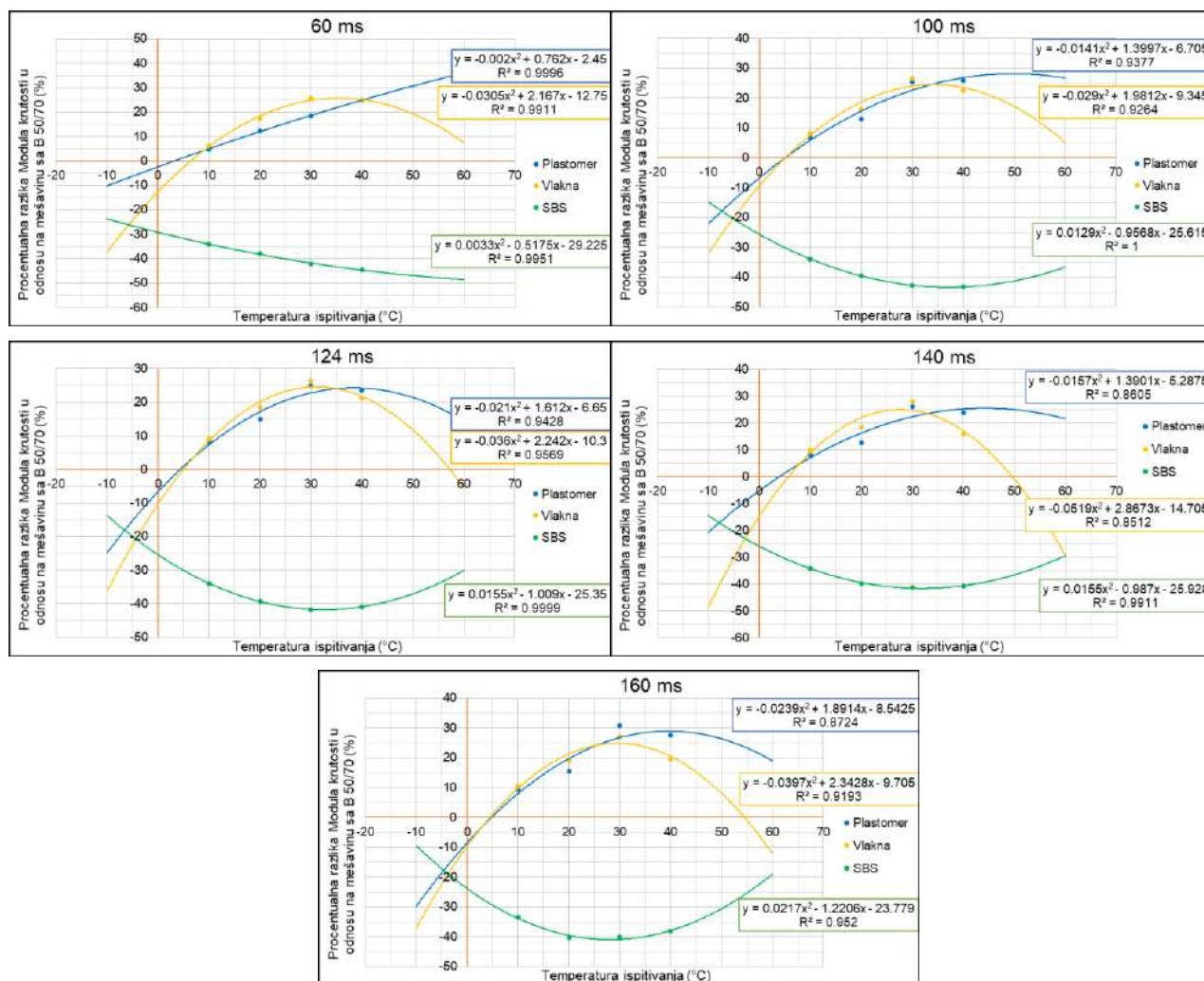
Na dijagramima na slici 4, predstavljena je zavisnost modula krutosti u funkciji temperature pri različitim vremenima opterećenja (frekvencija). Funkcija kojom je opisana zavisnost je linearna i oblika $y=kx+n$, gde je koeficijent k-nagib krive, što predstavlja osetljivost asfaltna mešavina na vreme opterećenja pri različitim temperaturama. Na osnovu rezultata može se zaključiti da mešavina sa dodatkom SBS granula poseduje najmanju osetljivost na vreme trajanja opterećenja. Pokazano je i da najveću osetljivost na promenu trajanja opterećenja imaju asfaltna mešavina na temperaturi od 20°C, dok na nižim i višim temperaturama mešavine imaju tendenciju smanjivanja osetljivosti.

Tabela 4. Modul krutosti pri konstantnoj temperaturi

Temperatura	10 °C				20 °C				
	Vreme rasta opterećenja	B 50/70	SBS	Plastomer	Vlakna	B 50/70	SBS	Plastomer	Vlakna
60 ms		13978	9196	14658	14845	7029	4367	7887	8252
100 ms		13116	8672	14011	14224	6328	3824	7147	7352
124 ms		12771	8439	13805	13940	5904	3581	6791	6988
140 ms		12565	8277	13607	13809	5730	3447	6445	6791
160 ms		12401	8241	13564	13703	5509	3288	6365	6557

Temperatura	30 °C				40 °C				
	Vreme rasta opterećenja	B 50/70	SBS	Plastomer	Vlakna	B 50/70	SBS	Plastomer	Vlakna
60 ms		2488	1438	2946	3127	852	472	1064	1063
100 ms		2246	1286	2816	2841	786	446	990	964
124 ms		2101	1225	2626	2653	752	436	929	911
140 ms		1993	1171	2511	2551	722	427	894	836
160 ms		1903	1121	2491	2418	662	409	844	792

Kako bi se na što bolji način prikazala razlika modula krutosti asfaltne mešavine sa B 50/70 u odnosu na mešavine sa dodatkom aditiva i PmB, vrednosti modula su predstavljene kao procentualne razlike u odnosu na standardnu mešavinu sa B 50/70. Procentualne vrednosti koje imaju predznak „-“ (minus) označavaju vrednosti modula koje su manje od onih sa B 50/70 pri istim uslovima temperature i trajanja opterećenja.



Slika 5. Procentualna razlika modula mešavina sa aditivima i PmB u odnosu na mešavine sa B 50/70

Na dijagramima na slici 5. može se zaključiti da pri maloj vrednosti brzine opterećenja (60 ms), procentualna razlika se menja približno linearno. Što znači da pri većim brzinama kretanja vozila, manji je uticaj promene temperature na modul krutosti, samim tim i na nosivost kolovoza. Dok sa porastom trajanja opterećenja, što simulira sporiji saobraćaj, uticaj temperature postaje sve veći. Pri trajanju opterećenja od 160 ms, može se zaključiti da pri određenoj temperaturi, asfaltne mešavine sa dodacima aditiva počinju da povećavaju nosivost ili smanjuju u odnosu na standardnu mešavinu sa B 50/70. Asfaltne mešavine sa dodatkom plastomera, pri temperaturi od oko 40°C pokazuje manju razliku modula u odnosu na asfaltne mešavine sa B 50/70. Kod asfaltne mešavine sa dodatkom vlakana, ova pojava se dešava pri temperaturi od oko 28°C. Asfaltne mešavine sa PmB 45/80-65, poseduje krivu suprotne orijentacije od prve dve mešavine, što ukazuje na manju temperaturnu osetljivost. Ova mešavina pri temperaturi od 28°C i višoj, pokazuje tendenciju smanjenja razlike modula krutosti u odnosu na asfaltne mešavine sa B 50/70.

3. ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA

U programu BISAR 3.0 simuliran je model kolovozne konstrukcije dimenzionisane za teško saobraćajno opterećenje. U modelu su analizirana 4 slučaja sa različitim habajućim slojevima čije su karakteristike prikazane u prethodnim tačkama. Proračun je urađen za pretpostavljeno prognozirano saobraćajno opterećenje $ESO = 22 \cdot 10^6$ standardnih osovina od 80kN. Kontrolisana je deformacija zatezanja u donjem sloju od bitumeniziranog materijala.

Parametri bitumeniziranog materijala su usvojeni na osnovu rezultata laboratorijskih ispitivanja asfaltne mešavine BNS 22s(A) od drobljenog kamenog agregata "Krst" i sa bitumenom B 50/70. Modul krutosti asfaltne mešavine određen je skladu sa SRPS EN 12697-26:2018 aneks B, nakon 100-og ciklusa opterećenja, sinusoidalnog oblika i frekvencije 10 Hz pri kojoj se ostvaruje horizontalna dilatacija od $(50 \pm 3) \mu\epsilon$, na temperaturi od 20 °C. Otpornost na zamor ispitana je skladu sa SRPS EN 12697-24:2018 aneks D, u uslovima kontrolisane dilatacije a pri promenljivom naponu. Otpornost na zamor određen je pri vrednosti 50% od početnog modula krutosti nakon 100-og ciklusa opterećenja pri zadatoj dilataciji.

Vrednost modula BNS 22s(A) sa 3,8% veziva B 50/70 iznosi 6683 MPa, a zakon zamora:

$$\epsilon = 2306,1 \cdot N^{-0,207} \Rightarrow \epsilon_{dopušteno} = 71 \text{ mm} \cdot 10^{-6}$$

Za analizu je usvojena kolovozna konstrukcija:

- habajući sloj debljine 5 cm,
- bitumenizirani noseći sloj BNS 22s(A) debljine 8+8=16 cm,
- noseći sloj od drobljenog kamenog agregata 0/31mm debljine 20 cm,
- noseći sloj od drobljenog kamenog agregata 0/63mm debljine 25 cm i
- posteljica nosivosti iskazane preko modula deformabilnosti $E_{v2} \geq 80 \text{ MPa}$

Moduli i deformacije su prikazani u Tabeli 5, a dilatacije zatezanja i saobraćajno opterećenje u Tabeli 6.

Tabela 5. Parametri višeslojnog elastičnog sistema sa prikazom dobijenih rezultata

Debljina (cm)		sloj	Moduli E(MPa)				v
Varijanta 1	Varijanta 2		B 50/70	PmB	PP	AV	
5	5	habajući sloj	5900	3580	6790	6990	0.35
16	15	BNS 22s(A)	6680				0.35
20	20	drobljeni agregat 0/31mm	330				0.40
25	25	drobljeni agregat 0/31mm	135				0.40
		posteljica	50				0.40
B 50/70 - asfaltne mešavine sa B 50/70; PmB (SBS) - asfaltne mešavine sa PmB 45/80-65 PP - asfaltne mešavine (B 50/70 + poliolefini); AV - asfaltne mešavine (B 50/70 + vlakna aramida)							

Tabela 6. Dilatacije zatezanja i vrednosti dozvoljenog saobraćajnog opterećenja

Kolovozna konstrukcija sa habajućim slojem od asfaltne mešavine sa	ϵ ($\text{mm} \cdot 10^{-6}$)		Dozvoljeno saobraćajno opterećenje	
	Varijanta 1	Varijanta 2	Varijanta 1	Varijanta 2
B 50/70	66,4	70,2	27,735,995	21,197,524
SBS-PmB	69,3	73,2	22,560,931	17,317,619
PP	65,6	69,4	29,408,635	22,404,317
AV	65,4	69,2	29,845,654	22,718,867

Na osnovu rezultata naponsko-deformacijske analize zaključeno je da kolovozna konstrukcija od prikazanih asfaltnih mešavina za habajući sloj AB-11s i BNS 22s(A) od 16cm zadovoljava sa aspekta zamora.

U varijanti 2 kolovozne konstrukcije gde je debljina BNS 22s(A) 15cm, rešenja sa habajućim slojevima od asfaltnih mešavina sa B 50/70 uz dodatak aditiva su zadovoljavajuća, što ukazuje da je primenom takvih vrsta asfaltnih mešavina moguća ušteda u debljini bitumeniziranog nosećeg sloja.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata laboratorijskih ispitivanja asfaltnih mešavina AB 11s, poredeći asfaltnu mešavinu sa bitumenom B 50/70 i mešavine sa PmB i polimerima na bazi poliolefina i vlakana na bazi aramida i poliolefina pokazano je da se primenom aditiva u asfaltnim mešavinama postižu veći moduli krutosti kojima se ostvaruje veća nosivost kolovoza kao i duži vek eksploatacije. Mešavina sa PmB, poseduje manje module krutosti od mešavine sa B 50/70, a zbog elastične komponente ima veću otpornost na zamor i plastične deformacije.

Ispitivanjem modula krutosti pri konstantnoj temperaturi i različitim trajanjima opterećenja (frekvencija), pokazan je uticaj aditiva na nosivost asfaltnih slojeva pri različitim brzinama saobraćaja. Pri temperaturi od 10°C i pri najkraćem opterećenju, odnosno najvećoj brzini vozila, moduli krutosti asfaltnih mešavina sa dodatkom polimera na bazi poliolefina su veća za 4,9 %, a sa aramidnim vlaknima 6,2 % u odnosu na mešavinu sa bitumenom B 50/70. Na toj temperaturi mešavine sa PmB imaju manje vrednosti modula za 34,2 %, što se može objasniti njihovom elastičnošću. Pri temperaturi od 40°C i trajanju opterećenja od 160 ms, što predstavlja sporiji saobraćaj, veće module krutosti imaju asfaltne mešavine sa dodatkom polimera na bazi poliolefina za 27,5 %, a aramidna vlakna za 19,7%. Asfaltna mešavina sa PmB ima manje vrednosti modula za 38,1%.

Ako se posmatraju krive promene modula krutosti u funkciji trajanja opterećenja (frekvencije) može se odrediti osetljivost asfaltne mešavine pri različitim brzinama saobraćaja pomoću nagiba krive iz funkcije $y=kx+n$ (slika 4). Asfaltna mešavina sa B 50/70, pri temperaturi od 10°C, ima vrednost nagiba krive -15,949. Asfaltne mešavine sa dodatkom aditiva imaju manje nagibe krive (aramidna vlakna -11,647, aditiv na bazi poliolefina -11,221, i PmB SBS -9,93).

Ako se posmatraju nagibi kriva pri temperaturi od 40°C, asfaltna mešavina sa B 50/70 ima nagib krive od -1,8194. Manju osetljivost modula na promenu brzine odvijanja saobraćaja ima samo mešavina sa PmB (-0,597), dok veće osetljivosti poseduju mešavine sa aramidnim vlaknima (-2,747) i polimera na bazi poliolefina (-2,213).

Primenom softvera BISAR 3.0 projektovana je kolovozna konstrukcija sa dva sloja BNS 22s (A), ukupne debljine od 16 cm. Pokazano je da primenom dodataka asfaltu u habajućem sloju, moguće uštedeti 1,0 cm asfaltnog sloja BNS 22s (A), za zadato saobraćajno opterećenje. Ukoliko bi se dodaci primenili na donje noseće asfaltne slojeve, koji u konstrukciji učestvuju u većim debljinama, moguća je znatno veća ušteda u materijalu.

Ispitivanja će se nastaviti određivanjem otpornosti na trajnu deformaciju – kolotruga, kako bi se ispitalo dejstvo aditiva na asfaltnu mešavinu na visokim temperaturama, kao i ispitivanja zamora na niskim temperaturama.

Literatura

- [1] Anders G., Torsten N., Mats W., (2016). Heavier Vehicles and Modified Asphalt Evaluation in Sweden. Peab Asphalt AB and Swedish Transport Administration.
- [2] Jutao H., Pengyun C., Zenghong L., Zhengxing W. and Shifa X., (2017). Developing of a SBS polymer modified bitumen to avoid low temperature cracks in the asphalt facing of a reservoir in a harsh climate region. Construction and Building Materials Volume 150, 30 September 2017, Pages 105-113
- [3] Jaskula P., Stienss M., Szydowski C. (2017). Effect of Polymer Fibres Reinforcement on Selected Properties of Asphalt Mixtures. Department of Highway Engineering, Gdańsk University of Technology, No. 11/12 Narutowicza St., 80-233 Gdansk, Poland, Pages 441-448.
- [4] Marco P., Manfred N. and Gabriele T., (2020) Poceedings of the 5th International symposium on asphalt pavements and enviroment, Pages 196-199.
- [5] Giovani P., Stefano B., Dario B., Jiri S., Ludovit Z., (2005) European Polymer Journal,
- [6] Krishna P., Walled Z., (2010) Evaluation of Fiber-Reinforced Asphalt Mixtures Using Advanced Material Characterization Tests, Journal of Testing and Evaluation · July 2010
- [7] SRPS EN 12697-26 - Bituminous mixtures - Test methods - Part 26: Stiffness
- [8] Levan J., Stress-deformed state of cylindrical specimens during indirect tensile strength testing, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, Oktober 2015, Pages 509-518.

ANALIZA UTICAJA PRIKLJUČKA NA SAOBRAĆAJNE TOKOVE PRIMENOM MIKROSIMULACIONOG MODELA VISSIM

Stamenka Stanković¹, Nikola Čelar², Jelena Kajalić³, Anica Kocić⁴

¹Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Vojvode Stepe 305, Beograd, R. Srbija, s.stankovic@sf.bg.ac.rs

²Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Vojvode Stepe 305, Beograd, R. Srbija, n.celar@sf.bg.ac.rs

³Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Vojvode Stepe 305, Beograd, R. Srbija, j.kajalic@sf.bg.ac.rs

⁴Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Vojvode Stepe 305, Beograd, R. Srbija, a.kocic@sf.bg.ac.rs

Rezime: Ubrzana urbanizacija i razvoj izuzetno atraktivnih zona u gradovima zahtevaju istovremeno i razvoj saobraćajne mreže kako bi se obezbedila pristupačnost zonama za različite korisnike. Ove zone generišu dodatne saobraćajne zahteve kao i izgradnju novih raskrsnica, što može imati negativan uticaj na okolnu uličnu mrežu, posebno kada se priključuju na primarnu uličnu mrežu. Izbor optimalnog tipa raskrsnice trebao bi da uzme u obzir uticaj na efikasnost saobraćajnih tokova, ne samo na nivou raskrsnice, već i na uticajnoj mreži, zbog šireg uticaja generisanih saobraćajnih zahteva. Analitička metodologija za određivanje mera efikasnosti koridora i područja zahteva neizrecivu količinu podataka i napora. Stoga je u ovom radu predstavljena metodologija za određivanje efekta tipa raskrsnice na performanse saobraćaja na celoj mreži, koja se zasniva na mikroskopskom simulacionom modelu. Zaključeno je da je ova metodologija relativno laka za primenu i pruža sveobuhvatnu procenu uticaja priključka na performanse mreže.

Cljučne reči: generisani saobraćaj, priključak, mikrosimulacija, VISSIM

APPLICATION OF VISSIM MICROSCOPIC SIMULATION MODEL IN EVALUATING ACCESS POINT EFFECTS ON NETWORK-WIDE TRAFFIC FLOW PERFORMANCE

Stamenka Stanković¹, Nikola Čelar², Jelena Kajalić³, Anica Kocić⁴,

¹Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, Vojvode Stepe 305, Belgrade, Republic of Serbia, s.stankovic@sf.bg.ac.rs

²Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, Vojvode Stepe 305, Belgrade, Republic of Serbia, n.celar@sf.bg.ac.rs

³Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, Vojvode Stepe 305, Belgrade, Republic of Serbia, j.kajalic@sf.bg.ac.rs

⁴Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, Vojvode Stepe 305, Belgrade, Republic of Serbia, a.kocic@sf.bg.ac.rs

Abstract: Ongoing rapid urbanization and highly attractive city's zones development demand simultaneous traffic network development to insure zone accessibility for varies users. These zones generate additional traffic demands and additional access points, which can have negative effects on the surrounding road network, especially when connecting on the primary street network. Choosing the optimal access point control type should take into account the effect on traffic flow efficiency, not only on the intersection level but on the network scale, due to the extended influence of generated traffic demands. Analytical methodology for determining corridor and area-wide measures of effectiveness requires an intractable amount of data and effort. Therefore, this paper presents the methodology for determining varies intersection type effect on network-wide traffic performance, which is based on microscopic simulation model. It is concluded that this methodology is relatively easy to apply and ensures a comprehensive evaluation of the intersection impact on network performance.

Keywords: trip generation, access point, microsimulation, VISSIM

1. UVOD

Povećana urbanizacija gradova istovremeno zahteva i konstantno unapređenje saobraćajne mreže. Naime, izgradnja objekta, bilo da se radi o komercijalnom ili privatnom objektu, podrazumeva obezbeđivanje pristupa tog objekta na okolnu mrežu saobraćajnica. U zavisnosti od vrste objekta, isti, u manjoj ili većoj meri, utiče na efikasnost saobraćaja na okolnoj saobraćajnoj mreži obzirom da generiše dodatni saobraćaj.

¹ Stamenka Stanković: s.stankovic@sf.bg.ac.rs

Iako se, generalno, teži održanju nivoa usluge na saobraćajnoj mreži, kroz kontrolu pristupa, neophodno je obezbediti pristup objektima, odnosno lokacijama, uz saobraćajnice. U postupku vrednovanja priključka neophodno je analizirati koje varijantno rešenje je optimalno sa aspekta saobraćajnih tokova u uticajnoj zoni priključka. Analiza uticaja na efikasnost saobraćaja i nivoa usluge je značajnija kako se povećava rang saobraćajnice na kojoj se razmatra priključak predmetne lokacije.

U postupku izbora optimalnog rešenja, dilema je kako kvantifikovati uticaj uvođenja novog priključka na saobraćajne tokove u uticajnoj zoni. Obzirom da generisani saobraćaj ima uticaj na saobraćajne tokove u celoj zoni, nije dovoljno posmatrati isključivo mikroskopske pokazatelje efikasnosti na nivou pojedinačnog priključka, već bi trebalo oceniti uticaj u celokupnoj zoni. Postavlja se pitanje koje parametre koristiti za ocenu uticaja predmetnog priključka na saobraćajne tokove u široj uticajnoj zoni tog priključka.

Analitički postupak za utvrđivanje pokazatelja efikasnosti na koridoru (potezu), dat u američkom priručniku *Highway Capacity Manual* (HCM), je komplikovan i dugotrajan, pa se u ovom radu preporučuje primena mikroskopskih simulacionih modela. Mikrosimulacioni modeli imaju široku primenu u saobraćajnom inženjerstvu, jer omogućavaju da se primenom računara simulira funkcionisanje saobraćaja iz realnog sveta. Pored toga, simulacije su bezbednije, jeftinije i brže nego istraživanja na terenu, te se često koriste kao alternativan način sprovođenja eksperimenata i analiza. Sprovođenje istraživanja primenom simulacionih modela može biti prouzrokovano neadekvatnim uzorkom ili uslovima na terenu koji se žele istražiti. S obzirom na vremenski zahtevnu HCM metodologiju i opšteprihvaćenu primenu mikrosimulacionih modela u saobraćajnom inženjerstvu, u radu je dat predlog metodologije za utvrđivanje uticaja priključka na tokove u široj uticajnoj zoni, primenom simulacionog modela VISSIM.

2. METODOLOGIJA ZA UTVRĐIVANJE UTICAJA PRIKLJUČKA

Metodologija za utvrđivanje uticaja priključka, koja je predstavljena u ovom radu, nastoji da primenom simulacionih modela prevaziđe nedostatke analitičkih postupaka koji, generalno, uticaj priključka posmatraju na mikro-nivou, odnosno isključivo na saobraćajne tokove duž saobraćajnice na kojoj se priključak realizuje.

Metodologija za utvrđivanja uticaja priključka na saobraćajne tokove na široj uticajnoj mreži obuhvata naredne korake:

1. Definisane pokazatelja efikasnosti i način njihovog utvrđivanja,
2. Definisane vremenskih preseka za koji se radi analiza,
3. Definisane varijantnih rešenja,
4. Prognoza i raspodela saobraćajnog opterećenja za definisane vremenske preseke,
5. Simulacija varijantnih rešenja u softverskom paketu VISSIM,
6. Utvrđivanje vrednosti pokazatelja za testirana varijantna rešenja.

2.1. Definisane pokazatelja efikasnosti i način njihovog utvrđivanja

U postupku vrednovanja uticaja varijantnih rešenja priključka na saobraćajne tokove u uticajnoj zoni, neophodno je definisati odgovarajuće pokazatelje efikasnosti saobraćajnog procesa. Za kompleksnije elemente mreže, uticajne zone, neophodna je primena makroskopskih pokazatelja efikasnosti, poput eksploatacione brzine, transportnog rada, ukupnog vremena putovanja na mreži i sl. Takođe, kako bi se omogućila detaljna analiza uticaja priključka na saobraćajne tokove, predložena metodologija podrazumeva analizu na dva nivoa mreže:

1. Mikro-nivo: saobraćajnica, koridor, na koju se planira priključak, i
2. Makro-nivo: celokupna uticajna zona priključka.

U skladu sa nivoom analize definisani su i različiti pokazatelji efikasnosti. Na nivou koridora predloženi su sledeći pokazatelji efikasnosti:

- prosečno vreme putovanja duž koridora po smerovima – od ulaska na koridor do prolaska poslednje raskrsnice,
- prosečna eksploataciona brzina duž koridora po smerovima, i
- nivo usluge na koridoru po smerovima.

U postupku analize na nivou celokupne mreže, definisani su naredni makroskopski pokazatelji:

- ukupan transportni rad na mreži, i
- ukupno vreme putovanja vozila na mreži.

Odabrani pokazatelji, vreme putovanja duž koridora i ukupno vreme putovanja na mreži, eksploataciona brzina duž koridora i na mreži, kao i ukupan transportni rad utvrđuju se mikroskopskom simulacijom saobraćajnih tokova u simulacionom modelu VISSIM (PTV, Karlsruhe), i predstavljaju direktan izlazni rezultat simulacije.

S druge strane, nivo usluge, kao osnovni pokazatelj kvaliteta realizacije saobraćajnih tokova na koridoru, utvrđuje se primenom analitičkog postupaka, prema metodologiji definisanoj u priručniku HCM2010, Poglavlje 17 [1]. Prema navedenom postupku vrednost nivoa usluge utvrđuje se na osnovu odnosa eksploatacione brzine (V_E) i slobodne brzine (V_{SL}), na osnovu naredne tabele (Tabela 1.).

Tabela 1. Nivo usluge na koridoru

Odnos V_E i V_{SL} (%)	Nivo usluge
>85	A
>67-85	B
>50-67	C
>40-50	D
>30-40	E
≤30	F

Izvor: HCM,2010 [1].

Za utvrđivanje vrednosti slobodne brzine na deonicama analizirane mreže, takođe se primenjuje analitički postupak dat u priručniku HCM2010, Poglavlje 17 [1], i predstavljen je u narednom delu. Slobodna brzina isključivo zavisi od tehničko-eksploatacionih karakteristika deonice, režimski uspostavljenog ograničenja brzine, gustine priključaka, dužine deonice i prisustva bočnih smetnji. Slobodna brzina (V_{SL}) na deonici za posmatrani smer kretanja zavisi od njene bazne vrednosti i faktora uticaja rastojanja signalisanih raskrsnica:

$$V_{SL} = V_{SL_BAZNA} \cdot f_L \quad (1)$$

V_{SL} – slobodna brzina (km/h)

V_{SL_BAZNA} – bazna slobodna brzina (km/h)

f_L – faktor uticaja rastojanja signalisanih raskrsnica

Bazna vrednost slobodne brzine (V_{SL_BAZNA}) predstavlja slobodnu brzinu koja bi se realizovala na deonici velike dužine, i zavisi od uspostavljenog ograničenja brzine, gustine priključka, tipa razdelnog ostrva i prisustva ivičnjaka. Bazna slobodna brzina se utvrđuje narednim izrazom:

$$V_{SL_BAZNA} = V_{SL_OS} + f_{BS} + f_P \quad (2)$$

V_{SL_OS} – osnovna slobodna brzina (km/h)

f_{BS} – faktor uticaja bočnih smetnji

f_P – faktor uticaja gustine priključaka

Osnovna slobodna brzina na deonici (V_{SL_OS}) isključivo zavisi od režimski uspostavljenog ograničenja brzine:

$$V_{SL_OS} = 41.2 + 0.76 \cdot V_{OG} \quad (3)$$

V_{OG} – ograničenje brzine na deonici (km/h)

Faktor uticaja bočnih smetnji (f_{BS}) i faktor uticaja gustine priključaka (f_P) utvrđuje se narednim, empirijski uspostavljenim relacijama:

$$f_{BS} = 1.5 \cdot P_{RO} - 0.47 \cdot P_{IV} - 3.7 \cdot P_{RO} \cdot P_{IV} \quad (4)$$

P_{RO} – procenat dužine deonice na kome je prisutno fizičko razdelno ostrvo (decimalno)

P_{IV} – procenat dužine deonice na kome je prisutan ivičnjak sa desne strane (decimalno)

$$f_P = -0.048 \cdot \frac{D_P}{N_{PR}} \quad (5)$$

D_P – gustina priključaka (priključaka/km)

N_{PR} – broj saobraćajnih traka na deonici za posmatrani smer kretanja

Prilikom utvrđivanja gustine priključaka (D_P) uzimaju se u obzir samo oni priključci koji imaju uticaj na saobraćajni tok u posmatranom smeru kretanja. Dužina deonice, koja se koristi za utvrđivanje gustine priključaka, odnosno utvrđivanje procenta deonice na kojoj postoji razdelno ostrvo i ivičnjak, ne uključuje širinu raskrsnica.

Istraživanjem je utvrđeno da dužina deonice ima uticaj na slobodnu brzinu. U tom smislu, na kraćim deonicama ostvaruje se manja vrednost slobodne brzine. Faktor uticaja rastojanja signalisanih raskrsnica (f_L) dat je narednim izrazom:

$$f_L = 1.02 - 0.893 \cdot \frac{V_{SL_BAZNA} - 31.4}{\max(L, 122)} \leq 1.0 \quad (6)$$

2.2. Definisane vremenskih preseka za koji se radi analiza

Postupak analize neophodno je izvršiti kako za baznu godinu, godinu u kojoj je planiran završetak priključka (period implementacije), kao i za presečne godine eksploatacije u zavisnosti od tipa objekta. Na ovaj način, odabir odgovarajuće varijante priključka može se izvršiti ne samo sagledavajući trenutno stanje saobraćajnog toka, već i prognozirano stanje. Takođe, varijanta priključka koja je optimalna u baznoj godini ne mora odgovarati varijanti koja će biti optimalna u 10-oj godini eksploatacije. Analizom uticaja priključka po presečnim godinama eksploatacije, može se utvrditi vremenski okvir kada će biti neophodno, na primer uvođenje svetlosnih signala, ili poseban tretman pojedinih tokova na priključku. Presečne godine eksploatacije mogu se definisati i za manje vremenske periode ukoliko je neophodno definisati termin plan za realizaciju različitih varijanti priključka.

2.3. Definisane varijantnih rešenja

Postupkom analize potrebno je obuhvatiti sva realno prihvatljiva rešenja priključka, i generisati takva varijantna rešenja. Generalno, uobičajena rešenja priključka nekog objekta na saobraćajnicu se mogu realizovati u narednim varijantama:

- Varijanta 1. Priključak sa restriktivnim režimom saobraćaja (dozvoljena samo desna skretanja);
- Varijanta 2. Nesignalisana površinska raskrsnica „Tip 1“ sa nerestriktivnim režimom saobraćaja;
- Varijanta 3. Signalisana površinska raskrsnica „Tip 1“ sa nerestriktivnim režimom saobraćaja i sa nezaštićenim levim skretanjima.
- Varijanta 4. Signalisana površinska raskrsnica „Tip 1“ sa nerestriktivnim režimom saobraćaja i sa zaštićenim levim skretanjima.
- Varijanta 5. Signalisana površinska raskrsnica „Tip 1“ sa nerestriktivnim režimom saobraćaja i automatskim (detektorskim) radom signala.
- Varijanta 6. Kružna raskrsnica.

Odabir varijanti koje će biti analizirane zavisi od ograničenja koja mogu postojati u prostornom smislu (npr. za kružnu raskrsnicu), kao i od višeg hijerarhijskog nivoa upravljanja (ukoliko je priključak deo sistema linijske koordinacije duž predmetnog koridora).

2.4. Prognoza i raspodela saobraćajnog opterećenja za definisane vremenske preseke

Veličina generisanog saobraćaja za novoizgrađene objekte zavisiće od niza faktora, kao što su namena i veličina površine, sadržaj objekta, veličine grada, povezanosti objekta sa izvorima kretanja, broj zaposlenih, broj stanovnika, itd. ITE priručnik sadrži 176 različitih namena površine, kao i veliki broj nezavisnih promenljivih kojim se kategoriše objekat [2, 3].

Značajna razlika u stopi generisanih kretanja se pravi u odnosu na lokaciju posmatranog objekta, s obzirom da u gradskom području je veća verovatnoća da će se određeni deo generisanog saobraćaja realizovati drugim vidom prevoza, tipa peške, biciklom, javnim prevozom.

U narednoj tabeli predstavljene su prosečne i raspon vrednosti stope generisanog saobraćaja vozila u vršnom satu prosečnog radnog dana, za različite namene objekata (Tabela 2). Neophodno je napomenuti da se vrednosti stope generisanog saobraćaja značajno razlikuju za dane vikenda posmatrano po kategorijama objekta.

Tabela 2. Stope generisanja kretanja

Namena objekta	Prosečna vrednost stope generisanja kretanja	Raspon vrednosti stope generisanja kretanja
Stambena zona visoke spratnosti sa komercijalnim sadržajem ²	0,31	0,19-0,40
Osnovna škola ³	1,89	1,51-2,45
Poslovni objekat ¹	10,47	2,91-29,63
Šoping centar ¹	4,53	0,84-29,32
Hotel ⁴	8,36	5,31-9,53
Supermarket ¹	114,82	73,84-183,05
Arena ¹	0,51	0,51-0,51
SSG sa komercijalnim sadržajem ¹	1548,41	664,40-2652,13

¹ po površini; ² po broju stanova; ³ po broju učenika; ⁴ po broju soba.

Izvor: ITE, 2017 [3]

Vrednosti stope generisanog saobraćaja predstavljene u tabeli se ne mogu apriori primeniti u lokalnim uslovima. Neophodno je izvršiti kalibrisanje vrednosti stope generisanog saobraćaja na bazi inženjerske procene ili obavljenih istraživanja u lokalnim uslovima za različite kategorije objekata.

Za utvrđivanje stope porasta saobraćajnog opterećenja u prognoziranom periodu eksploatacije, neophodna su kontinualna istraživanja saobraćajnog opterećenja. Karakteristično je da gradovi uglavnom imaju postojeću bazu podataka formiranu na osnovu kontinualnih saobraćajnih istraživanja.

2.5. Simulacija varijantnih rešenja u softverskom paketu VISSIM

Za formiranje simulacionog modela u softverskom paketu VISSIM neophodno je sprovođenje naredne procedure:

- Formiranje mreže za sva varijantna rešenja;
- Definisane strukture toka, za sve prognozne periode;
- Definisane saobraćajnog opterećenja, u skladu sa istraživanjima saobraćajnih tokova u uticajnoj zoni priključka, kao i generisanim saobraćajnim opterećenjem i stopama porasta u odnosu na baznu godinu;
- Definisane raspodele saobraćajnih tokova za sve kategorije korisnika na mreži;
- Definisane raspodele željenih brzina koje treba da odgovaraju brzinama slobodnog toka po linkovima;
- Definisane načina upravljanja na raskrsnicama u uticajnoj zoni priključka (definisane prioriteta na nesignalisanim raskrsnicama, kao i postojećih planova rada signala na signalisanim raskrsnicama);

2.6. Utvrđivanje vrednosti pokazatelja za testirana varijantna rešenja

Vrednosti pokazatelja efikasnosti za testirana varijantna rešenja priključka utvrđuju se ili direktnim izlazom iz simulacije ili primenom odgovarajućih analitičkih procedura. Izlazni rezultati simulacije rešenja priključka po varijantama, prikupljaju se za odgovarajući period analize mreže (obično ukupno 3600 sekundi, i to od 900-te sekunde, zbog obezbeđivanja vremena za ulazak vozila na mrežu) [4]. Vrednosti prosečnog vremena putovanja po smerovima, kao i broj opsluženih vozila, dobijaju se na osnovu formiranih sekcija za prikupljanje podataka o vremenu putovanja duž odgovarajućih trasa, koridora (*.rsz fajl), dok se ukupan transportni rad i ukupno vreme putovanja na mreži dobijaju iz fajla izlaznih rezultata (*.npe). Vrednosti NU utvrđuju se primenom prethodno opisanog analitičkog postupka.

3. PRIMER PRIMENE METODOLOGIJE

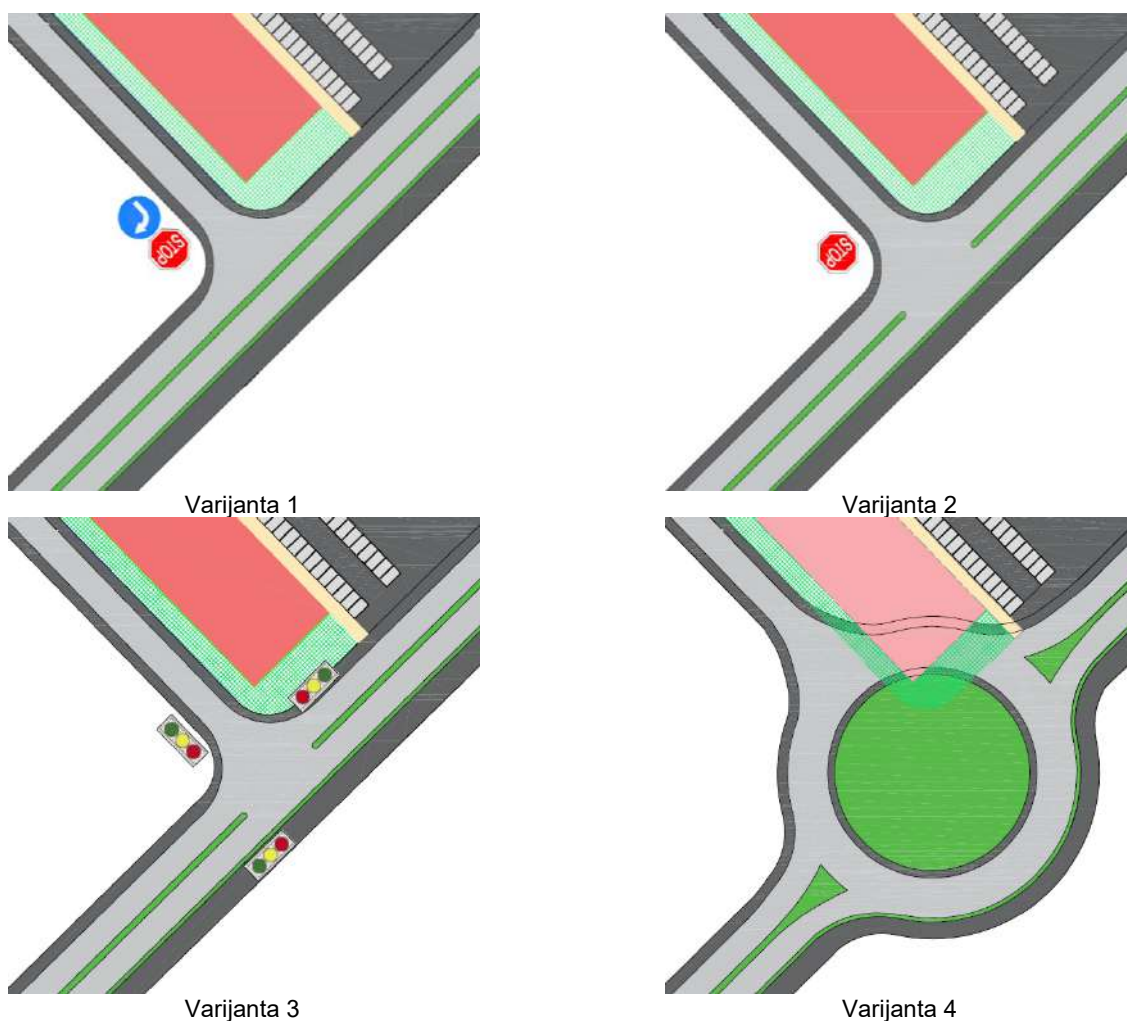
Prikazana metodologija je primenjena na konkretan priključak objekta (u konkretnom slučaju šoping centar površine 10626 m²), na saobraćajnicu višeg ranga sa potpunom kontrolom pristupa. Za utvrđivanje efikasnosti odgovarajuće varijante priključka usvojeni su pokazatelji predloženi u metodologiji, i to:

- $T_{P,1}$ – prosečno vreme putovanja duž koridora u smeru 1,
- $T_{P,2}$ – prosečno vreme putovanja duž koridora u smeru 2,
- $V_{E,1}$ – prosečna eksploataciona brzina duž koridora u smeru 1,
- $V_{E,2}$ – prosečna eksploataciona brzina duž koridora u smeru 2,
- NU smer 1 – nivo usluge na koridoru za smer 1,
- NU smer 2 – nivo usluge na koridoru za smer 2,
- $T_{P,ukupno}$ – ukupno vreme putovanja svih vozila na formiranoj mreži u vršnom satu,
- TR – ukupan transportni rad vozila na formiranoj mreži u vršnom satu.

Vremenski preseki za koje je rađena analiza uticaja priključka su u skladu sa tipom objekta: bazna godina, 10-ta godina eksploatacije i 20-ta godina eksploatacije.

U postupku analize tretirane su 3 varijante priključka:

1. Varijanta 1: Priključak sa restriktivnim režimom saobraćaja, odnosno sa zabranjenim levim skretanjima,
2. Varijanta 2: Nesignalisana površinska raskrsnica sa nerestriktivnim režimom saobraćaja, i
3. Varijanta 3: Signalisana površinska raskrsnica sa nerestriktivnim režimom saobraćaja.
4. Varijanta 4: Kružna raskrsnica. Imajući u vidu da ovo rešenje nije realno izvodljivo, niti saobraćajno opravdano, isto je eliminisano iz daljeg razmatranja.



Slika 1. Varijantna rešenja priključka

Prognoza vrednosti saobraćajnog opterećenja za definisane vremenske preseke, utvrđena je u skladu sa priručnikom „*ITE Trip generation manual*“. Uzimajući u obzir namenu objekta, u narednoj tabeli date su preporučene prosečne stope generisanog saobraćaja.

Tabela 3. Stope generisanog saobraćaja poslovno-komercijalnih centara

Vid kretanja	Prosečna vrednost stope generisanog saobraćaja po 100 m ²	Raspon vrednosti stope generisanja kretanja po 100 m ²
Pešačka kretanja u popodnevnom vršnom času, radni dan	8,05	4,42 – 40,23
Kretanja vozilom u popodnevnom vršnom času, radni dan	4,53	0,84 – 29,32

Izvor: ITE, 2017 [3]

Za potrebe ovog rada, izvršena je procena generisanih kretanja vozilom. Na osnovu istraživanja obavljenih u lokalnim uslovima [5], za objekte sličnih karakteristika i sadržaja, utvrđeno je da se primenom prosečne vrednosti stope generisanog saobraćaja prema *ITE* priručniku (4,84) precenjuje realna vrednost generisanog saobraćaja.

Kalibracijom modela za procenu generisanog saobraćaja, a uzimajući u obzir karakteristike objekta, dobijena je vrednost stope generisanog saobraćaja vozilom od 2,07, koja je manja od prosečne, ali se nalazi u dozvoljenom opsegu vrednosti. Utvrđena vrednost stope generisanog saobraćaja odgovara poslepodnevnom vršnom opterećenju radnog dana, odnosno za isti period za koji je neophodno izvršiti istraživanje karakteristika saobraćajnog opterećenja u uticajnoj zoni objekta. Primenom usvojene stope generisanog saobraćaja vozilom utvrđena je vrednost generisanog saobraćaja putničkih automobila od 220 voz/sat. Utvrđena vrednost se odnosi na ukupan broj ulazaka i izlazaka iz posmatranog objekta u vršnom satu, pri čemu je u daljoj analizi primenjena ravnomerna raspodela ulaza i izlaza.

Bazna vrednost saobraćajnog opterećenja i njegova raspodela u prostoru istraživanja je utvrđena istraživanjima na terenu na svim raskrsnicama u uticajnoj zoni priključka, i ista je uvećana za generisani saobraćaj objekta (220 voz/sat). Raspodela generisanog saobraćaja na mreži je u funkciji vrednosti ukupnog saobraćajnog opterećenja na prilaznim linkovima mreže, a način pristupa objektu isključivo zavisi od varijantnog rešenja priključka.

Saobraćajno opterećenje u 10-oj godini eksploatacije dobijeno je primenom jedinstvene optimističke stope porasta od 4% na godišnjem nivou, imajući u vidu planirani ekspanzivni razvoj u široj zoni uticajnog područja. Za period od 10-te do 20-te godine eksploatacije, primenjena je za gradske uslove standardna stopa porasta saobraćajnog opterećenja od 1,5% na godišnjem nivou.

Nakon modeliranja mreže u simulacionom modelu, definisana je struktura saobraćajnog toka pojedinačno za sve ulazne tokove na formiranu mrežu i za sve prognozne periode. U modelu su primenjene sledeće kategorije vozila: putnički automobil, teretna vozila (laka i teška teretna vozila i autovoz), i autobus.

Vrednosti saobraćajnog opterećenja i distribucija po smerovima kretanja, u simulacionom modelu, izvršena je u skladu sa merodavnom saobraćajnom slikom i raspodelom generisanog saobraćajnog opterećenja. Raspodela generisanog saobraćaja izvršena je u funkciji vrednosti ukupnog saobraćajnog opterećenja na prilaznim linkovima mreže.

Primenjeni plan rada svetlosnih signala na raskrsnici predstavlja optimalan plan za dato saobraćajno opterećenje. Za simulaciju varijante 3 - signalisana raskrsnica, plan rada signala na priključku je formiran na način da bude u koordinaciji sa susednim raskrsnicama.

Imajući u vidu aktuelne vrednosti uspostavljenih ograničenja brzine i tehničko-eksploatacionih karakteristika saobraćajnica obuhvaćenih modelom, primenjene su naredne raspodele željenih brzina za različite kategorije vozila u simulacionom modelu:

- raspodela željenih brzina za putničke automobile od 55-65 km/sat;
- raspodela željenih brzina za teretna vozila i autobuse od 45-55 km/sat.

U narednom delu prikazane su vrednosti definisanih pokazatelja efikasnosti za sve vremenske preseke i za sva testirana varijantna rešenja.

Tabela 4. Pokazatelji efikasnosti Varijante 1

Obuhvat	Pokazatelj	Bazna godina	10. godina	20. godina
Koridor	$T_{P,1}$ (s)	46,9	49,8	50,7
	$T_{P,2}$ (s)	59,6	61,6	72,6
	$V_{E,1}$ (km/h)	52,1	49,1	48,2
	$V_{E,2}$ (km/h)	41,0	39,7	33,7
	NU smer 1	A	B	B
	NU smer 2	B	C	C
Mreža	$T_{P,ukupno}$ (voz. sati)	66,1	106,5	119,4
	TR (voz. sati)	2807,0	3849,0	4374,0

Za varijantu 1 priključka u baznoj godini, postižu se visoke eksploatacione brzine, a samim tim i visoki nivoi usluge po smerovima, odnosno nivoi usluge A i B. Zanimljivo niži nivo usluge u smeru 2, posledica je vremenskih gubitaka koji nastaju na signalisanoj raskrsnici na izlazu iz koridora. Porastom saobraćajnog opterećenja u 10-oj i 20-oj godini eksploatacije, dolazi do minimalnog smanjenja eksploatacione brzine na koridoru, odnosno zadržavaju se visoki nivoi usluge po smerovima, nivoi usluge B i C. Porast ukupnog vremena putovanja i transportnog rada u presečnim godinama, isključiva je posledica prognozirano porasta obima saobraćaja.

Tabela 5. Pokazatelji efikasnosti Varijante 2

Obuhvat	Pokazatelj	Bazna godina	10. godina	20. godina
Koridor	$T_{P,1}$ (s)	47,0	48,7	52,4
	$T_{P,2}$ (s)	58,6	62,3	71,7
	$V_{E,1}$ (km/h)	52,0	50,2	46,6
	$V_{E,2}$ (km/h)	41,7	39,2	34,1
	NU smer 1	A	B	B
	NU smer 2	B	C	C
Mreža	$T_{P,ukupno}$ (voz. sati)	64,5	103,8	118,9
	TR (voz. sati)	2750,6	3794,5	4330,6

Visoke eksploatacione brzine, a samim tim i visok nivo usluge po smerovima, postignuti su i za Varijantu 2 priključka, odnosno za nesignalisanu raskrsnicu sa nerestriktivnim režimom saobraćaja. Takođe, i u ovoj varijanti, neznatno lošiji nivo usluge, u svim presečnim periodima, ostvaruje se u smeru 2.

Tabela 6. Pokazatelji efikasnosti Varijante 3

Obuhvat	Pokazatelj	Bazna godina	10. godina	20. godina
Koridor	$T_{P,1}$ (s)	47,1	50,3	51,4
	$T_{P,2}$ (s)	61,0	65,2	72,0
	$V_{E,1}$ (km/h)	51,9	48,6	47,6
	$V_{E,2}$ (km/h)	40,1	37,5	34,0
	NU smer 1	A	B	B
	NU smer 2	C	C	C
Mreža	$T_{P,ukupno}$ (voz. sati)	65,4	103,5	117,0
	TR (voz. sati)	2750,8	3792,8	4326,6

Za varijantu 3, odnosno realizacijom signalisane raskrsnice sa nerestriktivnim režimom saobraćaja, dolazi do izraženije razlike u nivou usluge po smerovima u baznoj godini (nivoi usluge A i C), u odnosu na 10-tu i 20-tu godinu eksploatacije.

U narednoj tabeli (Tabela 7) prikazana je uporedna analiza varijantnih rešenja po presečnim godinama, pri čemu su pokazatelji efikasnosti na nivou koridora agregirani za oba smera kretanja:

- Q – protok na koridoru bez generisanog saobraćaja,
- T_P – prosečno vreme putovanja na koridoru,
- V_E – prosečna eksploataciona brzina na koridoru, i
- NU – nivo usluge na koridoru.

Tabela 7. Uporedna analiza pokazatelja efikasnosti po varijantama

Varijanta	Pokazatelj	Bazna godina	10. godina	20. godina
	Q (voz/h)	816	1159	1322
Varijanta 1	V_E (km/h)	47,8	45,3	42,3
	NU	B	B	B
	$T_{P,ukupno}$ (voz. sati)	66,1	106,5	119,4
	TR (voz. km)	2807,0	3849,0	4374,0
Varijanta 2	V_E (km/h)	47,5	45,4	41,3
	NU	B	B	B
	$T_{P,ukupno}$ (voz. sati)	64,5	103,8	118,9
	TR (voz. km)	2750,6	3794,5	4330,6
Varijanta 3	V_E (km/h)	46,8	43,8	41,7
	NU	B	B	B
	$T_{P,ukupno}$ (voz. sati)	65,4	103,5	117,0
	TR (voz. km)	2750,8	3792,8	4326,6

Na osnovu prikazanih vrednosti pokazatelja efikasnosti na koridoru, za svaku varijantu pojedinačno se može zaključiti da ne dolazi do promene nivoa usluge po analiziranim vremenskim presecima. Redukcija vrednosti eksploatacione brzine između bazne i ciljne, 20-te godine, za procenjeni porast saobraćajnog opterećenja na koridoru je za sve varijante slična i iznosi oko 10%. Takođe, nivo usluge na koridoru posmatran po vremenskim presecima, je identičan za sve analizirane varijante, što je posledica zanemarive razlike u vrednostima eksploatacione brzine.

Analizom pokazatelja efikasnosti na mrežnom nivou, može se zaključiti da za sve vremenske preseke Varijanta 1 daje lošije vrednosti pokazatelja u odnosu na Varijante 2 i 3. Dobijeni rezultati su posledica indirektnog pristupa generisanog saobraćaja objektu, zbog restrikcije levog skretanja, što dovodi do povećanja transportnog rada na mreži, a samim tim i ukupnog vremena putovanja vozila. Za Varijante 2 i 3, koje se baziraju na istom konceptu pristupa objektu, odnosno koje nemaju restriktivna skretanja, ostvaruju se gotovo identične vrednosti transportnog rada. Sa aspekta ukupnog vremena putovanja vozila na mreži, može se zaključiti da Varijanta 2 u baznoj godini daje bolje rezultate od Varijante 3, za razliku od 20-te godine eksploatacije.

Na ovaj način, moguće je sagledati sveobuhvatan uticaj priključka, kako u baznoj tako i u presečnim godinama eksploatacije, kako bi se izvršio odabir optimalnog rešenja priključka.

4. ZAKLJUČAK

Izgradnja novih objekata, usled konstante urbanizacije gradova, zahteva konstantno razmatranje opravdanosti priključka tih objekata na okolne saobraćajnice. Naime, objekti, u zavisnosti od vrste, generišu dodatni saobraćaj, te u manjoj ili većoj meri utiču na saobraćajne tokove u uticajnoj zoni razmatranog priključka. S tim u vezi, u postupku vrednovanja različitih varijanti priključka neophodno je analizirati različite scenarije sa aspekta generisanih saobraćajnih tokova i tokova na okolnoj mreži, uzimajući u obzir i stope porasta u analizi presečnih godina eksploatacije.

U postupku vrednovanja uticaja varijantnih rešenja priključka na saobraćajne tokove u uticajnoj zoni, neophodno je definisati odgovarajuće pokazatelje efikasnosti saobraćajnog procesa. Za kompleksnije elemente mreže, uticajne zone, neophodna je primena makroskopskih pokazatelja efikasnosti, poput eksploatacione brzine, transportnog rada, ukupnog vremena putovanja na mreži i sl. Takođe, kako bi se omogućila detaljna analiza uticaja priključka na saobraćajne tokove, predložena metodologija podrazumeva analizu na mikro-nivou (saobraćajnica, koridor, na koju se planira priključak), i makro-nivou (celokupna uticajna zona priključka). Odabrani pokazatelji, vreme putovanja duž koridora i ukupno vreme putovanja na mreži, eksploataciona brzina duž koridora i na mreži, kao i ukupan transportni rad utvrđuju se mikroskopskom simulacijom saobraćajnih tokova u simulacionom modelu VISSIM. Primena mikrosimulacionog modela omogućava značajno jednostavnije utvrđivanje transportnog rada na mreži, u odnosu na analitičku proceduru.

Literatura

- [1] Transport Research Board (TRB). 2010. *Highway Capacity Manual (HCM 2010), Chapter 17: Urban Streets Segments*. National Research Council. Washington, D.C.
- [2] Institute of Transportation Engineers (ITE). 2017. *Trip Generation Manual*, 10th Edition, Volume 1: Desk Reference.
- [3] Institute of Transportation Engineers (ITE). 2017. *Trip Generation Manual*, 10th Edition, Volume 2: Data Port and Terminal (Land Uses 000–099).
- [4] PTV Planung Transport Verkehr AG. 2010. VISSIM 5.30 User Manual.
- [5] Pinjak, I. 2018. Modeliranje generisanja kretanja velikih komercijalnih objekata: završni rad, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd.

INTELLIGENTNI TRANSPORTNI SISTEMI U TUNELIMA

Nikola Čelar¹, Jelena Kajalić², Stamenka Stanković³, Anica Kocić⁴

¹Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Vojvode Stepe 305, Beograd, R. Srbija, n.celar@sf.bg.ac.rs

²Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Vojvode Stepe 305, Beograd, R. Srbija, j.kajalic@sf.bg.ac.rs

³Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Vojvode Stepe 305, Beograd, R. Srbija, s.stankovic@sf.bg.ac.rs

⁴Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Vojvode Stepe 305, Beograd, R. Srbija, a.kocic@sf.bg.ac.rs

Rezime: Za razliku od osnovnih deonica autoputeva, tunele karakteriše ograničeno saobraćajno okruženje. U takvim uslovima postoji veći rizik za nastanak saobraćajnih nezgoda sa težim posledicama. Iz navedenog razloga u tunelima se primenjuje više elemenata signalizacije i opreme za regulisanje i upravljanje saobraćajem nego na otvorenim deonicama puteva. Evropskom direktivom 2004/54/EU definisani su minimalni zahtevi koje sa aspekta bezbednosti moraju da ispune tuneli na mreži transevropskih puteva, sa generalnim osvrtom na saobraćajnu signalizaciju i opremu. U ovom radu su na osnovu pregleda literature date generalne smernice za primenu i pozicioniranje saobraćajne opreme za upravljanje tunelima.

Ključne reči: autoput, tuneli, oprema, ITS

INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS IN TUNNELS

Nikola Čelar¹, Jelena Kajalić², Stamenka Stanković³, Anica Kocić⁴

¹Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, Vojvode Stepe 305, Belgrade, Republic of Serbia, n.celar@sf.bg.ac.rs

²Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, Vojvode Stepe 305, Belgrade, Republic of Serbia, j.kajalic@sf.bg.ac.rs

³Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, Vojvode Stepe 305, Belgrade, Republic of Serbia, s.stankovic@sf.bg.ac.rs

⁴Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, Vojvode Stepe 305, Belgrade, Republic of Serbia, a.kocic@sf.bg.ac.rs

Abstract: Unlike basic freeway segments, tunnels are characterized by a restricted traffic environment. In such conditions, there is a higher risk of traffic accidents with more serious consequences. For this reason, more traffic management and control signs and equipment are used in tunnels than on basic freeway sections. European Directive 2004/54/EU defines the minimum safety requirements for tunnels on the Trans-European road network, with the general emphasis on traffic signs and equipment. Based on the literature review, this paper gives a general guideline for the application and positioning of traffic equipment for tunnel management.

Keywords: freeway, tunnels, equipment, ITS

1. UVOD

Tuneli su specifični putni objekti koji predstavljaju delove podzemne ili podvodne trase puta. Tuneli su okarakterisani kao potencijalno opasna mesta, odnosno mesta na kojima postoji rizik koji je uzrokovan realizacijom saobraćajnog procesa u specifičnom okruženju. Specifičnost okruženja se, pre svega, ogleda u ograničenosti prostora i nedostatku dnevne svetlosti, što za direktnu posledicu ima malu otpornost okruženja na pretnje kao i ograničenu mogućnost pristupa i evakuacije korisnika puta.

Imajući u vidu navedeno, drumski tuneli moraju da ispunjavaju posebne zahteve za aspekta bezbednosti. U tunelima, za razliku od otvorenih deonica puteva, kvalitet saobraćajnog procesa ima sekundarni značaj. Aspekt bezbednosti u tunelima ne odnosi se isključivo na rizik od nastanka saobraćajne nezgode, već na sve potencijalne posledice u specifičnom okruženju, odnosno u generalnom smislu, na bezbednosti funkcionisanja tunela.

Realizacija saobraćajnog procesa u tunelu nosi određeni rizik za nastanak incidentne situacije. Glavne pretnje bezbednosti u tunelima predstavlja pojava vatre i dima, izlivanje opasnih materija i eksplozije, odnosno sve one manifestacije koje mogu biti uzrokovane saobraćajnim nezgodama, oštećenjima u

¹ Nikola Čelar: n.celar@sf.bg.ac.rs

konstrukciji tunela, kvarovima na vozilima ili ljudskim greškama. Rizik pojave navedenih situacija se može okarakterisati kao događaj sa malom verovatnoćom realizacije i potencijalno katastrofalnim posledicama.

Osnovni cilj upravljanja tunelima je minimiziranje rizika za pojavu incidentne situacije. U slučaju nastanka incidenta, sistem za upravljanje treba da obezbedi zaštitu ugroženih korisnika, efikasno otkloni posledice incidenta, spreči pojavu sekundarnih incidenata i obezbedi brz povratak u redovan režim funkcionisanja tunela.

Imajući u vidu sve potencijalne bezbednosne rizike i zahteve, drumski tuneli su koncipirani kao složeni tehnički sistemi. Sistem upravljanja tunelom integriše nekoliko podsistema i to:

- sistem za provetravanje;
- sistem za osvetljavanje;
- sistem za napajanje električnom energijom;
- sistem za detekciju uslova saobraćaja i okruženja;
- protivpožarni sistem;
- telekomunikacioni sistem;
- sistem za regulisanje i upravljanje saobraćajem.

Imajući u vidu složenost i tehničku multidisciplinarnost sistema upravljanja tunelima, sadržaj rada je fokusiran na standardne elemente saobraćajne signalizacije za regulisanje saobraćaja i tehnička sredstva i opremu za upravljanje saobraćajem primenom inteligentnih transportnih sistema.

2. PREGLED LITERATURE

Osnovna svrha formiranja Direktive 2004/54/EU Evropskog parlamenta i Saveta EU je usaglašavanje nacionalnih normativnih akata o zahtevima za unapređenje bezbednosti funkcionisanja dugačkih tunela [1]. Područje primene Direktive su svi tuneli na transevropskoj putnoj mreži duži od 500 m, koji se nalaze u eksploataciji, izgradnji ili u fazi planiranja. Direktivom se definišu minimalni zahtevi koji se odnose na bezbednost funkcionisanja drumskih tunela, sa aspekta sprečavanja svih incidentnih situacija koje mogu ugroziti ljudske živote, tunelski objekat ili instalacije, kao i sa aspekta pružanja zaštite u slučaju nastanka incidentne situacije. U postupku definisanja bezbednosnih mera i formiranja arhitekture sistema upravljanja tunelom uzimaju se u obzir naredne građevinske i saobraćajne karakteristike [1]:

- dužina tunela;
- broj tunelskih cevi;
- kategorija puta;
- broj i širina saobraćajnih traka;
- geometrija poprečnog profila tunela;
- uzdužni profil puta i poprečni nagib kolovoza;
- režim saobraćaja (jednosmeran ili dvosmeran);
- obim i neravnomernost saobraćajnog opterećenja;
- verovatnoća pojave zagušenja na dnevnom i sezonskom nivou;
- struktura saobraćajnog toka (udeo teretnih vozila u saobraćajnom toku);
- procenat vozila koja prevoze opasne materije;
- ograničenje brzine u tunelu;
- karakteristike okruženja tunela (reljef, klima i sl.);
- vreme potrebno za odziv i intervenciju hitnih službi.

Iako su karakteristike objekta i saobraćaja koje predstavljaju predmet analize taksativno navedene, Direktiva ne navodi bezbednosne mere, odnosno tehničke sisteme koje je potrebno primeniti za određene kombinacije vrednosti parametara navedenih karakteristika. U tom smislu data je preporuka da je u slučaju značajnog odstupanja vrednosti nekog od navedenih parametara potrebno izvršiti analizu neophodnosti primene dodatnih sigurnosnih mera i dopunske opreme.

Na arhitekturu sistema upravljanja tunelom, od saobraćajnih karakteristika, dominantan uticaj ima vrednost saobraćajnog opterećenja. Granična vrednost protoka od 2000 voz/dan/traci, u kombinaciji sa definisanim rasponima vrednosti dužina tunela, koristi se za utvrđivanje potrebe za formiranjem centra za upravljanje tunelom i primenu sistema za ventilaciju, kao i za primenu bezbednosnih mera koje se odnose na posebne objekte unutar tunela, poput izlaza za slučaj opasnosti ili niša za prinudno zaustavljanje vozila. Za karakteristike koje se odnose na strukturu toka i neravnomernosti protoka formirana je preporuka da se za udeo teretnih vozila koji je veći od 15% PGDS-a, ili u slučaju izraženih sezonskih neravnomernosti, izvrši

procena dodatnog rizika i po potrebi primene dodatne bezbednosne mere, bez posebnog navođenja na koje se to konkretne mere, odnosno opremu odnosi.

Po pitanju saobraćajnih znakova Direktiva jasno insistira na primeni saobraćajnih znakova definisanih Bečkom konvencijom, umesto tekstualnih poruka, odnosno ispisa. Poseban fokus je stavljen na izgled i sadržaj posebnih grupa saobraćajnih znakova i to: znaka označavanje putnog objekta (tunela) i seta saobraćajnih znakova za obeležavanje bezbednosnih sadržaja tunela, odnosno:

- niša za prinudno zaustavljanje;
- izlaza za slučaj opasnosti;
- evakuacionih puteva;
- stanica za slučaj opasnosti (znakovi koji označavaju postojanje telefona za slučaj opasnosti i aparata za gašenje požara).

Za ostale standardne saobraćajne znakove su date samo osnovne smernice za njihovu primenu. U tom smislu, Direktivom se ostavlja mogućnost da se po potrebi primene odgovarajući saobraćajni znakovi na prilazu tunelu, unutar tunela i nakon izlaska iz tunela, bez posebnog definisanja koncepta prenosa informacija, sadržaja i pozicija elemenata signalizacije. Za saobraćajne znakove sa izmenjivim sadržajem poruka dati su samo opšti stavovi po pitanju svrhe primene (davanje obaveštenja o zagušenjima, blokadi trake, nezgodi, požaru ili drugim incidentima). Takođe, za znakove za upravljanje saobraćajnim trakama, pažnja je data na izgled i oblik znakova, bez definisanja svrhe i kriterijuma primene i mesta postavljanja. Po pitanju oznaka na putu, direktivom je definisana obaveza primene ivične linije i neisprekidane razdelne linije u kombinaciji sa svetlosnim oznakama na putu (markerima) za tunele sa dvosmernim režimom saobraćaja. U domenu režima saobraćaja naglašena je obaveza označavanja dozvoljene brzine kretanja i minimalnog rastojanje između vozila u tunelu. Kriterijumi za izbor vrednosti ograničenja brzine i režima zabrane preticanja za teretna vozila u jednosmernim tunelima nisu posebno definisani. Za scenario zatvaranja tunela koji su duži od 1.000 m definisana je obaveza primene saobraćajne signalizacije ispred ulaza u tunel, uz mogućnost upotrebe i dodatne izmenjive signalizacije i opreme (branika ili polubranika).

Na osnovu pregleda Direktive 2004/54/EU, može se zaključiti da je jasno i nedvosmisleno definisan samo segment signalizacije koji se odnosi na označavanje bezbednosnih sadržaja tunela, odnosno tunela kao putnog objekta. Za ostale elemente saobraćajne signalizacije i opreme ne postoje kriterijumi za definisanje njihovog obima, sadržaja i načina primene. S tim u vezi, slobodno tumačenje elemenata Direktive za posledicu ima formiranje heterogenih saobraćajnih rešenja. Na taj način, odstupa se od osnovnog načela uniformnosti primene saobraćajne signalizacije, koje zahteva da svi elementi mreže koji imaju slične karakteristike moraju biti označeni signalizacijom na identičan način.

3. UPRAVLJANJE TUNELIMA

Strategije upravljanja formiraju se na osnovu mogućih scenarija koji se odnose na stanja u saobraćajnom toku i okruženju, ali i na ostale događaje i manifestacije koje mogu uticati na nastanak potencijalnih rizika. Uobičajeno, situacije ili scenariji koje zahtevaju formiranje odgovarajućih strategija upravljanja, vezano za saobraćaj, odnose se na: promene parametara saobraćajnog toka, zaustavljeno vozilo, saobraćajnu nezgodu, pogrešan smer kretanja, sporo vozilo, vozilo veće visine, vozilo u niši za zaustavljanje i sl. Sa druge strane, situacije se kreiraju za scenarije detektovanih promena uslova okruženja i ostale događaje, poput povećane koncentracije polutanata (Co, NOx), pojave dima ili vatre, smanjenja vidljivosti, otvaranja vrata za evakuaciju, uzimanja protivpožarnog aparata, detekcije predmeta na kolovozu, prisustva pešaka u tunelu i sl.

Za svaku formiranu situaciju definiše se odgovarajuća strategija upravljanja. Potreba za primenom i izbor odgovarajuće strategije upravljanja utvrđuje se primenom složenih modela i algoritama odlučivanja, i zavisi od projektovane situacije. Strategija može sadržati jednu ili više upravljačkih akcija. Upravljačke akcije se realizuju fazno po unapred definisanim programima, a u realizaciji najvećeg broja akcija se kao izvršni elementi komunikacije sa korisnicima sistema primenjuju elementi saobraćajne signalizacije i opreme. Način realizacije upravljačkih akcija u okviru određene strategije upravljanja, isključivo zavisi od stepena rizika definisane situacije i može biti [2]:

- Potpuno automatski: sve faze, odnosno koraci u realizaciji upravljačkih akcija, sprovode se bez mogućnost manuelnog delovanja od strane osoblja upravljačkog centra tunela.
- Automatski sa mogućnošću permanentne manuelne deaktivacije: u ovom načinu upravljanja upravljačke akcije se pokreću automatski, ali iste mogu biti prekinute manuelnim putem.

- Poluatomatski: prikupljanje svih relevantnih parametara saobraćaja i okruženja, kao i sugestija za primenu strategije i pripadajućih akcija realizuje se automatski, ali se odluka o primeni preporučenih akcija, kao i njihovo praćenje obavlja manuelnim putem.
- Manuelno: ovaj način upravljanja primenjuje se za unapred planirane, jasno determinisane situacije, poput radova na održavanju tunela.

3.1. Koncept saobraćajne signalizacije i opreme u tunelima

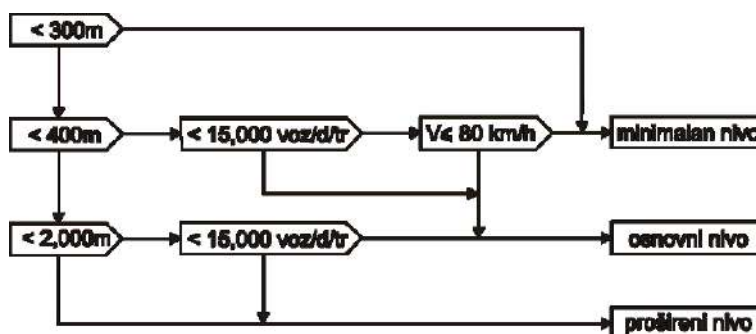
U cilju postizanja uniformnih projektantskih rešenja saobraćaja i saobraćajne signalizacije u tunelima formirana su tri nivoa, odnosno stepena opremanja i to:

- minimalan;
- osnovni;
- prošireni.

Stepen opremanja indirektno ukazuje na tipove i kvantitet elementa saobraćajne signalizacije i opreme i zavisi od tri ključna parametra:

- dužine tunela;
- saobraćajnog opterećenja;
- ograničenja brzine u tunelu.

Izbor odgovarajućeg stepena opreme obavlja se na osnovu formiranog algoritma odlučivanja (Slika 1.).



Slika 1. Algoritam za izbor stepena opremanja tunela
Izvor: RABT, 2006 [2]

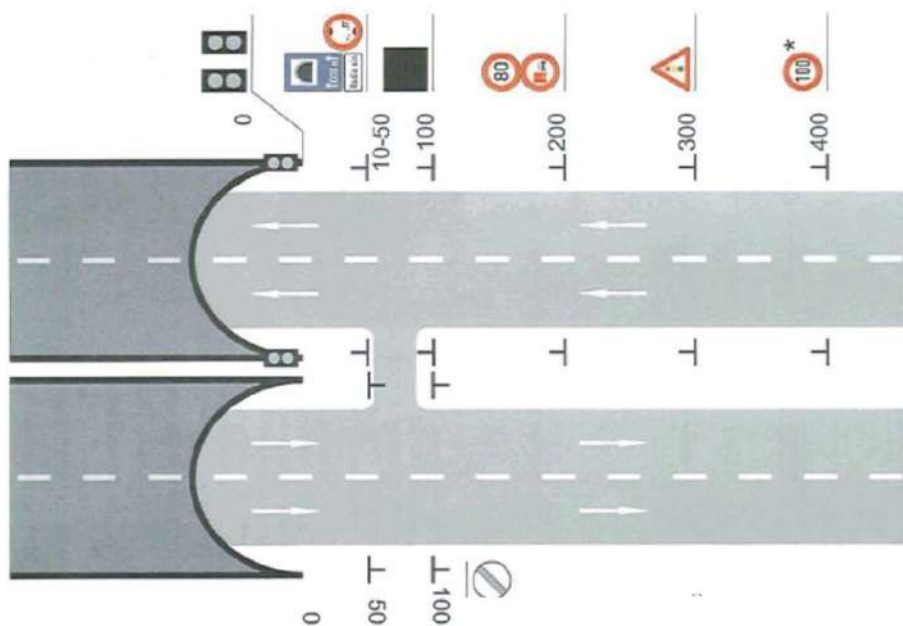
Dužina tunela predstavlja primaran parametar u postupku izbora nivoa opremanja. U tom smislu ključne u postupku izbora su tuneli dužina u rasponu od 300-2.000 m. Saobraćajno opterećenje, odnosno granična vrednost prosečnog dnevnog saobraćajnog opterećenja po saobraćajnoj traci predstavlja sekundarni kriterijum koji se koristi kao ključan u odabiru između susednih stepena opremanja. Konačno, ograničenje brzine u kombinaciji sa opterećenjem, koristi se za izbor između minimalnog i osnovnog nivoa opremanja za tunele kraće od 400 m. Generalno preporučeno ograničenje brzine u tunelima iznosi 80 km/h [2].

Minimalni nivo opremanja mora biti obezbeđen za sve tunele. Ovaj nivo opremanja dominantno se zasniva na primeni standardnih saobraćajnih znakova koji se postavljaju na prilazu, odnosno na izlazu iz tunela i obuhvata naredne znakove:

- znak II-21, „zabrana saobraćaja za vozila čija ukupna visina prelazi određenu visinu” koji se primenjuje za tunele sa visinom slobodnog profila manjom od 4,50 m. Navedeni znak (ukoliko postoji potreba za primenom), postavlja se na 50 m ispred ulaznog portala tunela. Takođe, znak je potrebno postaviti i na prilazu poslednje raskrsnice ispred tunela kako bi se obezbedilo isključivanje vozila koja prelaze znakom navedenu visinu;
- znak I-20, „nailazak na semafor” sa žutim trepćućim svetlom upozorenja, koje se uključuje u trenutku aktiviranja svetlosnog saobraćajnog znaka (zatvaranje tunela). Preporuka je da se ovaj znak pozicionira na 300 m od ulaznog tunelskog portala;
- svetlosni saobraćajni znak (semafor) za kontrolu pristupa tunelu, sa dva svetla (crveno i žuto) se postavlja na ulazni tunelski portal sa desne strane u slučaju dvosmernih, odnosno obostrano za jednosmerne višetračne tunele;

- znak II-30 „ograničenje brzine”; broj stepeni redukcije brzine zavisi od ograničenja brzine na trasi puta ispred tunela i definisane vrednosti ograničenja brzine u tunelu. Redukciju brzine je potrebno postepeno realizovati u koracima od 20 km/h. Ukoliko se vrši dvostepena redukcija brzine preporuka je da se režim ograničenja brzine u tunelu uspostavi na 200 m od početka tunela. Preporučeno rastojanje između susednih stepeni redukcije brzine iznosi 200 m;
- znak II-28 „zabrana preticanja za motorna vozila”, za tunele sa dvosmernim saobraćajem, odnosno II-29 „zabrana preticanja za teretna vozila”, za tunele sa jednosmernim saobraćajem. Navedeni znakovi se, po pravilu, postavljaju na rastojanju 200 m od ulaznog portala tunela na zajedničkom stubu sa znakom II-30.
- znak III-60 „putni objekat-tunel” sa nazivom i dužinom tunela koji se po pravilu postavlja u zoni od 10-50 m ispred ulaznog portala tunela;
- znak III-17 „prestanak svih zabrana” koji se postavlja na 100 m nakon izlaska iz tunela.

Opciono, u okviru navedenog nivoa opreme može se primeniti i znak sa izmenjivim sadržajem poruka, isključivo namenjen prikazivanju znaka II-3 „zabranjen saobraćaj” sa rastojanjem do početka važenja znaka. Navedeni znak se pozicionira na 100 m ispred ulaznog portala tunela. Ovaj nivo opremanja ne predviđa primenu saobraćajnih znakova u tunelu.



Slika 2. Minimalni nivo opreme u tunelima
Izvor: [3]

Osnovni ili bazni nivo opremanja tunela, pored saobraćajne signalizacije i opreme predviđene minimalnim nivoom, dodatno sadrži naredne elemente:

- merna mesta;
- dodatne saobraćajne znake sa izmenjivim sadržajem poruka na prilazu tunelu;
- saobraćajne znake sa izmenjivim sadržajem poruka u tunelu (za tunele duže od 600 m);
- branike na prilazu ulaznom portalu tunela;
- sistem video nadzora tunela i zone ulaznog portala tunela, odnosno branika.

Merna mesta za prikupljanje aktuelnih mikroskopskih parametara saobraćajnog toka, neophodnih za proces upravljanja saobraćajem, postavljaju se na međusobnom rastojanju od 300 m. Dodatno merno mesto koje je funkcionalno namenjeno detekciji zagušenja u zoni neposredno nakon izlaska iz tunela, postavlja se na rastojanju 300-400 m od izlaznog portala. Dodatni saobraćajni znak sa izmenjivim sadržajem poruka na prilazu tunelu isključivo je namenjen prikazivanju dodatnog ograničenja brzine predviđenog u sklopu odgovarajućih upravljačkih akcija. Ovaj znak se postavlja na rastojanju od 200 m od ulaznog portala. Uvođenje navedenog dodatnog znaka zahteva dislokaciju standardnih saobraćajnih znakova za ograničenje brzine sa 200 i 400 m, na 400, odnosno 600 m. Unutar tunela, znakovi sa izmenjivim sadržajem poruka se moraju ponavljati na svakih 600 m i po pravilu sastoje se iz dva polja namenjenih prikazivanju znakova II-29 i

II-30. Branici za sprečavanje pristupa tunelskoj cevi u situaciji zatvaranja tunela postavljaju se ispred dela razdelnog ostrva namenjenog za prelazak u suprotan smer kretanja.

Prošireni nivo opremanja tunela pored elemenata saobraćajne signalizacije i opreme sadržane u prethodnim nivoima sadrži i:

- izmenjivu saobraćajni signalizaciju za upravljanje saobraćajnim trakama;
- dodatne izmenjive saobraćajne znakove namenjene prikazivanju znakova opasnosti (opis prirode opasnosti);
- dodatne izmenjive znakove namenjene prikazivanju znakova obaveštenja za zatvaranje saobraćajne trake (III-79).

Saobraćajni znaci za upravljanje trakama postavlja se iznad saobraćajnih traka na koje se odnose. Preporučeno rastojanje između susednih znakova iznosi 300-600 m zavisno od preglednosti u tunelu [4]. Portal sa navedenim znakovima postavlja se i ispred tunela na preporučenom rastojanju od 300 m. U proširenom konceptu signalizacije, imajući u vidu dodatne elemente signalizacije, zona prilaza tunelu se produžava na 1000 m.

Oznake na putu su od posebnog značaja za tunele sa dvosmernim saobraćajem. U tom smislu, domaće zakonodavstvo obavezuje na primenu udvojene razdelne linije **Error! Reference source not found.** Za poboljšanje uočljivosti razdelne linije preporučena je primena svetlosnih oznaka na putu (markera) koji se postavljaju na međusobnom rastojanju od 1 m. Naglašavanje bočne ivice kolovoza izvodi se svetlosnim oznakama bele boje sa sopstvenim izvorom svetlosti, koje se postavljaju na rastojanju od 25 m.

Vertikalna saobraćajna signalizacija unutar tunela mora biti izvedena kao signalizacija sa izmenjivim sadržajem poruka. Pozicija znakova u poprečnom profilu tunela zavisi od vrste signalizacije i načina konstrukcije, odnosno tipa poprečnog preseka tunela (pravougaoni ili kružni). Kod tunelskih cevi pravougaonog preseka, saobraćajna signalizacija se po pravilu postavlja unutar slobodnog profila kolovoza, sa leve i desne strane, na visini od 2,25 m od površine pešačke evakuacione staze i na minimalnom bočnom rastojanju 0,50 m od ivice saobraćajnog profila (ivične trake). U slučaju kružnih preseka tunela, signalizacija se po pravilu postavlja u slobodnom profilu iznad kolovoza na visini većoj od 4,50 m. Znaci za upravljanje saobraćajnim trakama moraju biti postavljeni iznad kolovoza. Imajući u vidu prostorna ograničenja slobodnog profila u tunelima, primenjuje se saobraćajna signalizacija dimenzija 60x60 cm.

4. ZAKLJUČAK

Imajući u vidu da tuneli, kao putni objekti, predstavljaju sastavne delove trase puta, uslovi realizacije saobraćaja treba da korespondiraju uslovima na osnovnoj deonici puta. Rizik pojave incidentnih situacija u ograničenom okruženju zahteva i specifičan način upravljanja tunelima. Težnja ka unifikaciji rešenja sistema upravljanja tunelima zahteva i uniforman koncept primene elemenata saobraćajne signalizacije i opreme koja, za najveći broj predviđenih situacija, predstavlja izvršni element realizacije upravljačkih akcija. Koncept saobraćajne signalizacije i opreme u tunelima mora biti formiran u skladu sa zahtevima strategija upravljanja tunelom kako bi u funkcionalnom smislu obezbedio realizaciju svih predviđenih upravljačkih akcija, odnosno ispunio zahteve sistema za upravljanje saobraćajem, ali i sistema u celini.

LITERATURA

- [1] Directive 2004/54/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on minimum safety requirements for tunnels in the Trans-European Road Network, Official Journal of the European Union.
- [2] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). 2006. *RABT – Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln*, FGSV-Nr. 339, Köln.
- [3] Martín, B., Vogler, S., Diers, C., Martens, M., Lacroix, J., Steiner, M., Schmitz, P., Serrano, M. 2005. Recommendations for the enhancement of preventive tunnel safety, SafeT Work package 2, D2 report V2.0.
- [4] Smart motorway design guide: Tunnel traffic management. 2017. NSW Government, Transport Roads and Maritime Services.
- [5] Pravilnik o saobraćajnoj signalizaciji. Službeni glasnik Republike Srbije, broj 85/17.

MOGUĆNOSTI PREDVIĐANJA KOLONE TERETNIH MOTORNIH VOZILA KOD GRANIČNOG PRELAZA „GRADINA“

Aleksandar Canić¹

¹ JP Putevi Srbije, Bulevar kralja Aleksandra 282 11000 Beograd, aleksandar.canic@putevi-srbije.rs

Saška Đorđević

² JP Putevi Srbije, Bulevar kralja Aleksandra 282 11000 Beograd, saska.djordjevic@putevi-srbije.rs

POSSIBILITIES OF FORECASTING A COLUMN OF FREIGHT MOTOR VEHICLES AT THE "GRADINA" BORDER CROSSING

Aleksandar Canić

¹ JP Putevi Srbije, Bulevar kralja Aleksandra 282 11000 Belgrade, aleksandar.canic@putevi-srbije.rs

Saška Đorđević

² JP Putevi Srbije, Bulevar kralja Aleksandra 282 11000 Belgrade, saska.djordjevic@putevi-srbije.rs

¹ Autor zadužen za korespondenciju: aleksandar.canic@putevi-srbije.rs

Rezime: U neposrednoj blizini sa severne strane opštine Dimitrovgrad prolazi trasa državnog puta IA reda broj 4 na kojoj su izgrađeni tuneli „Pržojna padina“ i „Progon“. Udaljenost tunela „Progon“ od državne granice sa Republikom Bugarskom je oko 4.5km. Usled ovako kratkog rastojanja tunelskih cevi tunela „Progon“ od graničnog prelaza „Gradina“, učestalo se javlja formiranje kolone teretnih motornih vozila (TMV), koja može ugroziti nesmetano odvijanje saobraćaja u tunelima i prilaznim zonama tunela. U toku 2020. godine bilo je ukupno 16 situacija koje su zahtevale obustavu saobraćaja za TMV kroz tunele. Postoje dva glavna faktora koja utiču na formiranje pomenute kolone: propusna moć graničnog prelaza „Gradina“ i protok TMV. U radu je prikazan model za praćenje kolone, koji bi, softverskom implementacijom, omogućio predikciju i upravljanje kolonom u realnom vremenu. Autori su uvereni da za implementaciju ovakvog sistema postoje svi neophodni tehnički uslovi, a korist bi bila više nego značajna.

Ključne reči: ITS, granični prelaz, tuneli, kolona teretnih vozila

Abstract: In the immediate vicinity, on the northern side of the municipality of Dimitrovgrad, passes the route of the state road IA row number 4, on which the tunnels "Pržojna padina" and "Progon" were built. The distance of the "Progon" tunnel from the state border with the Republic of Bulgaria is about 4.5 km. Due to such a short distance of the tunnel pipes of the tunnel "Progon" from the border crossing "Gradina", the formation of a column of cargo motor vehicles (TMV) is frequent, which can endanger the smooth flow of traffic in tunnels and access zones of tunnels. During 2020, there were a total of 16 situations that required the suspension of traffic for TMV through tunnels. There are two main factors influencing the formation of the mentioned column: the capacity of the border crossing "Gradina" and the flow of TMV. The paper presents a model for column tracking, which would, with software implementation, enable prediction and column management in real time. The authors are convinced that all the necessary technical conditions exist for the implementation of such a system, and the benefit would be more than significant.

Keywords: ITS, border crossing, tunnels, convoy of trucks

1. UVOD

U neposrednoj blizini sa severne strane opštine Dimitrovgrad prolazi trasa državnog puta IA reda broj 4. Za potrebe izgradnje auto-puta izgrađeni su i prema odgovarajućim standardima opremljeni tuneli „Progon“ i „Pržojna padina“. Dužina leve cevi tunela „Progon“ je 1008 metara, dok se ulazni portal leve tunelske cevi nalazi na 43°01'25.2" SGŠ, 22°47'37.3" IGD, odnosno na stacionaži km97+854,05. Dužina desne cevi tunela „Progon“ je 992 metara, a ulazni portal desne tunelske cevi je na 43°01'32.9" SGŠ, 22°46'56.6" IGD, odnosno na stacionaži km96+841.43. Udaljenost tunela „Progon“ od graničnog prelaza „Gradina“ (u daljem tekstu GP „Gradina“) je oko 4.5 km.



Slika 1. Satelitski snimak trase auto-puta IA4 od naplatne stanice „Dimitrovgrad“ do graničnog prelaza „Gradina“

Source: (<https://www.google.rs/maps>)

Usled ovako kratkog rastojanja tunelskih cevi tunela „Progon“ od GP „Gradina“, učestalo se javlja formiranje kolone teretnih motornih vozila (u daljem tekstu TMV), koja može ugroziti nesmetano odvijanje saobraćaja u tunelima i prilaznim zonama tunela. U toku 2020. godine bilo je ukupno 16 situacija koje su zahtevale obustavu saobraćaja za TMV kroz tunele „Pržojna padina“ i „Progon“.

Udaljenost GP „Gradina“ od portalnog izlaza desne cevi tunela „Progon“ (smer ka graničnom prelazu) iznosi 4500 metara. Portalni nosač izmenljive saobraćajne signalizacije se nalazi na 800 metara od tunela „Progon“ i možemo ga smatrati granicom uticajne zone tunela, dok je od GP „Gradina“ portalni nosač udaljen 3700 metara. Na ovoj deonici sa određenom učestalošću dolazi do formiranja kolone TMV koja prolaze posebnu proceduru prilikom prolaska graničnog prelaza, bilo da je u pitanju izvoz dobara iz zemlje ili tranzit.

Postoje dva glavna faktora koja utiču na formiranje pomenute kolone i to su:

- propusna moć GP „Gradina“;
- protok vozila pomenutih kategorija.

Kada se govori o propusnoj moći GP „Gradina“, misli se na broj TMV koji mogu biti opsluženi u toku jednog časa. Ovaj broj je promenljiv jer je načelno različit za različite vrste tereta/robe koja se prevozi, različite procedure za vozila koja vrše izvoz ili su u tranzitu, broja osoblja, infrastrukturnim kapacitetima graničnog prelaza i drugih uslova. Sa aspekta primenjenih građevinskih elemenata puta i pratećih objekata, GP „Gradina“ i GP „Kalotina“ (GP sa bugarske strane), obzirom na godinu izgradnje, zahteva reviziju istih, obzirom da je tokom godina došlo do promene veličine saobraćajnog toka koji treba da bude opslužen na ovim graničnim prelazima.

Za poremećaj saobraćajnog toka i pojavu formiranja kolone TMV, od značaja je propusna moć graničnog prelaza u smeru ka Bugarskoj.

U slučaju kada u određenom vremenskom intervalu protok TMV bude veći od propusne moći graničnog prelaza, može se očekivati formiranje kolone zaustavljenih TMV u zaustavnoj traci. Kada u određenom vremenskom intervalu protok TMV bude manji od propusne moći graničnog prelaza, može se očekivati:

- u slučaju formirane kolone TMV: smanjenje formirane kolone zaustavljenih TMV u zaustavnoj traci;
- u slučaju da nije formirana kolona TMV: da neće doći do formiranja kolone TMV.

Takođe, pored glavnog pravca, odnosno auto – puta IA4, postoji i alternativni pravac, magistralni put IIA259. Na ovom pravcu primećeno je povremeno isključivanje pomenutih kategorija vozila sa auto – puta na naplatnoj stanici „Piroć – istok“ da bi se ponovo uključili na auto – put kod petlje „Dimitrovgrad istok“ i shodno tome učestvuju u formiranju kolone zaustavljenih TMV.

2. METODIKA ISTRAŽIVANJA I PRIKAZ REZULTATA

Za potrebe ovog istraživanja iskorišćeni su podaci koje su prikupili operateri OUC²-a Dimitrovgrad za period od tri meseca: oktobar, novembar i decembar 2020. godine. Pre svega, izvučeni su podaci o satnom protoku za teška teretna motorna vozila za svaki sat u toku pomenuta tri meseca sa dva brojača: „1327 Piroć 1 AP“ za podatke o protoku sa auto-puta IA4 i brojač „1190 Dimitrovgrad“ za podatke sa magistralnog puta IIA259.

Istovremeno, prikupljeni su podaci za pomenuta tri meseca 2020. godine o položaju začelja kolone TMV iz smenskih izveštaja, koji se tekstualno opisuju, gde je zapaženo šest karakterističnih fraza kojima su istraživači dodelili vrednosne klase (Tabela 1).

Tabela 1. Dodeljene vrednosne klase tekstualnim opisima o položaju kolone iz smenskih izveštaja

Tekstualni opis položaja začelja kolone TMV	Dodeljena vrednosna klasa
Kolona teretnih motornih vozila se ne pominje u smenskom izveštaju	0
Zona „OMV“ pumpe (101+233km – 101+633km)	1
Zona petlje „Dimitrovgrad – istok“ (100+533km – 101+233km)	2
Zona kosine „Gradinje“ (99+733km – 100+533km)	3
Zona mosta br. 6 (98+833km – 99+733km)	4
Zona portalnog nosača izmenljive saobraćajne signalizacije „Progon“ (stacionaža manja od 98+833km) – na snazi obustava saobraćaja za TMV	5

Za potrebe analize propusne moći GP „Gradina“, ostvarena je saradnja sa Upravom granične policije. Dobijeni su podaci o dnevnom protoku TMV na izlazu iz zemlje, za posmatrana tri meseca u 2020. godini.

² Operativno upravljački centar

Pored opštih statističkih metoda za obradu podataka u saobraćaju (ovde se pre svega misli na upoređivanje u odnosu na dane u nedelji i časovne neravnomernosti), korišćene su i „negativna binomna raspodela“, „pomerena eksponencijalna raspodela“, „X² test“ i druge.

Za potrebe predviđanja položaja začelja kolone, iskorišćena je relacija za „brzinu udarnog talasa“.

Pored statističkih metoda, na kraju je urađena i analiza sistema korišćenjem „teorije masovnog opsluživanja“.

2.1. Rezultati

2.1.1. Zavisnost dužine kolone i protoka TMV po danima u toku nedelje

Tokom dana vikenda primećen je veći broj realizacije događaja formiranja kolone, odnosno zabeleženo je gotovo 50% rasta kolone u posmatranom periodu. Kako bi proverili da li postoji statistička zavisnost između dnevnog protoka TMV i pojave događaja „rast kolone“ na nedeljnom nivou, iskorišćen je X² test provere zavisnosti. Obzirom da je kritična vrednost veća od izračunate test statistike, ne možemo odbaciti nultu hipotezu, odnosno zaključujemo da pojava rasta kolone ne zavisi od dnevnog protoka vozila sa rizikom greške od 5%.

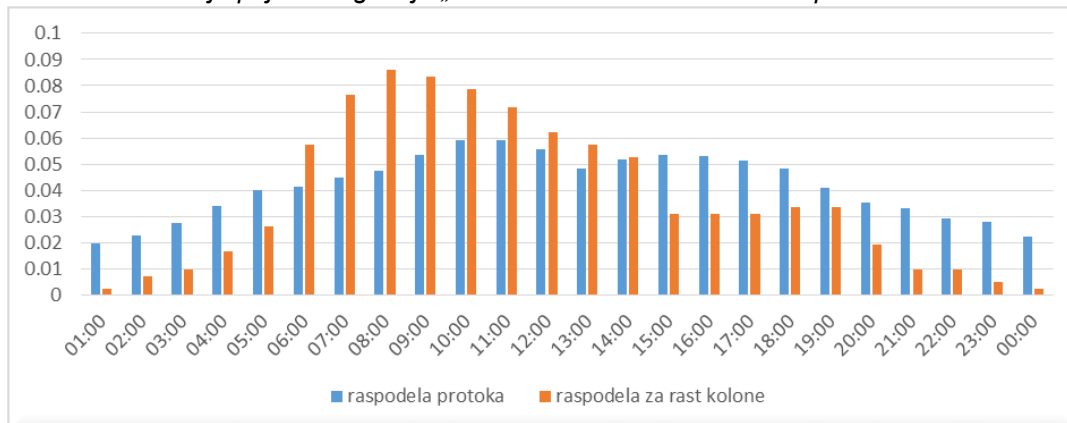
Takođe, proveren je i uticaj dnevnog protoka vozila na pojavu opadanja kolone. Radnim danima kolona ima tendenciju opadanja. Obzirom da je kritična vrednost veća od izračunate test statistike, ne možemo odbaciti nultu hipotezu, odnosno zaključujemo da pojava opadanja kolone ne zavisi od dnevnog protoka vozila sa rizikom greške od 5%.

Zaključili smo da se protok TMV po danima u toku nedelje ne menja u značajnoj meri, pa moguće objašnjenje za ovakvu distribuciju rasta/opadanja kolone u toku nedelje treba tražiti u načinu i organizaciji rada carinskih službi na GP „Gradina“ i GP „Kalotina“.

2.1.2. Zavisnost dužine kolone i protoka TMV po časovima u toku dana

Pojava događaja rasta kolone u odnosu na protok vozila po časovima predstavljena je kao deformisana normalna raspodela, obzirom da „pik“ koji se javlja u 06:00 časova, standardne normalne raspodele očekuje oko 12:00 časova. Obzirom da je kritična vrednost manja od izračunate test statistike, odbacujemo nultu hipotezu, odnosno zaključujemo da pojava rasta kolone zavisi od časovnog protoka vozila sa rizikom greške od 5%.

Grafik 1. Frekvencija pojave događaja „rast kolone“ TMV u odnosu na protok voz/h u toku dana

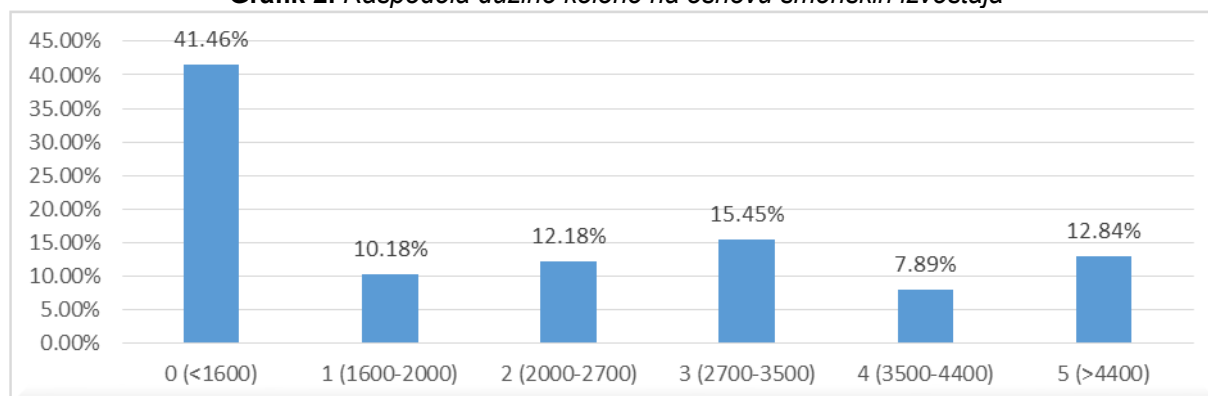


Posmatranjem raspodele protoka uočavamo da je pojava događaja opadanja kolone u odnosu na protok vozila po časovima predstavljena kao zaravnjena normalna raspodela. Frekvencija za opadanje kolone se javlja kao stacionarni proces u vremenskom intervalu od 19:00 časova do 04:00 časa, sa verovatnoćom da će u ovom periodu kolona da stagnira ili da se smanjuje. Obzirom da je kritična vrednost manja od izračunate test statistike, odbacujemo nultu hipotezu, odnosno zaključujemo da pojava opadanja kolone zavisi od časovnog protoka vozila sa rizikom greške od 5%.

2.1.3. Analiza dužine kolone teretnih motornih vozila

Analizirajući smenske izveštaje utvrđena je raspodela dužine kolone TMV. Za potrebe ove analize korišćena je Tabela 1. koja numerički kvantifikuje fraze korišćene u smenskim izveštajima za opisivanje dužine kolone, a histogram je predstavljen na Grafiku 2.

Grafik 2. Raspodela dužine kolone na osnovu smenskih izveštaja

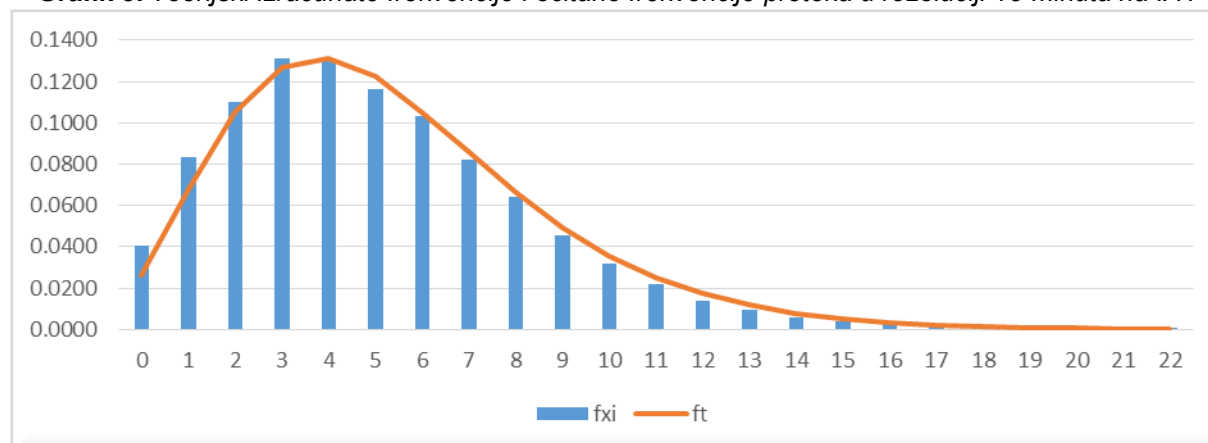


Posmatrajući grafik 2, verovatnoća da će kolona biti manja od 1600 metara je veća od 40%, odnosno broj vozila koja čekaju na opslugu je manji od 37. Sa druge strane kumulativna verovatnoća da će kolona biti dužine od 1600 metara do 4400 metara, iznosi 45,7 %. Ovakva kolona utiče na bezbednost odvijanja saobraćaja na posmatranoj deonici, ali ne zahteva obustavu saobraćaja za TMV kod naplatne stanice „Dimitrovgrad“. Verovatnoća pojave kolone koja zahteva obustavu saobraćaja iznosi 12,84%.

2.1.4. Analiza protoka TMV u smeru ka GP „Gradina“

Raspodela uzorka protoka saobraćaja TMV-a na auto-putu (IA4) i na magistralnom putu (IIA259), imajući u vidu njihovu varijansu, odgovara teorijskoj raspodeli negativne binomne raspodele. Izvršen je test slaganja sa raspodelom uzorka koristeći se metodom X^2 testa, koji je pokazao značajno slaganje.

Grafik 3. Teorijski izračunate frekvencije i očitane frekvencije protoka u rezoluciji 15 minuta na IA4



Kako smo prihvatili teorijsku raspodelu u obliku negativne binomne raspodele za opisivanje protoka na auto-putu i magistralnom putu, sada možemo izračunati matematičko očekivanje $E(x)$ koje nam predstavlja prosečan protok TMV: $q_{ul} = 7,2 \frac{voz}{15 min}$ i standardnu devijaciju: $\sigma_{ul} = 5,2 \frac{voz}{15 min}$.

2.1.5. Analiza protoka TMV na GP „Gradina“

Za potrebe uporedne analize, dobijeni su podaci od Uprave granične policije o protoku vozila na GP „Gradina“ na izlazu iz Republike Srbije. Analizom podataka utvrđeno je da su isti obrađeni na osnovu evidencije carinika na dnevnom nivou. Za potrebe detaljnijeg istraživanja, neophodno je formirati informaciono elektronski sistem

koji će na automatski način evidentirati dodatna obeležja o posmatranim vozilima (vozila u tranzitu, carinjena u RS, prazna vozila...).

U nastavku istraživanja prikazan je način na osnovu kojeg je dobijena propusna moć na GP „Gradina“. Najpre je izvršena uporedna analiza kumulativnog protoka vozila u smeru ka GP „Gradina“ (IA4 i IIA259) i uočenog ponašanja kolone TMV u vremenu za posmatrani period gde su dobijene pretpostavljene vrednosti izlaznog protoka na GP.

Uočena su tri karakteristična slučaja, odnosno:

- Slučaj kada je priliv vozila manji od propusne moći GP, gde ne dolazi do pojave događaja formiranja kolone vozila. Za ovaj slučaj je potrebno da propusna moć GP u toku jednog časa ne bude manja od 32,4 voz/h. Drugim rečima, **ukoliko je propusna moć 32,4 voz/h, neće doći do formiranja kolone TMV.**
- Slučaj kada priliv vozila odgovara propusnoj moći GP, dolazi do formiranja **kolone koja varira u zoni od 1600m do 3500m** i koja ne zahteva obustavu saobraćaja za TMV (vidi tabelu 4.1). Za ovaj slučaj, **propusna moć GP iznosi oko 29 voz/h.**
- Slučaj kada je priliv vozila veći od propusne moći GP što rezultira **formiranjem kolone ekstremnih dužina**, tada je pretpostavljena **propusna moć najviše 28,5 voz/h.**

2.1.6. Brzina udarnog talasa (V_{sw}) u funkciji predviđanja promene položaja začelja kolone TMV

Granični prelaz „Gradina“ – „Kalotina“ predstavlja svojevršno „usko grlo“ na pravcu „Beograd“ – „Sofija“, što za posledicu ima pojavu „udarnog talasa“ u saobraćajnom toku. Drugim rečima, formiranje kolone zaustavljenih motornih vozila predstavlja pojavu koja se u teoriji saobraćajnog toka naziva „udarni talas“. Parametar koji opisuje formiranje udarnog talasa, naziva se „brzina udarnog talasa“ i on predstavlja meru promene položaja udarnog talasa po deonici puta u jedinici vremena. Formula brzine udarnog talasa glasi :

$$V_{sw} = \frac{q_{iz} - q_{ul}}{g_{iz} - g_{ul}} \left[\frac{km}{h} \right]$$

gde je :

- q_{iz} [voz/h] - protok TMV na graničnom prelazu u smeru ka Republici Bugarskoj,
- q_{ul} [voz/h] - kumulativni protok TMV sa auto-puta i magistralnog puta,
- g_{iz} [voz/km] - gustina TMV na graničnom prelazu u smeru ka Republici Bugarskoj,
- g_{ul} [voz/km] - kumulativna gustina TMV sa auto-puta i magistralnog puta.

Uspostavljanjem sistema kontinualnog praćenja parametara saobraćajnog toka u određenim vremenskim intervalima i korišćenjem relacije za brzinu udarnog talasa, moguće je sa određenom preciznošću predvideti ponašanje kolone (raste / stagnira / opada), odnosno koliko metara će kolona da raste ili opada. Nakon zamene odgovarajućih parametara i sređivanja jednačine dobijene su konačne relacije za brzinu udarnog talasa za interval od 15 minuta.

Tabela 2. Relacije za brzinu udarnog talasa za interval od 15 minuta

Karakterističan slučaj	Brzina udarnog talasa $\left[\frac{m}{15min} \right]$
Bez formiranja kolone	$V_{sw} = 250 * \frac{32,4 - 4 * (N_{IA4} + N_{IIA259})}{41 - 4 * \left(\sum_{i=1}^{N_{IA4}} \frac{1}{V_i} + \sum_{i=1}^{N_{IIA259}} \frac{1}{V_i} \right)}$
Kolona postoji, ali ne zahteva obustavu	$V_{sw} = 250 * \frac{29 - 4 * (N_{IA4} + N_{IIA259})}{41 - 4 * \left(\sum_{i=1}^{N_{IA4}} \frac{1}{V_i} + \sum_{i=1}^{N_{IIA259}} \frac{1}{V_i} \right)}$
Kolona ekstremne dužine koja zahteva obustavu	$V_{sw} = 250 * \frac{28,5 - 4 * (N_{IA4} + N_{IIA259})}{41 - 4 * \left(\sum_{i=1}^{N_{IA4}} \frac{1}{V_i} + \sum_{i=1}^{N_{IIA259}} \frac{1}{V_i} \right)}$

Sagledavanjem prethodno navedenih jednačina, uočava se da je za praćenje ponašanja kolone potrebno dva tipa podataka:

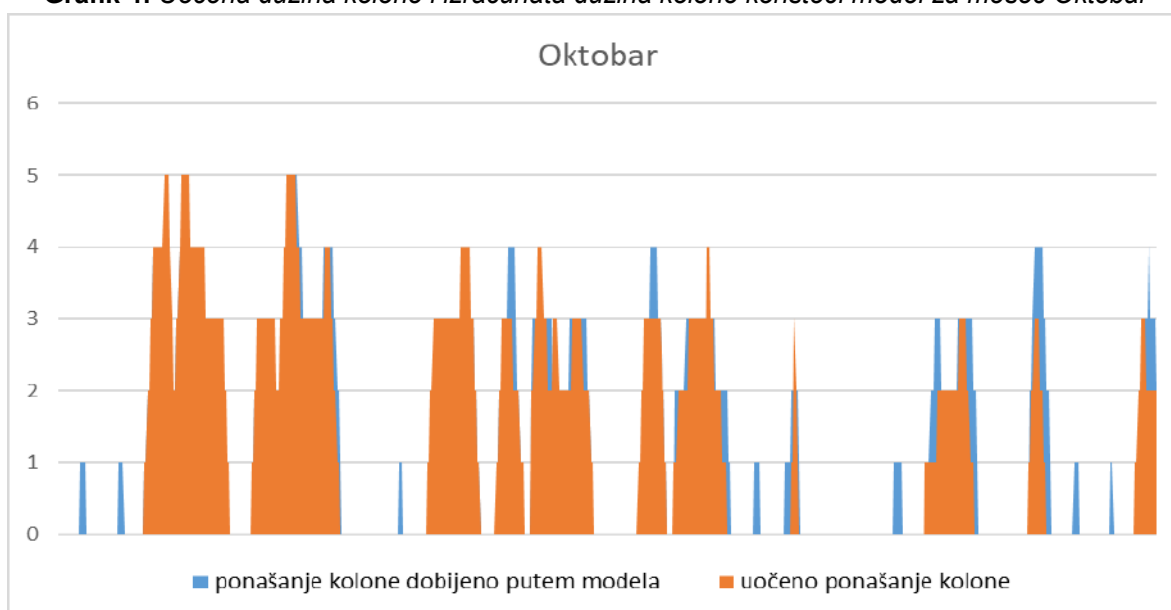
- broj vozila koja prođu posmatrani presek (brojač) u intervalu od 15 minuta
- njihove trenutno izmerene brzine izražene u km/h.

2.2. Evaluacija modela za praćenje kolone TMV na GP „Gradina“

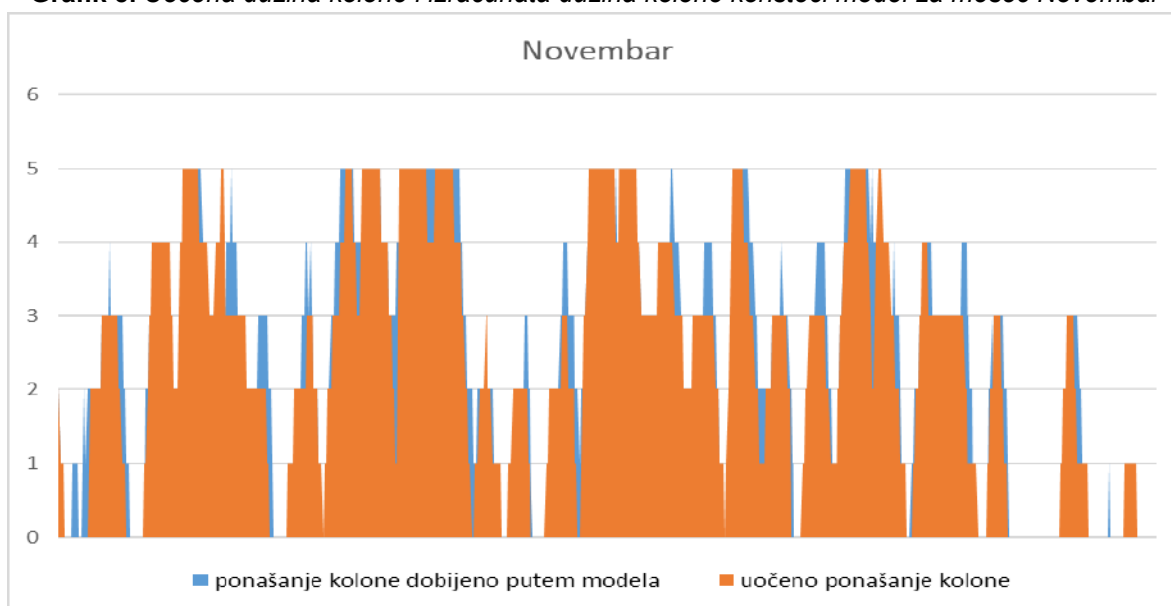
Nakon definisanja modela za praćenje dužine kolone na GP „Gradina“, izvršena je evaluacija rezultata tako što će su rezultati dobijeni u modelu upoređeni sa uočenim ponašanjem kolone u posmatranom periodu.

Na sledećim histogramima (Grafici 4, 5 i 6) dato je grafičko upoređenje dužina kolone dobijenih putem modela i uočeno ponašanje kolone zabeleženo u smenskim izveštajima za tri posmatrana meseca. Rezultati analize su dobijeni koristeći pretpostavljene vrednosti na izlazu iz zemlje.

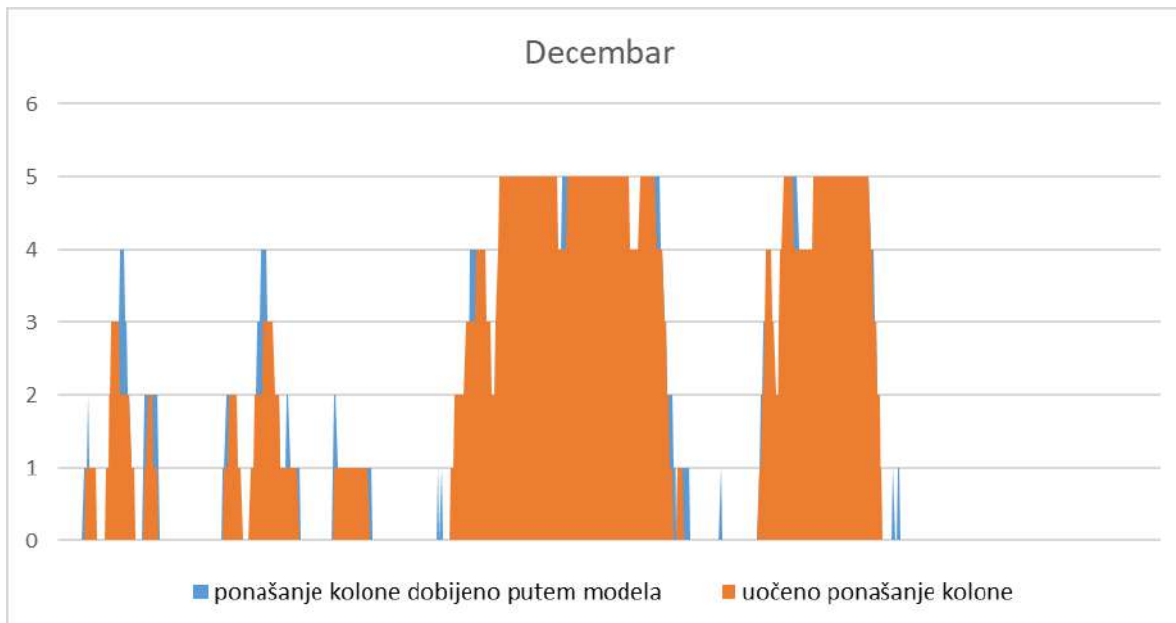
Grafik 4: Uočena dužina kolone i izračunata dužina kolone koristeći model za mesec Oktobar



Grafik 5: Uočena dužina kolone i izračunata dužina kolone koristeći model za mesec Novembar



Grafik 6. Uočena dužina kolone i izračunata dužina kolone koristeći model za mesec Decembar



U mesecima Oktobar i Novembar uočena su po četiri neslaganja rezultata modela sa uočenim ponašanjem, dok je u Decembru takvih neslaganja bilo u dva slučaja.

Analitički postupak koji je obrađen koristan je iz razloga što dobijeni rezultati za posmatrani period govore da je promašaj koji je model izračunao značajno mali u odnosu na uočeno ponašanje kolone. Sa druge strane, treba imati na umu da su moguće greške merenja koje se javljaju, posledica percepcije dužine kolone od strane operatera u OUC-u.

Kako imamo mali broj promašaja „predikcije modela“ u odnosu na ono što se zaista realizovalo u posmatrana tri meseca, to kvalifikuje model kao uspešno razmatranje. Izračunata pojava stvaranje kolone, a da ista nije bila uočena ne umanjuje vrednost modela iz razloga što je u praksi bolje, da u poluatomatskom režimu, postoji detekcija pojave kolone vozila koja se može očekivati, a da do nje u realnosti ne dođe, nego obrnuto.

2.3. Analiza rada terminala za opslugu teretnog saobraćaja na GP „Gradina“ primenom Teorije masovnog opsluživanja

Nakon izgradnje auto – puta IA4 koji je deo panevropskog Koridora 10, u poslednjih nekoliko godina došlo je do značajnog povećanja saobraćaja teretnih motornih vozila. Sa druge strane, GP „Gradina“ je izgrađen pre više godina sa određenim kapacitetom koji u današnje vreme sve teže odgovara zahtevima za prolaz TMV, što za posledicu ima često formiranje kilometrskih kolona teretnih vozila. Problemi koji se javljaju usled dugih kolona TMV su već opisani u ovom radu.

Što se tiče GP „Gradina“, na izlazu iz Republike Srbije postoje pet kanala opsluge za putnička vozila i autobuse i dva kanala za opslugu teretnog saobraćaja od kojih je jedan u uporebi.

Ovom analizom daće se pregled performansi graničnog prelaza sa trenutnim zahtevima za opslugu, ali i za buduće zahteve, za 10 odnosno 20 godina, pretpostavljajući da će godišnji rast protoka iznositi 2%.

U literaturi se može naći veliki broj modela teorije masovnog opsluživanja (TMO), koji se koriste u zavisnosti od prirode i funkcionisanja sistema koji se analizira, odnosno modelira. U slučaju graničnog prelaza, koji je predmet analize ovog rada, uzeto je da sistem funkcioniše po sistemu „prvi došao – prvi opslužen“ (FCFS), sa intenzitetom nailaska u skladu sa negativnom binomnom raspodelom verovatnoća i vremenom opsluge sa

eksponencijalnom raspodelom. Kapacitet sistema, odnosno broj vozila koji može da čeka u redu je kao i kod većine modela TMO, beskonačan.

Analiza je vršena koristeći rezultate statističke analize ulaznog protoka vozila u intervalima od po 15 minuta koji su kasnije dovedeni na nivo od jednog časa, odnosno 28,8 [voz/h] u 2020. godini. Sa druge strane intenzitet opsluge dobijen je analizom prepostavljenih izlaznih protoka vozila i on se razlikuje u zavisnosti od tri karakteristična slučaja koji su predstavljeni u Tabeli 2.

U nastavku, predstavljeni su rezultati analize TMO za navedena tri karakteristična slučaja:

1. Slučaj bez formiranja kolone u Tabeli 3,
2. Slučaj kada kolona postoji ali ne zahteva obustavu u Tabeli 4,
3. Slučaj kada je kolona ekstremne dužine koja zahteva obustavu saobraćaja, odnosno kada je intenzitet opsluge (28,5 voz/h) manji od intenziteta ulaznog protoka (28,8 voz/h), sistem je neodrživ sa jednim kanalom opsluge, drugim rečima, ne možemo koristiti TMO. U Tabeli 5 dati su rezultati za dva kanala opsluge, za 10 odnosno 20 godina, pretpostavljajući da će godišnji rast protoka iznositi 2%.

Tabela 3. Rezultati analize TMO za slučaj kada nije dolazilo do formiranja kolone

Pokazatelji rada SMO	Postojeće stanje		Buduće stanje	
	2020.	2030.	2040.	
S	1	2	2	
λ [voz/h]	28,8	35,1	42,8	
μ [voz/h]	32,4	32,4	32,4	
ρ [%]	88,9	54,2	66	
L [voz]	8	1,533	2,343	
L_s [voz]	0,889	1,083	1,321	
L_q [voz]	7,111	0,450	1,022	
W [h]	0,278	0,044	0,055	
W_s [h]	0,031	0,031	0,031	
W_q [h]	0,247	0,013	0,024	

Iz Tabele 3 može se jasno uočiti da ukoliko bi propusna moć na GP „Gradina“ iznosila 32,4 [voz/h] ne dolazi do formiranja dugih kolona, ali s obzirom na očekivano povećanje inteziteta priliva vozila u budućnosti, održivo rešenje bi bilo proširenje kapaciteta graničnog prelaza, odnosno da oba postojeća kanala opsluge budu u funkciji sa srpske strane, dok sa bugarske bi bilo neophodno veće proširenje kapaciteta.

Tabela 4. Rezultati analize TMO za slučaj kada kolona postoji ali ne zahteva obustavu

Pokazatelji rada SMO	Postojeće stanje		Buduće stanje	
	2020.	2030.	2040.	
S	1	2	2	
λ [voz/h]	28,8	35,1	42,8	
μ [voz/h]	29	29	29	
ρ [%]	99,3	60,5	73,8	
L [voz]	144	1,910	3,240	
L_s [voz]	0,993	1,210	1,476	
L_q [voz]	143,007	0,699	1,765	
W [h]	5	0,054	0,076	
W_s [h]	0,034	0,034	0,034	
W_q [h]	4,966	0,020	0,041	

Iz Tabele 4 može se jasno uočiti da ukoliko bi propusna moć na GP „Gradina“ iznosila 29 [voz/h], dolazi do formiranja kolone koja varira u zoni od 1600m do 3500m i koja ne zahteva obustavu saobraćaja za TMV, ali s obzirom na očekivano povećanje inteziteta priliva vozila u budućnosti, održivo rešenje bi bilo proširenje kapaciteta graničnog prelaza, odnosno da oba postojeća kanala opsluge budu u funkciji sa srpske strane, dok sa bugarske bi bilo neophodno veće proširenje kapaciteta.

Tabela 5. Rezultati analize TMO za slučaj kada dužina kolone zahteva obustavu

Pokazatelji rada SMO	Postojeće stanje		Buduće stanje	
	2020.	2030.	2040.	
S	1	2	2	
λ [voz/h]	28,8	35,1	42,8	
μ [voz/h]	28,5	28,5	28,5	
ρ [%]	/	61,6	75,1	
L [voz]	/	1,984	3,443	
L_s [voz]	/	1,232	1,502	
L_q [voz]	/	0,752	1,941	
W [h]	/	0,057	0,080	
W_s [h]	/	0,035	0,035	
W_q [h]	/	0,021	0,045	

Za postojeće stanje, sa prilivom od 28,8 [voz/h] i propusne moći graničnog prelaza od 28,5 [voz/h], sistem je neodrživ, odnosno kolona konstantno raste. Ukoliko bi u budućnosti došlo do proširenja kapaciteta u smislu povećanja broja kanala opsluge, a uzimajući u obzir očekivano povećanje priliva vozila ka graničnom prelazu, ne bi dolazilo do formiranja kolone vozila, čak i kada se radi o ovakvoj propusnoj moći po kanalu opsluge.

3. ZAKLJUČAK

Kako je na početku rečeno, prilikom stvaranja kolone TMV u uticajnoj zoni tunela „Progon“, definisano je postupanje operatera u OUC-u i policijskih službenika prisutnih na terenu. U nekim situacijama kada je potrebno hitno reagovanje policijskih službenika, a trenutno patrola nije na deonici u blizini GP-a (razlog smena, uviđaj ili obilazak deonice), jako je bitno da operateri imaju mogućnost predviđenja stvaranja kolone kako bi proslediti informaciju dalje radi pravovremene reakcije. Ovo daje zaposlenima u OUC-u određenu fleksibilnost u radu i jasan vremenski okvir u kojem je potrebno doneti konkretne odluke. Autori su zapazili da je potrebno i korisno da se na relaciji od GP-a do portalnog nosača izmenjive saobraćajne signalizacije „Progon“ poboljša detekcija vozila u cilju boljeg praćenja pojave kolone vozila kada do nje dođe.

Pored ovoga, ukoliko bi predloženi model bio integrisan, zaposlenima u OUC-u biće omogućeno predviđanje kolone zaustavljenih teretnih motornih vozila koja zahteva obustavu saobraćaja za konkretne kategorije vozila i što je još važnije, jasan vremenski okvir u kome je realno očekivati početak obustave.

Kako je uspešno formiran model za praćenje kolone, poželjno je implementirati softver čiji bi zadatak bio upravo predikcija i praćenje kolone u vremenu. U situaciji kada nam implementiran softver predočava stvaranje kolone koja zahteva obustavu i to u vremenu pre nego što nastane sam događaj (okvirno oko 30 minuta) značilo bi da se korisnicima auto-puta (vozačima teretnih motornih vozila) koji se nalaze na istoj vremenskoj udaljenosti prema unutrašnjosti (Pirotu), prenese informacija o mogućoj pojavi stvaranja kolone. Sa ovakvom informacijom vozači mogu doneti odluku o promeni rute radi izbegavanja čekanja u koloni, kako bi iskoristili postojeća odmarališta za realizaciju dnevnog odmora vozača. Analogno prethodnom, model omogućava i predviđanje u kom vremenskom trenutku je realno očekivati smanjivanje kolone i takođe daje određeni vremenski interval za koji se očekuje povlačenje kolone van vidnog polja zaposlenih u OUC-u. Na kraju, ukoliko bi carinski službenici imali bragovremenu informaciju o nastojećem povećanju protoka teretnih motornih vozila, uz određene organizacione promene u njihovom radu, moguće je uticati na dužinu kolone ukoliko su u mogućnosti da povećaju propusnu moć.

Sve prethodno navedeno utiče na ublažavanje posledica pojave kolone vozila, ali ne otklanja problem u potpunosti. U poglavlju 2.3. jasno je izvedena analiza koja nam pokazuje da ukoliko bi došlo do fizičkog proširenja kapaciteta graničnog prelaza, problem bi se rešio dugoročno. U kontaktu sa predstavnicima Granične policije i Carinske uprave uočena je potreba za formiranjem međuprostora na graničnom prelazu „Gradina“ – „Kalotina“ koji bi obezbedio dovoljno prostora zaposlenima za obavljanje formalnosti na graničnom prelazu.

Autori su uvereni da za implementaciju ovog sistema postoje svi neophodni tehnički uslovi, a korist bi bila više nego značajna.

Literatura

- [1] Kuzović, Lj. 1987. *Teorija saobraćajnog toka*. Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet
- [2] Merkle, M. 2010. *Verovatnoća i statistika*. Univerzitet u Beogradu, Elektotehnički fakultet
- [3] Glavić, D., Milenković, M., Radosavljević, S. (2018). – Analiza rada stanica za naplatu putarine primenom teorije masovnog opsluživanja. *Put i saobraćaj*. 3, 13-19.
- [4] <https://www.google.rs/maps> (23.01.2021)

PRIKAZ PILOT PROJEKTA MERENJE TEMPERATURE KORIŠĆENJEM LoRa SENZORA NA MOSTU PREKO REKE DUNAV KOD KOVINA SMEDEREVA

Ilija Neden Dimitriu, dipl.inž., Marko Bajić dipl.građ.inž., Mirko Bulatović, dipl.saob.inž.

¹ Javno preduzeće, Putevi Srbije”, ilija.nedendimitriu@putevi-srbije.rs

Rezime: Na putnoj mreži Republike Srbije vrši se monitoring parametara na pojedinim tačkama za potrebe organizacije koja se bavi održavanjem puteva i implementacijom PBMC (Performance based Maintenance Contract) koja ima potrebu za masovnim prikupljanjem podataka sa puta i putnih objekata. Jedan od parametara je i temperatura, čije će merenje na mostovskoj konstrukciji preko reke Dunav kod Kovina biti primarni fokus ovog rada. Za prikupljanje podataka o temperaturi korišćeni su LoRa senzora nove tehnologije. Ovakav tip senzora ima malu potrošnju energije tako da ne zahteva posebno sprovedeno napajanje električnom energijom. Radni vek ovakvih senzora procenjuje se na minimum 5 godina u uslovima spoljnog okruženja. Komunikacija se ostvaruje korišćenjem LoRaWAN tehnologija koja zahteva pristupnu komunikacionu tačku na udaljenosti do 8 km od senzora sa kapacitetom propusnog opsega od 3 kbps do 50 kbps. Ovaj senzor omogućava merenje i prikupljanje podataka o temperaturi kao primarnu funkciju a pored toga je u stanju da meri i lokalno ubrzanje u tri ose na elementu konstrukcije na koji je postavljen. Ovakav način prikupljanja podataka u kojima se koriste bežični senzori sa malim utroškom električne energije značajno pospešuje efikasnost i ekonomičnost u oblasti održavanja i nadzora na putevima.

Ključne reči: LoRa senzori, merenja temperature i ubrzanja konstrukcije, PMBC.

PROOF OF CONCEPT PROJECT: TEMPERATURE MEASUREMENT USING LoRa SENSORS ON THE BRIDGE OVER THE DANUBE RIVER NEAR SMEDEREVO KOVIN

Ilija Neden Dimitriu, M.Sc., Marko Bajic, M.Sc.CE, Mirko Bulatovic M.Sc.T&T

¹ Public enterprise "Roads of Serbia", Ilija.neden.dimitriu@putevi-srbije.rs

Abstract: On the road network in the Republic of Serbia, is establish monitoring of parameters at certain points of road network for the needs of the organization that deals with road maintenance and implementation of PBMC (Performance based Maintenance Contract), which has a need for mass collection of data from roads and road facilities. One of the parameter is the temperature, whose measurement on the bridge structure over the Danube near Kovin/ Smederevo will be the primary focus of this paper. New technology Lo Ra sensors were used to collect temperature data. This type of sensor has low energy consumption so it does not require a specially implemented power supply. The service life of such sensors is estimated at a minimum of 5 years in environmental conditions. Communication is achieved using Lo Ra WAN technology that requires an access communication point at a distance of up to 8km from the sensor with a bandwidth capacity of 3 kbps to 50 kbps. This sensor allows the measurement and collection of temperature data as a primary function and is also able to measure local acceleration in three axes on the structural element on which it is mounted. This way of collecting data using wireless sensors with low power consumption significantly improves efficiency and economy in the field of road maintenance and monitoring.

Keywords: LoRa sensors, temperature measurements, measurements of acceleration of structural element, PMBC,

1. UVOD – O merenjima na putnoj mreži državnih puteva u Republici Srbiji

Na osnovu izreka relevantne legislative, tehničkih normativa i primera najbolje prakse, na mreži državnih puteva u Republici Srbiji vrše se stalna ili povermena merenja određenih fizičkih veličina ili eksploatacionih parametara puta, putnih objekata i korisnika puta. Načelno, svako merenje je rezultat metodologije kojim se opisuje potreba za realizacijom merenja, a sam postupak merenja realizuje se korišćenjem različitih tehnologija. U samoj metodologiji, razradjuje se svrsishodnost aktivnosti merenja, greška merenja, statistička obrada rezultata i smernice za dalji razvoj samog postupka merenja. Od eksploatacionih parametara koji se prate, po oblastima, možemo navesti sledeće grupe merenja:

- oblast saobraćaja merenje parametara saobraćajnog toka (broj i klasa transportnih jedinica na preseku, odseku, brzina transportne jedinice, interval sleđenja transportnih jedinica), merenje pokazatelja i izmeritelja transportnog rada na deonici....

- oblast zaštite životne okoline: merenja nivoa buke, nivoa štetnih gasova (CO_x, NO_x, čađi, ostalih čestica) koje emituju motori koji pogone transportne jedinice
- oblast održavanja puteva: merenje ravnosti kolovoza, merenje osovinskog opterećenja, merenja temperature kolovoza, različitih meteoroloških podataka koji su od uticaja na rad zimske službe
- oblast održavanja konstruktivnih elemenata: merenja relativnog položaja karakterističnih pozicija konstrukcije, (pomereja/ugiba) merenja sila/napona, ubrzanja
- oblast monitoringa podloge - terena: merenja relativnog položaja karakterističnih pozicija tla, (pomereja/ugiba)

Različite su tehnologije merenja, od klasičnih pa do savremenih (na primer, grubi podaci o stanju nekog parametara saobraćajnog toka u funkciji određivanja izbora putanje od strane korisnika puta), mogu se dobiti besplatnim servisom globalnih informacionih kompanija (na primer Google Traffic), gde upravljač puta gotovo i ne utiče na generisanje tog tipa servisa. Sa druge strane, jako bitni podaci koji su potrebni za održavanje puta i konstruktivnih elemenata moraju biti predmet visokoznačajne pažnje upravljača puta.

2. Merenja temperature kolovoza i konstrukcija u funkciji PBMC

Merenja temperature kolovoza u JPPS se realizuju od 2006.godine u skladu sa metodologijom putne administracije Kraljevine Švedske. U trenutku primene pomenute metodologije merenje temperature se realizovalo putnim senzorima. Kasnije, razvojem tehnologija merenja, merenja temperature su realizovana unapređenim putnim senzorima, koji imaju mogućnost merenja hemijskog sastava sloja vode na zastoru i merenja temperature u donjim slojevima kolovoza. Do kraja ove godine, na oko 90 lokacija na mreži državnih puteva u RoS biće instalirani ovaj tip senzora. Zbog specifičnosti konstrukcije, ovakav tip senzora zahteva obezbeđenje mrežnog napajanja električnom energijom. Cena ovog tipa senzora (3500 €) opredeljuje potrebu za ocenu cost-effective primene ovog tehničkog rešenja. U poređenju sa ovim brojem lokacija, ISP provajder u RoS meri, korišćenjem LoRa WAN senzora meri temperaturu na oko 20 000 tačaka u jednom elementu kolovoza (okno u pešačkoj stazi). Cena takvog kombinovanog senzora, koji ne zahteva mrežno napajanje je do 500 evra. Mogućnost mnogostruko većeg broja podataka sa značajno nižim operativnom troškovima dobijanja podataka, opredelilo je potrebu da se napravi pilot projekat merenja temperature kolovoza.

2.1. Osnovni podaci o mestu merenja: most preko reke Dunav kod Smedereva / Kovina

Most preko reke Dunav kod Smedereva / Kovina (M22035) je most predviđen za odvijanje drumskog saobraćaja. Dužina mosta je 1424,4 m, a konstrukcija je izrađena od čelika sa betonskim prilaznim konstrukcijama. Godina izgradnje je 1976, a graditelj objekta je bila Mostogradnja. Planiran je projekat rehabilitacije mosta.

Na mostu preko reke Dunav kod Smedereva / Kovina po prethodnim projektima je instalisana Meteorološka Putna Stanica, čiji senzori meri temperaturu kolovoza na delu ispred pristupne konstrukcije mosta (u nasipu) i na delu prilazne konstrukcije mosta (betonska konstrukcija). Temperatura mosta na čeličnom delu konstrukcije nije obuhvaćena merenjem.

U okviru pilot projekta, realizovana su merenja temperature na sredini glavnog raspona. Obzirom da korišćeni sensor omogućuje i merenje ubrzanja po sve tri ose Dekartovog koordinatnog sistema, u dogovoru sa dobavljačima, i ovo merenje je uvršteno u opis posla u pilot projektu. Zahtevana rezolucija podatka temperatura kolovoza je 5 minuta.

Postavljanje senzora: senzori IO-Guard-T (XMD-C-L-868-02-T), su postavljeni na sredini glavnog raspona, u zoni servisne pešačke staze, obostrano. Kolkvijalna oznaka senzora je North East I South West a sami senzori imaju i svoju alfanumeričku oznaku (MMD2006027125 postavljen je na jugozapadnoj strani mosta (desno od kolovozne trake u smeru Kovin-Smederevo), a uređaj MMD2006027126 na severoistočnoj strani mosta (desno od trake u smeru Smederevo-Kovin)



fotografija 1: prikaz lokacije merenja

Tačka postavljanja je određena aplikacijom za geopozicioniranje u OS Android. Na samom mestu montaže, uklonjen je sloj asfalt bitumena u debljini od oko 4 cm i skinut je sloj hidroizolacije, na površini od oko (0,1x0,1) m, što predstavlja dovoljni prostor za smeštaj senzora.

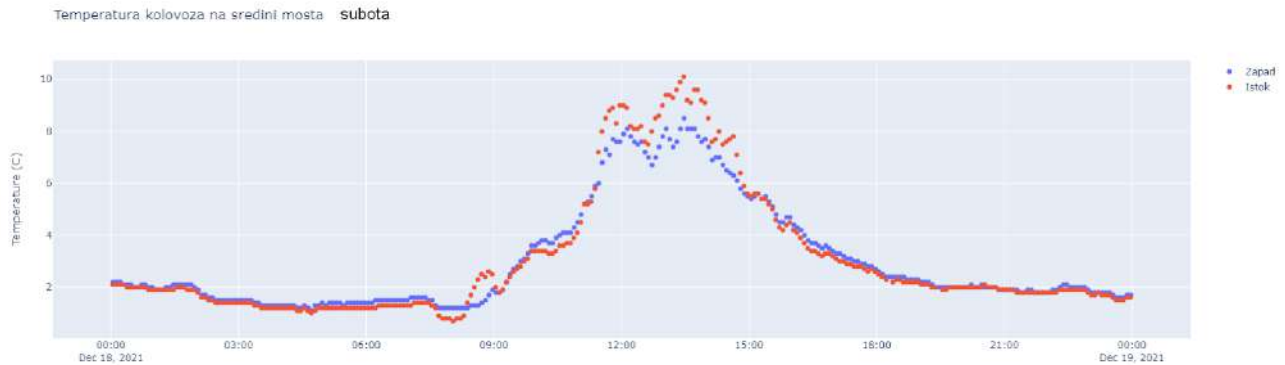
Kao vezivno sredstvo između čelika i kućišta senzora korišćen Sikadur 31 EF a senzor je obezbeđen od pomeranja zalivanjem brzovezujućim cementnim malterom.



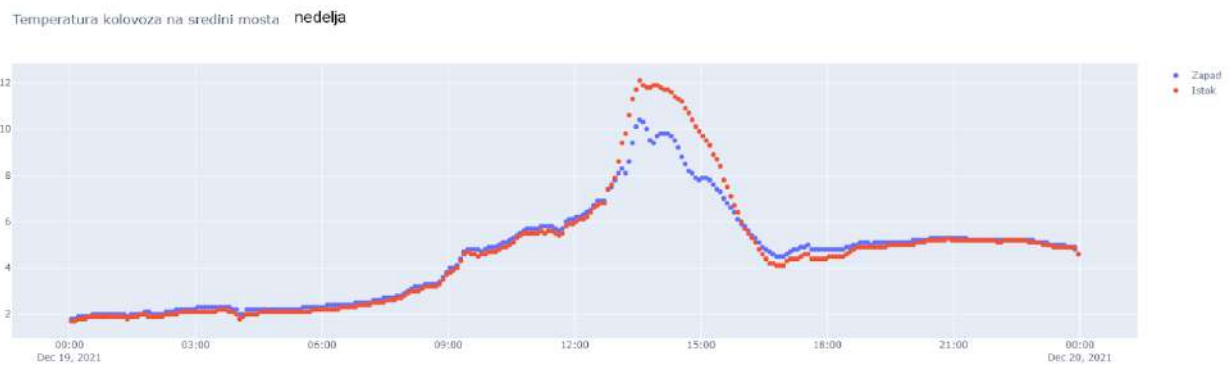
fotografija 2 : prikaz montiranih senzora

2.2. Rezultati merenja temperature

Nakon montaže (decembar 2021), izvršena je kontrola rezultata merenja temperature na senzoru NE I SW. Izmerene vrednosti temperature tokom vikenda (subota-nedelja 18-19.12.2021. godine) prikazane su na sledećim graficima:



grafikon 0-1: Temperatura na sredini mosta (SW I NE strane, subota 18/12/2021. source Busit)



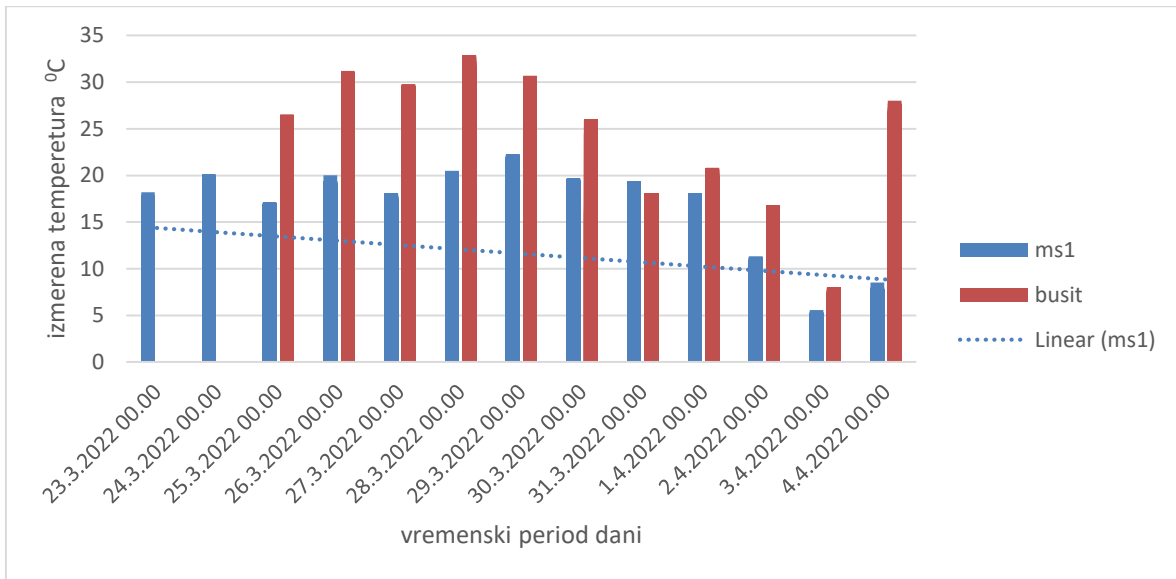
grafikon 0-2: Temperatura na sredini mosta (istočna i zapadna strane, nedelja 19/12/2021. source Busit)

	Zapadna strana	Ceo vikend	Subota	Nedelja	Istočna strana	Ceo vikend	Subota	Nedelja
min	1,1 °C	1,1 °C	1,1 °C	1,8 °C	min	0,7 °C	0,7 °C	1,7 °C
max	10,4 °C	8,5 °C	10,4 °C	10,4 °C	max	12,1 °C	10,1 °C	12,1 °C
prosek	3,80 °C	3,03 °C	3,03 °C	4,56 °C	prosek	3,87 °C	3,11 °C	4,63 °C

Tabela 1. Prosečne temperature/minimumi/maksimumi:

Primećuje se da se tokom noćnog perioda izmerene vrednosti sa obe strane sredine mosta u velikoj meri poklapaju (razlike su reda 0,2-0,3 stepena što je u skladu sa specifikiranom tačnošću senzora), dok se tokom obdanice izmerene vrednosti razlikuju i do 2 stepena Celzijusa što je uzrokovano zagrevanjem od direktnog sunčevog sjaja i može biti posledica različitih mikro-lokacijskih uslova u vidu postojanja/odsustva senke od učim obližnjih objekata kao što je zaštita i ograda mosta. Sloj prekrivke brzovezujućim cementnim malterom služi i kao zaštita uređajima i neophodan je da bi se izbegli skokovi izmerenih vrednosti temperature usled direktnog sunčevog zračenja.

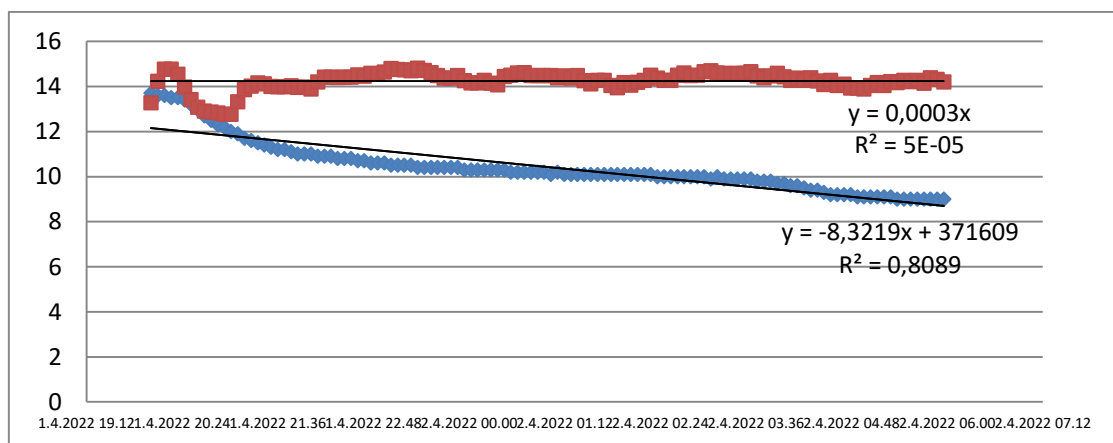
Nakon ovih merenja, kojima smo potvrdili funkcionalnost merenja temperature Lo Ra WAN senzorom, izvršili smo upoređenje izmerenih vrednosti temperature na sensorima na sredini mosta (na čeličnom delu konstrukcije) izmerenih vrednosti temperature na sensorima na prilaznoj konstrukciji mosta tokom perioda od 23/03 do 04/04/2022.



grafikon 0-3 : uporedni prikaz izmerenih veličina temperature kolovoza na prilazu mostu i na čeličnoj konstrukciji mosta

Sa grafikona se vidi da postoje razlike između izmerenih temperatura na prilazu mostu (stubić MS1) i temperatura na sredini mosta (stubić Busit). Te razlike se značajno smanjuju u dane kada je došlo do promene vremenskih prilika (od 31/03 do 04/04). Sam skok razlike u izmerenim vrednostima za 04/04 zahteva detaljnu analizu, i ukazuje na neki fenomen u postupku prikupljanja podataka i njihovog upisa u Dbase.

Uporedili smo i razliku u izmerenoj temperaturi tokom noćnog perioda (01/02/april 2020.)

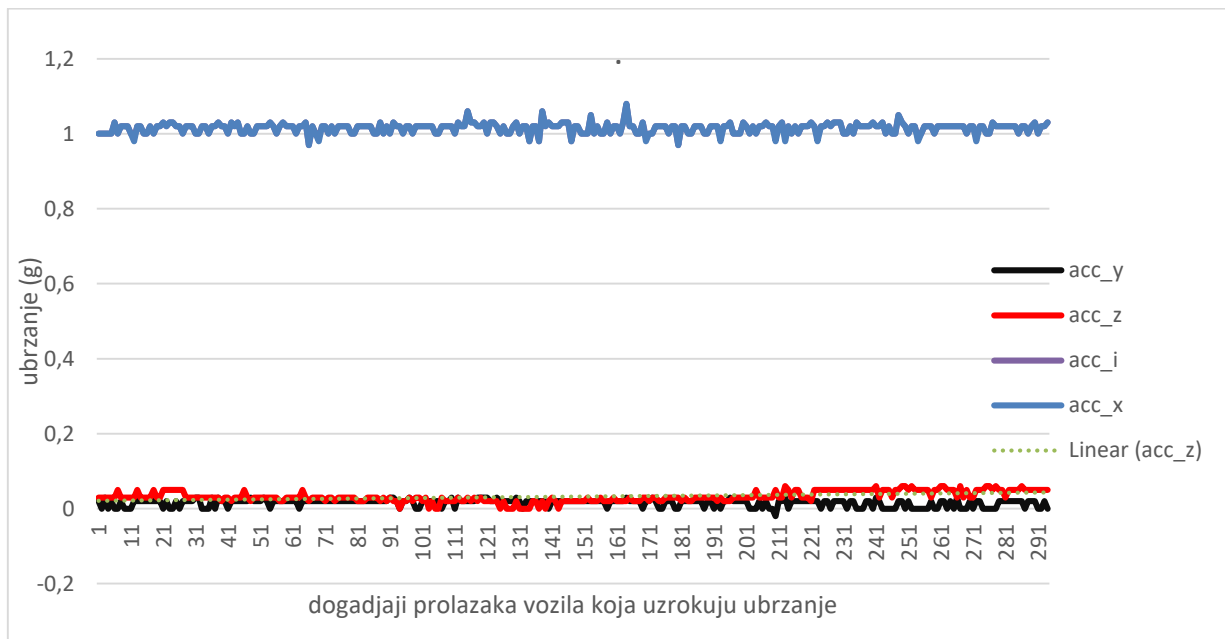


grafikon 0-4: uporedni prikaz izmerenih veličina temperature kolovoza na prilazu mostu i na čeličnoj konstrukciji mosta period od 20.00 do 06.00 časova

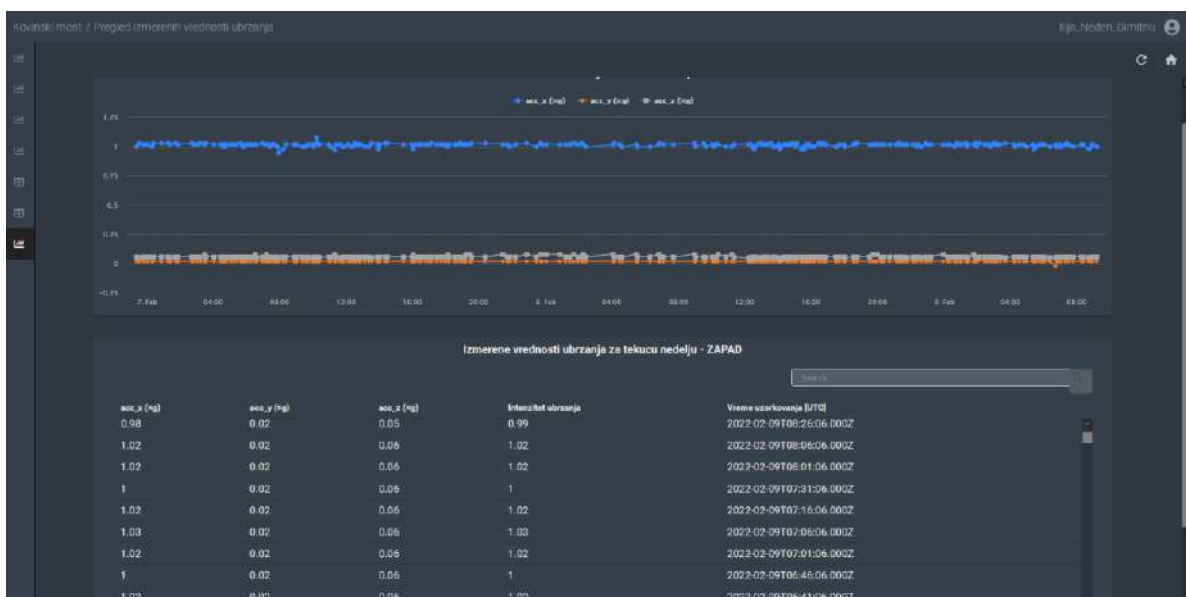
Tokom noćnog perioda, u ovo doba godine, smanjuju se razlike u izmerenim vrednostima temperature na prilazu mosta i na samom mostu.

2.3. rezultati merenja ubrzanja

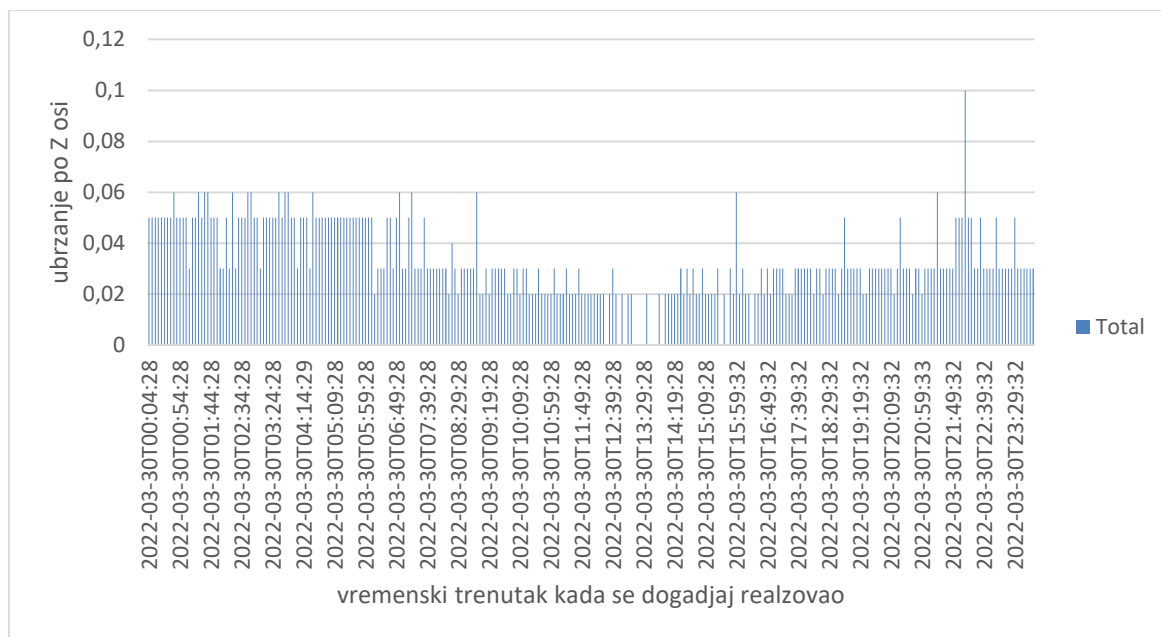
Tokom razrade pilot projekta, a u saradnji sa kolegama koje se bave projektovanjem i održavanjem mostova, predočena je mogućnost merenja ubrzanja, u sve tri ose, dela mosta na kojem se nalazi sensor. Radi uočavanja vozila koje uzrokuje promenu ubrzanja na prilazima mostova instalirane su kamere koje smimaju vozila koja pristupaju mostu. Slike sa kamere se čuvaju na lokalnoj SD memoriji kamere i preuzimaju se od strane BUSIT app i aplikacije Dbase IMP. Sihnronizacija svih entiteta realizovana je preko Network Time Protocol koji je instalisan na mrežnim entitetu u JPPS ITS. Postavljene su granice ubrzanja do 1,25 G. na grafikonu su prikazana ubrzanja po osama kao i po osi, za jedan dan opservacije (30/03/2022).



grafikon 0-5: prikaz ubrzanja na središnjoj tački mosta po X, Y i Z osi za 30/03/2022. (obrada iz Dbase)



grafikon 0-6: prikaz ubrzanja na središnjoj tački mosta po X, Y i Z osi (obrada iz Busit app.)



grafikon 0-7: prikaz ubrzanja na središnjoj tački mosta po Z osi (obrada iz Dbase)

Kao i fotografije vozila koja su uzrokovala registrovana ubrzanja:



fotografija 3: prikaz vozila sa time stampom koja uzrokuju izmerene poremećaje ubrzanja na središnjoj tački mosta(2022/03/30 05:40, smer Smederevo Kovin)



fotografija 4: prikaz vozila sa time stampom koja uzrokuju izmerene poremećaje ubrzanja na središnjoj tački mosta(2022/03/30 06:45, smer Smederevo Kovin)



fotografija 5: prikaz vozila sa time stampom koja uzrokuju izmerene poremećaje ubrzanja na središnjoj tački mosta(2022/03/30 11:39, smer Smederevo Kovin)



fotografija 6: prikaz vozila sa time stampom koja uzrokuju izmerene poremećaje ubrzanja na središnjoj tački mosta(2022/03/30 12:27, smer Smederevo Kovin)



fotografija 7: prikaz vozila sa time stampom koja uzrokuju izmerene poremećaje ubrzanja na središnjoj tački mosta(2022/03/30 23:37, smer Kovin –Smederevo)

Na osnovu ovakvog prikaza, moguće je utvrditi da određena vozila ili grupe vozila, uzrokuju promene ubrzanja elementa konstrukcije mosta (rezultati preko 0,05 g po Z osi, odnosno sva ukupna ubrzanja preko 1,00 g). Metodologija vrednovanja i tumačenja dobijenih rezultata nije bila predmet ovog pilot projekta.

3. ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedenih testova, može se zaključiti da je merenje temperature kolovoza moguće korišćenjem ove ili slične klase LoRa WAN senzora. Razolucija slanja podataka na 5 minuta omogućuje planirani radni vek senzora od najmanje 5 godina. Način konekcije senzora na Dbase meteooloških podataka JPPS ITS se može realizovati preko LoRa WAN mreže registrovanog ISP ili izgradnjim sopstvene mreže. Preporuka je da se koristi mreža ISP, jer je već izgrađena. Mogućnost dobijanja izmerenih podataka sa značajno većeg broja lokacija na državnim putevima, preporučuje ovu tehničku mogućnost za dalju implementaciju. Odgovrajućim modelovanjem dobijenih podataka, moguće je dobiti jasne ulazne podatke za PBCM process, u smislu obezbeđenja i merenja cost effective sistema za monitoring efekata, između ostalog i zimskog održavanja državnih puteva. Takođe, sumiranjem površine između empirijski dobijenih raspodela temperatura na prilazima mosta i na središnjem delu mosta, moguće je formirati KPI za stanje kolovoza u period zimskog održavanja.

Dnevne promene temperature na mostovskoj konstrukciji i na prilazu mostu mogu biti indikator za intervenciju službi za zimsko održavanje puteva.

Na osnovu sprovedenih merenja ubrzanja senzora koji se nalazi na elementu konstrukcije mosta, poređenjem sa snimkom vozila (grupe vozila) koje uzrokuju poremećaj, moguće je formirati smernice za praćenje dinamičkih veličina koje se javljaju na konstrukcijama a koje su uzrokovane od strane saobraćajnog toka. U slučaju ovog tipa merenja, potrebno je sinhronizovati trigger Lo Ra Wan senzora na način da isti emituje podatak merene veličine ubrzanja samo u trenutku kada se se video analitikom registruje vozilo koje može uzrokovati značajan poremećaj a zbog izbegavanja smanjenja rezolucije emitovanja podataka sa Lo Ra Wan senzora u cilju omogućavanja planiranog roka eksploatacije (najmanje 5 godina uz jednu bateriju).

Rezultati ovog pilot projekta preporučuju potrebu da nativni način rada bude uobičen u odgovarajuću metodologiju i da se brižljivim prikupljanjem i analizom prikupljenih podataka može vršiti prećenje i predviđanje stanja elemenata kolovoza i putnih konstrukcija.

Svi rezultati izmerenih veličina temperature i ubrzanja nalaze se u Dbase merenih veličina koju smo izradili za potrebe ovog projekta.

Zahvale

Autori rada zahvaljuju se predstavnicima privrednih subjekata Telekom Srbije a.d, Bitgear, IMP Automatika, Mostprojekt, kao i članovima projektnog tima JPPS koji su realizaciji ovog pilot projekta pristupili uz retko viđeni entuzijazam.

Literatura

- [1] Wells, A.T.; Rodrigues, C.C. 2003. *Commercial aviation safety*. The McGraw-Hill Companies, Inc. USA. 350 p.
- [2] Lingaitis, L. P.; Vaiciunas, G. 2002. An optimization model of traction rolling stock operation, *Journal of Maintenance and Reliability* 3(15): 26–30.
- [3] Mladenović, G., Stanković, S. (2008). COST 354 – Evropska harmonizacija indikatora stanja kolovoznih konstrukcija na putevima. *Put i saobraćaj*. 4, 24-33.
- [4] Ryan, T. (2004). Turning patrons into Partners When Choosing Integrated Library System. *Infotoday*, 15, 4. (on-line) available at: <http://www.infotoday.com/cilmag/mar04/ryan.shtml> (27.03.2004)

ANALIZA UTICAJA BROJA PRISTUPNIH TAČAKA DVOTRAČNIH PUTEVA NA SAOBRAĆAJNI RIZIK

Marko Subotić¹

Saobraćajni fakultet Doboj, Univerzitet Istočno Sarajevo, Vojvode Mišića 52, marko.subotic@sf.ues.rs.ba

Vladan Tubić

Saobraćajni fakultet Beograd, Univerzitet u Beogradu, Vojvode Stepe 305, vladan@sf.bg.ac.rs

Željko Stević

Saobraćajni fakultet Doboj, Univerzitet Istočno Sarajevo, Vojvode Mišića 52, zeljko.stevic@sf.ues.rs.ba

Rezime: Uticaj pristupnih tačaka na dvotračnim putevima često se odražava kroz njihov negativni trend na povećanje saobraćajnog rizika. Ovaj negativni uticaj ima za posledicu pojavu konfliktnih tokova na vangradskom putu, povećanja broja saobraćajnih nezgoda, kao i pojavu svake druge nepovoljne situacije u kojoj nastaje potencijalni rizik po učesnike u saobraćaju. U ovom radu izvršena je analiza uticaja broja pristupnih tačaka na pojavu saobraćajnih nezgoda po godinama deonice magistralnog puta Rudanka-Doboj, kao reprezentativne deonice. Takođe, analizirano je i 19 deonica magistralnih puteva (po 9 u Federaciji BiH i 10 u Republici Srpskoj), na osnovu čega je utvrđen nepovoljni trend smanjenja slobodne brzine u funkciji broja pristupnih tačaka. Kako bi se utvrdile mernе sekcije deonica magistralnih puteva sa najvećim saobraćajnim rizikom u Bosni i Hercegovini, neophodno je sagledati broj saobraćajnih nezgoda na istim, te sprovesti opsežnu analizu i sintezu podataka dobijenih na svakoj mernoj sekciji posmatrane deonice. Ključni rezultati ovog rada odnose se na gustinu pristupnih tačaka, tj. na broj pristupnih tačaka sa obe strane dvotračnih puteva po jedinici dužine deonice. Cilj ovog rada je da se ukaže na problem gustine pristupa i da se istakne značaj i neophodnost uvođenja povećane kontrole pristupa.

Ključne reči: pristupna tačka, saobraćajni rizik, deonica.

ANALYSIS OF THE IMPACT OF ACCESS POINTS NUMBER ON TRAFFIC RISK ON TWO-LANE ROADS

Marko Subotić

Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of East Sarajevo, Vojvode Mišića 52, marko.subotic@sf.ues.rs.ba

Vladan Tubić

Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, Vojvode Stepe 305, vladan@sf.bg.ac.rs

Željko Stević

Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of East Sarajevo, Vojvode Mišića 52, zeljko.stevic@sf.ues.rs.ba

Abstract: The impact of access points on two-lane roads is often reflected by their negative trend towards increasing traffic risk. This negative impact results in the occurrence of traffic conflicts in the two-lane roads, an increase in the number of traffic accidents, as well as the occurrence of any other adverse situation that creates a potential risk for traffic participants. This paper analyzes the influence of the number of access points on the occurrence of traffic accidents per year on the section of the Rudanka-Doboj trunk road as a representative section. In addition, 19 sections of other trunk roads were also analyzed (9 in the Federation of B&H and 10 in the Republic of Srpska), on the basis of which an unfavourable downward trend in free speed was determined as a function of the number of access points. In order to determine measurement spots of the main road sections with the highest traffic risk in Bosnia and Herzegovina, it is necessary to consider the number of traffic accidents on them, and to carry out an extensive analysis and synthesis of the data obtained at each measuring spot of the observed section. The key results of this paper relate to the density of access points, i.e. to the number of access points on both sides of two-lane roads per unit of the section length. The aim of this paper is to highlight the problem of access density and to point out the importance and necessity of introducing increased access control.

Keywords: access point, traffic risk, road section.

1. UVOD

Putevi predstavljaju značajne resurse i najvažnije javne investicije jedne zemlje za čiju izgradnju i održavanje se izdvajaju značajna investiciona ulaganja i to sa dva osnovna zadatka, da budu efikasni i da budu bezbedni. Efikasnost ima dva kontradiktorna cilja, jednovremeno je neophodno obezbediti efikasnu povezanost s jedne strane i neposrednu pristupačnost glavnom putnom pravcu sa druge strane. Ipak, osnovni imperativ je ova dva cilja dovesti u optimalan odnos. Ipak, povećani broj priključaka po kilometru uglavnom nepovoljno utiče

¹ Autor zadužen za korespondenciju: Marko Subotić email: marko.subotic@sf.ues.rs.ba

na kontinuirani saobraćajni tok, smanjuje slobodnu brzinu, a značajno povećava i konflikte između vozila. Očigledno je da nije dovoljno prihvaćena činjenica da sa povećanjem broja priključaka, uslovi odvijanja saobraćaja koji vladaju u saobraćajnom toku postaju nepovoljni za eksploataciju putne mreže. Pod pojmom pristupnih tačaka se podrazumeva prilazni put kojim vozila ulaze na ili izlaze sa privatne imovine, koja se nalazi neposredno uz javni put [1].

U realnoj inženjerskoj praksi, nameću se nekoliko termina pristupačnosti, a odnose se na pristupnu tačku (pristup), kontrolu pristupa i upravljanje pristupima. [2,3] Uticaj kontrole pristupnih tačaka ima različit karakter na saobraćajne uslove na vangradskoj i gradskoj mreži, zbog bitno drugačijih osobnosti saobraćajnog toka (gde spadaju struktura, složenost, vremenske neravnomernosti i uslovi odvijanja saobraćaja u toku), ali i atraktivnosti zemljišta kome (ne)treba omogućiti adekvatan pristup. [4] Haotična urbanizacija u neposrednom putnom okruženju u Bosni i Hercegovini, posebno je izražena na dvotračnim putevima i njihovim prolascima kroz naseljena mesta. Iako je prvi pravilnik kontrole pristupnih tačaka nastao još davne 1902.god. u New Jersey (USA), istraživanjem broja priključaka, odnosno pristupnih tačaka na putevima Bosne i Hercegovine u savremenoj literaturi ukazuje na činjenicu da se ovim problemom skoro niko nije bavio.

Putna mreža Bosne i Hercegovine je prema brojnim pokazateljima jedna od manje bezbednih u regionu i u Evropi. Brojni su razlozi za ovakvo rangiranje putne mreže, počevši od nasleđenih loših elemenata trase, fizičke oštećenosti kolovoza, kao i drugih posledica njenog lošeg održavanja, nekvalitetnog i nekompletnog sistema regulisanja saobraćaja. Zbog bezbednosnih razloga u sistemu upravljanja saobraćajem neretko se rešenje u optimalnoj eksploataciji puta traži u ograničenjima brzine koji ne odgovaraju samom rangu puta, a visoko kapacitivni vangradski putevi postaju deonice gradske ulične mreže. Visoko kapacitivni daljinski putevi, projektovani za veće brzine, prilikom prolaska kroz naselje poseduju veću verovatnoću nagomilavanja većeg broja pristupnih tačaka, odnosno pojave raznovrsnog sadržaja u neposrednoj blizini putnog pravca. [4] Uticaj većeg broja pristupnih tačaka za posledicu ima i veliki broj konfliktnih tačaka na putu, što prilično utiče kako na brzinu i protočnost, tako i na negativan trend bezbednosti učesnika u saobraćaju [5]. Posledice ovakve politike upravljanja putnom mrežom dovode do neracionalnog broja pristupa na mreži, a samim tim povećavaju konfliktno tokove, što za posledicu stvara i povećani broj saobraćajnih nezgoda. Ipak, progresivnom saobraćajnom politikom moguće je postići znatno veći efekat i sa znatno manjim investicionim ulaganjima. U uslovima realnog saobraćaja pretpostavka je da broj saobraćajnih nezgoda raste sa povećanjem broja priključaka, što bi trebao dovesti u prihvatljive norme [6].

U narednom delu rada u poglavlju 2. prikazana je metodologija primenljiva u HCM² priručnicima (HCM-2010, HCM-2016) [7,8], a prihvaćena u okviru ovog istraživanja. U poglavlju 3. analizom i sintezom dobijenih podataka prikazani su rezultati istraživanja dobijeni na repornoj deonici Rudanka-Doboj koji se odnose na saobraćajni rizik, kao i uticaj na smanjenje brzine slobodnog toka usled pojave većeg broja pristupnih tačaka. U poglavlju 4. data je diskusija dobijenih rezultata, nakon čega su u poglavlju 5. izvedeni zaključci sa pravcima daljih istraživanja u realnim putnim i ambijentalnim uslovima.

2. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Prema HCM priručnicima, kontroli pristupnih tačaka nije data primarna uloga u definisanju Nivoa Usluge, dok u domaćim preporukama kontroli pristupa se daje prioritarna uloga u definisanju pokazatelja zasnovanih na bezbednosti saobraćaja. Zbog toga se može izvesti blaga hipotetička pretpostavka da sa povećanjem broja pristupnih tačaka na dvotračnim putevima raste i mogućnost pojave potencijalnog saobraćajnog rizika, što često za posledicu ima i pojavu većeg broja saobraćajnih nezgoda u zoni povećane gustine pristupa.

U okviru ovog rada prihvaćena je metodologija data u HCM-2016 priručniku [8] primenljivog na dvotračnim putevima, a moguće je upotrebiti ovu metodologiju i na dvotračnim putevima u Bosni i Hercegovini. Metodom za proračun brzine slobodnog toka zasnovanog na HCM metodologiji [8] posebno je od značaja izdvojen faktor f_A koji predstavlja pokazatelj gustine broja pristupnih tačaka na deonicama dvotračnih puteva. Slobodna brzina, prema HCM-2016 se proračunava preko sledeće relacije:

$$V_{sl} = V_{slo} - f_{bs} - f_A \quad (1)$$

gde je:

² Highway Capacity Manual

- V_{sl} – slobodna brzina;
- V_{slo} – bazna slobodna brzina;
- f_{bs} – smanjenje brzine zbog uticaja širine saobraćajne trake i udaljenosti bočnih smetnji;
- f_A – smanjenje brzine zbog uticaja broja pristupa. (Tabela 1.)

Tabela 1. Uticaj broja pristupa na slobodnu brzinu f_A [8]

Gustina pristupa (broj pristupa/km)	Smanjenje slobodne brzine (km/h)
0	0,0
10	4,0
20	8,0
30	12,0
40	16,0

Izvor: HCM – 2016 [8]

Prethodna tabela dobijena na osnovu preporuke HCM-2016 [8], daje elementarni pokazatelj da svaki pristup smanjuje slobodnu brzinu za 0,4 km/h. Do ovih rezultata se došlo analogijom, gde svakih 10 pristupa po kilometru, smanjuju brzinu slobodnog toka za 4 km/h. U priručniku HCM - 2010 uticaj broja pristupa uključen je u analizu kapaciteta i nivoa usluge dvotračnih puteva preko istog faktora f_A , kojim je definisano da svaki pristup smanjuje slobodnu brzinu za 0,417 km/h [7].

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Analizom deonica magistralnih puteva I reda na području Bosne i Hercegovine (10 deonica u Republici Srpskoj i 9 deonica u Federaciji BiH), obrađeno je 206,053 km dužine putne mreže BiH (106,26 km u Republici Srpskoj i 99,793 u Federaciji BiH) kroz uticaj broja pristupnih tačaka na tim deonicama. Pod pristupom se podrazumevala svaka vrsta priključka na magistralni put (terminal za snabdevanje gorivom je računat kao 2 priključka), gde je moguće motornim vozilom se uključiti ili isključiti sa dvotračnog puta. Svako ukrštanje puta istog ranga je posmatrano kao jedna pristupna tačka, što je okvirni nedostatak ovog istraživanja, obzirom da su privatni put i put višeg ranga klasifikovani kao ista pristupna tačka.

Sintezom dobijenih podataka prikupljenih terenskim istraživanjem vizuelnom metodom dobijeni su podaci o broju pristupnih tačaka na 19 deonica magistralnih puteva. Obzirom da je posada mernog vozila generisala podatke o broju pristupnih tačaka na svakih 200 m odstojanja posmatranih deonica sa leve i desne strane, dobijeni podaci su aritmetičkom sredinom dobijeni za posmatrane deonice. Takođe, u tabeli 2. prikazani su i podaci aritmetičke sredine pristupnih tačaka (ASPT/km) po kilometru puta. Ovaj broj pristupnih tačaka po kilometru se kreće od ekstremno niske vrednosti 2,47 (Klašnice-Prnjavor) do ekstremno visokog broja pristupa 51,63 (Jelah-Karuše). Na osnovu opsežnih istraživanja, koja su sprovedena u Republici Srbiji, pokazano je da na nivou državne putne mreže gustina legalnih i ilegalnih pristupnih tačaka se kreće u rasponu od 2 do 4 po kilometru dužine puta. U neposrednoj blizini naseljenih mesta, gustina pristupnih tačaka, kao posledica kontinualne ivične izgradnje, raste do vrednosti od 40 do 50 pristupnih tačaka po kilometru [2].

HCM-2010 i HCM-2016 [7,8] prema svojoj metodologiji daju prioritet u analizi smanjenja brzine slobodnog toka u funkciji broja pristupa prema relaciji (1) na osnovu koeficijenta f_A . U tabeli 2. su prikazane dobijene vrednosti smanjenja slobodne brzine u f-ji broja pristupnih tačaka po kilometru deonice. Ovo smanjenje se kreće u rasponu od 1 (0,99 km/h) do 21 km/h (20,65) prema HCM-2016.

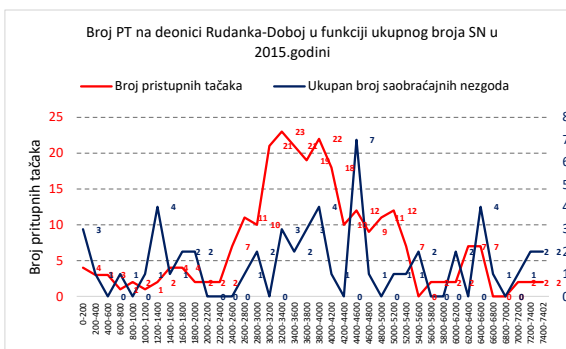
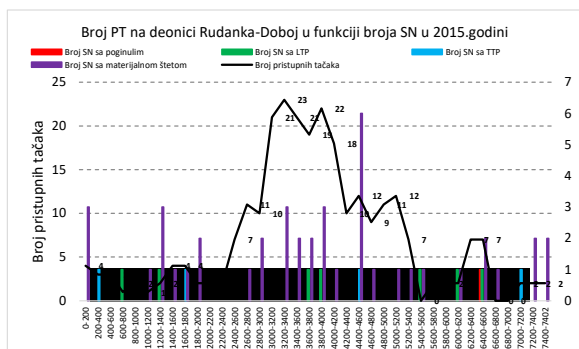
Tabela 2. Broj pristupnih tačaka po dužini deonice i njihov uticaj na smanjenje slobodne brzine po HCM-u

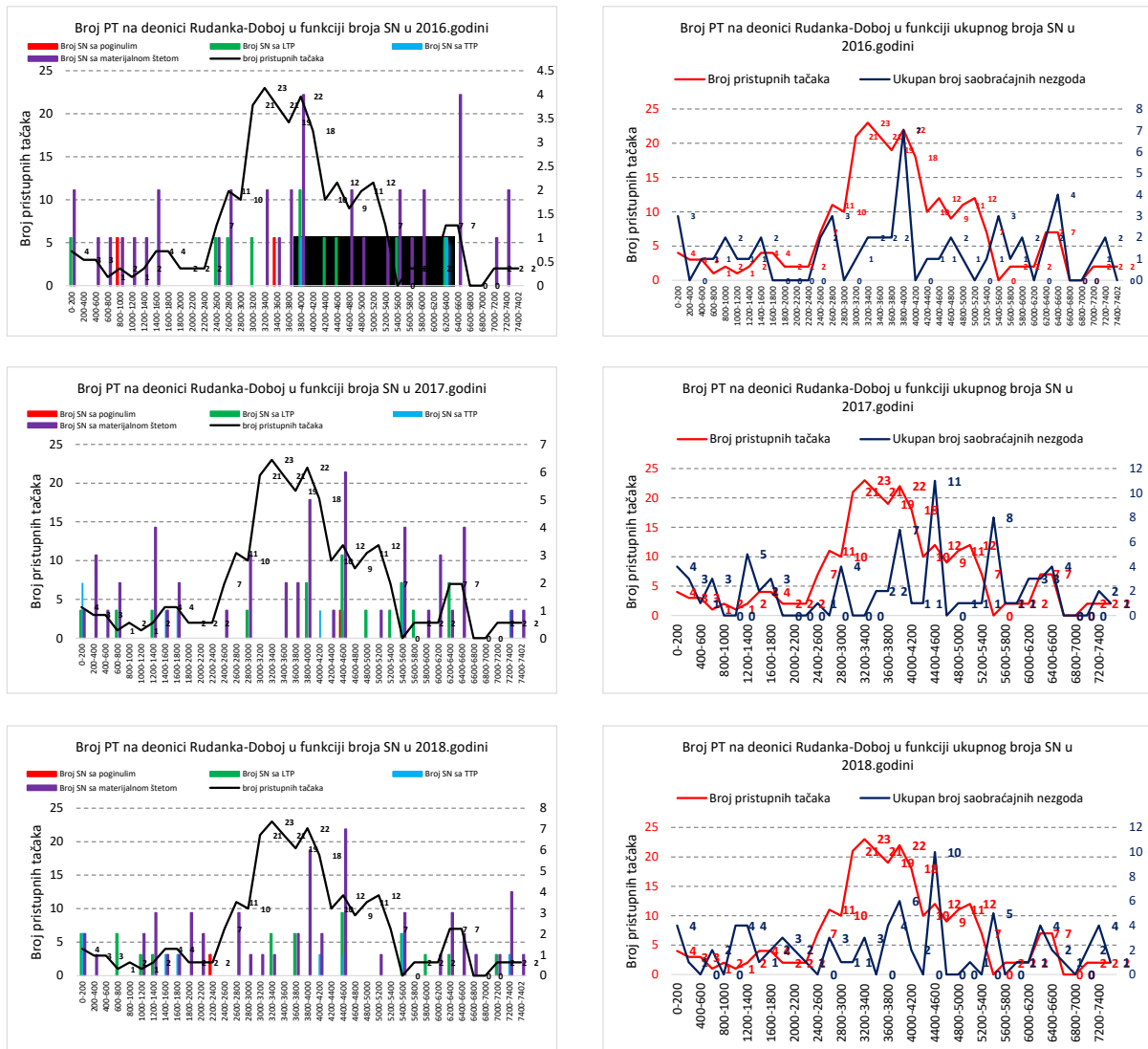
Redn i broj	Deonica	Oznaka deonice	Dužina deonice (km)	ASPT/200m- desna strana	ASPT/200m- leva strana	ASPT/k m	Smanjenje V_{sl} u f-ji F_A (HCM2010)	Smanjenj e V_{sl} u f-ji F_A (HCM- 2016)
1	Doboj Novi-Doboj (Poljice)	110	1.469	0.25	0.88	5.63	2.35	2.25
2	Doboj (Poljice)- Granica RS-FBiH	110	2.945	1.00	1.21	11.07	4.62	4.43
3	Doboj-Granica RS- FBiH (Karuše)	105	3.517	0.67	1.83	12.50	5.21	5.00
4	Rudanka-Doboj	105	7.405	2.66	4.42	35.39	14.76	14.16

5	Johovac-Rudanka	105	6.854	1.44	2.38	19.12	7.97	7.65
6	Klupe-Teslić (Barići)	110	16.734	2.36	1.90	21.31	8.89	8.52
7	Obodnik-Klupe	110	20.134	0.84	1.05	9.46	3.94	3.78
8	Šešlije-Johovac	105	4.701	0.79	1.21	10.00	4.17	4.00
9	Teslić (Barići)-Granica RS-FBiH	110	6.646	2.15	1.97	20.29	8.46	8.12
10	Klašnice-Prnjavor	106	35.855	1.03	1.44	2.47	1.03	0.99
Srednja dobijena vrednost pristupnih tačaka na datim deonicama u Republici Srpskoj						14.72	6.14	5.89
1	Donja Orahovica-Lukavac	112	20.155	1.66	2.33	19.95	8.32	7.98
2	Gračanica-Donja Orahovica	112	6.89	3.29	5.14	42.14	17.57	16.86
3	Granica RS-FBiH-Gračanica	112	15.095	3.16	3.51	33.36	13.91	13.34
4	Granica RS-FBiH-Jelah	111	6.01	3.84	2.84	33.39	13.92	13.36
5	Jelah-Karuše	111	10.265	5.29	5.04	51.63	21.53	20.65
6	Karuše-Maglaj	110	19.03	2.45	2.15	22.97	9.58	9.19
7	Lukavac-Šiški Brod 2	112	5.641	0.90	1.07	9.83	4.10	3.93
8	Maglaj-Ozimica	110	10.520	1.30	1.74	15.19	6.33	6.08
9	Ozimica-Žepče	110	6.187	1.39	1.39	13.87	5.78	5.55
Srednja dobijena vrednost pristupnih tačaka na datim deonicama u Federaciji BiH						26.93	11.23	10.77
Ukupno dobijena srednja vrednost pristupnih tačaka na datim deonicama u Bosni i Hercegovini						20.82	8.68	8.33

Izvor: Autori

Ako se analizira uticaj broja pristupnih tačaka na deonicama dvotračnih puteva na saobraćajni rizik, radi boljeg prikaza saobraćajnog rizika, jednostavnije je u procesu prikupljanja podataka izdvojiti reprezentativnu deonicu. U ovom slučaju izdvojena je deonica magistralnog puta I reda Rudanka-Doboj (MI-105). U prethodnom periodu od 4 godine (2015.-2018.god) na ovoj deonici je poginulo 5 lica, što u proseku čini 1,25 lica godišnje, od čega su se 2 nezgode sa smrtno stradanim licima dogodile u zoni povećanog broja pristupa (preko 20 pristupa/200 m). Na ovoj deonici ujedno postoji i naznaka „opasnog mesta“ sa većom verovatnoćom akcidenta. Takođe, na navedenoj deonici analizirani su pristupi na svakih 200 m i uporedo sa njima prikazane su hronološke vrednosti broja saobraćajnih nezgoda (sa poginulim, lakim telesnim povredama, teškim telesnim povredama i materijalnom štetom). U periodu od 2015. – 2018. god date su i ukupne vrednosti broja saobraćajnih nezgoda u odnosu na broj pristupnih tačaka (slika 1.).





Slika 1. Prostorna raspodela broja SN i broj pristupnih tačaka na deonici magistralnog puta M-105 Rudanka-Doboj od 2015. do 2018.godine
Izvor: Autori

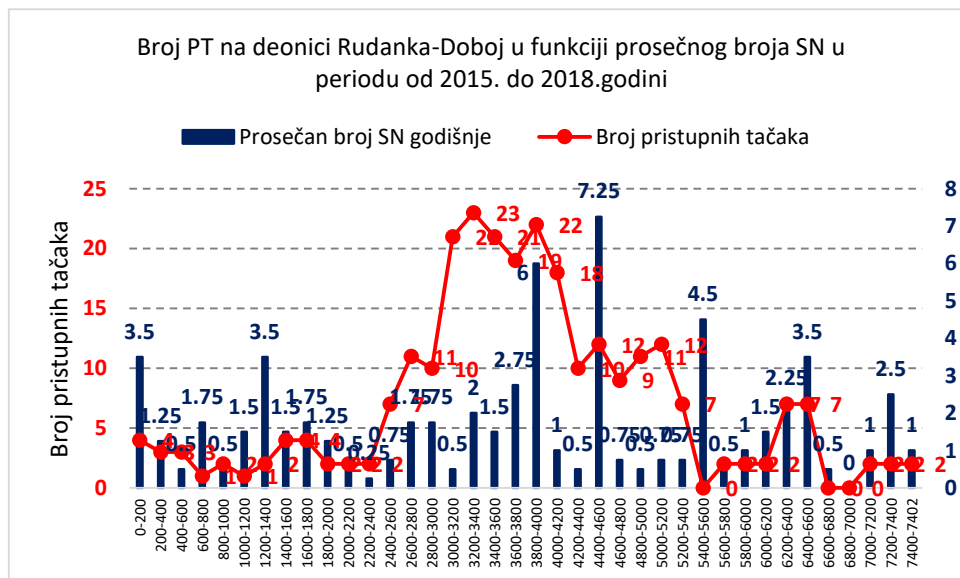
Na osnovu slike 1. moguće je dobiti uočljivi ekstremum na mernoj sekciji 4400-4600 m koji u 2015.godini iznosi 7, a nakon toga u 2017. i 2018.godini respektivno iznosi 11 i 10 nezgoda/200m. Ovaj ekstremum na deonici, nalazi se u neposrednoj zoni ulaska u grad Doboj, gde se osim geometrijskih elemenata trokake raskrsnice, horizontalnom i vertikalnom signalizacijom reguliše kretanje vozila. Ova zona predstavlja ekstremnu zonu opasnog mesta date deonice. U ovoj mernoj sekciji, iako je najveći broj nezgoda sa materijalnom štetom, veća je zastupljenost i nezgoda sa stradalim licima u saobraćaju.

Na mernoj sekciji 3800-4000 m gde se nalaze 22 pristupne tačke, postoji trend kontinuirnog povećanja broja saobraćajnih nezgoda (samo sa materijalnom štetom se kreće od 4 do 7 godišnje). Takođe, na mernoj sekciji od 4000-4200 m javlja se pozitivan trend smanjenja broja nezgoda po godinama, gde se bez obzira na broj pristupnih tačaka javlja jedna ili nijedna nezgoda godišnje.

Ako se posmatra desna strana slike 1, gde je prikazan broj pristupnih tačaka u f-ji ukupnog broja saobraćajnih nezgoda po godinama, posebno se javljaju dve upečatljive zone povećanog rizika od 3600-4600 m (ZONA 1) i posebno upečatljiva merna sekcija 6400-6800 m (ZONA 2) gde konstantno postoje 4 nezgode/200m u analizirane 4 godine.

Radi detaljnijeg pristupa u periodu 2015.-2018.godina utvrđene su vrednosti aritmetičke sredine broja saobraćajnih nezgoda (bez obzira na vrstu nezgode) na slici 2. Na osnovu dobijenih podatka, posebno se negativno ističu merna sekcije 3800-4000 m sa 6 nezgoda/200 m i merna sekcija 4400-4600 sa čak 7,25 nezgoda/200 m. Takođe, na

mernoj sekciji 6800-7000 gde nema pristupnih tačaka sa leve i desne strane u proseku na nivou od 4 godini nije bilo saobraćajnih nezgoda. Specifično je da na mernoj sekciji 5400-5600 m se dogodi 4,5 nezgoda godišnje, a nema sporednog priključka na magistralni put. Prema slici 2., na reprezentativnoj deonici saobraćajne nezgode predstavljaju slučajni događaj u odnosu na broj pristupnih tačaka koji se pojavljuju na deonici, tako da se ne može govoriti o povećanju broja saobraćajnih nezgoda sa povećanjem broja pristupnih puteva, i obrnuto.



Slika 2. Aritmetička sredina broja SN u funkciji broja pristupnih tačaka na mernim sekcijama
Izvor: Autori

Na prethodnoj slici u zoni od 2200 do 5200 m nalazi se naselje Bare, koje predstavlja trgovinsku zonu grada Doboja, zbog čega se u ovom delu javlja povećani broj pristupnih tačaka. Ovaj deo grada je i deo sa povećanim stambenim sadržajem, a učestano po mernim sekcijama se javlja veliki broj pristupnih tačaka, jer je zatečeni trend da skoro svaka kuća ima direktan pristup na magistralni put (bez organizovanog sabirnog puta). Ipak, ovoliko broj pristupa, ne znači i frekventnost odvijanja saobraćaja na njima, već samo moguće priključenje na primarnu saobraćajnicu.

4. DISKUSIJA REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Dobijeni rezultati istraživanja pokazuju pre svega da je na planinskom terenu prisutan manji broj pristupnih tačaka, nego što je to slučaj na ravničarskom terenu. Ovo smanjenje na planiskom terenu se može objasniti činjenicom da je na planinskom terenu manji broj naseljenih mesta, a samim tim i stambeno-poslovnih sadržaja, obzirom da su u pitanju planinski ruralna područja, a ne turistički rizorti. Posebni primeri ovakvih deonica su Obodnik-Klupe i Klačnice – Prnjavor. Obodnik-Klupe je tipična planinska deonica, dok Klačnice-Prnjavor predstavlja deonicu brdovitog tipa.

Ako se izvrši poređenje analiziranih deonica u RS i Federaciji BiH, prema sprovedenoj sintezi podataka, u RS-u se javlja u proseku 14,72 pristupa/km (≈ 15 PT/km), dok je u Federaciji BiH taj broj znatno veći i iznosi 26,93 pristupa/km (≈ 27 PT/km). Ovako veliki prosečan broj pristupa u RS smanjuje slobodnu brzinu prema HCM-2016 za 5,89 km/h, a u Federaciji BiH za 10,77 km/h. Ukupan prosečno dobijeni broj pristupa na 19 deonica dvotračnih puteva iznosi 20,82 pristupa/km (≈ 21 PT/km), što smanjuje slobodnu brzinu prema HCM-u za 8,33 km/h. Ograničenje u ovom radu odnosi se na to što su uzete deonice u razmatranje koje većinom imaju poslovni i naseljeni sadržaj u neposrednoj blizini i pojasu magistralnog puta. Takođe, pojedina naselja u neposrednoj blizini grada Doboja i Tuzle, postaju privredni centri, a trend razvoja vezuju pre svega za primarnu magistralu. Posebno je potrebno istaći da nadležni održavaoci puteva „Putevi RS“ i „Ceste BiH“ liberalno pristupaju donošenju odluke da se neki od novootvorenih privrednih subjekata ili naseljene parcele priključe na magistralni put, često i bez projektnog rešenja. Takođe, u mnogim opštinama, priključci na put nisu regulisani regulacionim planom, što dovodi do povećanog broj pristupnih tačaka po kilometru.

Analizom deonica puteva, na teritoriji Federacije BiH, posebno je uočljiva deonica Jelah – Karuše (MI -111) sa maksimalnih 51,63 pristupnih tačaka/km (≈ 52 PT/km). Ova deonica je dužine 10,625 km, ali duž cele svoje dužine predstavlja stambeno-poslovnu zonu koja je građena uz magistralni put I reda. Posledica ovolikog broja pristupnih tačaka na pojedinim mernim sekcijama, ogleda se kroz posleratni privredni procvat ove deonice, obzirom da se deonica nalazi između Doboja i Tešnja. Prema HCM-2016 pristupne tačke na ovoj deonici u

proseku smanjuju brzinu slobodnog toka za 20,65 km/h, što je veliko smanjenje brzine. Analizom deonica u Republici Srpskoj moguće je izdvojiti prethodno navedenu reprezentativnu deonicu sa najvećim brojem pristupa Rudanka - Doboj sa 35,39 pristupnih tačaka/km ($\approx 35,5$ PT/km). Ova deonica takođe predstavlja stambeno-poslovnu zonu grada Doboja, a na ovoj deonici brzina slobodnog toka se smanjuje za 14,16 km/h u proseku. Značajno je i istaći deonice sa znatno povećanim brojem pristupna u zoni opštine Gračanica u Federaciji BiH, gde se izdvajaju deonice Granica RS-FBiH - Gračanica sa 33,36 pristupa/km ($\approx 33,5$ PT/km) i deonica Gračanica-Donja Orahovica sa 42,14 pristupa/km (≈ 42 PT/km). Zona Gračanice u posleratnom periodu doživljava posebnu privrednu ekspanziju, a većina privrednih subjekata ima direktan pristup primarnoj saobraćajnici. Posmatrajući na području BiH prethodno navedene deonice puteva, očito je da sa povećanjem atraktivnosti zona u pojasu magistralnih puteva dolazi do (i)legalnog povećanja broja pristupa. Ovaj trend zahteva restriktivniju regulativno-režimsku politiku upravljanja pristupima na području BiH.

Tipična brdska deonica koja se izdvaja iz analiziranih je Klašnice - Prnjavor. Ova deonica puta poseduje u proseku 2,47 pristupa/km ($\approx 2,5$ PT/km). Uticaj pristupnih tačaka na smanjenje brzine slobodnog toka iznosi 0,99 km/h (≈ 1 km/h). Ova deonica je najduža od svih 19 izabranih deonica, ali u pojasu puta ove deonice nisu zabeleženi značajniji poslovno stambeni sadržaji. Zbog toga se ovde javlja znatno niži broj pristupnih tačaka po kilometru.

Ako se posmatra reprezentativna deonica Rudanka - Doboj, može se uočiti da u zoni povećanog broja pristupa dolazi i do pojave pojedinačnih ekstremuma broja saobraćajnih nezgoda. Ipak, neki ekstremumi se javljaju i na manjem broju pristupnih tačaka date deonice. Ovi ekstremumi se uglavnom pojavljuju na pojedinim mernim sekcijama, i ne može se dati matematička zavisnost na ovoj deonici broja pristupnih tačaka od broja pojave saobraćajnih nezgoda. Godišnje na ovoj deonici pogine 1,25 lica u proseku u saobraćajnim nezgodama.

5. ZAKLJUČAK

U sprovedenom istraživanju prikazani su prikupljeni rezultati na navedenim deonicama, pri čemu se posebno izdvaja pet ključnih deonica sa izuzetno visokim brojem pristupnih tačaka, gde je broj PT/km > 30 , i četiri deonice koje imaju relativno nizak broj PT/km < 10 . Procenjeno je da i reprezentativna deonica koja ima više od 30 PT/km ima povećan saobraćajni rizik, što se može videti na navedenom dijagramu po mernim sekcijama (slika 1 i 2). Takođe, dokazano je primenom HCM metodologije da sa povećanjem broja pristupnih tačaka na deonicama, dolazi smanjenja slobodne brzine, obzirom da pokazatelj broja pristupnih tačaka, direktno utiče i na slobodnu brzinu. Povećanjem broja pristupnih tačaka na dvotračnim putevima ujedno se povećava i učestanost pojave potencijalnog saobraćajnog rizika, što za posledicu ima i pojavu većeg broja saobraćajnih nezgoda u zoni povećane gustine pristupa. Ovim je dokazana navedena hipotetička pretpostavka.

U sprovedenom istraživanju, posebno odstupa deonica Jelah-Karuše sa prosečno 51,63 pristupne tačke po kilometru (≈ 52 PT/km). Ovaj broj pristupnih tačaka, posebno se odnosi na zone privredno-administrativnih i trgovinskih centara u kojima se nedovoljno posvećuje pažnja gustini pristupnih tačaka, čime magistralni put prvog reda gubi na značaju prioriteta. Zbog toga je jako važno posebnu pažnju posvetiti politici upravljanja kontrole pristupa na svim deonicama sa povećanim brojem pristupa. Deonice sa niskim brojem pristupnih tačaka, uglavnom su deonice koje skoro i da ne poseduju administrativne i stambene centre. U ovakve deonice spada Klašnice-Prnjavor sa 2,47 pristupnih tačaka po kilometru ($\approx 2,5$ PT/km), koja je ujedno i najduža deonica.

Izdvajanjem reprezentativne deonice Doboj-Rudnka, utvrđeno je da broj pristupa po mernim sekcijama ne utiče na porast broja saobraćajnih nezgoda. Međutim, ako se posmatra cela deonica, jasno je da se javljaju pojedini ekstremumi broja saobraćajnih nezgoda na nekim mernim sekcijama gde postoji povećani broj pristupa. Takođe, ne postoji deterministička matematička zavisnost broja saobraćajnih nezgoda od pojave broja pristupnih tačaka na mernim sekcijama date deonice. Ova deonica prema broju saobraćajnih nezgoda ubraja se u rizične deonice.

Sprovedenom opsežnom analizom na 19 deonica, dokazano je da prosečan broj pristupnih tačaka po kilometru na analiziranim deonicama iznosi 20,82 PT/km (≈ 21 PT/km). Poređenjem sa HCM-2016, ovaj broj pristupnih tačaka smanjuje slobodnu brzinu za 8,33 km/h ($\approx 8,5$ km/h) na svakoj od navedenih deonica, što se može pretpostaviti za lokalnu primenu u Bosni i Hercegovini, ali ograničeno na uzorku od 19 deonica.

U predstojećem periodu, neophodno je izvršiti detaljno realno terensko snimanje broja pristupnih tačaka i na drugim potencijalnim deonicama dvotračnih puteva u Bosni i Hercegovini, a ujedno javlja se i potreba za formiranjem jedinstvene baze podataka o broju pristupa po mernim sekcijama, broju nezgoda, vrstama nezgoda i sl. Ovi pokazatelji bi morali biti ulazni parametar, svih planerskih, projektantskih i operativnih analiza, kao i relevantnih pokazatelja za izradu regulacionih planova datih područja.

Zahvale

Ovaj rad je deo istraživanja urađenog u okviru projekta „Uticaj geometrijskih elemenata dvotračnih puteva u modelima analize saobraćajnog rizika“ koji je podržalo Ministarstvo za naučnotehnološki razvoj, visoko obrazovanje i informaciono društvo Republike Srpske, broj 19.032/961-58/19.

Literatura

- [1] Slocomb, W., O'brien, J., Johnson, G., Trapani, K. 2005. *Highway Functional Classification System for the State of Rhode Island 2005 - 2015*. Rhode Island Statewide Planning Program;
- [2] Tubić, V., Vidas, M. 2014. Upravljanje kontrolom pristupa – efikasnost i bezbednost putne mreže Srbije. Prvi srpski kongres o putevima.
- [3] Vidas, M. (2017) *Uticaj kontrole pristupa na kapacitet i nivo usluge dvotračnih puteva*, Doktorska disertacija, Saobraćajni fakultet Beograd.
- [4] Gaca, S., & Tracz, M. 2012. *Two Lane Roads with Multifunctional Median Lane*. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 53, 800–809. doi:10.1016/j.sbspro.2012.09.929
- [5] Tubić, V., Vidas, M. 2015. *Kontrola pristupnih tačaka i klasifikacija pristupnih tačaka u funkciji uticaja na bezbjednost i Nivo Usluge dionica dvotračnih puteva*, X Međunarodna Konferencija "Bezbednost saobraćaja u lokalnoj zajednici", Beograd;
- [6] Rašić, A., Stojnić, M. i Gajić, V. 2015. *Uticaj kontrole pristupnih tačaka na bezbjednost saobraćaja na dvotračnim putevima u Republici Srpskoj*, IV Međunarodna konferencija „Bezbednost saobraćaja u lokalnoj zajednici“, Banja Luka.
- [7] „*Highway Capacity Manual 2010*“ 2010. Transportation Research Board Publications, Volume 4. Applications Guide.
- [8] „*Highway Capacity Manual 2016*“ 2016. Transportation Research Board, Edition 6, Chapter 22, National Reserch Council, Washington, DC, USA.

ПОВЕЋАЊЕ БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА У ЛОКАЛНОЈ ЗАЈЕДНИЦИ УНАПРЕЂЕЊЕМ ПЛАНСКЕ И ПРОЈЕКТНЕ ДОКУМЕНТАЦИЈЕ КРОЗ ДОПУНУ ЗАКОНА О ПЛАНИРАЊУ И ИЗГРАДЊИ

Александар Павловић¹

¹ Цис инжењеринг доо, cisinzenering@gmail.com

Резиме: Циљ овог рада је указивање на могућност повећања безбедности саобраћаја у локалној заједници унапређењем планске и пројектне документације. Да би се показала међусобна зависност између планске и пројектне документације и безбедности саобраћаја, у оквиру рада, извршено је сагледавање и анализа законске и подзаконске регулативе као и анализа стања безбедности саобраћаја у локалним заједницама. У оквиру анализе законске и подзаконске регулативе обухваћени су: Закон о планирању и изградњи, Закон о безбедности саобраћаја на путевима, Закон о путевима и Правилник о саобраћајној сигнализацији. С друге стране као показатељ безбедности саобраћаја у локалној заједници анализирани су подаци о броју погинулих у локалним заједницама. Након спроведених анализа установљена је зависност између законске и подзаконске регулативе и безбедности саобраћаја. Препознавањем овог међусобног односа може бити од велике користи за локалну заједницу и безбедност саобраћаја јер кроз унапређење Закона о планирању и изградњи, али и осталих законских и подзаконских аката можемо извршити унапређење безбедности саобраћаја.

Кључне речи: унапређење документације, безбедности саобраћаја, допуна Закона.

INCREASING TRAFFIC SAFETY IMPROVING THE PLANNING AND PROJECT DOCUMENTATION THROUGH THE AMENDMENT OF THE LAW ON PLANNING AND CONSTRUCTION

Aleksandar Pavlovic²

¹ Cis inzenjering doo, cisinzenering@gmail.com

Abstract: The purpose of this paper is to point out the possibility of making the traffic safety more secure within the local community by improving the planning and project documentation. In order to reflect the mutual dependence between planning and project documentation and traffic safety the survey and analysis of legal and sub-legal regulation as well as the state of the traffic safety in local communities has been made. Within analysis of the legal and sub-legal regulations the following has been included: The Law on planning and construction, The Law on roads traffic safety, The Law on roads and The Act on traffic signalization. On the other hand, as the indicator of the traffic safety in the local community the data on the number of dead in the local community were analyzed. After the conducted analyses the dependence between legal and sub-legal regulations and the traffic safety was established. Recognition of this mutual relationship can have the huge benefit to the local community and the traffic safety because we can make the improvement of the traffic safety through the Law on planning and construction, and through other legal and sub-legal acts.

Keywords: improvement of documentation, traffic safety, amendments to the Law.

1. УВОД

Циљ сваке јединице локалне самоуправе и осталих надлежних у области саобраћаја је свакако одржавање задовољавајућег нивоа безбедности саобраћаја као и константан рад и улагање у повећање постојеће безбедности саобраћаја.

Достизање постављеног циља може се квалитетно постићи решавањем најпре основних проблема, а то је израда усклађене и квалитетне законске регулативе у свим областима које се директно и индиректно тичу безбедности саобраћаја као и њено примерено спровођење.

Сагледавањем области просторног планирања, урбанизма, грађевинарства и саобраћаја, у оквирима законске регулативе Републике Србије, можемо учити бројне проблеме везане за спровођење и имплементирање исте у пракси.

С обзиром на велики број учених проблема, овим радом је немогуће сваком проблему посветити посебну пажњу па је зато за потребе овог рада одабран проблем техничке документације.

Проблематика техничке документације је важна како са становишта урбанистичког планирања и пројектовања, изградње објеката тако и за област саобраћајног пројектовања. Свакако између

¹ Александар Павловић, aleks.pavlovic@gmail.com

наведених области постоји велика зависност, а најзначајнији заједнички проблем који је потребно решити је безбедност саобраћаја. Недостаци техничке документације се огледају у смислу њеног садржаја, врсте, обима, квалитета и наравно стручног кадра који се њоме бави, који је израђује, контролише и спроводи.

2. МЕТОДОЛОГИЈА РАДА

Ради дефинисања методологије за повећање безбедности саобраћаја унапређењем планске и пројектне документације потребно је извршити сагледавање свих чинилаца - система који су међусобно повезани. Генерално можемо издвојити три система и то:

- Законску и подзаконску регулативу,
- Планску и пројектну документацију,
- Стање безбедности саобраћаја у локалним заједницама.

Након дефинисања битних чинилаца система усвојена је методологија којом је извршена:

- Анализа законске и подзаконске регулативе,
- Анализа планске и пројектне документације у јединицама локалне самоуправе - ЈЛС,
- Анализа стања безбедности саобраћаја у ЈЛС,
- Упоредна анализа стања планске документације и стања безбедности саобраћаја у ЈЛС.

Први корак у усвојеној методологији је анализа дела законске и подзаконске регулативе која утиче на стање безбедности саобраћаја и то: Закон о планирању и изградњи, Закон о путевима, Закон о безбедности саобраћаја на путевима, Правилник о процени утицаја пута на безбедност саобраћаја и Правилник о саобраћајној сигнализацији. Сагледавање и анализа законске и подзаконске регулативе је битна из разлога што се само добрим законским дефиницијама може утицати на рад ЈЛС, на стање планске и пројектне документације, а самим тим и на повећање безбедности саобраћаја у ЈЛС.

У оквиру другог корака извршена је анализа планске и пројектне документације у јавно доступним документима ЈЛС на узорку од 152 ЈЛС на територији Републике Србије. Приликом анализе планске документације сваке ЈЛС изабран је један важећи плански документ који у оквиру свог рада обухвата планирање најмање једне саобраћајнице. На овако изабраној планској документацији посматрано је да ли је на изради планског документа учествовао дипломирани инжењер саобраћаја. Ради лакше анализе и приказа упоредних података територија Републике Србије је разврстана по НСТЈ ¹³ на: Србија – Север (Војводина и Београд) и Србија Југ (Шумадија и Западна Србија, Јужна и Источна Србија и Косово и Метохија). Подаци с Косова и Метохије нису доступни па зато нису ни обухваћени у оквиру анализе. У овом кораку извршена је анализа планске документације на нивоу Републике Србије, засебно по усвојеним регионима, и на крају је дат упоредни приказ израђене планске документације без учешћа саобраћајног инжењера по регионима.

За разлику од планске документације, пројектна документација није јавно доступна тако да анализу пројектне документације није могуће извршити на овај начин. Поред тога анализа пројектне документације захтева другачији приступ, што превазилази границе овог рада.

Наредним кораком извршена је анализа стања безбедности саобраћаја у ЈЛС. Као главни показатељ у оквиру ове анализе посматран је број погинулих по локалним заједницама у Републици Србији, за период 2011 – 2015. године. Добијени подаци су такође приказани по усвојеним регионима, Србија – Север и Србија – Југ, не узимајући у обзир податке за Београд и А.П. Косово и Метохију. Град Београд није обухваћен анализом јер он у сваком случају представља засебну целину и њега као таквог треба засебно анализирати, док А.П. Косово и Метохија нису узети у разматрање јер су претходне анализе урађене без података са простора те аутономне покрајне.

Како би се утврдио и успоставио однос између стања планске документације и стања безбедности саобраћаја у ЈЛС, у последњем кораку усвојене методологије, извршена је упоредна анализа ова два показатеља. У оквиру ове анализе дат је упоредни приказ израђене планске документације, која је израђена без ангажовања саобраћајног инжењера на изради, и броја погинулих посматрајући регионе Север и Југ.

¹³https://sr.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BA%D0%B8_%D1%80%D0%B5%D0%B3%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%B8_%D0%A1%D1%80%D0%B1%D0%B8%D1%98%D0%B5

3. РЕЗУЛТАТИ

3.1. Анализа законске и подзаконске регулативе

3.1.1. Закон о планирању и изградњи

Генералним сагледавањем Закона о планирању и изградњи можемо утврдити да се области саобраћаја, саобраћајној струци и безбедности саобраћаја не даје довољно на важности у оквиру овог закона. У односу на саобраћајну струку, грађевинска и архитектонска струка су у знатно бољем положају. Поред ових струка већа пажња се посвећује и областима заштите непокретних културних добара, заштите животне средине, противпожарне заштите и др., иако су те области такође дефинисане посебним законима.

У погледу препознатих стратегија у оквиру Закона о планирању и изградњи, можемо установити да Стратегија безбедности саобраћаја није препозната као битан чинилац овог закона па самим тим и не чини део ове законске регулативе.

Анализирањем дефиниција планске и пројектне документације, као и документације нижег реда, можемо установити да се нигде не спомиње безбедност саобраћаја. Поред тога можемо установити да за израду планских докумената као и остале техничке документације није условљена израда потребних анализа, студија и стратегија из области саобраћаја као и да не постоји обавеза учествовања саобраћајних инжењера на изради наведене техничке документације.

3.1.2. Закон о путевима

Анализом Закона о путевима можемо установити да, као и у Закону о планирању и изградњи, не постоје потребне дефиниције техничке документације из области саобраћаја као и обавеза ангажовања саобраћајних инжењера.

У оквиру овог закона наводи се потреба за израдом саобраћајног пројекта при чему се непосредно врши позивање на Закон о планирању и изградњи наводећи да се изградња и реконструкција врши у складу са законом који уређује планирање и изградњу, и у складу са Законом о путевима.

3.1.3. Закон о безбедности саобраћаја на путевима

Закон о безбедности саобраћаја на путевима – ЗОБС, као кровни закон безбедности саобраћаја, даје најбољу дефиницију безбедности саобраћаја, дефинишући да се све радње које су везане за пројектовање, грађење, реконструкцију, одржавање и управљање путевима саобраћаја врше на тај начин да се увек обезбеди безбедно одвијање саобраћаја.

Поред добре и јасне дефиниције безбедног одвијања саобраћаја ЗОБС, као и у други посматрани закони, не даје јасне дефиниције ни једног планског, ни техничког документа из области саобраћаја, као ни обавезу ангажовања саобраћајних инжењера.

У оквиру овог закона потребно је посебан осврт направити на „Техничко регулисање саобраћаја“, које нема јасну дефиницију. Техничко регулисање саобраћаја по постојећој дефиницији може бити плански документ, али такође може бити и одређена врста техничке - пројектне документације.

3.1.4. Правилник о процени утицаја пута на безбедност саобраћаја

Овај правилник представља подзаконски акт Закона о путевима и његова улога је дефинисање начина израде процене утицаја пута у процесу планирања или реконструкције на безбедност саобраћаја.

Један од недостатака овог подзаконског документа се огледа у нејасној дефиницији израде Процене у оквиру планске документације.

3.1.5. Правилник о саобраћајној сигнализацији

Правилник о саобраћајној сигнализацији је једини подзаконски документ из области саобраћаја који дефинише појам и садржај саобраћајног пројекта.

Недостатак дефиниције саобраћајног пројекта је такође што се само наводи да је он „пројекат саобраћаја и саобраћајне сигнализације, у складу са прописима којима се уређује техничка документација“, што представља једину, и у пракси, лошу везу са Законом о планирању и изградњи.

3.2. Стање и анализа планске и пројектне документације у ЈЛС

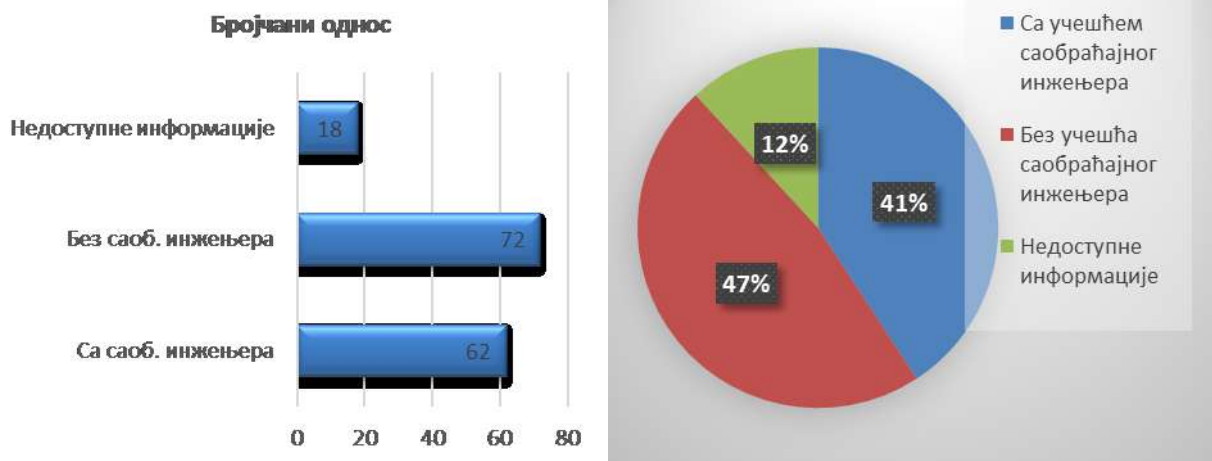
3.2.1. Планска документација

На основу доступних података ЈЛС извршен је преглед и анализа дела планске документације на узорку од 152 ЈЛС на територији Републике Србије на чијој изради су ангажовани дипломирани саобраћајни инжењери⁴.

На посматраном узорку, установљено је да је 72 ЈЛС (47%) је израдило планску документацију без ангажовања саобраћајних инжењера на изради, 62 ЈЛС (41%) је израдило документацију ангажовањем саобраћајних инжењера на изради, док за 18 ЈЛС (12%) подаци нису доступни (Слика 1).

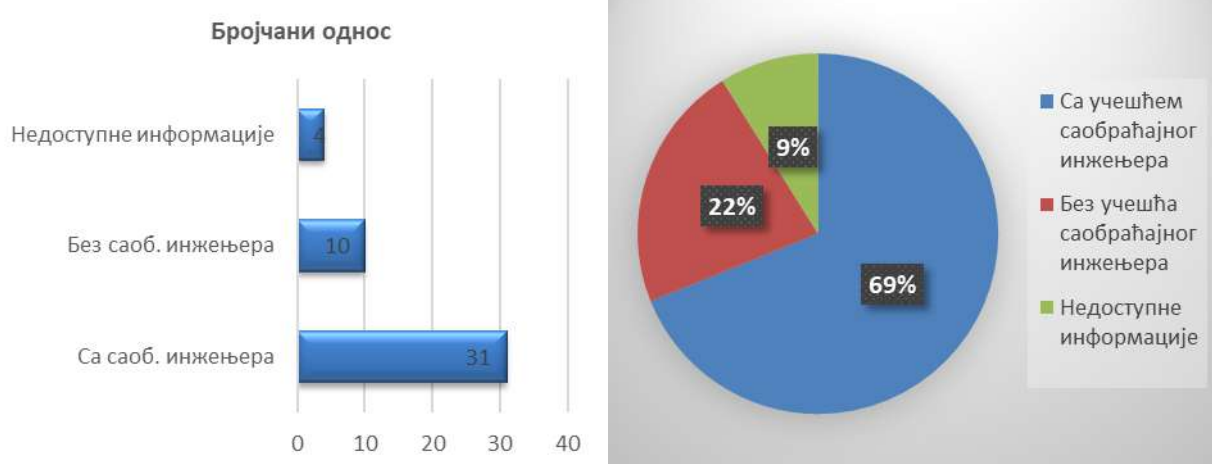
Даљом анализом података установљено је да се 45 ЈЛС налази у региону Србија – Север, док се 107 ЈЛС налази у региону Србија – Југ.

Ако анализирамо податке региона Србија – Север, добијамо да 10 ЈЛС (22%) поседује усвојену планску документацију на чијој изради није ангажован саобраћајни инжењер, 31 ЈЛС (69%) поседује планску документацију на чијој изради је ангажован саобраћајни инжењер, док 4 ЈЛС (9%) представља ЈЛС код којих су недоступне информације (Слика 2).



Слика 1. Приказ израђене планске документације на подручју Републике Србије

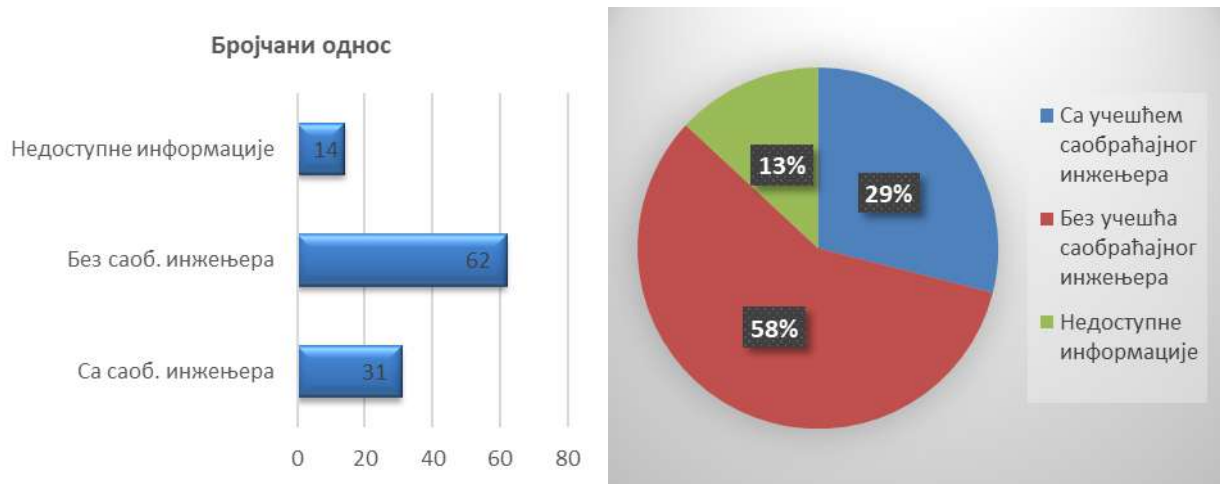
Извор: На основу анализе аутора рада



Слика 2. Приказ израђене планске документације на подручју региона Србија – Север

Извор: На основу анализе аутора рада

⁴ За потребе израде рада коришћени су сви јавно доступни подаци са званичних сајтова ЈЛС на територији Републике Србије. Због величине материјала којег је потребно навести као извор са Интернета аутор је у немогућности да то изврши у оквиру овог рада. За све додатне информације о начину добијања података, као и извор информација, контактирајте аутора.



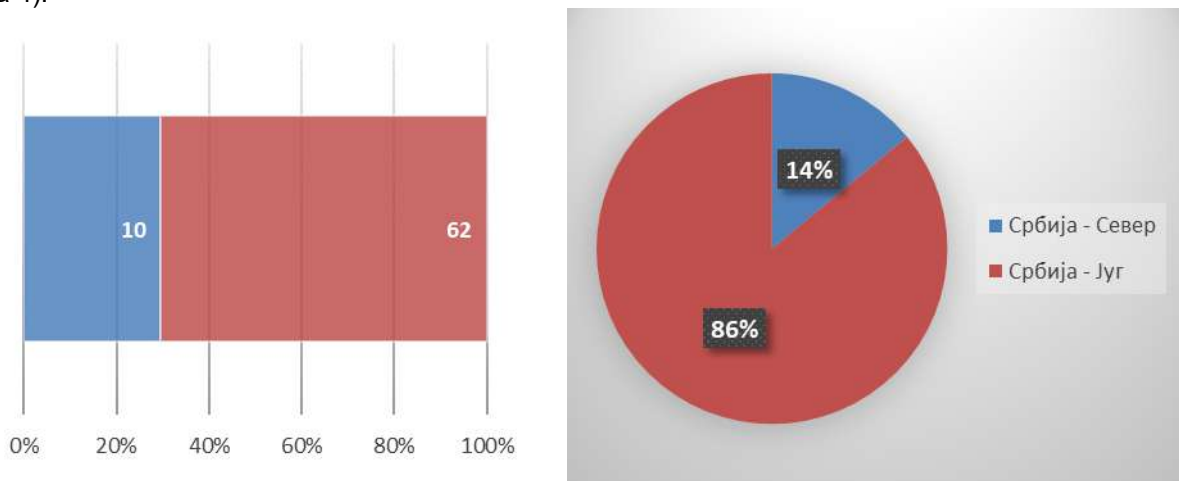
Слика 3. Приказ израђене планске документације на подручју Србија – Југ

Извор: На основу анализе аутора рада

Анализирањем региона Србија - Југ, можемо видети да 62 ЈЛС (58%) поседује планску документацију која је израђена без ангажовања саобраћајног инжењера, 31 ЈЛС (29%) поседује планску документацију која је израђена ангажовањем саобраћајног инжењера, а 14 ЈЛС (9%) нема доступне информације (Слика 3).

На основу анализираних података можемо закључити да је у погледу израђене планске документације неповољнија ситуација у региону Србија – Југ јер овај регион има већи проценат планске документације која је израђена без ангажовања саобраћајних инжењера.

Ако упоредимо податке међу посматраним регионима можемо видети да у укупном броју ЈЛС које имају израђену планску документацију без ангажовања саобраћајног инжењера (72), регион Србија – Север има 10 ЈЛС односно 14 %, док регион Србија – Југ има 62 ЈЛС односно 86 % од укупног броја (Слика 4).



Слика 4. Приказ односа израђене планске документације без учешћа саобраћајног инжењера између региона Србија - Север и Србија – Југ

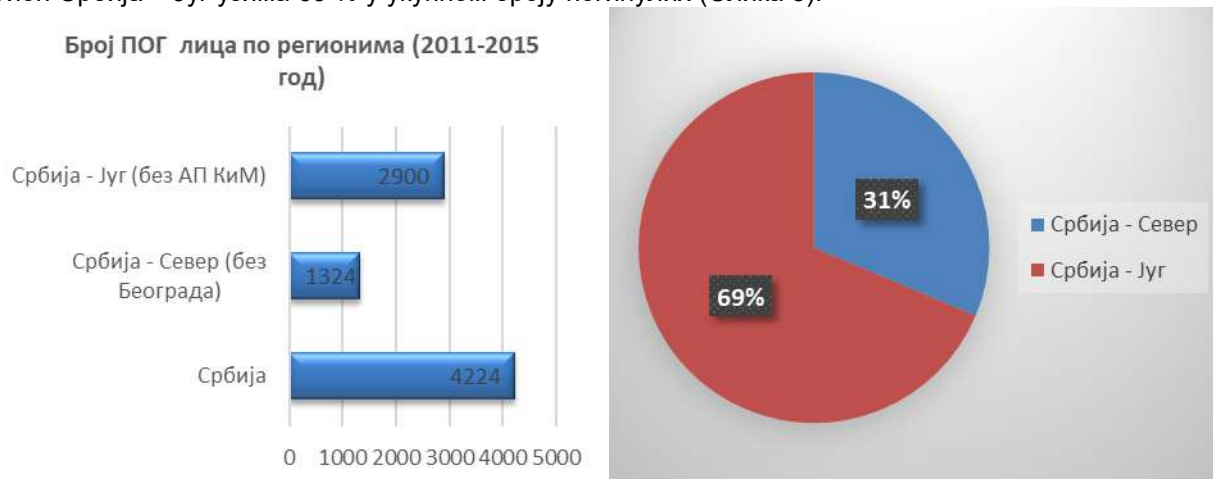
Извор: На основу анализе аутора рада

Све добијене податке треба узети са дозом резерве јер анализом у оквиру овог рада није обухваћена целокупна планска документација.

3.3. Анализа и приказ стања безбедности саобраћаја у ЈЛС

Анализирајући број погинулих по ЈЛС у Републици Србији, за период 2011 – 2015. године, посматрано по регионима Србија – Север и Србија – Југ, можемо установити да је број погинулих у реону Србија – Север 1324, док је број погинулих у реону Србија – Југ 2900⁵.

Упоредјујући ове односе можемо видети да регион Србија – Север у овој анализи заузима 31 %, док регион Србија – Југ узима 69 % у укупном броју погинулих (Слика 5).



Слика 5. Приказ односа броја погинулих по регионима Србија – Север и Србија – Југ за период 2011 – 2015. године

Извор: На основу анализе аутора рада

3.4. Упоредна анализа планске документације и стања безбедности саобраћаја у ЈЛС

Уколико упоредо посматрамо добијене резултате планске документације која је израђена без ангажовања саобраћајног инжењера (Слика 4) и резултате о броју саобраћајних незгода са погинулима по регионима (Слика 5), онда можемо видети да регион Србија – Север има већи проценат планске документације која је израђена ангажовањем саобраћајних инжењера на изради, а мањи број саобраћајних незгода, док регион Србија – Југ има већи проценат планске документације која је израђена без ангажовања саобраћајног инжењера на изради и већи број саобраћајних незгода (Слика 6).

На основу ових података можемо претпоставити да се може успоставити веза између саобраћајних незгода (броја погинулих) и квалитета израде планске документације, тј учешћа саобраћајних инжењера на изради планске документације.



Слика 6. Упоредни процентуални приказ израђене планске документације без ангажовања саобраћајног инжењера на изради и броја погинулих по регионима Србија – Север и Србија – Југ

⁵ Резултати су добијени на основу података АБС, Стање безбедности саобраћаја у локалним самоуправама за период 2011 – 2015. године, 2016.

4. ЗАКЉУЧАК

Свеобухватном анализом претходно наведеног можемо закључити да:

- Закон о планирању и изградњи не препознаје област саобраћаја у довољној мери,
- У Закону о планирању и изградњи није уграђена Стратегија безбедности саобраћаја,
- У Закону о планирању и изградњи не постоје потребне и јасне дефиниције из области саобраћаја,
- Закони који регулишу област саобраћаја такође немају одређене, потребне и јасне дефиниције,
- Не постоји обавеза ангажовања саобраћајних инжењера на изради и имплементацији планске и пројектне документације, као и обавеза ангажовања на одговарајућа радна места,
- Се може претпоставити међусобна зависност између ангажовања саобраћајних инжењера на изради планске документације и саобраћајних незгода тј. ЈЛС које су ангажовале саобраћајне инжењере на изради планске документације имају мањи број саобраћајних незгода.

Последице оваквог стања најчешће су:

- Не ангажовање саобраћајне струке и саобраћајних инжењера на изради планске и техничке документације,
- Израда лоше планске и техничке документације која са аспекта саобраћаја даје нереална решења, економски неоправдана, тешко спроводљива, а некад и не спроводљива,
- Отежана имплементација планске и техничке документације у ЈЛС и коришћење постојеће документације на неадекватан начин,
- Успорен економски развој ЈЛС због трошења новца на решавање истих проблема и
- Лоше стање безбедности саобраћаја.

Уколико посматрамо безбедност саобраћаја и економски развој на нивоу државе можемо видети да су битно промене ставови и односи према саобраћајној инфраструктури. Република Србија је у претходном периоду уложила и даље улаже знатна средства у саобраћајну инфраструктуру изградњом аутопутева, реконструкцијама, изградњом брзих саобраћајница итд., а све у циљу економског развоја и повећања безбедности саобраћаја. Да би се наставио тренд државне политике потребно је наставити пројекцију безбедности саобраћаја и економског развоја и на локалном нивоу.

Повећање безбедности саобраћаја као и економског развоја у ЈЛС се може извршити унапређењем планске и пројектне документације кроз допуну Закона о планирању и изградњи, али и других закона и подзаконских аката. Ово је неопходно урадити јер планирање представља почетну тачку безбедности саобраћаја и само се добрим планирањем могу предупредити многи саобраћајни проблеми и саобраћајне незгоде.

Да би се извршило адекватно унапређење планске и пројектне документације потребно је ангажовање стручњака из области саобраћаја на изради и унапређењу законских и подзаконских аката уз сарадњу и подршку ресорног министарства.

Унапређење планске и пројектне документације може се извршити једино израдом потребних и јасних дефиниција, дефинисањем јасних законских процедура и условљавањем ангажовања саобраћајних инжењера на изради и спровођењу планске и пројектне документације у оквиру одговарајућих закона и подзаконских аката.

Последица унапређења планске и пројектне документације свакако треба да буде већи број саобраћајних инжењера ангажованих на изради и спровођењу планске и техничке документације, што треба да доведе до израде адекватне и квалитетне планске и пројектне документације, што треба да има за последицу повећање безбедности саобраћаја и економски развој ЈЛС.

Литература

- [1] Закон о безбедности саобраћаја на путевима (2019), "Службени гласник РС", бр. 41/2009, 53/2010, 101/2011, 55/2014, 32/2013 - Одлука УС РС, 96/2015 – други закон, 9/2016 – Одлука УС РС, 24/2018, 41/2018, 41/2018 – други закон, 87/2018 и 23/2019.
- [2] Закон о планирању и изградњи (2019), "Службени гласник РС", бр. 72/2009, 81/2009, 64/2010 - Одлука УС РС, 24/2011, 121/2012, 42/2013 - Одлука УС РС, 50/2013 - Одлука УС РС, 98/2013 - Одлука УС РС, 132/2014, 145/2014, 83/2018, 31/2019 и 37/2019 – други закон
- [3] Закон о путевима (2018), "Службени гласник РС", бр. 41/2018 и 95/2018 – други закон.
- [4] Правилник о поступку спровођења обједињене процедуре електронским путем (2017), "Службени гласник РС", бр. 113/2015, 96/2016 и 120/2017.
- [5] Правилник о садржини, начину и поступку израде и начин вршења контроле техничке

- документације према класи и намени објекта (2017), "Службени гласник РС", бр. 23/2015, 77/2015, 58/2016, 96/2016 и 67/2017.
- [6] Правилник о саобраћајној сигнализацији (2017), „Службени гласник РС“, бр. 85/2017.
- [7] Правилник о процени утицаја пута на безбедност саобраћаја (2019), "Службени гласник РС", бр. 69/2019.
- [8] Уредба о локацијским условима (2017), "Службени гласник РС", бр. 35/2015, 114/2015 и 117/2017.
- [9] Павловић А. (2019), Унапређење планске и пројектне документације кроз допуну Закона о планирању и изградњи, Зборник радова, Безбједност саобраћаја у локалној заједници, Бања Лука, 12

ANALIZA SAOBRAĆAJNIH NEZGODA I POSLEDICA SAOBRAĆAJNIH NEZGODA U REPUBLICI SRBIJI PREMA KATEGORIJI SAOBRAĆAJNICA

Jelica Davidović¹, Boris Antić, Dalibor Pešić, Krsto Lipovac, Nenad Marković, Emir Smailović

¹ Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, jelicadavidovic@sf.bg.ac.rs

² Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, b.antic@sf.bg.ac.rs

³ Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, d.pesic@sf.bg.ac.rs

⁴ Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, k.lipovac@sf.bg.ac.rs

⁵ Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, n.markovic@sf.bg.ac.rs

⁶ Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, e.smailovic@sf.bg.ac.rs

Rezime: U cilju uspešnog upravljanja bezbednošću saobraćaja potrebno je poznavati postojeće stanje. Analiza saobraćajnih nezgoda i posledica saobraćajnih nezgoda predstavlja jedan od koraka koji je značajan za utvrđivanje postojećeg stanja bezbednosti saobraćaja.

Analizom saobraćajnih nezgoda prema kategoriji saobraćajnica mogu se utvrditi faktori koji su uticali na nastanak saobraćajnih nezgoda. Pored raspodele saobraćajnih nezgoda prema kategorijama saobraćajnica mogu se utvrditi razlike u vremenskoj distribuciji saobraćajnih nezgoda, kao i najčešći tipovi saobraćajnih nezgoda u zavisnosti od kategorije saobraćajnice, uticajni faktori i sl.

Analizom posledica saobraćajnih nezgoda prema kategoriji saobraćajnica može se sagledati struktura učesnika u saobraćajnim nezgodama prema demografskim karakteristikama. Pored toga, može se utvrditi vremenska distribucija nastradalih za svaku kategoriju saobraćajnice i dr.

Sagledavanjem i analizom ovih podataka mogu se definisati mere i aktivnosti koje će doprineti unapređenju bezbednosti saobraćaja na putevima. U skladu sa tim, cilj ovog rada je da se izvrši analiza saobraćajnih nezgoda i posledica saobraćajnih nezgoda u Republici Srbiji prema kategoriji saobraćajnica za period od 2016. godine.

Ključne reči: bezbednost saobraćaja, saobraćajne nezgode, kategorija saobraćajnica, analiza

ANALYSIS OF TRAFFIC ACCIDENTS AND CONSEQUENCES OF TRAFFIC ACCIDENTS IN THE REPUBLIC OF SERBIA BY ROAD CATEGORY

Jelica Davidović, Boris Antić, Dalibor Pešić, Krsto Lipovac, Nenad Marković, Emir Smailović
Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet

Abstract: In order to successfully manage traffic safety, it is necessary to know the current situation. Analysis of traffic accidents and consequences of traffic accidents is one of the steps that is important for determining the current state of traffic safety.

The analysis of traffic accidents according to the road category can identify the factors that influenced the occurrence of traffic accidents. In addition to the distribution of traffic accidents by traffic categories, differences in the timing of traffic accidents can be identified, as well as the most common types of traffic accidents depending on the traffic category, etc.

By analyzing the consequences of traffic accidents by road category, one can look at the structure of traffic accident participants according to demographic characteristics. In addition, the time distribution of casualties for each traffic category, influencing factors, etc. can be determined.

By reviewing and analyzing this data, measures and activities can be defined that will contribute to improving road safety. Accordingly, the aim of this paper is to analyze traffic accidents and consequences of traffic accidents in the Republic of Serbia according to the category of roads for the period from 2016.

Keywords: road safety, traffic accidents, road category, analysis.

¹ Jelica Davidović, jelicadavidovic@sf.bg.ac.rs

1. UVOD

Upravljanje bezbednošću saobraćaja ima za cilj da spreči nastanak saobraćajnih nezgoda, a posmatranjem prikazanih podataka tokom vremena mogu se utvrditi uzročni elementi, kao i ispitati korelacija između pojedinih elemenata. U cilju uspešnog upravljanja bezbednošću saobraćaja potrebno je poznavati postojeće stanje. Analiza postojećeg stanja bezbednosti saobraćaja može da pruži odgovor na pitanje zašto se događaju saobraćajne nezgode na nekoj teritoriji (u zemlju, gradu, opštini i dr.). Analiza saobraćajnih nezgoda i posledica saobraćajnih nezgoda predstavlja jedan od koraka koji je značajan za utvrđivanje postojećeg stanja bezbednosti saobraćaja.

Prema podacima Svetske zdravstvene organizacije 1,35 miliona ljudi godišnje pogine u saobraćajnim nezgodama, oko 50 miliona bude povređeno u saobraćajnim nezgodama, a stradanje u saobraćajnim nezgodama je osmi vodeći uzrok stradanja u svetu (WHO, 2018).

Osamdesetih godina prošlog veka, Haddon je sistematizovao faktore koji utiču na bezbednost saobraćaja, najpre u osnovnoj matrici, gde je sistematizovano tri faktora bezbednosti saobraćaja: čovek, vozilo i okruženje, pre, za vreme i posle saobraćajnih nezgoda. Nakon toga, javila se potreba da se put izdvoji iz okruženja kao poseban faktor, tako da je u proširenoj Hedonovoj matrici sistematizovano četiri faktora bezbednosti saobraćaja: čovek, vozilo, put i okruženje, i to pre, za vreme i posle saobraćajnih nezgoda.

Čovek je najfleksibilniji, najadaptibilniji i najvredniji element u sistemu Č-V-P-O. Sa druge strane, čovek je najranjiviji deo tog sistema. (Delhomme, 2009). Faktor čovek je mnogo izučavan, a neki od najvažnijih elemenata i njihov uticaj na aktivnu i pasivnu bezbednost saobraćaja su: pol, starost, sposobnosti, znanje-obuka, stavovi, iskustvo, ponašanje, vožnja pod uticajem alkohola i drugih supstanci (lekova, droga i sl), umor i ostali elementi (standard, obrazovanje, socio-demografska obeležja, bolest, ishrana, pušenje).

Kao drugi faktor izdvaja se vozilo. Aktivnoj i pasivnoj bezbednosti vozila doprinose brojni elementi vozila, a naročito: pneumatici, uređaji za upravljanje, uređaji za kočenje, uređaji za spajanje vučnog i priključnog vozila, sedišta sa naslonima za glavu, sigurnosni pojas, vazdušni jastuci, stanje tehničke ispravnosti vozila, masa vozila, dužina vozila, konstrukcija vozila, kompaktnost i obezbeđenost putničkog prostora, oprema vozila (ABS, ARS i dr.), karoserija, dizajn i uređenost unutrašnjosti vozila, dizajn i uređenost spoljašnjosti vozila, vetrobransko i ostala stakla na vozilu, rezervoar za gorivo itd.

Put je, takođe, prepoznat kao osnovni faktor bezbednosti saobraćaja, a značajni elementi su: vrsta puta, trasa puta, broj raskrsnica, broj priključnih puteva, stanje kolovoza, prepreke pored puta i sl. Na primer, rezultati istraživanja prosečnog broja nezgoda prema vrsti puta u Danskoj, Norveškoj, Švedskoj, Nemačkoj, Velikoj Britaniji i SAD pokazuju da su auto-putevi najbezbedniji, da je rizik na otvorenim putevima za mešoviti saobraćaj tri puta veći, a na gradskim ulicama 6 puta veći (Institut ekonomiki transporta, 1996).

Okolina se izdvaja kao četvrti faktor bezbednosti saobraćaja u koji spadaju brojni elementi, na primer, vremenski uslovi, uticaj saputnika (vršnjaka, roditelja, dece...), materijalna situacija, odnosno dohodak, postojanje i sprovođenje zakona, barijere pored puta, karakteristike okruženja puta i sl. Na primer, rezultati istraživanja pokazuju da prisustvo saputnika smanjuje rizik od nezgode, posebno noću (Vollrath et al., 2002). Međutim, kod mladih vozača, rizik od nezgode raste, ako je saputnik mlađa osoba, tinejdžer, a posebno ako nema vozačku dozvolu (Lipovac i dr., 2019).

O značaju uticaja puta na bezbednost saobraćaja svedoči i Globalni plan decenije akcije za bezbednost na putevima 2011-2020² (WHO, 2010). Ovaj plan sve aktivnosti sistematizuje u pet stubova - oblasti:

- (1) organizacija i upravljanje bezbednošću saobraćaja,
- (2) bezbedniji putevi,
- (3) bezbednija vozila,
- (4) bezbedniji učesnici u saobraćaju i
- (5) aktivnosti posle nezgode (prva pomoć, zbrinjavanje, lečenje i rehabilitacija povređenih u nezgodama).

Detaljnou analizom saobraćajnih nezgoda prema kategoriji saobraćajnica mogu se utvrditi faktori koji su uticali na nastanak saobraćajnih nezgoda. Pored raspodele saobraćajnih nezgoda prema kategorijama saobraćajnica mogu se utvrditi razlike u vremenskoj distribuciji saobraćajnih nezgoda, kao i najčešći vidovi saobraćajnih nezgoda u zavisnosti od kategorije saobraćajnice i sl.

² Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2011-2020.

ANALIZA SAOBRAĆAJNIH NEZGODA I POSLEDICA SAOBRAĆAJNIH NEZGODA U REPUBLICI SRBIJI PREMA KATEGORIJI SAOBRAĆAJNICA

Analizom posledica saobraćajnih nezgoda prema kategoriji saobraćajnica može se sagledati struktura učesnika u saobraćajnim nezgodama prema demografskim karakteristikama. Pored toga, može se utvrditi vremenska distribucija nastradalih za svaku kategoriju saobraćajnice, uticajni faktori i dr.

Sagledavanjem i analizom ovih podataka mogu se definisati mere i aktivnosti koje će doprineti unapređenju bezbednosti saobraćaja na putevima. U skladu sa tim, cilj ovog rada je da se izvrši analiza saobraćajnih nezgoda i posledica saobraćajnih nezgoda u Republici Srbiji prema kategoriji saobraćajnica za period od 2016. godine.

2. METODOLOGIJA

Osnov za sprovedene analize saobraćajnih nezgoda i posledica saobraćajnih nezgoda prema kategoriji saobraćajnica na teritoriji Republike Srbije, predstavljali su podaci iz baze podataka Agencije za bezbednost saobraćaja (<http://195.222.99.60/ibbsPublic/>) za period od 01.01.2016. do 31.12.2018. godine.

Najpre je izvršen osvrt na podatke o broju saobraćajnih nezgoda i posledicama saobraćajnih nezgoda, kao i zastupljenost nastradalih prema polu i svojstvu učešća. Potom su analizirani broj i težina posledica u zavisnosti od kategorije saobraćajnica.

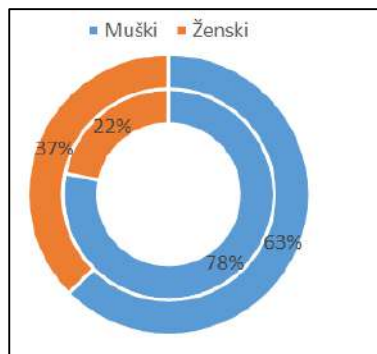
Pored navedenih analiza, izvršene su i sledeće:

- tipološka analiza saobraćajnih nezgoda i posledica saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima
- analiza grupa uticajnih faktora saobraćajnih nezgoda i posledica saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima
- vremenska distribucija saobraćajnih nezgoda i posledica saobraćajnih nezgoda i saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima i to mesečna, nedeljna i časovna raspodela.

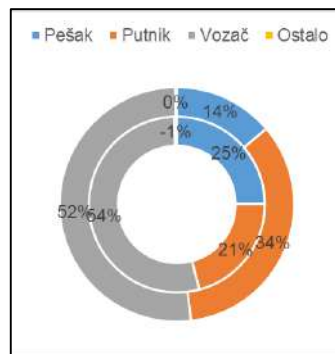
3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

3.1. Opšti podaci

U analiziranom periodu, od 01.01.2016. do 31.12.2018. godine u Republici Srbiji dogodilo se 108.243 saobraćajnih nezgoda, 1.565 sa poginulim licima i 41.803 sa povređenim licima. U tim nezgodama smrtno je nastradalo 1.732 lica, teške telesne povrede je zadobilo 10.203 lica, a 52.521 lake telesne povrede. Broj poginulih u posmatranom periodu ima opadajući trend. Raspodela poginulih (Slika 1. – unutrašnji prsten) i povređenih (Slika 1. Spoljašnji prsten) prema polu pokazuje značajnu razliku, odnosno tri puta više su smrtno straali muškarci, a dva puta više su zadobijali povrede u saobraćajnim nezgodama. Raspodela poginulih (Slika 2. – unutrašnji prsten) i povređenih (Slika 2. Spoljašnji prsten) prema svojstvu učešća ukazuje da je polovina zadobila povrede u svojstvu vozača, a da je dve trećine poginulo u ovom svojstvu. Trećina povređenih je učestvovala u svojstvu putnika, a petina je u ovom svojstvu zadobila povrede. Četvrtinu poginulih čine pešaci. U ovom svojstvu je 14% zadobilo povrede.



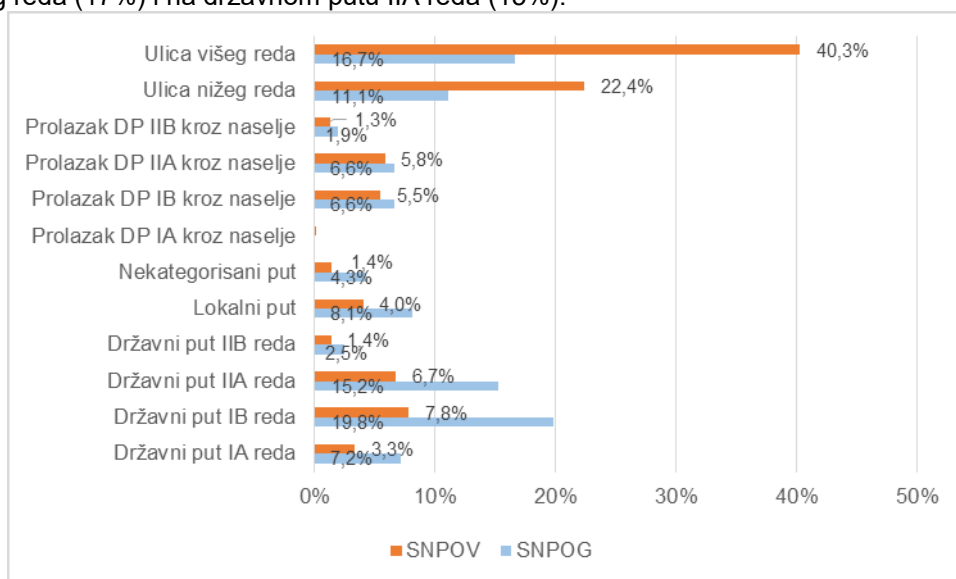
Slika 1. Raspodela poginulih (unutrašnji prsten) i povređenih (spoljašnji prsten) prema polu



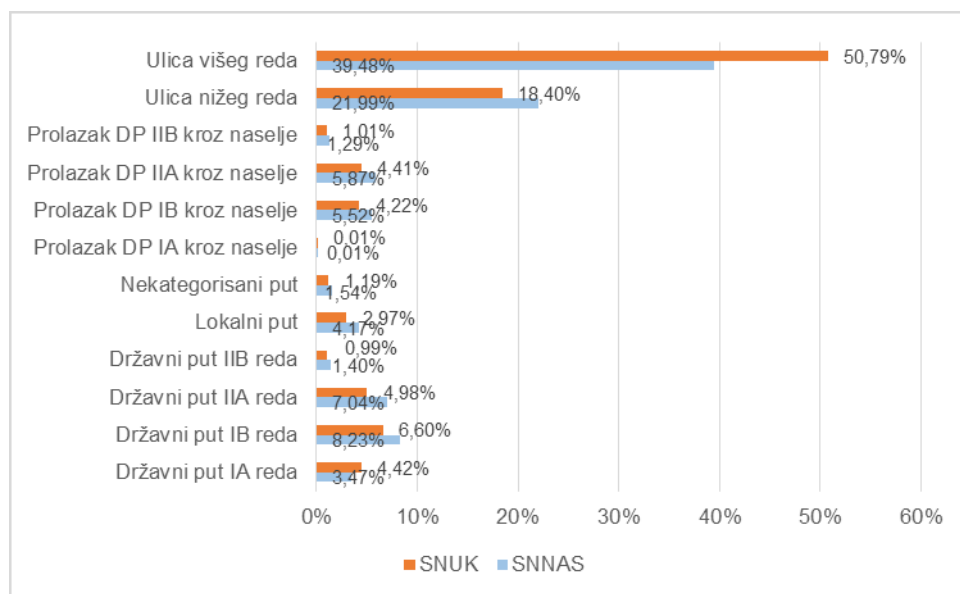
Slika 2. Raspodela poginulih (unutrašnji prsten) i povređenih (spoljašnji prsten) prema svojstvu učešća

3.2. Analiza saobraćajnih nezgoda i posledica prema kategoriji puta

Prema podacima koji su preuzeti iz baze podataka, izdvaja se 12 kategorija puta (Slika 3). Oko dve trećine saobraćajnih nezgoda sa povređenima se dogodilo na ulicama višeg reda (40%) i ulicama nižeg reda (22%). Saobraćajne nezgode sa poginulima najviše su se događale na državnim putevima IB reda (20%), zatim na ulicama višeg reda (17%) i na državnom putu IIA reda (15%).



Slika 3. Raspodela saobraćajnih nezgoda sa poginulim i povređenima prema kategoriji puta



Slika 4. Raspodela ukupnog broja saobraćajnih nezgoda i saobraćajnih nezgoda sa nastradalima prema kategoriji puta

Polovina saobraćajnih nezgoda se dogodila na ulicama višeg reda i oko petine (18%) na ulicama nižeg reda. Slično, saobraćajne nezgode sa nastradalima su se najviše događale na ulicama višeg reda (39,5%) i 22% na ulicama nižeg reda (Slika 4).

Ukoliko se sagleda raspodela saobraćajnih nezgoda prema tome da li su se dogodile u naselju ili van naselja, oko polovine saobraćajnih nezgoda sa poginulim se dogodilo u naselju (54%). Kada su ostale nezgode u pitanju znatno više se dogodilo u naselju, nego van naselja i taj odnos se kreće od 82% do 86%. Sagledavanjem posledica saobraćajnih nezgoda dobijaju se slični rezultati, odnosno 51% lica je poginulo, 72% je zadobilo teške telesne povrede i 77% lake telesne povrede u naselju.

ANALIZA SAOBRAĆAJNIH NEZGODA I POSLEDICA SAOBRAĆAJNIH NEZGODA U REPUBLICI SRBIJI PREMA KATEGORIJI SAOBRAĆAJNICA

Rezultati pokazuju da su se saobraćajne nezgode sa poginulim licima u naselju najviše događale na ulicama višeg reda (29%), zatim na ulicama nižeg reda (20%) i prolascima državnog puta IB i IIA kroz naselje (po 12%). Oko polovine saobraćajnih nezgoda sa povređenima u naselju se dogodilo na ulicama višeg reda (49%), 27% zatim na ulicama nižeg reda i 7% na prolasku državnog puta IIA kroz naselje. Dve trećine saobraćajnih nezgoda sa materijalnom štetom koje su se dogodile u naselju bile su na ulicama višeg reda (68%) i 18% na ulicama nižeg reda.

Iako se mnogo manje saobraćajnih nezgoda dogodilo na putevima van naselja, njihova raspodela ukazuje da se trećina saobraćajnih nezgoda sa poginulima dogodila na državnim putevima IB reda (34%), četvrtina na državnim putevima IIA reda, 16% na državnim putevima IA reda i 12% na lokalnim putevima. Slična raspodela je i kada su u pitanju saobraćajne nezgode sa povređenima van naselja: 29% na državnim putevima IB reda, četvrtina na državnim putevima IIA reda, 18% na državnim putevima IA reda i 12% na lokalnim putevima. Ove četiri kategorije puta su dominantne i kada su u pitanju saobraćajne nezgode sa materijalnom štetom van naselja, samo sa drugačijom raspodelom: 37% na državnim putevima IA reda, 26% na državnim putevima IB reda, 17% na državnim putevima IIA reda i 8% na lokalnim putevima.

Analizom specifičnog mesta saobraćajne nezgode uočava se da se oko 80% ne događa na specifičnim mestima i da 73,8% poginulih nije bilo na specifičnom mestu. Kao specifična mesta na kojima su se događale saobraćajne nezgode izdvajaju se krivine, pešački prelazi, mostovi i zone škole (Tabela 1). U narednom koraku izvršili smo uporednu analizu specifičnih mesta i kategorije puta. Rezultati su pokazali da su se saobraćajne nezgode sa poginulima u krivini i na mostu najviše događale na državnom putu IB i IIA reda, na pešačkim prelazima u ulici višeg ranga, a u zonama škola na prolasku državnog puta IB kroz naselje (Tabela 2).

Tabela 1. Specifično mesto saobraćajnih nezgoda i posledica

Specifično mesto	POG	POV	SN POG	SN POV	SN MŠ	SN UK
Nije specifično mesto	73,8%	79,2%	75,1%	78,2%	85,3%	82,3%
Krivina	14,5%	8,7%	13,2%	6,8%	3,9%	5,2%
Pešački prelaz	3,8%	5,1%	4,6%	7,5%	0,5%	3,4%
Most	1,8%	1,4%	1,4%	1,2%	1,3%	1,2%
Zona škole	0,9%	1,2%	1,0%	1,4%	0,6%	0,9%
Ostalo (pojedinačno ispod 1%)	5,2%	4,4%	4,7%	4,9%	8,4%	7,0%

Tabela 2. Specifično mesto saobraćajnih nezgoda prema kategoriji puta

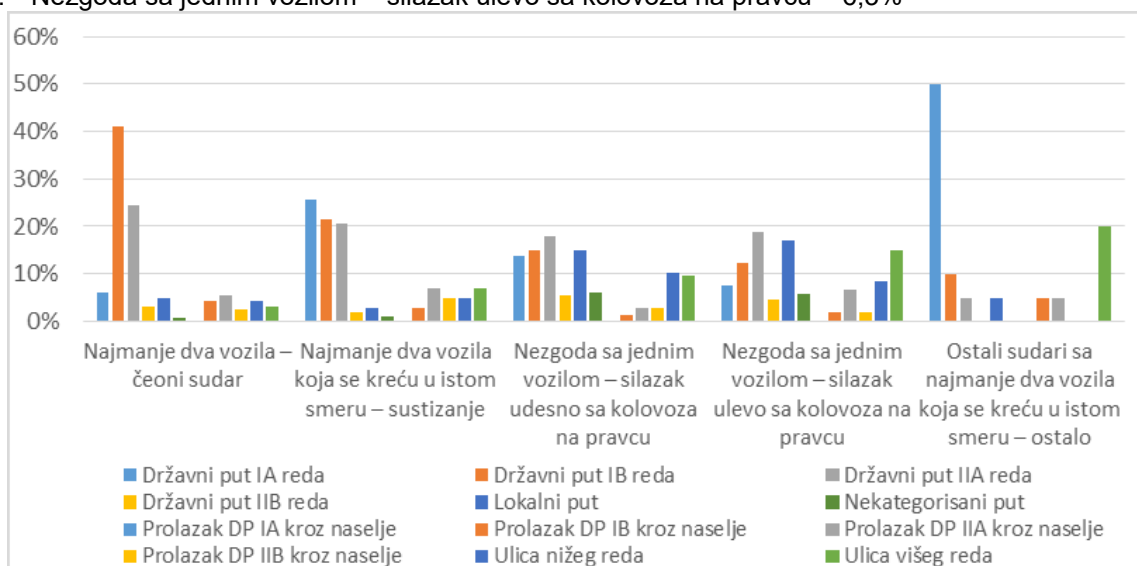
Kategorija puta	SN sa poginulim				SN sa povređenim				SN sa materijalnom štetom			
	Krivina	Most	Pešački prelaz	Zona škole	Krivina	Most	Pešački prelaz	Zona škole	Krivina	Most	Pešački prelaz	Zona škole
Državni put IA reda	0,4%	12,5%	0,0%	0,0%	0,7%	16,3%	0,0%	0,0%	1,2%	22,2%	0,0%	0,0%
Državni put IB reda	24,2%	33,3%	1,3%	0,0%	19,5%	16,8%	0,4%	3,6%	21,1%	17,7%	0,6%	3,4%
Državni put IIA reda	27,8%	25,0%	0,0%	18,8%	22,2%	10,0%	0,3%	2,1%	18,6%	6,2%	0,0%	2,4%
Državni put IIB reda	5,8%	0,0%	0,0%	0,0%	5,8%	2,5%	0,1%	0,6%	4,1%	1,8%	0,3%	0,0%
Lokalni put	11,7%	8,3%	0,0%	0,0%	14,2%	7,7%	0,1%	2,1%	11,4%	5,2%	0,0%	1,3%
Nekategorisani put	3,1%	4,2%	0,0%	0,0%	2,9%	3,2%	0,1%	0,7%	2,4%	1,4%	0,0%	0,0%
Prolazak DP IA kroz naselje	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%
Prolazak DP IB kroz naselje	5,4%	4,2%	15,6%	37,5%	3,6%	3,5%	6,0%	8,2%	3,8%	4,5%	5,4%	7,1%
Prolazak DP IIA kroz naselje	7,2%	8,3%	11,7%	6,3%	5,7%	2,5%	5,0%	9,6%	4,9%	2,6%	6,6%	6,1%
Prolazak DP IIB kroz naselje	1,8%	0,0%	1,3%	0,0%	2,2%	0,9%	0,9%	2,8%	1,8%	0,5%	1,1%	4,2%
Ulica nižeg reda	5,8%	0,0%	18,2%	6,3%	11,3%	8,2%	26,3%	27,7%	14,3%	5,2%	29,8%	27,4%
Ulica višeg reda	6,7%	4,2%	51,9%	31,3%	11,8%	28,5%	60,8%	42,6%	16,4%	32,7%	56,2%	48,2%

3.3. Tipološka analiza saobraćajnih nezgoda u zavisnosti od kategorije puta

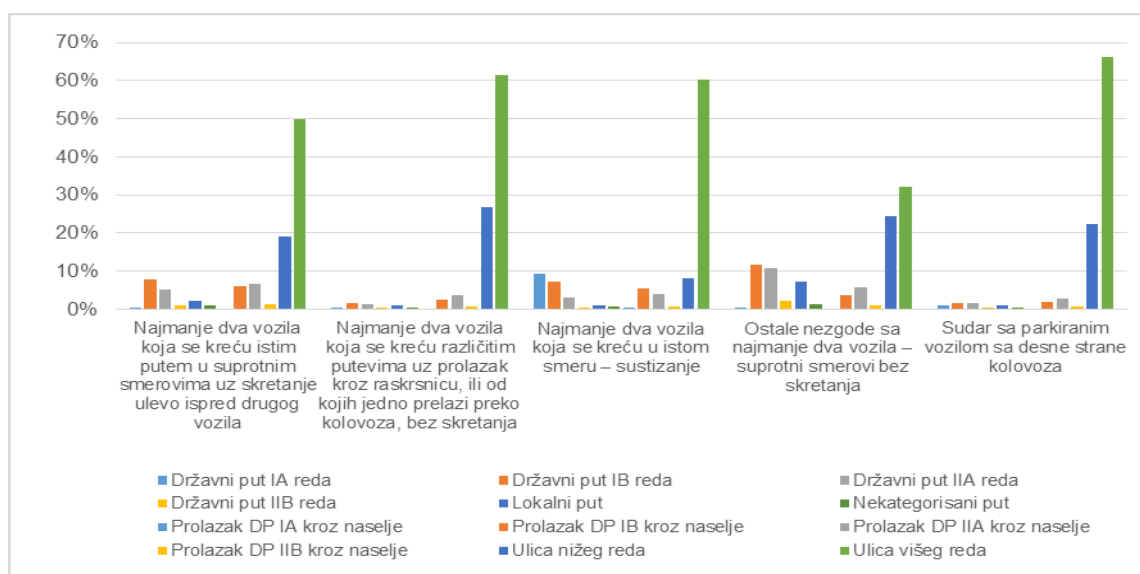
Tipološka analiza saobraćajnih nezgoda omogućava utvrđivanje tipova saobraćajnih nezgoda koji su dominantni na nekom području. Prema sistemu evidentiranja saobraćajnih nezgoda evidentira se 68 tipova saobraćajnih nezgoda, u ovom radu izdvojeno je pet najčešćih tipova saobraćajnih nezgoda sa poginulim (Slika 5) i najčešćih tipova svih saobraćajnih nezgoda (Slika 6), a izvršena je i raspodela prema kategoriji puta.

Najčešći tipovi saobraćajnih nezgoda sa poginulima su:

1. Najmanje dva vozila koja se kreću u istom smeru – sustizanje – 20,5%
2. Nezgoda sa jednim vozilom – silazak udesno sa kolovoza na pravcu – 15,8%
3. Najmanje dva vozila – čeon sudar – 7,9%
4. Ostali sudari sa najmanje dva vozila koja se kreću u istom smeru – ostalo – 7,9%
5. Nezgoda sa jednim vozilom – silazak ulevo sa kolovoza na pravcu – 6,3%



Slika 5. Najčešći tipovi saobraćajnih nezgoda sa poginulim, prema kategoriji puta



Slika 6. Najčešći tipovi saobraćajnih nezgoda, prema kategoriji puta

Čeon sudari se najviše događaju na državnim putevima IB reda, sudari najmanje dva vozila pri sustizanju na državnim putevima IA reda, silazak udesno i ulevo sa kolovoza na pravcu na državnim putevima IIA reda, ostale nezgode sa najmanje dva vozila iz suprotnih smerova bez skretanja na državnim putevima IA reda.

Najčešći tipovi svih saobraćajnih nezgoda su:

1. Najmanje dva vozila koja se kreću u istom smeru – sustizanje - 14,6%
2. Najmanje dva vozila koja se kreću različitim putevima uz prolazak kroz raskrnicu, ili od kojih jedno prelazi preko kolovoza, bez skretanja - 6,5%
3. Sudar sa parkiranim vozilom sa desne strane kolovoza – 6,1%
4. Ostale nezgode sa najmanje dva vozila – suprotni smerovi bez skretanja - 5,1%
5. Najmanje dva vozila koja se kreću istim putem u suprotnim smerovima uz skretanje ulevo ispred drugog vozila – 4,5%

Sagledavanjem ukupnog broja saobraćajnih nezgoda uočava se da se najveći broj dogodio na ulicama višeg reda, bez obzira na tip nezgoda (Slika 6).

3.4. Grupe uticajnih faktora u zavisnosti od kategorije puta

Prema dostupnim podacima, postoji devet grupa uticajnih faktora, a najčešće su preduzimanje nepromišljenih radnji od strane vozača i pogrešno izvođenje radnji u saobraćaju od strane vozača (tabela 3).

Tabela 3. Grupe uticajnih faktora saobraćajnih nezgoda i nastradalih u saobraćajnim nezgodama

R/b	Grupe uticajnih faktora	SN POG	SN UK	POG	POV
1	Pogrešno izvođenje radnji u saobraćaju od strane vozača	20,97%	34,27%	22,77%	26,72%
2	Preduzimanje nepromišljenih radnji od strane vozača	36,25%	38,55%	34,82%	43,41%
3	Propusti pešaka	8,02%	2,18%	9,24%	3,71%
4	Propusti vozača zbog lošeg psihofizičkog stanja, nepažnje, rasejanosti	12,08%	7,89%	11,37%	9,17%
5	Propusti vozača zbog neadekvatne vidljivosti, preglednosti, odnosno kompletnog doživljaja viđenja puta i saobraćaja	4,06%	2,56%	3,71%	3,13%
6	Propusti vozača zbog neiskustva, neprimerenog i nepropisnog ponašanja	5,59%	3,07%	5,59%	3,90%
7	Specijalni slučajevi	2,53%	3,19%	2,36%	2,44%
8	Uticaj neispravnosti vozila	4,13%	1,60%	4,16%	2,00%
9	Uticaj puta i putne okoline	6,36%	6,68%	5,98%	5,52%

Tabela 4. Grupe uticajnih faktora saobraćajnih nezgoda sa poginulim, prema kategoriji puta

Kategorija puta	Pogrešno izvođenje radnji u saobraćaju od strane vozača	Preduzimanje nepromišljenih radnji od strane vozača	Propusti pešaka	Propusti vozača zbog lošeg psihofizičkog stanja, nepažnje, rasejanosti	Propusti vozača zbog neadekvatne vidljivosti, preglednosti, odnosno kompletnog doživljaja viđenja puta i saobraćaja	Propusti vozača zbog neiskustva, neprimerenog i nepropisnog ponašanja	Specijalni slučajevi	Uticaj neispravnosti vozila	Uticaj puta i putne okoline
Državni put IA reda	5,2%	5,7%	7,5%	8,8%	5,7%	1,2%	13,2%	3,2%	6,3%
Državni put IB reda	20,0%	20,4%	17,0%	17,4%	19,7%	16,7%	11,8%	20,2%	18,8%
Državni put IIA reda	14,3%	15,8%	12,9%	18,5%	15,6%	15,5%	14,5%	21,0%	24,1%
Državni put IIB reda	2,2%	2,8%	1,7%	3,3%	1,6%	0,6%	1,3%	0,8%	1,0%
Lokalni put	7,3%	9,1%	4,6%	9,9%	7,4%	13,7%	6,6%	12,1%	12,0%
Nekategorisani put	5,9%	2,3%	0,4%	3,6%	3,3%	7,7%	9,2%	9,7%	9,4%
Prolazak DP IA kroz naselje	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Prolazak DP IB kroz naselje	7,1%	7,3%	10,8%	4,1%	7,4%	7,1%	5,3%	4,8%	4,2%
Prolazak DP IIA kroz naselje	6,0%	6,7%	7,5%	7,4%	9,8%	4,2%	5,3%	4,8%	4,7%
Prolazak DP IIB kroz naselje	3,0%	1,7%	0,8%	1,9%	2,5%	3,0%	2,6%	3,2%	1,6%
Ulica nižeg reda	11,9%	11,1%	10,4%	12,7%	13,1%	16,1%	7,9%	12,1%	9,9%
Ulica višeg reda	17,0%	17,3%	26,6%	12,4%	13,9%	14,3%	22,4%	8,1%	7,9%

Tabela 5. Grupe uticajnih faktora saobraćajnih nezgoda, prema kategoriji puta

Kategorija puta	Pogrešno izvođenje radnji u saobraćaju od strane vozača	Preduzimanje nepromišljenih radnji od strane vozača	Propusti pešaka	Propusti vozača zbog lošeg psihofizičkog stanja, nepažnje, rasejanosti	Propusti vozača zbog neadekvatne vidljivosti, preglednosti, odnosno kompletnog doživljaja viđenja puta i saobraćaja	Propusti vozača zbog neiskustva, neprimerenog i nepropisnog ponašanja	Specijalni slučajevi	Uticaj neispravnosti vozila	Uticaj puta i putne okoline
Državni put IA reda	2,5%	4,6%	1,3%	4,2%	4,2%	1,7%	8,0%	6,0%	7,8%
Državni put IB reda	5,4%	7,6%	4,7%	9,0%	9,9%	7,7%	6,7%	14,0%	12,4%
Državni put IIA reda	3,6%	5,9%	4,5%	8,7%	10,3%	7,6%	4,7%	14,3%	10,7%
Državni put IIB reda	0,8%	1,2%	0,7%	1,7%	1,6%	2,1%	1,0%	2,3%	2,6%
Lokalni put	2,5%	3,3%	2,3%	6,0%	6,0%	6,8%	2,2%	6,4%	6,7%
Nekategorisani put	1,2%	1,2%	0,8%	1,9%	2,4%	3,0%	1,1%	2,6%	2,2%
Prolazak DP IA kroz naselje	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Prolazak DP IB kroz naselje	3,9%	5,0%	5,8%	6,2%	4,9%	6,1%	3,8%	6,3%	4,1%
Prolazak DP IIA kroz naselje	4,2%	4,8%	5,9%	7,3%	7,4%	6,7%	3,9%	6,9%	5,2%
Prolazak DP IIB kroz naselje	1,1%	1,1%	1,4%	1,4%	1,6%	1,7%	1,3%	1,3%	1,4%
Ulica nižeg reda	19,0%	19,1%	23,2%	25,7%	25,8%	29,5%	15,8%	23,5%	19,1%
Ulica višeg reda	55,8%	46,2%	49,3%	28,1%	25,9%	27,1%	51,5%	16,3%	27,7%

Analizom grupe uticajnih faktora saobraćajnih nezgoda sa poginulima prema kategoriji puta uočava se da se propusti pešaka najviše događaju na ulicama višeg reda (26,6%), kao i specijalni slučajevi (22,4%), dok su ostale grupe uticajnih faktora dominantne na državnim putevima IB i IIA reda (Tabela 4).

Nešto drugačiji rezultati su utvrđeni sagledavanjem grupa uticajnih faktora kod svih saobraćajnih nezgoda, odnosno sve grupe uticajnih faktora su dominantne na ulicama višeg reda sa najvećim učešćem grupe "Pogrešno izvođenje radnji u saobraćaju od strane vozača", a zatim na ulicama nižeg reda (Tabela 5), sa najvećim učešćem grupe "Propusti vozača zbog neiskustva, neprimerenog i nepropisnog ponašanja".

3.5. Vremenska raspodela saobraćajnih nezgoda i posledica u zavisnosti od kategorije puta

Vremenska raspodela saobraćajnih nezgoda i posledica saobraćajnih nezgoda obuhvata raspodelu po mesecima, danima u nedelji i satima u toku dana. U nastavku je izvršena analiza vremenske raspodele saobraćajnih nezgoda prema kategoriji puta, sa osvrtom na vremensku distribuciju nastradalih u saobraćajnim nezgodama.

3.5.1. Mesečna raspodela saobraćajnih nezgoda i posledica

Analizom mesečne raspodele saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima zaključuje se da se u zimskim mesecima najčešće događaju na državnim putevima IB i IIA reda, kao i na ulicama višeg reda, dok su u julu i avgustu izraženiji državni putevi IB reda (Tabela 6). I u ovom slučaju, ukupan broj saobraćajnih nezgoda u svim mesecima se događa na ulicama višeg i nižeg reda (Tabela 7). Uvidom u raspodelu nastradalih prema mesecima u toku godine, utvrđeno je da je najviše poginulih u avgustu (11%), a najviše povređenih u julu (9,7%).

Tabela 6. Mesečna raspodela saobraćajnih nezgoda sa poginulima prema kategoriji puta

Kategorija puta	Januar	Februar	Mart	April	Maj	Jun	Jul	Avgust	Septembar	Oktoibar	Novembar	Decembar
Državni put IA reda	6,7%	7,1%	8,3%	5,0%	8,7%	7,6%	12,1%	6,1%	5,6%	5,9%	4,2%	9,4%
Državni put IB reda	21,2%	18,6%	20,2%	16,7%	19,0%	16,7%	21,8%	27,2%	21,1%	19,5%	19,4%	12,9%
Državni put IIA reda	15,4%	17,7%	16,5%	24,2%	10,3%	16,7%	13,9%	13,9%	9,4%	14,8%	17,4%	16,5%
Državni put IIB reda	0,0%	2,7%	0,9%	3,3%	2,4%	5,3%	3,6%	1,7%	2,8%	1,8%	3,5%	1,4%
Lokalni put	7,7%	5,3%	9,2%	7,5%	7,1%	9,8%	7,3%	7,2%	11,7%	9,5%	9,0%	5,0%
Nekategorisani put	0,0%	0,9%	6,4%	4,2%	4,8%	6,1%	6,1%	7,2%	4,4%	4,7%	3,5%	0,7%
Prolazak DP IA kroz naselje	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Prolazak DP IB kroz naselje	5,8%	6,2%	5,5%	5,0%	9,5%	3,8%	3,0%	5,0%	7,2%	10,1%	8,3%	9,4%
Prolazak DP IIA kroz naselje	10,6%	9,7%	5,5%	4,2%	5,6%	7,6%	5,5%	5,6%	5,0%	7,7%	8,3%	5,8%
Prolazak DP IIB kroz naselje	3,8%	0,0%	3,7%	2,5%	1,6%	0,8%	1,8%	2,2%	1,7%	1,8%	1,4%	2,2%
Ulica nižeg reda	8,7%	9,7%	6,4%	11,7%	10,3%	8,3%	12,7%	8,3%	17,2%	9,5%	11,1%	15,8%
Ulica višeg reda	20,2%	22,1%	17,4%	15,8%	20,6%	17,4%	12,1%	15,6%	13,9%	14,8%	13,9%	20,9%

Tabela 7. Mesečna raspodela saobraćajnih nezgoda prema kategoriji puta

Kategorija puta	Januar	Februar	Mart	April	Maj	Jun	Jul	Avgust	Septembar	Oktoibar	Novembar	Decembar
Državni put IA reda	4,5%	4,2%	4,3%	3,8%	4,0%	4,2%	5,4%	5,1%	4,3%	4,4%	4,2%	4,5%
Državni put IB reda	7,0%	6,4%	5,7%	6,3%	6,2%	6,2%	7,4%	7,7%	6,6%	6,5%	6,6%	6,3%
Državni put IIA reda	4,8%	4,5%	4,7%	4,6%	4,1%	4,7%	6,0%	5,6%	5,3%	4,9%	5,1%	5,3%
Državni put IIB reda	1,1%	0,9%	0,7%	0,8%	0,9%	1,2%	1,2%	1,3%	1,0%	0,8%	1,0%	0,9%
Lokalni put	2,9%	2,4%	2,3%	2,8%	3,0%	3,4%	3,5%	3,9%	3,1%	3,0%	2,6%	2,6%
Nekategorisani put	0,9%	1,1%	1,2%	1,2%	1,2%	1,4%	1,5%	1,7%	1,0%	1,4%	0,9%	0,8%
Prolazak DP IA kroz naselje	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Prolazak DP IB kroz naselje	3,7%	4,1%	4,1%	4,1%	4,1%	4,0%	4,7%	4,7%	4,3%	4,6%	4,0%	4,0%
Prolazak DP IIA kroz naselje	4,4%	4,7%	4,1%	4,2%	4,7%	4,5%	4,8%	4,2%	4,1%	4,4%	4,4%	4,4%
Prolazak DP IIB kroz naselje	1,1%	1,0%	1,1%	1,0%	0,9%	1,0%	0,9%	1,1%	1,1%	1,0%	1,0%	1,1%
Ulica nižeg reda	17,7%	18,0%	17,6%	18,5%	19,2%	18,9%	19,1%	18,8%	19,3%	17,9%	18,4%	17,3%
Ulica višeg reda	52,0%	52,7%	54,1%	52,7%	51,7%	50,5%	45,4%	45,9%	49,9%	51,1%	51,7%	52,7%

3.5.2. Raspodela saobraćajnih nezgoda i posledica prema danima u nedelji

Raspodela saobraćajnih nezgoda i njihovih posledica prema danima u nedelji daje nam informaciju kojim danima u nedelji se najviše događaju nezgode, odnosno kojim danima je najveći rizik stradanja. Uvidom u raspodelu poginulih i povređenih prema danima u nedelji utvrđeno je da je trećina poginula vikendom (17,5% subotom i 16,5% nedeljom) i oko trećine je povređeno petkom i subotom (15,7% petkom i 15% subotom).

Uporednom analizom saobraćajnih nezgoda sa kategorijom puta može se utrditi kojim danima koja kategorija puta ima veći rizik za nastanak saobraćajnih nezgoda, što može ukazivati na raspodelu aktivnosti za unapređenje bezbednosti saobraćaja.

Raspodela saobraćajnih nezgoda sa poginulima prema kategoriji puta ukazuje da se ponedeljkom, utorkom, i petkom najviše saobraćajnih nezgoda sa poginulima događa na državnim putevima IB reda in a ulicama višeg ranga. Sredom na ulicama višeg ranga, a zatim na državnim putevima IB reda. Četvrtkom na državnim putevima IB reda i državnim putevima IIA reda i ulicama višeg ranga. Vikendom na državnim putevima IB i IIA reda (Tabela 8).

Kada je u pitanju nedeljna raspodela saobraćajnih nezgoda u zavisnosti od kategorije puta u svakom danu su dominante saobraćajne nezgode na ulicama višeg reda (tabela 9).

Tabela 8. Nedeljna raspodela saobraćajnih nezgoda sa poginulima prema kategoriji puta

Kategorija puta	Ponedeljak	Utorak	Sreda	Četvrtak	Petak	Subota	Nedelja
Državni put IA reda	6,8%	9,1%	7,5%	12,3%	5,2%	4,4%	6,6%
Državni put IB reda	21,7%	18,7%	16,5%	18,2%	21,4%	21,9%	19,3%
Državni put IIA reda	9,0%	16,3%	12,7%	15,9%	15,7%	16,2%	19,3%
Državni put IIB reda	1,8%	3,3%	0,9%	3,2%	3,2%	1,7%	3,3%
Lokalni put	9,0%	5,7%	11,3%	5,9%	7,7%	9,4%	7,7%
Nekategorisani put	3,6%	3,3%	4,7%	4,5%	5,2%	4,4%	4,0%
Prolazak DP IA kroz naselje	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Prolazak DP IB kroz naselje	5,0%	5,7%	6,6%	8,2%	8,1%	8,1%	4,4%
Prolazak DP IIA kroz naselje	7,2%	9,6%	6,1%	5,5%	4,8%	7,1%	6,2%
Prolazak DP IIB kroz naselje	1,8%	1,4%	1,4%	1,8%	2,0%	1,7%	2,9%
Ulica nižeg reda	14,0%	8,6%	13,2%	9,1%	9,7%	12,5%	10,2%
Ulica višeg reda	19,9%	18,2%	18,9%	15,5%	16,9%	12,8%	16,1%

Tabela 9. Nedeljna raspodela saobraćajnih nezgoda prema kategoriji puta

Kategorija puta	Ponedeljak	Utorak	Sreda	Četvrtak	Petak	Subota	Nedelja
Državni put IA reda	4,2%	4,1%	4,3%	4,5%	4,9%	4,3%	4,5%
Državni put IB reda	6,5%	6,1%	6,1%	6,2%	6,4%	7,4%	7,7%
Državni put IIA reda	4,6%	4,7%	4,5%	4,7%	4,6%	5,4%	6,8%
Državni put IIB reda	1,0%	0,9%	0,8%	1,1%	0,8%	1,1%	1,4%
Lokalni put	2,7%	2,8%	2,7%	2,6%	2,8%	3,3%	4,0%
Nekategorisani put	1,1%	1,1%	1,2%	1,0%	1,2%	1,3%	1,5%
Prolazak DP IA kroz naselje	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Prolazak DP IB kroz naselje	4,1%	4,0%	4,2%	4,2%	4,3%	4,4%	4,3%
Prolazak DP IIA kroz naselje	4,1%	4,5%	4,2%	4,1%	4,4%	5,0%	4,6%
Prolazak DP IIB kroz naselje	1,0%	1,1%	0,8%	1,0%	0,9%	1,1%	1,3%
Ulica nižeg reda	17,9%	18,0%	17,8%	18,4%	18,6%	18,9%	19,4%
Ulica višeg reda	52,7%	52,7%	53,4%	52,1%	50,9%	47,8%	44,6%

3.5.3. Časovna raspodela saobraćajnih nezgoda i posledica

Časovna raspodela saobraćajnih nezgoda omogućava utvrđivanje doba dana kada se najviše događaju saobraćajne nezgode. Na osnovu tabela 10 i 11 može se zaključiti da se u svim satima nezgode najviše događaju na ulicama višeg reda, ali da je raspodela saobraćajnih nezgoda sa poginulima drugačija. Uočava se da se u periodu od 23 časa do 1 i od 3 do 6 sati ujutru nezgode najviše događaju na državnom putu IB reda, kao i ujutru od 9-10 sati, dok se od jedan posle ponoći do 3 i od 8 do 9 najviše događaju na ulicama višeg i nižeg reda. Uvidom u časovnu raspodelu nastradalih, uočava se da je najviše poginulih u periodu od 17 do 20 časova, a najviše povređeno u period od 13 do 18 časova.

Tabela 10. Časovna raspodela saobraćajnih nezgoda sa poginulim prema kategoriji puta

Kategorija puta	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Državni put IA reda	6,5%	12,8%	2,2%	9,8%	15,2%	7,8%	10,3%	16,7%	10,6%	11,9%	8,2%	0,0%	6,5%	5,9%	2,4%	6,5%	4,5%	5,5%	2,8%	6,0%	2,3%	14,1%	12,8%	9,1%
Državni put IB reda	23,9%	12,8%	11,1%	26,8%	24,2%	29,7%	20,6%	16,7%	8,5%	32,2%	11,5%	18,8%	26,0%	28,2%	17,6%	20,7%	20,5%	11,9%	18,7%	17,1%	21,6%	21,8%	14,1%	23,6%
Državni put IIA reda	13,0%	14,9%	15,6%	17,1%	18,2%	15,6%	17,6%	14,3%	10,6%	11,9%	9,8%	11,6%	18,2%	12,9%	16,5%	10,9%	17,0%	17,4%	15,0%	14,5%	21,6%	19,2%	12,8%	16,4%
Državni put IIB reda	4,3%	4,3%	2,2%	2,4%	0,0%	1,6%	2,9%	2,4%	0,0%	1,7%	1,6%	1,4%	1,3%	3,5%	1,2%	2,2%	2,3%	4,6%	0,9%	5,1%	3,4%	1,3%	3,8%	1,8%
Lokalni put	13,0%	8,5%	4,4%	4,9%	3,0%	4,7%	7,4%	0,0%	2,1%	6,8%	4,9%	17,4%	7,8%	11,8%	12,9%	7,6%	8,0%	9,2%	10,3%	9,4%	6,8%	3,8%	11,5%	5,5%
Nekategorisani put	2,2%	0,0%	4,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	4,3%	0,0%	6,6%	4,3%	2,6%	5,9%	9,4%	12,0%	4,5%	8,3%	4,7%	4,3%	4,5%	1,3%	7,7%	0,0%
Prolazak DP IA kroz naselje	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Prolazak DP IB kroz naselje	10,9%	6,4%	2,2%	2,4%	6,1%	7,8%	5,9%	4,8%	6,4%	6,8%	8,2%	5,8%	5,2%	4,7%	5,9%	3,3%	6,8%	11,0%	5,6%	7,7%	9,1%	11,5%	3,8%	5,5%
Prolazak DP IIA kroz naselje	4,3%	6,4%	6,7%	17,1%	9,1%	7,8%	17,6%	4,8%	4,3%	0,0%	18,0%	4,3%	5,2%	4,7%	8,2%	3,3%	6,8%	4,6%	7,5%	6,8%	2,3%	3,8%	5,1%	7,3%
Prolazak DP IIB kroz naselje	0,0%	0,0%	4,4%	2,4%	0,0%	0,0%	2,9%	4,8%	0,0%	0,0%	0,0%	4,3%	1,3%	0,0%	3,5%	0,0%	2,3%	6,4%	2,8%	3,4%	0,0%	1,3%	1,3%	0,0%
Ulica nižeg reda	8,7%	8,5%	17,8%	4,9%	12,1%	12,5%	4,4%	16,7%	23,4%	8,5%	9,8%	14,5%	10,4%	7,1%	11,8%	13,0%	10,2%	8,3%	13,1%	13,7%	12,5%	7,7%	9,0%	10,9%
Ulica višeg reda	13,0%	25,5%	28,9%	12,2%	12,1%	12,5%	10,3%	19,0%	29,8%	20,3%	21,3%	17,4%	15,6%	15,3%	10,6%	20,7%	17,0%	12,8%	18,7%	12,0%	15,9%	14,1%	17,9%	20,0%

Tabela 11. Časovna raspodela saobraćajnih nezgoda prema kategoriji puta

Kategorija puta	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Državni put IA reda	4,5%	4,9%	5,3%	7,3%	8,5%	8,7%	6,8%	4,9%	5,3%	4,7%	3,9%	3,4%	3,9%	4,1%	3,6%	3,7%	4,2%	5,0%	4,6%	3,6%	3,6%	4,2%	4,3%	5,2%
Državni put IB reda	8,4%	7,1%	6,5%	7,4%	9,5%	11,2%	10,0%	6,2%	5,1%	5,7%	5,8%	6,1%	6,4%	6,1%	6,3%	6,8%	6,8%	6,8%	6,2%	7,1%	6,7%	6,7%	6,7%	6,2%
Državni put IIA reda	5,5%	6,2%	6,4%	6,6%	7,5%	8,5%	7,6%	4,8%	3,3%	3,9%	4,1%	4,5%	4,0%	4,4%	4,8%	4,8%	4,5%	4,9%	5,0%	5,7%	6,2%	6,0%	5,6%	6,0%
Državni put IIB reda	1,0%	1,2%	1,6%	1,2%	1,3%	1,6%	1,1%	1,0%	0,7%	0,6%	0,8%	0,8%	0,9%	1,0%	0,9%	0,9%	0,8%	0,8%	1,1%	1,1%	1,3%	1,4%	1,3%	1,6%
Lokalni put	3,7%	4,2%	3,3%	3,4%	2,9%	3,6%	3,4%	2,8%	2,0%	2,2%	2,4%	2,7%	2,4%	2,7%	3,0%	2,9%	3,1%	2,9%	3,6%	3,4%	3,6%	3,6%	3,3%	3,3%
Nekategorisani put	0,8%	0,8%	1,0%	1,0%	0,9%	0,9%	1,0%	1,0%	1,0%	1,2%	1,0%	1,1%	1,2%	1,2%	1,4%	1,4%	1,5%	1,5%	1,3%	1,3%	1,1%	1,1%	1,2%	1,0%
Prolazak DP IA kroz naselje	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Prolazak DP IB kroz naselje	4,6%	4,5%	4,7%	4,6%	4,3%	5,8%	5,1%	3,9%	3,7%	3,7%	3,9%	3,9%	4,4%	4,2%	4,3%	4,2%	4,2%	4,3%	4,2%	4,1%	4,4%	4,4%	4,4%	4,2%
Prolazak DP IIA kroz naselje	4,2%	5,1%	6,0%	5,7%	6,1%	5,8%	6,3%	4,2%	3,9%	4,2%	4,4%	4,3%	4,1%	4,1%	4,3%	4,5%	3,9%	4,3%	4,6%	4,5%	4,3%	4,6%	4,3%	3,7%
Prolazak DP IIB kroz naselje	1,4%	1,0%	0,9%	1,4%	1,1%	0,8%	1,3%	1,2%	0,9%	1,1%	1,0%	0,9%	0,9%	1,1%	1,1%	0,7%	0,9%	1,0%	1,0%	1,0%	1,1%	1,1%	0,9%	1,3%
Ulica nižeg reda	19,9%	23,0%	21,9%	23,8%	19,2%	17,0%	15,7%	16,8%	17,5%	18,8%	19,8%	19,4%	19,0%	17,9%	18,7%	18,9%	17,4%	16,5%	18,3%	18,5%	17,8%	18,4%	17,7%	17,6%
Ulica višeg reda	46,0%	42,0%	42,4%	37,6%	38,8%	36,2%	41,7%	53,2%	56,6%	53,9%	52,8%	52,8%	53,0%	53,2%	51,5%	51,3%	52,6%	52,0%	50,1%	49,7%	49,9%	47,9%	50,2%	49,9%

4. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Analiza saobraćajnih nezgoda prema kategoriji saobraćajnica daje odgovor na pitanje na kojim kategorijama saobraćajnica se najviše događaju saobraćajne nezgode. Polovina saobraćajnih nezgoda se događa na ulicama višeg reda i petina na ulicama nižeg reda. Na ovim kategorijama saobraćajnica se događa i dve trećine nezgoda sa povređenima. Raspodela saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima je drugačija, odnosno petina nezgoda sa poginulima se događa na državnim putevima IB reda, 17% na ulicama višeg reda, a 15% na državnim putevima IIA reda.

Na osnovu raspodele saobraćajnih nezgoda prema kategoriji puta može se zaključiti da postoji razlika između težine saobraćajne nezgode i kategorije puta. Dodatnim analizama, važno je utvrditi nivo zavisnosti i ispitati koji su to faktori koji dobrinose težini posledica, najpre na državnim putevima IB i IIA reda na kojima se događa trećina saobraćajnih nezgoda sa poginulima. Takođe, jedan od pravaca budućih istraživanja usmeriti ka utvrđivanju relativnih pokazatelja kao što je odnos broja i posledica saobraćajnih nezgoda i dužine analizirane kategorije puta.

Saobraćajne nezgode se znatno više događaju u naselju nego van naselja. Rezultati pokazuju da su se saobraćajne nezgode sa poginulim licima u naselju najviše događale na ulicama višeg reda (29%), zatim na ulicama nižeg reda (20%) i prolascima državnog puta IB i IIA kroz naselje (po 12%). Van naselja trećina saobraćajnih nezgoda sa poginulima dogodila na državnim putevima IB reda (34%), četvrtina na državnim putevima IIA reda, 16% na državnim putevima IA reda i 12% na lokalnim putevima. Oko polovine saobraćajnih nezgoda sa povređenima u naselju se dogodilo na ulicama višeg reda (49%), 27% zatim na ulicama nižeg reda i 7% na prolasku državnog puta IIA kroz naselje. Saobraćajne nezgode sa povređenima van naselja: 29% na državnim putevima IB reda, četvrtina na državnim putevima IIA reda, 18% na državnim putevima IA reda i 12% na lokalnim putevima. Dve trećine saobraćajnih nezgoda sa materijalnom štetom koje su se dogodile u naselju bile su na ulicama višeg reda (68%) i 18% na ulicama nižeg reda. Kada su u pitanju saobraćajne nezgode sa materijalnom štetom van naselja: 37% na državnim putevima IA reda, 26% na državnim putevima IB reda, 17% na državnim putevima IIA reda i 8% na lokalnim putevima.

Imajući u vidu raspodelu saobraćajnih nezgoda u naselju i van naselja prema kategoriji puta zaključuje se da postoji razlika kada je reč o naselju i van naselja, u naselju se događaju na ulicama višeg i nižeg reda, a van naselja na državnim putevima IA, IIA, IB reda i lokalnim putevima bez obzira na težinu posledica saobraćajnih nezgoda.

Specifična mesta na kojima se događaju saobraćajne nezgode su krivine, prešački prelazi, mostovi i zona škole. Analizom rezultata utvrđeno je da su se saobraćajne nezgode sa poginulima u krivini i na mostu najviše događale na državnom putu IB i IIA reda, na pešačkim prelazima u ulici višeg ranga, a u zonama škola na prolasku državnog puta IB kroz naselje. Podaci sugerišu da dalji set aktivnosti i mera koje treba preduzeti, odnosno šta treba detaljnije istraživati: zone škola na prolasku državnih puteva IB kroz naselje, pešačke prelaze u ulicama višeg ranga i specifične krivine i mostove na državnim putevima IB i IIA reda.

Tipološka analiza saobraćajnih nezgoda prema kategoriji puta ukazuje koji su najčešći tipovi nezgoda i na kojim kategorijama puta. Izdvojeno je pet tipova saobraćajnih nezgoda i pet tipova saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima. U obe analize među najčešće tipova spada "Najmanje dva vozila koja se kreću u istom smeru – sustizanje". U saobraćajnim nezgodama sa poginulima spadaju i čeon sudari, a najviše se događaju na državnim putevima IB reda, zatim silazak udesno i ulevo sa kolovoza na pravcu na državnim putevima IIA reda, ostale nezgode sa najmanje dva vozila iz suprotnih smerova bez skretanja na državnim putevima IA reda. Sagledavanjem ukupnog broja saobraćajnih nezgoda uočava se da se najveći broj dogodio na ulicama višeg reda, bez obzira na tip nezgoda.

Na osnovu tipološke analize može se zaključiti da postoji razlika tipova saobraćajnih nezgoda prema kategoriji puta i da se razlikuje u zavisnosti od vrste saobraćajne nezgode. Kao buduća aktivnost, potrebno je ispitati jačinu zavisnosti između kategorije puta i tipa saobraćajne nezgode za saobraćajne nezgode sa poginulima, povređenima i ukupan broj nezgoda.

Vremenska distribucija saobraćajnih nezgoda je dala odgovor na pitanje u kom mesecu, danu i satu na kojim kategorijama saobraćajnica se najviše događaju saobraćajne nezgode i saobraćajne nezgode sa poginulima. Saobraćajne nezgode se događaju na ulicama višeg, a zatim nižeg reda i ne postoji značajna razlika prema mesecima u godini, danima u nedelji ili satima u toku dana.

Raspodela je drugačija kada su u pitanju saobraćajne nezgode sa poginulim licima. Analizom mesečne raspodele saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima zaključuje se da se u zimskim mesecima najčešće događaju na državnim putevima IB i IIA reda, kao i na ulicama višeg reda, dok su u julu i avgustu dominantni državni putevi IB reda. Izražena je razlika prema danima u nedelji, posebno ako se posmatra sredina nedelje i vikend. Rezultati pokazuju da se na državnim putevima IB i IIA reda rizik stradanja povećava vikendom, a na ulicama višeg ranga od ponedeljka do srede. Analizom časovne raspodele saobraćajnih nezgoda sa poginulima zaključuje se da je od 23 do 1 sat posle ponoći i od 3 do 6 sati ujutru najviše nezgoda na državnom putu IB reda, kao i ujutru od 9-10 sati, dok se od jedan posle ponoći do 3 i od 8 do 9 najviše događaju na ulicama višeg i nižeg reda. Na osnovu vremenske raspodele saobraćajnih nezgoda sa poginulima mogu se definisati mere i aktivnosti prema kategoriji saobraćajnice kako bi se smanjio rizik od smrtnog stradanja.

Uzimajući sve prethodno navedeno u obzir, nameće se potreba realizacije detaljnijih i sveobuhvatnijih projekata koji bi za cilj imali utvrđivanje pojavnih oblika i uticajnih faktora stradanja u saobraćaju, a imajući u vidu nivo kategorije puta.

Literatura

- [1] Agencija za bezbednost saobraćaja - <http://195.222.99.60/ibbsPublic/> (12.04.2020.)
- [2] Delhomme, P. 2009. *CAST Campaigns and Awareness Raising Strategies in Traffic Safety, Manual for designing, implementing and evaluating road safety communication campaigns*, (Project EC). Belgian Road Safety Institute.
- [3] Institut ekonomiki transporta. (1996). *Sprvočnik po bezopasnosti dorožnogo dviženia: Obzor meroprijati po bezopasnosti dorožnogo dviženia*. Oslo-Kopenhagen.
- [4] Lipovac, K., Jovanović, D., Nešić, M. 2019. *Osnove bezbednosti saobraćaja*. Kriminalističko policijski univerzitet.
- [5] WHO. (2010). *Global plan for the decade of action for road safety 2011-2020*. Geneva: World Health Organization.
- [6] WHO. (2018). *Road Safety Report*. World Health Organization.

ПРЕДИКЦИЈА УТИЦАЈА ПУТА НА НАСТАНАК САОБРАЋАЈНЕ НЕЗГОДЕ ПРИМЕНОМ ДУБИНСКИХ АНАЛИЗА И МОДЕЛА ЛОГИСТИЧКЕ РЕГРЕСИЈЕ

др Ненад Марковић, дипл. инж. саобраћаја

¹ *Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду, n.markovic@sf.bg.ac.rs*

проф. др Далибор Пешић – дипл. инж. саобраћаја

² *Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду, d.pesic@sf.bg.ac.rs*

Душан Граовац¹ – дипл. инж. саобраћаја

³ *Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду, dusangraovac58@gmail.com*

Резиме: Пут карактерише велики број непроменљивих параметара у време настанка незгоде (ширина коловоза, број саобраћајних трака, ширина банке итд.). Неки од ових фактора немају утицај на настанак незгоде, али могу значајно утицати на тежину последица. У досадашњим истраживањима, фактор пут је често бивао запостављен, када је у питању утицај на настанак и тежину последица саобраћајних незгода, а посебно у односу на фактор човек. У циљу спровођења ефикасних мера за унапређење безбедности пута, потребно је испитати који од фактора пута доприноси настанку саобраћајне незгоде и у којој мери. На основу таквих анализа могуће је превентивно деловати, односно кроз анализу карактеристика пута, унапредити карактеристике пута које имају доминантан утицај на настанак и тежину последица саобраћајних незгода. Применом дубинских анализа саобраћајних незгода, прикупљен је велики број параметара непосредно на месту незгоде. Циљ овог рада је да се кроз анализу параметара везаних за фактор пут прикупљених на месту незгоде, применом логистичке регресије предвиди утицај различитих параметара на дискретну случајну променљиву, а што је у овом случају, утицај пута на настанак саобраћајне незгоде.

Кључне речи: *безбедност саобраћаја, дубинске анализе, бинарна логистичка регресија*

PREDICTION OF THE IMPACT OF THE ROAD ON THE ACCIDENT OF A TRAFFIC ACCIDENT BY APPLICATION OF IN-DEPTH ANALYSIS AND LOGISTIC REGRESSION MODELS

Nenad Markovic, Asst.

¹ *University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, n.markovic@sf.bg.ac.rs*

Dalibor Pesic, PhD

² *University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, d.pesic@sf.bg.ac.rs*

Dusan Graovac, MSc

³ *University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, dusangraovac58@gmail.com*

Abstract: The road is characterized by a large number of invariant parameters at the time of the accident (pavement width, number of lanes, bank width, etc.). Some of these factors do not influence the occurrence of an accident, but can significantly affect the severity of the consequences. In previous studies, the road factor has often been neglected when it comes to influencing the occurrence and severity of traffic accidents, and especially in relation to the human factor. In order to implement effective measures to improve road safety, it is necessary to examine which of the factors contributing to the occurrence of a road accident and to what extent. On the basis of such analyzes it is possible to act preventively, that is, through the analysis of road characteristics, to improve the road characteristics which have a dominant influence on the occurrence and severity of the consequences of traffic accidents. By applying in-depth traffic accident analysis, a large number of parameters were collected directly at the scene. The aim of this paper is to analyze the influence of different parameters on a discrete random variable by analyzing the parameters related to the path factor collected at the accident site, and in this case, the impact of the road on the occurrence of a traffic accident.

Keywords: *road safety, in-depth analysis, logistic regression model*

1. УВОД

Европска унија (ЕУ) је остварила значајан напредак ка унапређењу безбедности саобраћаја на путевима и смањењу смртних случајева у саобраћају. У деценији до 2010. године, број смртних случајева смањен је за 45%, а укупан број повређених смањен је за 30% (EuroStat, 2012). Међутим, у садашњој деценији напредак се успорава, с тим да је број смртних случајева до сада смањен само за 20% (ETSC, 2018).

¹ Душан Граовац: dusangraovac58@gmail.com

Да би се додатно смањио број смртних случајева на путу, потребно је свеобухватно разумевање ризика (Paradimitriou et al., 2019), као и непрестано управљање безбедношћу саобраћаја спровођењем одговарајућих, ефикасних и правилно усмерених стратешких мера.

Један од најзначајнијих фактора који утичу на резултате безбедности у саобраћају је путна инфраструктура и животна средина (нпр. врста пута, геометрија, осветљење, временски услови итд.) (Elvik et al., 2009). Европска комисија и Европска опсерваторија за безбедност на путевима (ЕРСО) објављују годишње извештаје засноване на макроскопским подацима из европске CARE базе података са подацима о саобраћајним незгодама, који укључују трендове саобраћајних незгода и развој који се односи на путну инфраструктуру (Европска опсерваторија за безбедност на путевима, ЕРСО, 2016).

Као један од савремених алата који се користи за унапређење путне инфраструктуре, дубинске анализе омогућавају систематизовање најважнијих недостатака пута који су утицали на настанак и тежину последица саобраћајне незгоде. У раду је, на основу базе података креиране на основу података о дубинским анализама саобраћајних незгода, извршена анализа утицаја одређених елемената пута на настанак саобраћајне незгоде или тежину последица саобраћајних незгода. На основу података о саобраћајним незгодама и утицајима пута у конкретним саобраћајним незгодама спроведена је статистичка анализа применом модела бинарне логистичке регресије.

Циљ рада је да се на основу извршене анализе установи који од недостатака пута има највеће шансе да допринесе настанку и тежини последица саобраћајних незгода, а након тога да се на практичним примерима прикажу проблеми уочени на терену.

1.1. Преглед литературе

Превентивно деловање у унапређењу пута са аспекта безбедност саобраћаја захтева препознавање елемената пута који утичу на настанак и тежину последица саобраћајне незгоде, а затим анализу и утицаја тих елемената на насталу саобраћајну незгоду. Дубинска анализа саобраћајних незгода је препозната као такозвано реактивно средство за побољшање безбедности саобраћаја на путевима и по правилу се спроводи на оним местима на којима су се већ догодиле саобраћајне незгоде (Марковић, 2019), а основне акције дубинских анализа представљају провере утицаја пута и путне околине на настанак и последице саобраћајне незгоде (Reed and Morris, 2008).

Како се дубинским анализама саобраћајних незгода анализирају сви потенцијални утицаји на саобраћајну незгоду (Pešić et al. 2014.), то би и утврђивање недостатака путне инфраструктуре био један од задатака дубинских анализа саобраћајних незгода. Ово произилази из чињенице да је обавеза извештавања држава чланица Европске Уније о факторима настанка саобраћајних незгода са смртним исходом, дефинисана директивом (Marković et al., 2019).

Прво прикупљање податак о елементима пута бележи се у Великој Британији када је развијена студија прикупљања података о незгодама под називом "On the Spot" (OTS). Фактори утицаја пута посебно су се анализирали и бележени са специјалним нагласком на безбедносним карактеристикама и елементима пута, који утичу на активну и пасивну безбедност (Hill et al., 2001, Cuerden et al., 2008), па тако Johannsen (2017) сматра да су најзначајнији подаци предвиђени за прикупљање у дубинском истраживању незгода поред осталих података о саобраћајној незгоди, подаци о условима окружења и дизајна пута.

Побољшања путне инфраструктуре могу значајно допринети смањењу смрти и озбиљних повреда. Многи типови судара велике тежине могу се елиминисати ефикасним коришћењем инфраструктуре. Ово укључује судар за који се сматра да је узрокован људском грешком и непоштовањем правила. Мало инвестиција у инфраструктуру доноси тако велике користи као што су инфраструктурне мере усмерене на побољшање безбедности на путу. Путна инфраструктура је често најзначајнији појединачни фактор који доприноси тежини исхода у судару (PIARC, 2020). С друге стране и остали фактори имају значајан утицај, тако да фактор пут заједно са осталим факторима утиче са 44%, а возило са 13% на настанак саобраћајних незгода PIARC-а (2011). Међутим, према подацима PIARC-а фактор пут као самостални узрочник настанка саобраћајних незгода је препознат у 13% незгода, у 26% у садејству са утицајем фактора човек, 1% у садејству са фактором возило, док је у 4% у садејству сва три фактора.

Са даљим развојем анализа саобраћајних незгода уочено је да не тако често осим возача са њим у садејству или самостално и возило, и пут и окружење имају утицаја на настанак незгода (Marković et al., 2018). Утицај фактора пут, као јединог фактора који је перманентно присутан на конкретној локацији, је веома важно анализирати дубинским анализама јер само се на тај начин могу стварно сагледати његови утицаји на настанак и последице саобраћајних незгода. Дубинске анализе системски анализирају саобраћајну незгоду и то детаљно сваки од основних фактора човек-возило-пут-окружење и дефинишу евентуалне утицаје на насталу незгоду или њене последице. Сходно добијеним резултатима могуће је планирати одређене мере и активности, како би се на глобалном нивоу унапредило стање безбедности саобраћаја. (Марковић, 2019)

Марковић и други (2015) наводе да је основна анализа у оквиру дубинских анализа саобраћајних незгода анализа утицаја пута на настанак саобраћајне незгоде. Током спровођења ове фазе дубинске анализе независни тим стручњака утврђује утицај пута на настанак саобраћајне незгоде, као и допринос пута на могућност избегавања саобраћајне незгоде и смањења њених последица.

Најчешће се ова фаза дубинских анализа саобраћајних незгода спроводи на терену, на месту где је незгода настала. У овој фази се анализира утицај пута на настанак саобраћајне незгоде и то тако што се првенствено утврђује да ли је пут узроковао или допринео настанку конкретне саобраћајне незгоде.

Осим регулисањем саобраћаја фактор пут може и својом геометријом односно техничко експлоатационим својствима да доведе до настанка саобраћајне незгоде. Наиме, фактор пут кроз непружање безбедних техничко експлоатационих услова за одређени ниво саобраћајнице (стање површине коловоза, пружање пута и сл.) може такође узроковати настанак незгоде (Марковић и други, 2018).

Код незгода са учешћем два возила, остварено је највеће потпуно препознавање најчешћих утицајних фактора ове категорије незгода. На основу дубинских анализа за најдоминантнији фактор одређен је неадекватно одржаван коловоз, који су мање заступљени у посматраном узорку незгода (Марковић и други, 2019). Крајњи резултат свеобухватних дубинских анализа представља извештај који обухвата детаљну анализу саобраћајних незгода, заједно са предлогом могућих корекција пута или окружења пута (Monclus, 2006).

Дакле, за формирање мера за превентивно деловање није довољно препознати само основне утицајне факторе, јер се на основу тога не могу формирати адекватне мере за превентивно деловање. Наиме, препознавањем једног фактора, као што је примера ради фактор човек, ниј могуће утврдити којим и каквим мерама је неопходно деловати на фактор човек да би се смањио број саобраћајних незгода. За то је у конкретним ситуацијама потребно детаљно анализирати на који начин фактор човек доприноси настанку саобраћајних незгода, па сходно томе препознати како се може утицати превентивно на фактор човек (Марковић, 2019).

2. МЕТОДОЛОГИЈА

За прикупљање узорка саобраћајних незгода у којима је вршена анализа утицаја пута коришћен је метод дубинских анализа саобраћајних незгода, које су се догодиле на територији Републике Србије, при чему су анализирани саобраћајне незгоде које су се догодиле на државним путевима. Анализирани саобраћајне незгоде су се догодиле у периоду од 2017. до 2019. године. Анализа саобраћајних незгода вршена је само за саобраћајне незгоде са најтежим последицама, односно за саобраћајне незгоде са погинулим лицима. Укупно прикупљени узорак саобраћајних незгода је био 120 саобраћајних незгода. Дубинском анализом саобраћајних незгода сагледани су елементи пута који су допринели утицају на настанак саобраћајне незгоде.

Након тога, у програмском пакету Microsoft Office Excel креирана је јединствена база података о утицају пута на настанак и тежину последица анализираних саобраћајних незгода. На основу анализе систематизовано је неколико елемената пута који су имали утицај на настанак или тежину последица саобраћајних незгода. Другим речима, да основу дубинских анализа сваке од саобраћајних незгоде, пронађене су саобраћајне незгоде у којима је пут имао утицај на настанак саобраћајне незгоде. У супротном, пронађене су саобраћајне незгоде у којима пут није имао утицај на настанак саобраћајне незгоде.

Спроведена анализа имала је за циљ да се применом бинарне логистичке регресије утврди који од елемената пута има највећи утицај на настанак саобраћајне незгоде. Бинарна логистичка регресија, о којој је реч у овом раду, претпоставља да независне варијабле имају само две категорије, а што се у овом случају односи на то да је одређени елемент пута утицао или није утицао на настанак или тежину последица саобраћајне незгоде.

Након анализе јединствене базе података креиране на основу спроведених дубинских анализа издвојило се осам елемената (параметара) пута који су имали утицај на настанак саобраћајне незгоде, а то су: саобраћајна сигнализација, ограничење брзине, попречни нагиб, подужни нагиб, неуређене банке, радијус кривине, одводњавање и осветљење пута.

Након препознавања елемената пута који су утицали на настанак саобраћајне незгоде, приступило се "шифровању" података, на такав начин да, уколико елемент није имао утицај на настанак конкретне саобраћајне незгоде, доделила би му се цифра "0", односно, у супротном, уколико је имао утицај на настанак саобраћајне незгоде, доделила би му се цифра "1".

Након претходно описаних анализа, приступало се израчунавању логистичких регресионих коефицијената у моделу за сваки фактор помоћу статистичког пакета IBM SPSS Statistics 25.0. Неопходно је напоменути да су променљиве (елементи пута) у програму SPSS кодиране на такав начин да је се цифром 0 обележавала претпостављена мање ризична категорија, а цифром 1 претпостављена ризичнија категорија (нема утицаја/има утицаја). На овај начин извршено је кодирање које је приказано у Табели 1. Као што је већ напоменуто, зависна варијабла је утицај пута на настанак саобраћајне незгоде, а у оквиру ње шифроване су вредности, при чему цифра 0 означава да нема утицаја на настанак саобраћајне незгоде, а цифра 1 означава да је пут имао утицај на настанак саобраћајне незгоде.

Табела 1. Кодирање података

Фактори	Категорија	
	0	1
Утицај пута	Нема утицаја пута	Има утицаја пута
Саобраћајна сигнализација	Нема утицај	Има утицај
Ограничење брзине	Нема утицај	Има утицај
Попречни нагиб	Нема утицај	Има утицај
Подужни нагиб	Нема утицај	Има утицај
Неуређене банке	Нема утицај	Има утицај
Радијус кривине	Нема утицај	Има утицај
Одводњавање	Нема утицај	Има утицај
Осветљење пута	Нема утицај	Има утицај

Извор: База података о Дубинским анализама саобраћајних незгода

3. РЕЗУЛТАТИ

Имајући у виду издвојене елементе пута, односно њихов могући утицај на настанак незгоде, као статистички метод одабран за анализу и проналажење фактора пута који највише доприноси настанку незгоде, изабран је модел бинарне логистичке регресије. Сваки од елемената пута могао је да оствари два коначна исхода, односно да има утицај или у супротном да нема утицај на настанак саобраћајне незгоде. Кроз примену модела бинарне логистичке регресије добијени су показатељи на основу којих је могуће вредновати значај одређених елемената (недостатака) пута на безбедност саобраћаја. Резултати примењеног модела приказани су у Табели 2.

Најважнији резултати спроведене анализе налазе се у колони Exp(B), где су приказане вредности количника шанси. Количник шанси представља вредност колико пута ће се повећати шанса да одређени пут на којем је установљен проблем са неким елементом пута (заштитна ограда, саобраћајна сигнализација итд.) има утицај на настанак саобраћајне незгоде.

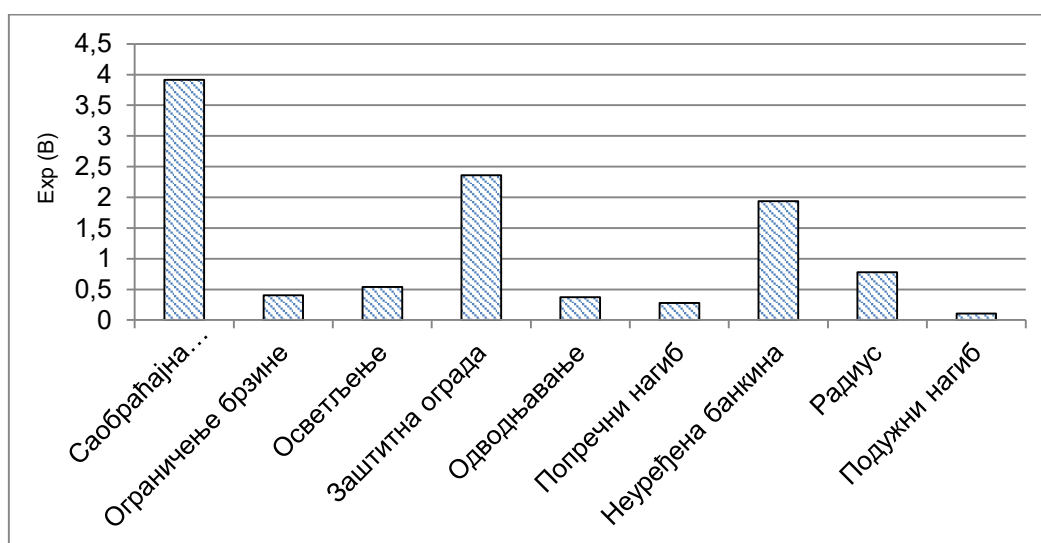
Табела 2. *Резултати модела бинарне логистичке регресије*

	B	S.E.	Wald	Sig.	Exp (B)
Саобраћајна сигнализација	1,365	0,566	5,820	0,016	3,916
Ограничење брзине	-0,900	0,497	3,285	0,070	0,406
Осветљење	-0,615	0,722	0,726	0,394	0,541
Заштитна ограда	0,859	0,559	2,360	0,124	2,361
Одводњавање	-0,980	0,736	1,772	0,183	0,375
Попречни нагиб	-1,271	0,577	4,846	0,028	0,281
Неуређена банкина	0,662	0,619	1,142	0,285	1,938
Радијус	-0,250	0,603	0,172	0,679	0,779
Подужни нагиб	-2,243	0,865	6,716	0,010	0,106

Дакле, на основу добијених резултата могуће је увидети колико се пута повећава шанса да одређени пут, који има недостатке када су у питању анализирани елементи, има утицаја на настанак или тежину последица саобраћајних незгода.

Као најзначајнији елементи пута, гледано са аспекта безбедности саобраћаја, односно утицаја на настанак саобраћајне незгоде, издвојили су се проблеми везани за саобраћајну сигнализацију, као и проблеми пута у вези заштитне ограде (непостојање заштитне ограде, пасивно небезбедни завршеци итд.). Након та два елемента који су свакако доминантни у погледу утицаја на настанак саобраћајне незгоде и тежину последица, издваја се елемент пута који се односи на неуређеност банкина.

Практично, на основу спроведене анализе налазимо да пут који има проблем са саобраћајном сигнализацијом има готово четири пута веће шансе да има утицај на настанак или тежину последица саобраћајне незгоде. Следи да су шансе да пут који има проблем са заштитном оградом, готово 2,5 пута веће да има утицај на настанак или тежину последица саобраћајне незгоде. Када је у питању неуређеност банкина, шансе да пут који има проблем са неуређеним банклинама има и утицај на настанак или тежину последица су готово два пута веће у односу на пут који нема проблем са неуређеним банклинама (Дијаграм 1).



Дијаграм 1. *Приказ резултата бинарне логистичке регресије*

Када су у питању проблеми пута са одводњавањем, показало се да они у значајно мањој мери могу утицати на настанак или тежину последица у односу на друге елементе. На крају, показало се, применом овог модела, да је подужни нагиб најмање значајан елемент који утиче на настанак и тежину последица саобраћајних незгода.

Резултати спроведене бинарне логистичке регресије, генерално указују да сваки проблем пута, односно недостатак, повећава шансе да пут има утицаја на настанак или тежину последица саобраћајне незгоде.

2.1. Приказ најчешћих проблема препознатих на основу модела бинарне логистичке регресије

Да бих се схватио значај, односно могућност да одређени елементи утичу на настанак или тежину последица незгоде, у наставку ће бити приказани примери проблема пута са посебним освртом на елементе који имају највеће шансе да допринесу утицају на настанак саобраћајне незгоде и доприносу на тежину последица.

Као што је наведено у претходном делу текста, проблеми пута везани за заштитну ограду издвојили су се као један од два најзначајнија проблема. Када је реч о заштитној огради, основни могући утицај када су у питању саобраћајне незгоде јесте свакако утицај на тежину последица, међутим, на основу спроведених дубинских анализа издвојили су се и други могући утицаји, а пре свега утицаји на настанак саобраћајне незгоде.

Наиме, на Слици 1 приказан је прекид заштитне ограде који је на деоници ван насеље допринео погрешном вођењу пешака и свакако значајно утицао, па чак и доминантно утицао на настанак саобраћајне незгоде. Када је у питању утицај заштитне ограде на тежину последица, он се пре свега огледа у непостојању заштитне ограде, а посебно у хоризонталним кривинама, па у случају саобраћајних незгода са силаском возила са коловоза долази до повећања последица саобраћајних незгода, а уколико би заштитна ограда постојала на месту незгоде, тада би дошло до задржавања возил, а свакако и до смањења последица. Други могући утицај заштитне ограде на тежину последица саобраћајних незгода јесте утицај који са такође јавља када су у питању саобраћајне незгоде са силаском возила са коловоза, а то је удар возила у пасивно небезбедне завршетке заштитних ограда (Слика бр. 2).



Слика 1. Прекид заштитне ограде

Извор: База података о Дубинским анализама саобраћајних незгода

Када је реч о проблемима везаним за саобраћајну сигнализацију, они су по правилу везани за непостојање саобраћајних знакова, пре свега услед неадекватног одржавања саобраћајних знакова, односно замене истих. Проблеми пута везани за саобраћајну сигнализацију огледају се и у непостојању одговарајуће саобраћајне сигнализације, хоризонталне, али и вертикалне.



Слика 2. *Пасивно небезбедан завршетак заштитне ограде*
Извор: База података о Дубинским анализама саобраћајних незгода

Веома чест случај, уочен у току спровођења дубинских анализа саобраћајних незгода, јесте непостојање саобраћајног знака који означава пешачки прелаз. Наиме, у таквој ситуацији возачима се не најављује правовремено наилазак на део пута на којем је пешацима омогућен прелазак преко коловоза. У таквим ситуацијама често долази до изненадних наилазака на пешачки прелаз, односно на саме пешака, а након тога и до касног реаговања, што се из искуства показало као чест утицајни фактор на могућност избегавања и тежину последица саобраћајних незгода.



Слика 3. *Непостојање хоризонталних ознака пешачког прелаза*
Извор: База података о Дубинским анализама саобраћајних незгода

Поред претходно наведеног, на основу извршених дубинских анализа налазимо да је и чест случај да на путевима не постоје хоризонталне ознаке пешачког прелаза, па су пешаци принуђени да кретањем по коловозу на месту где не постоји обележени пешачки прелаз излажу себе додатном ризику (Слика бр. 3).



Слика 4. *Непостојање саобраћајног знака пешачки прелаз*
Извор: База података о Дубинским анализама саобраћајних незгода

2.2. Кључни проблеми и предлог управљачких мера

На основу спроведених анализа издвојили су се елементи пута који имају највећу шансу да допринесу настанку и тежини последица саобраћајне незгоде, а то су:

- Проблеми путева везани за заштитну ограду,
- Проблеми пута везани за саобраћајну сигнализацију и
- Проблеми пута који су у вези са неуређеном банкином.

Имајући претходно у виду, издвојиле су се неке од мера које је неопходно редовно спроводити како би се значајно унапредила безбедност пута, односно путне инфраструктуре. Наравно, на основу примењеног модела бинарне логистичке регресије, издвојили су се они елементи који доприносе највећем повешању шанси допринесу настанку или тежини последица саобраћајне незгоде. Сходно томе, неопходно је да управљачи пута посебну пажњу обрате на спровођење следећих мера за унапређење пута и путне инфраструктуре:

- Изградња заштитне ограде,
- Поправка заштитне ограде,
- Постављање вертикалне саобраћајне сигнализације на местима где недостаје, са посебним освртом на саобраћајне знакове пешачког прелаза,
- Обележавање хоризонталних ознака пешачког прелаза, а посебну пажњу обратити на означавање и освежавање ивичних линија,
- Редовно одржавање банкина и површина поред пута, са посебним освртом на уклањање растиња које се често налази на истим.

3. ЗАКЉУЧАК

За унапређење безбедности саобраћаја на неком подручју најпре је неопходно правилно дефинисати и препознати утицајне факторе који за последицу имају настанак саобраћајних незгода и последица, а што захтева примену различитих савремених алата који служе за разумевање околности настанка незгода. Најважније је развити модел који на основу постојећих околности настанка саобраћајних незгода омогућавају дефинисање превентивних активности које ће имати утицаја на смањење броја саобраћајних незгода и последица. Међу савременим алатима који омогућавају превентивно деловање у безбедности саобраћаја посебно се издвајају дубинске анализе саобраћајних незгода, које омогућавају да се на основу ретроспективних анализа дефинишу превентивне мере и елиминишу утицајни фактори који за последицу имају настанак саобраћајних незгода и последица. Значај дубинских анализа се посебно истакао у дефинисању утицаја пута на настанак и тежину последица саобраћајних незгода. У раду је анализиран фактор пут и препознати недостаци пута који имају највећу вероватноћу да допринесу настанку или тежини последица саобраћајних незгода.

Свеобухватно сагледавање недостатака пута и препознавање недостатака који имају већег утицаја на настанак и последице саобраћајних незгода, може да укаже управљачу пута да препозна приоритет отклањања уочених недостатака.

Метода која је спроведена у раду на веома јасан начин указује на елементе пута које је неопходно унапређивати у циљу побољшања пута и путне инфраструктуре. Наиме, модел бинарне логистичке регресије, који је примењен у овом раду, представља само један од начина помоћу којих се могу прецизно дефинисати пропусти, односно утицајни фактори на настанак или тежину последица саобраћајних незгода. У овом случају, модел бинарне логистичке регресије показао се као метод помоћу којег је могуће ефикасно утврдити који од елемената пута има највећу вероватноћу (шансу) да допринесе настанку или тежини последица саобраћајних незгода. Као најзначајнији елементи пута, гледано са аспекта безбедности саобраћаја, односно утицаја на настанак саобраћајне незгоде, издвојили су се проблеми везани за саобраћајну сигнализацију, док се на другом месту по значају када је у питању утицај на настанак и тежину последица налазе проблеми пута везани за заштитну ограду. Поред тога, неуређеност банклина је такође препозната као један од важних проблема пута.

Имајући у виду да је вршење дубинских анализа саобраћајних незгода у протеклих неколико година значајно заживело у Републици Србији, па се тако исте спровode и на локалним путевима, али и на државним путевима, то би овакве врсте анализа са високом поузданошћу било могуће спроводити, како на државним путевима тако и на локалним путевима.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Reed S, Morris A. Fatal Accident Database Development and Analysis - Final Report. Deliverable 5.7 of the EU FP6 project SafetyNet. 2008.
- [2] Cuerden R, Pittman M, Dodson E, Hill J. The UK On The Spot Accident Data Collection Study – Phase II Report 2, Road Safety Research Report No. 73. Transport Research Laboratory, Vehicle Safety Research Centre, Loughborough University, Department for Transport. Great Minster House. 2008. London. SW1P 4DR, ISBN 978 1 904763 71 0.
- [3] Elvik, R., Høyе, A., Vaa, T., Sorensen, M., 2009. The Handbook of Road Safety Measures, 2nd edition. Emerald, Bingley, UK.
- [4] European Road Safety Observatory, ERSO, 2016a. Traffic Safety Basic Facts 2016-Urban Areas.
- [5] Hill J, Smith M, Byard N, Rillie I. The methodology of on the spot accident investigations in the UK. IN: Proceedings of the 17th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV 17), Amsterdam, The Netherlands, 4-7 June 2001. 10.
- [6] Johannsen H, Krettek C, Hannawald L, Schaser KD. Consideration of accident avoidance technology within gidas, 2017: 17-0397 (<https://www-01.02.2019.esv.nhtsa.dot.gov/Proceedings/25/25ESV-000397.pdf>).
- [7] Marković, N. (2019). РАЗВОЈ МОДЕЛА ДУБИНСКИХ АНАЛИЗА САОБРАЋАЈНИХ НЕЗГОДА ЗАСНОВАНОГ НА УТИЦАЈНИМ ФАКТОРИМА, Докторска дисертација, Саобраћајни факултет, Универзитета у Београду.
- [8] Marković, N., Antić, B., Pešić, D., Lipovac, K., & Lazarević, M. (2018). Determinisanje faktora put kao uticajnog faktora na saobraćajne nezgode primenom dubinskih analiza. Put i saobraćaj, 64(2), 55-64.
- [9] Markovic, N., Antic, B., Pešić, D., Lipovac, K., & Lazarević, M. (2018). DETERMINISANJE FAKTORA PUT KAO UTICAJNOG FAKTORA NA SAOBRAĆAJNE NEZGODE PRIMENOM DUBINSKIH ANALIZA. Put I Saobraćaj, 64(2), 55-64. <https://doi.org/10.31075/PIS.64.02.07>.
- [10] Marković, N., Pešić, D., Macura, D., Šelmić, M. 2015. Nezavisne ocene saobraćajnih nezgoda sa poginulim na javnim putevima, 10. Međunarodna Konferencija „Bezbednost saobraćaja u lokalnoj zajednici“.
- [11] Monclus J, Löwenadler LG, Maier R. ROAD ACCIDENT INVESTIGATION IN THE on Accidents in the Transport Sector Report from the Road Sector Working Group to the Plenary May 11th, 2006.
- [12] OECD/ITF, 2012. Sharing Road Safety: Developing an International Framework for Crash Modification Functions. Paris.
- [13] PIARC - Permanent International Association of Road Congresses, 2011. Road Safety Manual.
- [14] PIARC - Permanent International Association of Road Congresses, 2020. <https://www.piarc.org/en/>.
- [15] Papadimitrioua, E., Filtnessb A., Theofilatosc A., Ziakopoulod, A., Quigleyb C., Yannis, G. (2019). Review and ranking of crash risk factors related to the road infrastructure. Accident Analysis and Prevention 125 (2019) 85–97.
- [16] Pešić, D., Vujanić, M., Lipovac, K., Antić, B. (2014). In-depth analysis of road accidents, state-of-the-

art and the possibilities for the implementation in the republic of Serbia, 12th International Symposium Road Accident Prevention 2014 – Proceedings, ISBN 978-86-7892-636-5, pp. 19-28, Borsko jezero.

[17] Пешић Д, Антић Б, Липовац К. Безбедност саобраћаја – методе и анализе. Универзитет у Београду Саобраћајни факултет. 2019. ISBN978-86-7395-404-2.

ANALIZA UTICAJA PUTA NA NASTANAK SAOBRAĆAJNE NEZGODE PRIMENOM DUBINSKIH ANALIZA – STUDIJA SLUČAJA ZA GRAD BEOGRAD

doc. dr Nenad Marković¹, prof. dr Krsto Lipovac², prof. dr Boris Antić³, prof. dr Dalibor Pešić⁴, Emir Smailović⁵, doc. dr Jelica Davidović⁶

¹Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet, n.markovic@sf.bg.ac.rs

²Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet, k.lipovac@gmail.com

³Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet, b.antic@sf.bg.ac.rs

⁴Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet, d.pesic@sf.bg.ac.rs

⁵Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet, e.smailovic@sf.bg.ac.rs

⁶Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet, jelicadavidovic@sf.bg.ac.rs

Rezime: Put kao permanentan faktor saobraćaja, odnosno njegove karakteristike uvek imaju uticaja na funkcionisanje saobraćajnog sistema. Shodno tome, od izuzetnog značaja je, posebno analizirati i istaći karakteristike puta koje dovode do negativnih uticaja i pojava saobraćajnih nezgoda. Faktori puta mogu uticati neposredno na nastanak ili težinu posledica nezgode i posredno kroz ponašanje učesnika u saobraćaju. Faktori puta koji su najčešće povezani sa nastankom i težinom posledica saobraćajnih nezgoda su stanje kolovoza, ograničenje brzine, postojanje zaštitne ograde, širina kolovoza, površine za kretanje ranjivih učesnika, preglednost, itd. Primenom dubinskih analiza moguće je detaljno i sveobuhvatno ispitati uticaj svakog faktora pojedinačno, kako na nastanak tako i na težinu posledica saobraćajne nezgode. Takve vrste analiza omogućavaju shvatanje i razumevanje lanca događaja koji prethode i imaju uticaja na nastanak saobraćajne nezgode, pa time i detaljnu analizu uticaja puta. Ovakvo sagledavanje mogućih uticaja upravljačima puta omogućava blagovremeno sprovođenja adekvatnih preventivnih mera unapređenja puta i putne infrastrukture. U gradu Beogradu, godišnje se dogodi oko 100 saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima, određeni procenat tih nezgoda, dogodio se upravo zbog nedostatka puta, koji su uticali na nastanak nezgode. Dodatno, iako nisu imali uticaj na nastanak, neki od puteva, imali su uticaj na težinu posledica saobraćajnih nezgoda. U radu su na osnovu prethodno izvršenih dubinskih analiza, sistematizovani najznačajniji prepoznati uticaji faktora put, kada su u pitanju saobraćajne nezgode sa poginulim licima, a koje su se dogodile na teritoriji grada Beograda. Cilj rada je da se kroz praktične primere ukaže na značaj faktora put kada je u pitanju unapređenje bezbednosti saobraćaja.

Ključne reči: saobraćajna nezgoda, uticajni faktori, dubinska analiza, posledice

ANALYSIS OF THE IMPACT OF THE ROAD ON THE OCCURRENCE OF A TRAFFIC ACCIDENT USING IN-DEPTH ANALYSIS - CASE STUDY FOR THE CITY OF BELGRADE

Nenad Marković¹, Krsto Lipovac², Boris Antić³, Dalibor Pešić⁴, Emir Smailović⁵, Jelica Davidović⁶

¹University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, n.markovic@sf.bg.ac.rs

²University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, k.lipovac@gmail.com

³University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, b.antic@sf.bg.ac.rs

⁴University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, d.pesic@sf.bg.ac.rs

⁵University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, e.smailovic@sf.bg.ac.rs

⁶University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, jelicadavidovic@sf.bg.ac.rs

Abstract: Road as a permanent factor of traffic, that is, its characteristics always influence the functioning of the traffic system. Accordingly, it is of the utmost importance to analyze and highlight the characteristics of the road that lead to the

¹ n.markovic@sf.bg.ac.rs

negative impacts and occurrences of traffic accidents. Road factors can directly affect the occurrence or severity of an accident and indirectly through the behavior of road users. Road factors that are most commonly associated with the occurrence and severity of traffic accidents are the condition of the roadway, the speed limit, the existence of a guardrail, the width of the roadway, the areas for movement of vulnerable participants, visibility, etc. By using in-depth analyzes, it is possible to examine in detail and comprehensively the impact of each factor individually on the occurrence and severity of the consequences of a traffic accident. These types of analyzes allow the understanding and understanding of the chain of events that precede and have an impact on the occurrence of a traffic accident, and thus a detailed analysis of the impact of the road. This consideration of possible impacts allows road managers to implement in a timely manner adequate preventive measures to improve the road and road infrastructure. In the city of Belgrade, there are about 100 traffic accidents with fatalities a year, and a certain percentage of these accidents happened because of the road defects that influenced the occurrence of the accident. In addition, although they did not have an impact on the occurrence, some of the roads did have an impact on the severity of the consequences of traffic accidents. Based on previously conducted in-depth analyzes, the paper systematizes the most significant findings of such analyzes, when it comes to traffic accidents with fatalities, in which the drinking factor had a dominant influence on the occurrence or severity of the consequences of the accident, which occurred on the territory of the City of Belgrade. The aim of the paper is to highlight, through practical examples, the importance of factors when it comes to improving road safety.

Keywords: traffic accident, influential factors, in-depth analysis, consequences

1. UVOD

Prema podacima Svetske zdravstvene organizacije (WHO, 2018), saobraćajne nezgode i dalje predstavljaju jedan od vodećih uzroka smrtnog stradanja (preko 1.35 miliona lica) i imaju tendenciju daljeg uvećanja i pored svih preduzetih aktivnosti tokom Dekade za bezbednost saobraćaja (2011-2020.). Takođe, saobraćajne nezgode predstavljaju i izuzetno veliki izvor materijalnih gubitaka u Svetu (u nerazvijenim i srednje razvijenim zemljama oko 5% bruto nacionalnog prihoda (BDP), a u razvijenim do 2% BDP-a). Imajući u vidu trenutno stanje javlja se potreba za kvalitetnijim, detaljnijim i sistemskim sagledavanjem uticajnih faktora nastanka saobraćajnih nezgoda u cilju njihovog adekvatnijeg sprečavanja i smanjivanja gubitaka u budućnosti. Prema pojedinim procenama u Evropi na godišnjem nivou smrtno strada oko 40,000, a u Srbiji, u poslednjih nekoliko godina, oko 600 lica (Pešić et al, 2014). Imajući to u vidu može se zaključiti da bi se pravilnim prepoznavanjem i otklanjanjem uticajnih faktora mogle napraviti značajne uštede i na lokalnom i na globalnom nivou, a što zahteva prepoznavanje i primenu adekvatnih alata i metoda koje to u najvećoj meri omogućavaju.

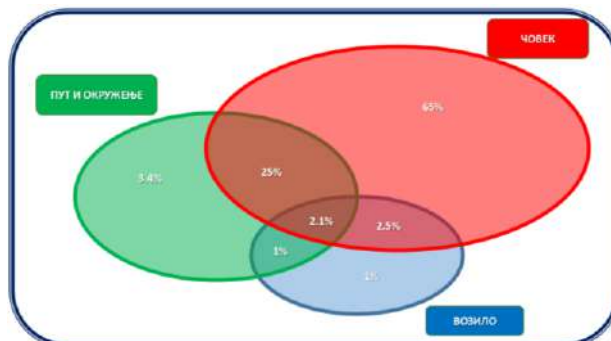
2. DEFINISANJE UTICAJNIH FAKTORA NA SAOBRAĆAJNE NEZGODE

Retrospektivne analize svakako predstavljaju izuzetno veliki potencijal za kvalitetno sagledavanje i analiziranje okolnosti nastanka saobraćajnih nezgode i utvrđivanje uticajnih faktora njihovog nastanka. Sa druge strane, ove analize ograničene su na pojedine slučajeve i konkretne okolnosti, a takođe zahtevaju i duži preiod za realizaciju. Imajući u vidu potencijal ovih analiza, neophodno je sistemski sprovesti ovu vrstu analiza i objedinjavati rezultate, kako bi na osnovu retrospektivnih analiza bilo omogućeno proaktivno delovanje u cilju povećanja bezbednosti saobraćaja. Jedan od alata koji omogućava postizanje ovih rezultata su dubinske analize saobraćajnih nezgoda. Dubinske analize saobraćajnih nezgoda prepoznate su kao izuzetan alat za utvrđivanje uzroka i okolnosti saobraćajnih nezgoda još od šezdesetih godina prošlog veka. Njihov značaj najpre je prepoznat za pouzdano utvrđivanje nastanka povreda kod učesnika nezgoda, pa su shodno tome prvo i sprovedene u okviru medicinskih univerziteta u Nemačkoj (Otte, 1994) i Australiji (Robertson, 1964), a što čini ove države pionirima u razvoju metodologija dubinskih analiza. U nastavku rada Univerzitet u Adelaidu je 1975. godine započeo sprovođenje prvih dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda u cilju prepoznavanja uticajnih faktora nastanka saobraćajnih nezgoda, a što je u nastavku dalje razvijao kroz povećanje broja sprovedenih dubinskih analiza i proširivanje područja sprovođenja (McLean et al. 1979; Baldock et al. 2008; Wundersitz 2012).

Primena različitih metoda vršenja dubinskih analiza pruža različit stepen detaljnosti dobijenih podataka, pa i detaljnosti prepoznatih faktora, koji utiču na nastanak i posledice saobraćajnih nezgoda. Svaka od primenjenih metoda u najmanju ruku ukazuje na to, koji od osnovnih faktora čovek-vozilo-put-okruženje (Č-V-P-O) su u konkretnoj nezgodi imali uticaja. Metodologija dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda, obuhvata analizu uticaja puta, vozila, lica i okruženja, kao i analizu međusobnog uticaja tih faktora na nezgodu. Ipak, svetska iskustva pokazuju da je najveće težište u okviru metodologija dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda, analiza uticaja puta na saobraćajne nezgode, zbog veće i lakše dostupnosti tih podataka. Zbog značaja uticaja puta, kao stalno prisutnog faktora u saobraćaju, iz dubinskih analiza se kao zaseban metod (pod metod) izdvajaju nezavisne ocene uticaja puta na nezgode, kao jedan od alata koji se posebno bavi analizom uticaja puta, bez detaljnije analize ostalih uticaja. Svakako za potrebe prepoznavanja najvažnijih uticaja puta i ovaj metod

ANALIZA UTICAJA PUTA NA NASTANAK SAOBRAĆAJNE NEZGODE PRIMENOM DUBINSKIH ANALIZA – STUDIJA SLUČAJA ZA GRAD BEOGRAD

omogućava zadovoljavajuće rezultate, ali svakako za sveobuhvatno sagledavanje uticajnih faktora i sistemsko upravljanje, dubinske analize daju celokupnu i sveobuhvatnu sliku uticaja svih faktora. Zadatak obe metode je svakako utvrđivanje vrste uticaja (karakteristike) puta i putne okoline (geometrija, objekti i oprema puta i slično) na saobraćajne nezgode, u cilju izbegavanja budućih saobraćajnih nezgoda ili smanjenju posledica.



Slika 1. – Raspodela uticajnih faktora

Marković, N. *Razvoj modela dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda zasnovanog na uticajnim faktorima, doktorska dis, Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet, 2020*

U cilju kvalitetnijeg sagledavanja mogućih uticaja faktora put na saobraćajne nezgode, izvršena je analiza prepoznatih uticajnih faktora na osnovu sprovedenih dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda na teritoriji Grada Beograda u toku 2016. godine. U 2016. godini, u policijskoj upravi Beograd, dubinski je analizirana 91 saobraćajna nezgoda sa poginulim licem, osim nezgoda na prolasku državnog puta A 1 kroz Beograd, i za svaku nezgodu definisani su uticajni faktori. Ostale saobraćajne nezgode (sa povređenim licima i materijalnom štetom) nisu bile predmet ovih dubinskih analiza. Od ukupnog broja analiziranih nezgoda nešto manje od polovine nezgoda se dogodio na prolascima državnih puteva kroz Beograd, a nešto više od polovine na gradskim putevima i ulicama. Na osnovu prepoznatih uticajnih faktora, izvršeno je objedinjavanje faktora po modelu PIARCa (Slika 1) i utvrđeno je da se faktor čovek, kao uticajni faktor nastanka saobraćajnih nezgoda pojavljuje kod 65% nezgoda. Put kao uticajni faktor kod 31,5% istraživanih nezgoda, (3,4% uzrok i 28,1% doprinos) i faktor vozilo kod 6,6% nezgoda (Marković et al. 2017). S obzirom da se značajan broj nezgoda događa kao posledica međuticaja većeg broja faktora, kod tih nezgoda nije moguće jednoznačno definisati određeni uticajni faktor i takve nezgode su posmatrane kao posledica kombinacije većeg broja uticajnih faktora.

2.1. Uticajni faktori puta na nastanak nezgoda i posledica

2.1.1. Pregled najbolje prakse

Pojedini stručnjaci su analizirali i pratili uticaj pojedinih karakteristika puta na saobraćajne nezgode (Aidoo et al., 2013), potom uticaj puta i putne okoline na nastanak nezgode (Gitelman et al., 2012), karakteristike lokacije saobraćajnih nezgoda na težinu posledica (Yanyong et al., 2019), uticaj horizontalne signalizacije na nastanak nezgoda) i sl. Složenost i specifičnost uticajnih faktora na nastanak saobraćajne nezgode dokazali su i Odenheimer et al. (1994), definišući indeks uticaja puta na nastanak saobraćajne nezgode. Uticaj signalizacije i opreme u vezi brzine na mestima prelaska pešaka, su kroz simulacioni model istraživali Bella and Silvestri (2015) i utvrdili da uklanjanje objekata pored puta, zabrana parkiranja i smanjenje širine kolovoza daju najbolje efekte na povećanje bezbednosti pešaka. Dommès et al. (2015) su se bavili utvrđivanjem uticaja puta i okoline na odluke pešaka da pređu kolovoz kada im je uključen crveni signal semafora i utvrdili su da postoji značajan uticaj, pri čemu su izdvojili vidljivost i preglednost na raskrsnici, dužinu pešačkog prelaza (širinu kolovoza) i postojanje pešačkih ostrva kao najčešće uticajne faktore puta. U Republici Srbiji, među prvima koji su ukazali na značaj dubinskih analiza i sagledali najbolju postojeću praksu bili su Pesic et al. (2014) i Marković et al. (2015b). Marković et al. (2015a), gde su posebno ukazali na značaj vršenja dubinskih analiza za pravilno utvrđivanje i definisanje uticaja puta na nastanak i posledice saobraćajnih nezgoda i definisali i dominantne uticajne faktore nastanka saobraćajnih nezgoda na teritoriji grada Beograda (Marković et al. 2018).

2.1.2. Definisavanje uticajnih faktora puta na saobraćajne nezgode

Imajući u vidu da je teritorija Grada Beograda sastavljena iz urbanih i ruralnih sredina, to se na osnovu dubinskih analiza prepoznala bitna razlika u zastupljenosti uticaja faktora put kod urbanih i ruralnih delova mreže. Dok se uticaj puta kod nezgoda u urbanim delovima mreže prepoznao u 31,5% nezgoda, u ruralnim oblastima taj uticaj je do 60% nezgoda. Među uticajima puta najčešće je prepoznat problem u vezi sa vođenjem

tokova ranjivih učesnika i motornog saobraćaja u zonama konflikata (25% nezgoda), zatim problem geometrije saobraćajnica (20%), stanja kolovoza (15%), nedostatka saobraćajne signalizacije (15%), geometrije trase-vođenja trase (15%), odvodnjavanja kolovoza (7%) i ostalo (3%). Kada je reč o uticaju puta na posledice, tada je najzastupljenije postojanje ne zaštićenih čvrstih, pasivno nebezbednih objekata u blizini kolovoza (75%), nebezbedne zaštitne ograde (15%), stanje kolovoza (5%), kao i opreme i okolina puta (5%). Specifični uslovi saobraćaja na različite načine imaju za posledicu nastanak navedenih uticaja, te nije moguće navesti sve primere, pa su u radu izdvojeni najkarakterističniji slučajevi sa teritorije Grada Beograda, a koji se odnose na navedene faktore.

2.1.2.1. – Nebezbedne zone konflikata vozila i ranjivih učesnika u saobraćaju

Izgradnja novih i posebno brzih saobraćajnica u sklopu već postojeće putne mreže, često za posledicu ima prekidanje i fizičko razdvajanje već postojećih prirodnih tokova. U ovakvim slučajevima kao posebno specifičan problem javlja se problem bezbednosti ranjivih učesnika u saobraćaju. Kako su ranjivi učesnici u saobraćaju zbog svojih karakteristika (potreban mali prostor) veoma specifični, jer lako mogu samovoljno birati putanju kretanja, izuzetno je zahtevno adekvatno kanalisanje i onemogućavanje zadovoljenja njihovih potreba na proizvoljan način (najkraćim i najbržim putem). Imajući to u vidu pri fizičkom prekidanju prirodnih tokova ranjivih učesnika u saobraćaju, oni i dalje teže da se kreću na već ustaljen način, a što ih često dovodi u konfliktne situacije sa tokovima vozila. S druge strane ranjivi učesnici u saobraćaju, teže zadovoljenju svojih potreba najkraćim putanjama, o čemu se mora posebno voditi računa prilikom projektovanja trasa namenjenih kretanju pešaka. Kada nije ispunjen najmanje jedan od navedenih uslova neophodno je preduzeti posebne mere uređenja zona konflikata sa vozilima, a u cilju sprečavanja nebezbednog kretanja pešaka.

U praksi, izgradnjom saobraćajnica i uređenjem saobraćajnice smatra se da je uspostavljen bezbedan režim saobraćaja, a što u praksi najčešće za posledicu ima nastanak novih problema u saobraćaju, koji ranije nisu postojali, a koji mogu za posledicu imati saobraćajne nezgode. Da je ovo čest slučaj u praksi, pokazuje jedna od lokacija na kojoj su prekinuti prirodni tokovi pešaka, a na kojoj se dogodio veći broj nezgoda, i to posebno veći broj nezgoda sa smrtnim posledicama. Jedna od dubinski analiziranih saobraćajnih nezgoda, direktna je posledica izostanka adekvatnog vođenja tokova pešaka preko jedne od značajnijih saobraćajnica u Gradu Beogradu. Naime, nezgoda se dogodila u noćnim uslovima, na mestu gde je bila uključena rasveta, i to na način da je pešak prešavši jednu kolovoznu taku (tri saobraćajne trake) i denivelisano razdelno ostrvo, stupio na drugu kolovoznu traku, nakon čega je došlo do čeonog sudara sa vozilom koje se kretalo tom kolovoznom trakom i to njenom levom saobraćajnom trakom.



Slike 2 i 3. – Nebezbedan konflikt sa pešacima

Kao što se može videti sa fotografija, situacija koja odgovara okolnostima nastanka saobraćajne nezgode nije usamljena, već je veoma česta na ovom mestu. Na ovu činjenicu jasno ukazuju utabane široke staze, koje povezuju ulicu koja vodi ka većoj grupi objekata atrakcije (okretnica javnog prevoza, pijaca i sl.) i jednog dela naselja. Pešaci na konkretnoj lokaciji nisu primorani na ovakav način prelaska preko kolovoza, jer na rastojanju manjem od 50 m postoji obeleženi pešački prelaz regulisan semaforima, ali koji se ne nalazi na pravcu prirodnih tokova pešaka. Ovakav način vođenja tokova pešaka značajno produžava put pešaka potreban za prelazak preko kolovoza, sa dodatnim vremenskim zadržavanjem na semaforu do dozvoljenog prelaza, a što sve destimuliše pešake da se kreću na projektovani način. U ovakvim situacijama najnebezbedniji način je ne preduzimanje preventivnih mera i prepuštanje stihijskom rešavanju problema, odnosno volji ranjivih učesnika u saobraćaju da izaberu da se kreću na propisan način, a što samo po sebi indukuje učestala nepropisna ponašanja. Izostankom trajnog rešavanja ovog problema, prinudnim usmeravanjem tokova pešaka na

ANALIZA UTICAJA PUTA NA NASTANAK SAOBRAĆAJNE NEZGODE PRIMENOM DUBINSKIH ANALIZA – STUDIJA SLUČAJA ZA GRAD BEOGRAD

označeni pešački prelaz, regulisan semaforima, odnosno promenom lokacije semafora za pešake ili preduzimanjem nekog boljeg rešenja, indukuju se veoma česti i opasni konflikti ranjivih učesnika u saobraćaju i vozila na ovom mestu.

Osim prekidanja već ustaljenih (najkraćih) tokova ranjivih učesnika u saobraćaju i lociranje saobraćajnih objekata namenjenih ranjivim učesnicima u saobraćaju, može imati za posledicu nastanak opasnih situacija i saobraćajnih nezgoda. Da objekti atrakcije mogu imati uticaja na nastanak nezgoda i težinu posledica ukazuje jedna od lokacija u Beogradu, na kojoj su se u posmatranom jednogodišnjem period dogodile dve saobraćajne nezgode sa poginulim licima. Obe nezgode sa poginulim licima su se dogodile na gotovo identičan način, u dnevnim uslovima, bez posebnih ograničenja u preglednosti. U obe nezgode, pešaci su prelazili desnu kolovoznu traku (dve saobraćajne trake) sa ciljem dolaska do stanica javnog prevoza putnika (stanica tramvaja), koje se nalaze na razdelnom denivelisanom pojasu, namenjenom kretanju tramvaja. U zoni tramvajskih stajališta postoji označeni pešački prelaz, regulisan semaforima, ali čija se lokacija ne nalazi na prirodnim putanjama pešaka, ali je pravilno lociran između dva stajališta. U zoni tramvajskih stajališta postoji ograda, koja odvaja putnike (pešake) od kolovoza i delimično usmerava pešake u zoni stajališta na podužno kretanje. Ova postojeća ograda ne kanališe tokove pešaka do označenog pešačkog prelaza, a što im omogućava proizvoljno i slobodno kretanje preko kolovoza u široj zoni stajališta. Međusobnom lokacijom objekata atrakcije (stajališta i pešačkog prelaza) i ne obezbeđivanjem kontinualnog vođenja pešaka iniciran je potencijalni konflikt ranjivih učesnika u saobraćaju i vozila, a što se pokazalo kao nebezbedno rešenje, na ovoj lokaciji. Uočeni uticaj faktora put iz analiziranih saobraćajnih nezgoda može poslužiti i za ozbiljnije preispitivanje postojećih pravila i normi u projektovanju i njihovo unapređenje, kako bi se definisao minimum zahteva koji se moraju ispoštovati pri lociranju pešačkih prelaza. Naime, na ovoj lokaciji pokazalo se da samo dosledno poštovanje pravila projektovanja nema za posledicu i stvaranje bezbednih uslova saobraćaja, jer nije usklađeno sa potrebama svih učesnika u saobraćaju, pa se javlja potreba za preispitivanjem i ostalih neophodnih uslova bezbednosti saobraćaja.



Slike 4 i 5. – Lokacija objekata atrakcije u odnosu na ponašanje pešaka

Osim konflikata ranjivih učesnika u saobraćaju i vozila prilikom prelaska preko kolovoza, veoma česta situacija, u praksi, je i ne postojanje kontinualnog podužnog vođenja tokova pešaka do mesta atrakcije. Ovo je posebno čest slučaj na perifernim delovima mreže, gde postoji delimično vođenje tokova pešaka, koje se na pojedinim mestima prekida ili ne postoji. Poseban slučaj ovakvih mesta su i stajališta javnog prevoza putnika na perifernom delu mreže, gde osim izgrađenog stajališta ili samo obeleženog stajališta nema druge infrastrukture namenjene bezbednom kretanju pešaka. Naime, u ovakvim okolnostima, putnik (pešak) nakon izlaska iz vozila javnog prevoza nema definisane koridore kojima bi se kretao, već dalje kretanje vrši proizvoljno. Slobodan izbor načina daljeg kretanja je posebno nebezbedan kada se pojavi veći broj pešaka, koji po pravilu istovremeno vrše kretanje, pa zauzimaju veću površinu kolovoza. Takođe, posebno nebezbedna situacija je kada bankina ili prostor uz ivicu kolovoza nije podoban za kretanje pešaka, pa su pešaci primorani na kretanje površinom kolovoza. Veoma često se kod ovakvih lokacija dodatno nalaze i različiti objekti atrakcije i to, po pravilu, sa suprotne strane kolovoza, što osim podužnog kretanja indukuje i stohastične prelaske pešaka preko kolovoza.



Slike 6 i 7. – Stajalište javnog prevoza i stanje bankine pored puta

U ovakvim situacijama deo pešaka se odluči na kretanje duž kolovoza uz desnu ivicu kolovoza, deo na prelazak preko kolovoza i kretanje levom ivicom kolovoza, a što dodatno smanjuje bezbednost jer postoji veći broj različitih tipova potencijalnih konflikata na jednom mestu i to sa obe strane kolovoza. U oba navedena slučaja ne postoje bezbedni uslovi za dalje kretanje pešaka, a prelazak preko kolovoza je takođe izuzetno nebezbedan jer nema obeleženog pešačkog prelaza, a brzine su velike. Kako je ovaj slučaj značajno zastupljen na perifernim delovima mreže to je i struktura saobraćajnog toka izuzetno nehomogena. Veoma često su ovakve lokacije na opterećenim saobraćajnicama, kojima se kreću u značajnoj meri i teška teretna vozila većih gabarita, što sve čini dodatno nebezbednim ovakvo kretanje ranjivih učesnika u saobraćaju uz ivice kolovoza.

U jednoj od dubinski analiziranih saobraćajnih nezgoda pešak je nakon izlaska iz vozila javnog prevoza, nastavio kretanje duž desne ivice kolovoza, kako bi u visini objekta atrakcije započeo prelazak preko kolovoza. Bankina sa desne strane kolovoza, u zoni mesta nezgode, je obrasla travom i nije podobna za kretanje pešaka, takođe, površina nije ravna i postoje tragovi zadržavanja vode, što sve čini bankinu nepodobnom za kretanje pešaka. Takođe, na delu puta između stajališta i pomenutog objekta atrakcije nalazi se i zaštitna ograda, koja dodatno primorava pešake, koji se kreću ivicom kolovoza, da se pomere ulevo ka sredini kolovoza, što stvara opasne situacije u saobraćaju. Vozilo koje se kretalo u istom smeru kao i pešak, desnim prednjim delom je sustiglo i udarilo pešaka. Ukoliko bi u zoni mesta nezgode bankine bile uređene i omogućavale bezbedno kretanje pešaka ili pak bilo uređeno vođenje tokova pešaka na drugi bezbedan način, tada bi pešaci imali mogućnost da se kreću tim površinama, pa bi bili izbegnuti potencijalni konflikti sa vozilima.



Slike 8 i 9. – Izgled puta u ruralnom delu mreže

Osim problema ne postojanja adekvatnog vođenja tokova pešaka na pojedinim mikrolokacijama objekata atrakcija, za gotovo sve ruralne delove Grada Beograda, karakteristična je situacija potpunog ne postojanje vođenja tokova pešaka celim naseljima. Karakteristika ovih delova mreže je da intenzitet saobraćaja nije veliki, pa se usled toga pešaci kreću, veoma često, površinom kolovoza i to bez posebnog obraćanja pažnje na bezbedno učestvovanje u saobraćaju. Osim, ne postojanja uređenih površina namenjenih kretanju pešaka, okolinu puta najčešće karakteriše izostanak homogenosti u pogledu širine, nagiba, stanja i drugih karakteristika površina pored puta, a što onemogućava kontinualno kretanje pešaka površinama van kolovoza. Ne postojanje homogenosti u uređivanju

ANALIZA UTICAJA PUTA NA NASTANAK SAOBRAĆAJNE NEZGODE PRIMENOM DUBINSKIH ANALIZA – STUDIJA SLUČAJA ZA GRAD BEOGRAD

površina pored kolovoza, takođe omogućava i postojanje drugih nehomogenosti u pogledu ometanja preglednosti, vidljivosti i drugim ometanjima koja mogu imati uticaja na bezbednost ranjivih učesnika u saobraćaju, od strane različitih pojedinaca.

Ovakve lokacije pored nebezbednih uslova saobraćaja najčešće prati i nizak nivo svesti ranjivih učesnika u saobraćaju o neophodnom bezbednom ponašanju. Ovom u prilog ide i nizak obim saobraćaja i nehomogen saobraćajni tok, a što sve zajedno dodatno utiče na nebezbedno i ležerno ponašanje ranjivih učesnika u saobraćaju i stvaranje konflikata. Ranjivi učesnici nemaju dovoljno znanja i svesti u vezi opasnosti kretanja po kolovozu, kao i tehničkim mogućnostima vozača, da izbegnu stvorenu opasnu situaciju u saobraćaju, a što sve čini dodatno opasnim ove lokacije. Ranjivi učesnici očekuju da će im vozači uvek ustupiti prvenstvo, kao i da je to njihova dužnost, ne mareći da li postoje tehničke mogućnosti da vozač to učini u svakoj konkretnoj situaciji. Takođe, na ovim lokacijama zbog malog obima saobraćaja česta su nepoštovanja ograničene brzine, što takođe ima uticaja na nastanak opasnih situacija. Na ovim lokacijama najčešće nema dodatnog regulisanja saobraćaja, kako bi se vozači upozorili na moguću pojavu pešaka na kolovozu, a ambijent puta im ne ukazuje na potrebu za dodatnom pažnjom, što ovakve deonice puta čini izuzetno nebezbednim.

Analizirana saobraćajna nezgoda dogodila se u noćnim uslovima vidljivosti, na delu kolovoza koji je mestimično osvetljen, jer ne rade sve sijalice, i to u blizini stuba na kome sijalica nije radila. Osim javne rasvete u zoni mesta sudara postoje drugi, različiti izvori svetlosti, različiti po intenzitetu i usmerenosti svetla, među kojim postoje i oni koji su usmereni ka kolovozu i smanjuju vidljivost. Osim činjenice da pored kolovoza ne postoje površine podobne za kretanje pešaka, duž kolovoza na pojedinim mestima postoje površine koje su prekrivene vodom, koje onemogućavaju kretanje pešaka uz ivicu kolovoza i kontinualno kretanje bez promene pravca. U opisanim okolnostima pešak se kretao desnom ivicom kolovoza, gde nailazi na površinu kolovoza prekrivenu vodom i preduzima promenu pravca kretanja pomeranjem ulevo. Tada dolazi do sustizanja pešaka od strane vozila i udara prednjeg desnog dela vozila u pešaka. Osim činjenice da na mestu sudara nije radila sijalica, ostali prisutni različiti izvori svetlosti, usmereni ka kolovozu, dodatno su onemogućili vozača da ranije uoči pešaka na kolovozu, a posebno promenu pravca kretanja pešaka, uslovljenu postojanjem vode na površini kolovoza. Ne postojanje površina podobnih za kretanje pešaka uz prisustvo različitih ometanja kretanja i vidljivosti, kao i ne postojanje adekvatnog sistema odvodnjavanja kolovoza, imali su za posledicu nastanak ove saobraćajne nezgode.

2.1.2.2. – Nebezbedno vođenje saobraćajnih tokova – problemi geometrije saobraćajnica

Kao što je već navedeno, osim zona konflikata, među najčešće prepoznatim uticajnim faktorima puta, dubinskim analizama prepoznati su i problemi geometrije saobraćajnica, vođenja saobraćajnih tokova (trase puta), nagiba kolovoza i stanja površine puta. Rezultati dubinskih analiza pokazali su da se pomenuti problemi, najčešće u praksi, kombinuju i veoma je radak slučaj da se ne pojavljuju zajedno. Naime, nebezbedna trasa puta, najčešće zbog terenskih ograničenja zahteva i minimalne prihvatljive karakteristike trase, što sve ima uticaja na brže habanje kolovoza, pa samim tim i na pojavu više uticajnih faktora nastanka nezgoda na tom mestu.

Vođenje trase kroz više uzastopnih horizontalnih krivina predstavlja izuzetno zahtevno vođenje trase, koje osim poštovanja propisanih standarda pri projektovanju mora da zadovolji i zahteve korisnika za bezbednom vožnjom. Ovo često u praksi nije slučaj, pogotovo kada je reč o deonicama gde se realizuju veće brzine učesnika u saobraćaju. Kombinacija uzastopnih krivina većeg radijusa, najčešće ne prate posebna ograničenja brzine, već važi opšte ograničenje brzine, pa su česte pojave da vozači voze brzinama bliskim graničnim za konkretne geometrijske uslove trase. Ova za posledicu najčešće ima prelazak preko razdelne linije na suprotnu saobraćajnu traku u cilju prolaska kroz krivinu, a što zbog ograničene preglednosti u krivinama, često dovodi do opasnih situacija i saobraćajnih nezgoda. Osim ograničene preglednosti radijusima horizontalnih krivina, veoma često preglednost biva dodatno ograničena i vertikalnim krivinama i prevojima, što je takođe posledica uklapanja trase u prirodnu sredinu. U ovakvim situacijama, kao posebno opasna, izdvaja se situacija u kojoj se kombinuju horizontalne i vertikalne krivine i to u zoni prevoja, što za posledicu može imati stvaranje lažne slike o stvarnom pružanju puta i poziciji vozila koje dolazi u susret. Ovo za posledicu može imati preduzimanje reagovanja i skretanja vozača i nastanak nezgode. Na ovakvim lokacijama vozač može pogrešno percepirati da se vozilo koje mu dolazi u susret kreće njegovom saobraćajnom trakom, zbog smicanja ose puta, a što može stvoriti opasnu situaciju u kojoj vozač preduzima nepotrebno reagovanje, koje za posledicu ima nastanak nezgode.



Slike 10 i 11. – Kombinacija horizontalnih i vertikalnih krivina

Ovakve kombinacije krivina često prate i nepravilni poprečni nagibi kolovoza ili kombinacije nagiba, koje smanjuju graničnu brzinu za bezbedan prolazak vozila kroz krivine. Među najopasnijim kombinacijama sa aspekta bezbednosti saobraćaja izdvaja se situacija kada se na vrhu prevoja nalazi deo kolovoza bez poprečnog nagiba, a delovi kolovoza sa obe strane prevoja su različito usmereni. Ova situacija obezbeđuje najmanje prijanjanje što može dovesti do iznenadne promene graničnih uslova kretanja vozila, koje vozač ne mora da predvidi, te gubitka upravljivosti i nastanka saobraćajne nezgode.

Vizuelno vođenje trase je jedan od veoma čestih problema koji uzrokuju nastanak saobraćajne nezgode. Nasuprot prethodnoj situaciji u kojoj je preglednost ograničena zbog radijusa i okolnog terena, veoma često se u situacijama kada nema ograničene preglednosti, pojavljuje problem nedovoljno jasno vođene trase puta. Naime, pojedine delove Grada Beograda karakteriše vođenje trase na način da se posle dužih pravaca nalaze oštre krivine manjeg radijusa, a u čijem se temenu po pravilu priključuje još neki put, čineći trokake ili višekrake raskrsnice. Ovo je posebno karakteristično na delovima puta van naselja, odnosno na ulascima u naselje, što omogućava kretanje brzinama znatno većim od bezbednih za konkretne lokacije. Postojanje bočnog kraka u blizini temena krivine, vozaču koji se približava, daje utisak da se put pruža približno u pravcu ili da je put u krivini velikog radijusa. Sve ovo kod vozača ne stvara utisak da je neophodno da značajnije koriguje prethodni način kretanja, odnosno smanji brzinu. Ovo se posebno ispoljava u noćnim uslovima i uslovima smanjene vidljivosti, jer vozač pretežno prepoznaje vizuru puta, pa zbog toga i postojanja bočnog kraka doživljava kao da se put pruža na drugi način, te lakše dolazi u zabunu u vezi pružanja trase puta. Kada vozač nedvosmisleno shvati način pružanja puta, tada u glavnom već bude kasno za značajnije korigovanje načina kretanja pa dolazi do silaska vozila sa kolovoza i saobraćajnih nezgoda. Takođe, čest je slučaj da se zbog uklapanja puta u teren neposredno ispred ili duž horizontalne krivine nalazi blaga vertikalna krivina, koja takođe dodatno onemogućava vozače da dobro sagledaju pružanje trase puta, a što sve ima uticaja na nastanak nezgode, uslovljenih neblagovremenim sagledavanjem trase puta.



Slike 12 i 13. – Horizontalna krivina sa raskrsnicom u temenu

Dubinski analizirana saobraćajna nezgoda koje se dogodila u opisanim uslovima dogodila se pri noćnoj vidljivosti, gde je vozač lice koja ne poznaje mesto nezgode i kreće se brzinom znatno većom od ograničene. Na mestu nezgode postoje table za usmeravanje, kao što se vidi na fotografijama, ali se one mogu uočiti samo sa manjeg rastojanja i ne omogućavaju blagovremeno uočavanje nailaska na krivinu. Na mestu nezgode nema saobraćajne signalizacije koja ranije najavljuje postojanje raskrsnice u visini horizontalne krivine, što takođe dodatno utiče na pogrešno sagledavanje pružanja trase puta.

ANALIZA UTICAJA PUTA NA NASTANAK SAOBRAĆAJNE NEZGODE PRIMENOM DUBINSKIH ANALIZA – STUDIJA SLUČAJA ZA GRAD BEOGRAD



Slike 14 i 15. – Put u krivini bez proširenja kolovoza

Više uzastopnih krivina manjeg radijusa takođe mogu imati uticaja na bezbedno mimoilaženje vozila u situacijama kada ne postoji proširivanje kolovoza u zoni temena krivina. Ovo se posebno pojavljuje kao značajan problem kod nehomogenog saobraćajnog toka i značajne zastupljenosti dužih vozila (autobusa i sl.), gde je gotovo nemoguć prolazak kroz krivinu bez delimičnog prelaska na suprotnu saobraćajnu traku. Kada se ovi uslovi saobraćaja pojave na delu kolovoza koji je sa izraženim podužnim nagibom, takođe dodatno čini nebezbednim saobraćajne uslove. U ovakvim okolnostima, vozila koja se kreću uz nagib zbog veličine uspona, kreću se brzinama bliskim graničnim za date uslove, što samim tim povećava verovatnoću da će doći do prelaska vozila na suprotnu saobraćajnu traku. Takođe, promena poprečnog nagiba kolovoza duž uspona, na prelasku iz jedne u drugu, različito usmerenu horizontalnu krivinu dodatno omogućava lakši prelazak vozila u suprotnu saobraćajnu traku. Naime, zbog promene usmerenosti horizontalnih krivina u zoni prelaza, smanjuje se dejstvo centrifugalne sile, što zajedno sa ostalim uticajnim faktorima omogućava prelazak na suprotnu saobraćajnu traku i nastanak saobraćajne nezgode.

Uklapanje trase puta u teren u pojedinim brdskim delovima Grada Beograda predstavlja izuzetno složen zadatak, koji često nije realizovan na bezbedan način, što u ovim delovima grada uzrokuje nastanak saobraćajnih nezgoda. Ograničena širina putnog pojasa i postojanje privatnih objekata, kao i drugih objekata trajnog karaktera, zahteva da se put prilagođava tim uslovima. Ovo često omogućava realizovanje isključivo minimalnih propisanih elemenata trase, a što najčešće ne prati saobraćajna signalizacija i ostala oprema puta, pa se stvaraju nebezbedni uslovi saobraćaja.

Analizirana saobraćajna nezgoda dogodila se na delu trase gde postoji izuzetno veliki podužni nagib kolovoza, a koji nije konstantan, već duž trase postoji veći broj manjih prevoja. Trasa puta ne pruža se u pravcu, već je promenljivo usmerena, sa različitim kombinacijama horizontalnih krivina i pravaca, što dodatno otežava sagledavanje trase puta. Na jednom delu tako opisane trase puta, put se pruž ispod nadvožnjaka, čiji se jedan stub nalazi u pravcu ose puta. Nezgoda se dogodila u noćnim uslovima gde je nakon mimoilaženja sa drugim vozilom došlo do udara vozila u pešaka i stub nadvožnjaka. Nemogućnost blagovremenog uočavanja pešaka na kolovozu, kao ni pružanja puta, a uz prisustvo svetala vozila koje se kretalo u susret, uzrokovalo je udar vozila u pešaka na kolovozu i udar u stub nadvožnjaka. Nastanku ove konkretne saobraćajne nezgode, takođe doprinelo je i ranije opisano ne postojanje vođenja tokova pešaka, a što je uzrokovalo kretanje pešaka po kolovozu.



Slike 16 i 17. – Pružanje puta i položaj putnih objekata

2.1.2.3. – Nebezbedno okruženje puta

Faktor put u znatno većoj meri ima uticaja na posledice saobraćajnih nezgoda nego na sam nastanak, što se može pokazati brojnim primerima uvećanja posledica usled nepostojanja "opraštajućih" puteva na mreži puteva Grada Beograda. Nepostojanje sistemskog načina uređenja površina pored puta, bankina i drugih objekata pored puta ima za posledicu mogućnost pojave izuzetno različitih objekata pored puta, različitih pristupa, priključaka, ograda, kosina bankina, kanala propusta i drugih objekata, a koji imaju uticaja na povećanje posledica nezgoda, jer omogućavaju trenutno zaustavljanje vozila. Na ruralnom delu mreže izuzetno je izraženo postojanje nebezbednih pristupa kolovozu preko kanala, koji su neobezbeđeni od udara vozila. Takođe, za njima slede pristupi iz različitih privatnih objekata na kolovoz, koji često imaju pasivno nebezbedne elemente, koji omogućavaju trenutno zaustavljanje vozila. Na otvorenim deonicama puta, pogotovo u brdskim predelima izražena je pojava kanala sa strmim kosinama većih dubina, koji takođe trenutno zaustavljaju vozila pri udaru u kosinu kanala.



Slike 18 i 19. – Završetak zaštitne ograde

Među svim navedenim elementima puta, koji imaju uticaja na težinu posledica, na teritoriji Grada Beograda, kao i ostaloj mreži puteva u Republici Srbiji izdvajaju se zaštitne ograde, kao posebno nebezbedan element puta. Iako je uloga zaštitne ograde da smanji posledice nastale saobraćajne nezgode, usled neadekvatnog postavljanja ili izostanka redovnog održavanja, često mogu imati suprotnu ulogu i povećati posledice. U analiziranoj saobraćajnoj nezgodi, nakon gubitka upravljivosti vozila, došlo je do skretanja vozila ulevo i udara u završetak zaštitne ograde, sa suprotne strane kolovoza (leve). Imajući u vidu da se na teritoriji Grada Beograda i Republike Srbije završeci zaštitnih ograda i dalje izvode bez zakošenja i fiksiranja u tlo, kao i lučnog zakrivljenja od kolovoza, to predstavljaju pasivno nebezbedne prepreke pored puta. Završetak zaštitne ograde je, u konkretnom slučaju, probio motorni i putnički prostor i direktno udario u telo vozača, na koji način je došlo do smrti. Ukoliko bi završeci ograda bili izvođeni u skladu sa standardnom ISO (SRPS EN) 1317, odnosno na pasivno bezbedan način, u velikoj meri bi bile izbegnute ovakve posledice i samim tim smanjeni gubici u saobraćaju.

2. ZAKLJUČAK

Dubinska analiza saobraćajnih nezgoda ukazala je na najčešće i najznačajnije uticaje faktora put na teritoriji Grada Beograda, a koji su imali uticaja na saobraćajne nezgode koje su obuhvaćene sprovedenim analizama. Kao što je već predstavljeno, veliki broj karakteristika (performansi) trase ima uticaja na stvaranje opasnih situacija u saobraćaju, a što u značajnom broju slučajeva za posledicu ima nastanak saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima i velikom materijalnom štetom. Na osnovu uporedne analize okolnosti nastanka saobraćajnih nezgoda u kojima je put bio dominantan uticajni faktor, kao što je i prikazano u radu, neadekvatno vođenje tokova predstavlja jedan od najčešće prepoznatih uticaja puta. Ovo se odnosi kako na vođenje tokova ranjivih učesnika u saobraćaju (pešaka, biciklista i sl.), tako i na neadekvatno vođenje tokova vozila u specifičnim terenskim uslovima. Ovo u velikoj meri ukazuje da se i dalje pri projektovanju nedovoljno vodi računa o bezbednosti učesnika u saobraćaju, a još manje na moguće negativne posledice primenjenih rešenja. Dubinske analize prikazanih nezgoda ukazuju na potrebu razmatranja alternativnih rešenja i proveru primenljivosti postojećih standarda. Takođe, izvršene analize ukazale su na stvaranje opasnih situacija u saobraćaju i saobraćajnih nezgoda na mestima na kojima se vrši kombinovanje različitih elemenata trase puta, što svakako stvara i različite vozno-dinamičke karakteristike koje mogu dovesti do poremećaja u upravljivosti vozilom, destabilizacije, gubitka upravljivosti i nastanka nezgode.

ANALIZA UTICAJA PUTA NA NASTANAK SAOBRAĆAJNE NEZGODE PRIMENOM DUBINSKIH ANALIZA – STUDIJA SLUČAJA ZA GRAD BEOGRAD

Prikazom rezultata na konkretnim primerima, takođe skrenuta je pažnja na činjenicu da uticaj faktora put nije uvek jasno prepoznatljiv i svima jasan, jer se može lako podvesti pod greške učesnika nezgode. Imajući to u vidu neophodno je redovno i sistemsko sprovođenje dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda, kako bi se u potpunosti utvrdili svi stvarni uticajni faktori, pa i uticaj puta, te u skladu sa prepoznatim uticajima definisale i preduzele adekvatne mere. Vršenje dubinskih analiza sa posebnim osvrtom na analizu uticaja faktora put je značajno ne samo za utvrđivanje uticajnih faktora na nastanak saobraćajnih nezgoda na nekom području, već je značajno i za preduzimanje mera za otklanjanju uočenih nedostataka puta na celokupnoj mreži puteva.

Značaj dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda za preventivno delovanje je posebno važan upravljačima puta, jer na pouzdan način prepoznaje i definiše probleme na postojećoj mreži i može ukazati na nove potencijalne uticaje. Na ovaj način upravljači puta mogu unapred prepoznati opasne deonice ili mesta na kojima je neophodno preduzeti određene aktivnosti, u cilju povećanja nivoa bezbednosti saobraćaja i pre nastanka saobraćajnih nezgoda. Za upravljače puta sprovođenje dubinskih analiza može imati dvojaki značaj, prvo na konkretnom mestu gde se događaju saobraćajne nezgode analizira se uticaj puta, što za posledicu ima definisanje jasnih mera koje 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 prepozna druga potencijalno opasna mesta, na kojima se još uvek nisu dogodile saobraćajne nezgode, a koja karakteriše postojanje već prepoznatih uticajnih faktora nastanka saobraćajnih nezgoda i posledica. To im omogućava preventivno delovanje u cilju eliminisanja prepoznatih uticaja faktora put i preventivnog delovanja u cilju izbegavanja stvaranje potencijalno opasnih mesta i saobraćajnih nezgoda.

Imajući u vidu značaj prepoznatih uticajnih faktora za preventivno delovanje u bezbednosti saobraćaja, neophodno bi bilo, sistemski proširiti dubinske analize saobraćajnih nezgoda na što veći uzorak nezgoda. U nastavku se preporučuje primena dubinskih analiza i na nezgode sa teško telesno povređenim licima. Ovo bi omogućilo prepoznavanje većeg broja uticajnih faktora i kvalitetnije preventivno delovanje na otklanjanju nedostataka puta. Na ovaj način bi se smanjio uticaj puta na saobraćajne nezgode, a samim tim i uticaj na ponašanje vozača, a što sve zajedno bi rezultovalo manjim brojem nezgoda i troškova u saobraćaju.

Literatura

- [1] Aidoo EN, Amoh-Gyimah R, Ackaah W. The effect of road and environmental characteristics on pedestrian hit-and-run accidents in Ghana. *Accid. Anal. Prev.* 2013; 52: 23-27.
- [2] Baldock MRJ, Kloeden CN, McLean AJ. In-depth research into rural road crashes, Centre for Automotive Safety Research, The University of Adelaide; 2008. ISBN 978 1 920947 58 3.
- [3] Bella, F., Silvestri, M. 2015. Effects of safety measures on driver's speed behavior at pedestrian crossings. *accid anal prev.* 83,111-24.
- [4] Dommes A., M.-A. Granié, M.-S. Cloutier, C. Coquelet, F. Huguenin-Richard, Red light violations by adult pedestrians and other safety-related behaviors at signalized crosswalks, *Accident Analysis & Prevention*, Volume 80, 2015, Pages 67-75, ISSN 0001-4575, <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.04.002>.
- [5] Gitelman, V., Balasha, D., Carmel, R., Hendel, L., & Pesahov, F. (2012). Characterization of pedestrian accidents and an examination of infrastructure measures to improve pedestrian safety in Israel. *Accident Analysis & Prevention*, 44(1), 63-73.
- [6] Marković, N. Razvoj modela dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda zasnovanog na uticajnim faktorima, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet, 2020
- [7] Marković, N., Pešić, D., Antić, B., Lipovac, K. 2017. Utvrđivanje i definisanje uticajnih faktora nastanka i posledica saobraćajnih nezgoda primenom dubinske analize, 12. Međunarodna Konferencija „Bezbednost saobraćaja u lokalnoj zajednici“
- [8] Marković, N., Vujanić, M., Lipovac, K., Antić, B., Pešić, D. 2015. Metodologija dubinskih analiza saobraćajnih nezgoda, *Put i Saobraćaj* 61 (2), 51-58, 2015, ISSN 0478-9733
- [9] Marković, N., Vujanić, M., Lipovac, K., Antić, B., Pešić, D. 2015. Dubinske analize saobraćajnih nezgoda – savremeni pristup preventivnog delovanja u bezbednosti saobraćaja "Bezbednost saobraćaja u lokalnoj zajednici" Banja Luka
- [10] McLean AJ, Brewer ND, Sandow BL. Adelaide in-depth accident study 1975-1979. part 2 PEDESTRIAN ACCIDENTS. Road Accident Research Unit, The University of Adelaide; 1979. ISBN 0 908204 01 9.
- [11] Otte, D. The Accident Research Unit Hannover as Example for Importance and Benefit of Existing In Depth Investigations, SAE-Paper No. 940712, Proc. International SAE Congress, Detroit/USA, 1994

- [12] Odenheimer GL, Beaudet M, Jette AM, Albert M.S, Grande L, Minaker KL. Performancebased driving evaluation of the elderly driver: safety, reliability and validity. *Jouranl of Gerontology: Medical Sciences*. 1994; 49: 153-159.
- [13] Pesic, D., Vujanic, M., Lipovac, K., Antic, B., 2014. In-depth analyses of road accidents, state-oftheart and the possibilities for the implementation in the Republic of Serbia, Road Accidents prevention 2014, XII International Symposium
- [14] Robertson JS, Ryan GA, McLean AJ. Second report of the traffic accident research unit: some findings in the first 200 accidents, Traffic Accident Research Unit. 1964. Adelaide.
- [15] Wundersitz LN. An analysis of young drivers involved in crashes using in-depth crash investigation data, Report documentation, CASR101, Centre for Automotive Safety Research The University of Adelaide: 2012. ISBN 978 1 921645 39.
- [16] World Helth Organization (WHO) <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries> (16.03.2019.)
- [17] Yanyong Guo, Zhibin Li, Pan Liu, Yao Wu, Modeling correlation and heterogeneity in crash rates by collision types using full bayesian random parameters multivariate Tobit model, *Accident Analysis & Prevention*, Volume 128, 2019, Pages 164-174, ISSN 0001-4575, <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.04.013>.

ПРОВЕРА БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА НА ПУТЕВИМА СА ПОСЕБНИМ ОСВРТОМ НА ТУНЕЛЕ

Емир Смаиловић¹, Далибор Пешић¹, Крсто Липовац¹, Борис Антић¹, Јелица Давидовић¹,
Ненад Марковић¹

¹ Универзитет у Београду - Саобраћајни факултет

Резиме: Утицаји фактора човек на ризик настанка саобраћајних незгода заокупљују пажњу већине истраживача. Поред наведеног фактора, значајан утицај на ризик настанка незгоде има и пут. Када је у питању безбедност путева, посебан изазов јавља се на локацијама на којима се налазе путни објекти, као што су тунели, мостови и сл. Тунели представљају подземне или надземне путне објекте намењене за одвијање саобраћаја. Због своје конструкције и сложености одвијања саобраћаја у њима, захтеви по питању безбедног одвијања саобраћаја су значајно већи у односу на остале елементе путне инфраструктуре. За унапређење безбедности пута најчешће се користи алат провере безбедности саобраћаја (ПБС), којим се уочавају могући недостаци пута. Када су у питању тунели, поставља се питање начина вршења провере безбедности тунела. У овом раду су приказани захтеви тунела у погледу безбедности саобраћаја и аспекти могућих провера безбедности саобраћаја у тунелима.

Кључне речи: провера безбедности саобраћаја, тунел, постојећи путеви, објекти пута

ROAD SAFETY INSPECTION WITH SPECIAL ASPECTS OF TUNNELS

Емир Смаиловић¹, Далибор Пешић¹, Крсто Липовац¹, Борис Антић¹, Јелица Давидовић¹,
Ненад Марковић¹

¹ University of Belgrade – Faculty of Transport and Traffic Engineering

Abstract: The impact of the human factor on the risk of traffic accidents has preoccupied attention of many researchers. In addition to this factor, the road has a significant impact on the occurrence risk of an accident. When it comes to road safety, a particular challenge occurs in locations where road structures are located, such as tunnels, bridges, etc. The tunnels are underground structures that serve to move cars in road traffic. Due to their construction and complexity of traffic flow, the requirements for traffic safety in these objects are significantly higher than other roads. Road safety inspection (RSI) are most commonly used to improve road safety, which can identify possible road hazard. When it comes to tunnels, the question is how to implement road safety inspection of tunnels. This paper shows the requirements for traffic safety in tunnel and aspects of possible implement the road safety inspection in a tunnel.

Keywords: Road safety inspection, tunnel, existing roads, the object of roads.

1. УВОД

Мере унапређења безбедности саобраћаја и напредак у области безбедности саобраћаја подразумева анализу броја саобраћајних незгода, број погинулих и повређених лица у саобраћају. Ипак, апсолутни показатељи често нису довољни да би се разумео проблем безбедности саобраћаја, па се у области безбедности саобраћаја, разматрају различити утицаји пута на безбедност саобраћаја. Почетне анализе утицаја пута на безбедност саобраћаја спровођене су на основу основних карактеристика пута, као што су: просечна закривљеност трасе пута, коефицијент приањана, усмерености попречног нагиба коловоза у кривинама и слично. У даљем развоју, наведене основне карактеристике замењене су бројним индикаторима безбедности пута, који на различите начине утичу на безбедно одвијање саобраћаја.

Wegman, Aarts and Вах (2008) наводе пет принципа на којима би требало да се заснивају безбедни путеви. Први принцип подразумева да путеви морају бити хијерархијски структурирани (принцип функционалности). Друго, на путевима са већим брзинама кретања, коловози морају да буду физички раздвојени (принцип хомогености). Трећи принцип подразумева да пут буде предвидив за учеснике у саобраћају, што се постиже одговарајућим пројектним елементима пута (принцип предвидивости). Четврто, окружење пута треба да буде "праштајуће", што значи да када дође до настанка саобраћајне незгоде, последице незгоде буду мање (принцип "праштања"). Пети принцип се односи на свест учесника у саобраћају о познавању путне мреже и њиховој способности да одговоре захтевима возње. Данашњи приступи унапређења безбедности пута подразумевају примену и спровођење основних принципа безбедне путне инфраструктуре, посматране кроз аспекте свих учесника у саобраћају који имају право кретања на посматраном делу пута.

¹ Емир Смаиловић, e.smilovic@sf.bg.ac.rs.

Провера безбедности пута подразумева алат који се спроводи у свим фазама животног циклуса пута, од фазе планирања, преко пројектовања и изградње, до одржавања пута. Док је Директива ЕУ 2008/96 промовисала спровођење алата унапређења безбедности пута на трансевропској путној мрежи (ТЕН), Директива ЕУ 2019/1936, која представља измену претходне директиве, промовише примену алата унапређења путне инфраструктуре и на делове путне мреже који се укрштају са трансевропском мрежом. Дакле, постојећа регулатива у области безбедности путне инфраструктуре у Европи препоручује да се примена алата врши на свим путевима који припадају трансевропској путној мрежи и путевима који се укрштају са трансевропском мрежом.

Проверу безбедности путева потребно је вршити и на приступима паркиралиштима, дуж путне мреже на којој је потребно вршити проверу. Као аргументи за проширење подручја примене алата унапређења безбедности путне мреже наводи се повећан ризик од настанка незгода на делу путне мреже која се укршта са трансевропском мрежом.

Директива ЕУ 2019/1936 указује на потребу да се примењују алати унапређења безбедности пута на свим деоницама путне мреже, које се налазе ван урбаних насеља, а које се финансирају из фондова уније.

Провера безбедности саобраћаја у практичном смислу представља алат којим се унапређују карактеристике пута са аспекта безбедности саобраћаја, уважавајући захтеве за кретањем свих учесника у саобраћају који се могу кретати тим делом путне мреже. Карактеристике провере безбедности саобраћаја на постојећим путевима су:

- то је превентивни алат, који се састоји од редовних, систематских, теренских провера постојећих путева,
- провере безбедности саобраћаја обавља независни тимови стручњака за безбедност саобраћаја, са резултатом у облику формалног извештаја о откривеним, опасностима на путевима и проблемима у погледу безбедности,
- надлежни органи су обавезни да одговоре на извештај о провери безбедности саобраћаја.

Закон о путевима је дефинисао проверу безбедности саобраћаја као независну, формалну и систематску проверу елемената постојећег пута са аспекта безбедности саобраћаја. Управљач јавног пута мора да обезбеди периодичне и циљане провере безбедности. Периодичне провере безбедности саобраћаја се спровode на државним путевима I реда, најмање једном у периоду од пет година, док се циљане провере спровode на деоницама највећег ризика, према мапи ризика путева и улица.

Искуства досадашњих Провера безбедности саобраћаја указују да је однос користи и трошкова за постојеће путеве од 2:1 до 84:1 (Elazar et al, 2018), при чему само један „сачувани“ живот остварује корист која премашује укупне трошкове Провера безбедности саобраћаја.

2. САДРЖАЈ ПРОВЕРЕ БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА НА ПУТЕВИМА

Применом провере безбедности саобраћаја могуће је идентификовати елементе пута на којима се јефтним мерама може унапредити безбедност пута. Провера безбедности саобраћаја је широко прихваћена и успешно се реализује на државним путевима I реда у Републици Србији. Развијена је и методологија вршења провера безбедности пута,

Методологија реализације провере безбедности саобраћаја се састоји од најмање две фазе. У првој фази се истраживана деоница сними камером из возила, у оба смера кретања, како у дневним, тако и у ноћним условима. Након снимања деонице из возила, тим за Проверу безбедности саобраћаја врши обилазак деонице пешака, анализирајући и фотографишући уочене проблеме. Списак потенцијалних проблема се припрема током првог обиласка деонице. При другом обиласку предметне деонице, када тим пешачењем пролази деоницу, врше се и потребна мерења профила и евидентираних проблема на путу.

Не постоји меродавни дан за реализацију провере безбедности саобраћаја, већ је препорука да се провера врши у данима када су услови саобраћају уобичајени, што би одговарало радним данима.

Након прикупљања података о проблемима дуж истраживане деонице, започиње друга фаза реализације провере безбедности саобраћаја, у којој се детаљније разматрају сви појединачни проблеми, уз оцену ризика који тај проблем ствара на безбедно одвијање саобраћаја.

За већину уочених проблема потребно је дати препоруке како се поједини проблеми могу решити, односно смањити. Препоруке за унапређење безбедности саобраћаја се класификују у три групе (ургентне или краткорочне мере; средњорочне мере и дугорочне мере).

Сваки извештај провере безбедности саобраћаја садржи просторни приказ проблема, GPS локације уочених проблема, стационажу уочених проблема, кратак опис проблема, процењен ризик и препоруке за решење проблема.

Основно питање које се често поставља при реализацији провере безбедности саобраћаја јесте садржај провере. Сагледавајући последње препоруке реализације провере безбедности саобраћаја, приказаних у директиви ЕУ 2019/1936 из октобра 2019. године, могу се дефинисати оквирни елементи садржаја провере безбедности пута:

1) Хоризонтално и вертикално пружање трасе, где је потребно извршити анализу следећих елемената:

- видљивости и прегледности дуж деонице;
- ограничења брзине и зоне одговарајућих брзинских зона;
- предвидљивост пружања трасе;
- приступ приватним и комерцијалним објектима;
- приступ возила за хитне интервенције и возила за сервисирање;
- елементи везани за безбедност код мостова и пропуста;
- изглед подручја поред пута (нагиби подручја поред коловоза, усек, засек, насип).

2) Раскрснице и укрштања, где се разматрају следеће карактеристике:

- уочљивост раскрснице/петље;
- геометрија раскрснице /петље;
- видљивост и разумљивост (перцепција) раскрснице;
- прегледност на раскрсници;
- намена додатних трака на раскрсницама;
- регулисање саобраћаја на раскрсници (нпр. знаком за обавезно заустављање, семафорима итд.);
- постојање пешачких и бициклистичких прелаза.

3) Елементи за кретање рањивих учесника у саобраћају:

- постојање и функционалност елемената пута намењених пешацима;
- постојање и функционалност елемената пута намењених бициклистима;
- елементи пута намењених за кретање двоточкаша;
- јавни превоз и инфраструктура;
- железничко-путни прелази (уз посебну усмереност на безбедност прелаза).

4) Осветљење, хоризонтална и вертикална сигнализација:

- да ли саобраћајни знакови ограничавају прегледност;
- читљивост саобраћајних знакова (положај, величина, боја);
- постојање ознака на ивицама објеката и стубовима;
- усклађене путне ознаке и разграничење;
- читљивост путних ознака (положај, димензије и ретрорефлексија у сувим и влажним условима);
- примерени контраст хоризонталних ознака;
- осветљеност пута на потребним местима и раскрсницама;
- одговарајућа опрема пута

5) Светлосни сигнали:

- начин рада;
- уочљивост и видљивост.

6) Објекти и заштитни појас око пута, где се разматрају:

- околина пута, а посебно вегетација;
- опасности поред пута и удаљеност пешачке и бициклическе стазе;
- прилагођени заштитни елементи (острва, ограде за рањиве учеснике и сл.);
- завршни елементи заштитних ограда;
- пасивно безбедни елементи код пропуста и на мостовима;
- ограда путног појаса на путевима са ограниченим приступом.

7) Коловоз:

- недостаци коловоза;
- приањање коловоза;
- присуство расутих материјала (шљунак/камење);
- одводњавање, задржавање воде.

8) Мостови и тунели:

- постојање мостова и њихов број;
- постојање тунела и њихов број;
- визуелни елементи који представљају опасност за безбедно одвијање саобраћаја.

9) Остали елементи:

- безбедна паркиралишта и одморишта;
- садржај за теретна возила;
- елементи за спречавање заслепљивања;
- радови на путу;
- небезбедни објекти поред пута;
- информације о опреми интелигентних транспортних система (пример знакови са измењивим порукама);
- присуство дивљих и домаћих животиња;
- упозорења о зони школе (ако је примењиво).

3. ДОДАТНИ ЗАХТЕВИ ЗА БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА У ТУНЕЛИМА

Као што се може закључити из претходног поглавља препоруке Директиве која третира Проверу безбедности саобраћаја не разматра тунеле на посебан начин. Уобичајена процедура провере безбедности пута која садржи тунеле укључује основне елементе који се на визуелан начин могу сагледати као потенцијално опасни.

Због своје специфичности, тунели су објекти на путу који захтевају посебну методологију. Незгоде настале у тунелима могу имати теже последице, како за учеснике примарне незгоде, посебно за остале учеснике у саобраћају који наилазе на место примарне саобраћајне незгоде. Чак и једноставни инциденти, као што су заустављање возила у тунелу представља опасност за безбедно одвијање саобраћаја. Доласком до заустављеног возила, односно места саобраћајне незгоде учесници у саобраћају немају могућност благовременог уочавања препреке на путу, како због смањене видљивости, тако због геометрије и ограничене прегледности у тунелима.

У друмском саобраћају тунел ће испунити намену ако се уклопи у саобраћајну инфраструктуру, не ствара препреку, нити промену у начину кретања возила, а омогућава безбедно кретање возила од улаза до излаза без опасности, али уз појачано ограничење слободе бочног измицања.

Због различитости броја, намене и осталих карактеристика тунела, постизање минималних стандарда није једноставно. Сваки тунел има своје карактеристике у зависности од много фактора као што су географија, геологија, окружење, намена (друмски, железнички), једносмерни или двосмерни тунел,

проток, тип итд. Пројектни елементи постојећих тунела, као што је дужина прегледности, ширина берме и сл. не могу се битно мењати. Због тога је потребно приликом реализације провере безбедности саобраћаја сагледати опрему и постојеће услове, с циљем да се минимизирају опасности услед евентуалних неодговарајућег елемента ситуационог плана тунела.

Сагледавајући литературу у области безбедности тунела, може се закључити да постоји основни сет елемената које је неопходно да испуњавају тунели. Поред основних елемената које треба да испуњава пут, тунели садрже и додатни скуп услова, потребних за безбедно одвијање саобраћаја. У том смислу, препознају се неколико области које је потребно размотрити, поред осталих које се врше у проверама на отвореним путевима, и то:

- 1) Структура тунела;
- 2) Осветљење;
- 3) Вентилација;
- 4) Саобраћајна сигнализација у тунелима;
- 5) Станице за хитне случајеве;
- 6) Довод воде;
- 7) Системи за надзор;
- 8) Опрема у близини тунела;
- 9) Електричне инсталације;
- 10) Отпорност елемената од пожара;

У оквиру поглавља структуре тунела, потребно је размотрити нагиб коловоза унутар тунела, постојање излаза за хитне случајеве, постојање одвода за запаљиве и токсичне течности, отпорност структуре тунела на пожар и сл.

Три компоненте осветљења је потребно сагледати приликом вршења провере безбедности саобраћаја у тунелима, и то: функционалност стандардног осветљења, хитног осветљења и осветљења за евакуацију.

Аспект вентилације тунела укључује функционалност механичке вентилације код краћих тунела. Код тунела дужих од 3.000 m вентилација представља посебан изазов, због чега је потребно предузети посебне мере.

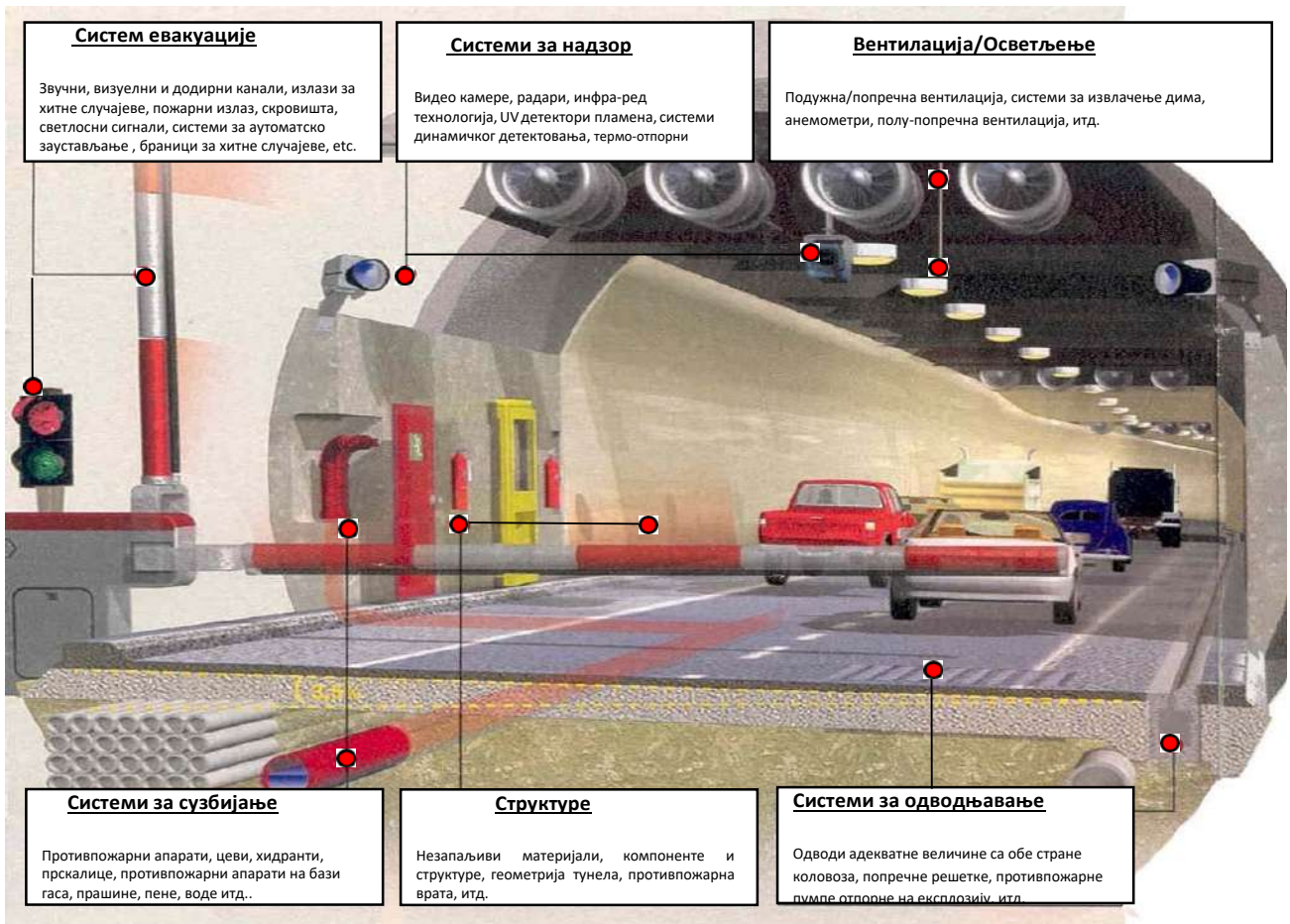
Провера саобраћајне сигнализације у тунелима приликом вршења провере безбедности саобраћаја, поред стандардних активности који важе и на осталом делу путне мреже, укључује проверу функционалности и постојање потребне светлосне сигнализације. Провера безбедности саобраћаја са аспекта саобраћајне сигнализације посебно је значајна на приласку тунелима, имајући у виду специфичности ових објеката.

Станице за хитне случајеве и довод воде представљају елементе који су неопходни за безбедно функционисање саобраћаја у тунелима, а који се морају налазити на растојању од 250 m за постојеће тунеле. На наведеним местима потребан је и телефон, као и противпожарна опрема.

Управљање саобраћајем у тунелима је посебно изазовно, због чега Контролни центар тунела мора бити опремљен системом видео надзора који омогућава аутоматско откривање инцидента и аутоматско откривање пожара.

Опрема у близини тунела треба да садржи одговарајуће сигнале пре улаза у тунел, светлосну сигнализацију на приласку тунелу, опрему за радио емитовање, опрему за хитне радио поруке за кориснике тунела, постојање звучника у склоништима и на излазима.

Изглед и распоред неких од наведених елемената у тунелима, чије постојање и функционалност је потребно проверити су приказани на слици 1.



Слика 1. Графички приказ неких од безбедносних система тунела (Khoury et al., 2008; WP5)

4. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА ПРОВЕРА БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА У ТУНЕЛИМА

У односу на процедуру вршења провере безбедности саобраћаја на осталом делу путне мреже, за реализацију провера безбедности саобраћаја у тунелима, потребно је применити додатне активности и процедуре, како би се на правилан начин сагледали сви аспекти значајни за безбедно одвијање саобраћаја.

Методологија вршења провере безбедности саобраћаја на путевима је усаглашена код већине истраживача у овој области. На основу искуства у вршењу провера безбедности саобраћаја на деоницама ван насеља, може се закључити да је поред обимнијих анализа, за проверу безбедности саобраћаја у тунелима потребно сачинити интердисциплинаран тим, који укључује стручњаке из различитих области, као што су инжењери електро инсталација, инжењери за аутоматизоване системе, стручњаци у области заштите од пожара и сл.

За реализацију провере безбедности саобраћаја у тунелима, поред захтева који постоје на отвореном делу пута, потребно је усмерити пажњу на опремљеност и функционисање различитих система, којима морају бити опремљени тунели.

Директива ЕУ која третира област провере безбедности саобраћаја (2019/1936) не укључује детаље вршења провере безбедности саобраћаја у тунелима. Због тога је потребно сагледати и препоруке које се наводе у Директиви 2004/54/ЕЗ о минималним безбедносним захтевима за тунеле у трансевропској путној мрежи.

Недостаци тунела, уочени приликом реализације провере безбедности саобраћаја у тунелу могу значајно допринети унапређењу безбедности саобраћаја на целокупној мрежи.

Иако се релативно мали број саобраћајних незгода догађа у тунелима, због своје специфичности и тежине самих незгода, тунели представљају локације повећане опасности, и потребне су посебне активности, како би се безбедно управљало таквим објектима. С обзиром на све већи број тунела на нашим путевима, потреба вршења провере безбедности саобраћаја у тунелима постаје све значајније питање. Узимајући претходно у обзир, дефинисање методологије и садржај извештаја о провери безбедности саобраћаја у тунелима постаје од изузетног значаја за стручну јавност. Из тих разлога, представљање предлога садржаја и начина вршења провере безбедности саобраћаја у тунелима, као и размена идеја и дилема, које би требало да буду основ за стручне дискусије и усаглашавања на стручним скуповима је од пресудног значаја, што је покушано да буде истакнуто овим радом јер је крајњи циљ безбедно функционисање саобраћаја и у тунелима.

У нашој земљи, потребно је започети процес провере безбедности саобраћаја у тунелима, уважавајући постојећа искуства и примере добре праксе. На основу прегледа литературе и сагледавања посебних области које је потребно реализовати, потребно је дефинисати садржај и опсег анализа је потребно спровести. Овај рад указује на посебне аспекте вршења провере безбедности саобраћаја у тунелима, који се разликују у односу на постојећу методологију вршења провере безбедности саобраћаја на отвореним путевима. Праћењем примера добре праксе реализованих провера безбедности саобраћаја у тунелима, може се успоставити одговарајућа методологија, која ће да одговори захтевима унапређења безбедности саобраћаја у тунелима.

Литература

1. Elazar, N., Toole, T., Bogumil, K. (2018), *Asset Management Strategy for Road-related Assets (Safety Infrastructure)*, Technical Report AP-T309-18, Austroads Ltd., Sydney NSW 2000 Australia, ISBN 978-1-925451-18-4.
2. Директива (ЕУ) 2019/1936 Европског Парламента и Већа, од 23. октобра 2019. године о измени Директиве 2008/96/EZ о управљању безбедношћу путне инфраструктуре.
3. Khoury, G. at al. *Workpackage 5 Evaluation of safety levels and upgrading of existing tunnels D50*. 5th Framework Programme of the European Commission, under contract G1RD-CT-2002-766. UPTUN stands for: "Cost effective sustainable and innovative UPgrading Methods for Fire Safety in existing TUNnels.
4. Закон о путевима (2018), Службени гласник Републике Србије бр. 41 од 31. маја
5. 2018.
6. World Road Association (PIARC) (2015). *ROAD SAFETY INSPECTION GUIDELINE For safety checks of existing roads Road accident investigation guidelines for road engineers*, ISBN 978-2-84060-321-4.
7. Wegman, F., Aarts, L. and Bax, C. (2008) *Advancing sustainable safety*, Safety Science. doi: 10.1016/j.ssci.2007.06.013.

UTICAJ DIZAJNA DIGITALNIH BILBORDA NA PERCEPCIJU VOZAČA: EKSPERIMENTALNA STUDIJA

Živković Filip¹, Čičević Svetlana², Trifunović Aleksandar³, Lazarević Dragan⁴

¹ Saobraćajni fakultet, fica.zivkovic@gmail.com

² Saobraćajni fakultet, s.cicevic@sf.bg.ac.rs

³ Saobraćajni fakultet, a.trifunovic@sf.bg.ac.rs

⁴ Saobraćajni fakultet, d.lazarevic@gmail.com

Rezime: Kompanije iz oblasti marketinga vešto koriste činjenicu da je sve veći broj vozila na ulicama i putem bilborda reklamiraju svoje proizvode ili usluge. Korišćenjem boja koje se lako percipiraju postižu primaran zadatak da privuku pažnju vozača na poruku ili informacije koje prenose bilbordi. Odvlačenje pažnje vozača predstavlja veliki problem sa aspekta bezbednosti saobraćaja. Iz navedenih razloga sprovedeno je eksperimentalno istraživanje, sa ciljem da se ispita kako vozači percipiraju različite boje i poruke na bilbordima. Za potrebe ovog istraživanja korišćen je simulator vožnje. Percepcija bilborda analizirana je za različite brzine kretanja vozila (50 km/h, 80 km/h i 130 km/h). Rezultati istraživanja pokazali su da postoje razlike u percepciji digitalnih bilborda u zavisnosti od brzine kretanja vozila, ali i od sadržaja i boja bilborda.

Ključne reči: Bilbordi, Percepcija, Dizajn, Simulator vožnje.

THE INFLUENCE OF DIGITAL BILLBOARD DESIGN ON DRIVER PERCEPTION: AN EXPERIMENTAL STUDY

Zivkovic Filip¹, Cicevic Svetlana², Trifunovic Aleksandar³, Lazarevic Dragan⁴

¹ Faculty of transport and traffic engineering, fica.zivkovic@gmail.com

² Faculty of transport and traffic engineering, s.cicevic@sf.bg.ac.rs

³ Faculty of transport and traffic engineering, a.trifunovic@sf.bg.ac.rs

⁴ Faculty of transport and traffic engineering, d.lazarevic@gmail.com

Abstract: Marketing companies skillfully use the fact that an increasing number of vehicles are on the streets and advertise their products or services through billboards. By using colors that are easily perceived, they achieve the primary task of drawing the driver's attention to the message or information conveyed by the billboards. Distraction of drivers is a big problem from the aspect of traffic safety. For these reasons, an experimental study was conducted, with the aim of examining how drivers perceive different colors and messages on billboards. A driving simulator was used for the purposes of this research. The perception of the billboard was analyzed for different vehicle speeds (50 km/h, 80 km/h and 130 km/h). The results of the research showed that there are differences in the perception of digital billboards depending on the speed of the vehicle, but also on the content and colors of the billboards.

Keywords: Billboards, Perception, Design, Driving Simulator.

1. UVOD

Definicija ometanja vozača, koju su 2005. predložili Pettitt et al., navodi da je ometanje vozača svako odlaganje prepoznavanja informacija koje su neophodne za bezbedno upravljanje vozilom; svaki događaj, aktivnost, objekat ili osoba u ili izvan vozila; sve što teži da odvuče pažnju vozača od primarnog zadatka vožnje. U svom pregledu, Decker et al. (2015.) se pozivaju na ovu definiciju i navode da ometanje nije samo nešto što može nastati unutar vozila, već i nešto što je izazvano aspektima okoline. Međutim, savremeno društvo, razvoj informacionih tehnologija, potreba i mogućnost reklamiranja i prenošenja poruke povećavaju broj oblika spoljnih ometača. Kao osnovno sredstvo prenošenja poruke na putevima je sve veći broj reklamnih bilborda, kao glavni element podrške, posredovanja i oblikovanja veze između stvarnog i „reklamnog“ sveta (Cicevic et al.).

Međutim, bilbordi, odnosno reklame pored puta, zbog svoje lokacije, veličine slova i boje koja se prikazuje, ostaju najčešći izbor kompanija koje se bave oglašavanjem kao važan faktor u privlačenju pažnje vozača koji

¹ Živković Filip: fica.zivkovic@gmail.com

prolaze (Crundall et al., 2006.). Ovde je važno uočiti da se pod terminom „bilbordi“ ne podrazumevaju samo oni koji su namenjeni prodaju proizvoda i usluga, već i oni čiji je zadatak da prenesu poruku široj populaciji. To mogu biti poruke koje se odnose na unapređenje ekološke svesti, poruke od opšteg interesa, poruke po pitanju bezbednosti saobraćaja i slično. Dakle, pod terminom „bilbord“ može se definisati svaki marketinški trik, čiji je zadatak da privuče pažnju posmatrača (Birdsall, 2008.; Crundall et al. 2006.).

Kako je reklamna industrija prepoznala lokaciju kao važan faktor privlačenja pažnje vozača motornih vozila, bilbordi se mogu naći unutra granica puta, na privatnom vlasništvu u neposrednoj blizini puta, ili pak mogu biti montirani na vozilima. I pored toga je moguće izvršiti podelu bilborda na aktivne (one koji prikazuju video reklamu) i pasivne, odnosno uobičajene bilborde gde se ne prikazuje više od jedne informacije (Decker et al., 2015.).

Vožnja je izrazito zahtevan zadatak koji traži punu pažnju vozača, i predstavlja jedan od specijalnih oblika gde se u jednom obavlja više zadataka u realnom vremenu (Gugerty, 2011.). Međutim, postoji sve veća zabrinutost da prisustvo reklamnih bilborda predstavlja rizik za bezbednost vozača (Young et al., 2009.). Međutim, kada je reč o uticaju koji bilbordi imaju na bezbednost saobraćaja, on zavise od situacije, ali ga nije moguće precizno izmeriti, međutim moguće je dokazati da bilbordi predstavljaju pretnju po pitanju bezbednosti saobraćaja (Wallace, 2003.).

Kroz svoj rad, Marciano i Setter (2017.) su izvršili grupisanje bilborda u odnosu na njihove karakteristike, kako bi prepoznali one koji su se mogu klasifikovati kao bezbedni. Oni su identifikovali tri grupe koje imaju najveći uticaj na performanse: „Opterećene“ bilborde (okarakterisani kao šareni, sa malom količinom grafičkih elemenata i velikim tekstom), „Grafičke“ bilborde (okarakterisani kao šareni, sa velikom količinom grafičkih elemenata i malo teksta), i „Minimalne“ bilborde (okarakterisane sa malo ili nimalo grafičkih elemenata, malo boje i teksta). Eksperiment od više zadataka je pokazao da „Opterećeni“ bilbordi najviše ometaju kontinuirane motorne komponente vozačkog ispita. Marciano i Setter navode da su „Grafički“ bilbordi ocenjeni kao „bezbedni“ ukoliko nisu locirani u blizini semafora, dok su „Minimalni“ bilbordi ocenjeni kao „bezbedni“ bez obzira na lokaciju. Međutim, navode i da sama grupa kojoj bilbordi pripadaju nije jedini uslov da budu ocenjeni kao „bezbedni“, njihov uticaj na bezbednost zavisi od veličine bilborda, blizine bilborda putu i njegove pozicije u odnosu na put, starosti i iskustva vozača.

U svom radu Bendak i Al-Saleh (2010.), navode da reklame pored puta mogu uticati na vozače: direktnim ometanjem ili njihovim zbunjivanjem tokom vožnje; indirektnim ometanjem vozača putem pomeranja; skretanjem očiju vozača, čime se produžava vreme reagovanja; ometanjem vidljivosti; predstavljanjem fizičke prepreke kretanju; preusmeravanjem pažnje sa važnih saobraćajnih znakova. Oni su putem svog eksperimenta simulacije zaključili da u prisustvu bilborda, vozači ostvaruju nepotrebno sporo kretanje u traci i da ostvaruju nesmotren prolaz kroz opasne raskrsnice (Bendak i Al-Saleh, 2010.). Putem anketnog upitnika prepoznali su da bilbordi u velikom broju ometaju vozače prilikom vožnje, čak i da doprinose pojavi opasnih situacija.

U svom eksperimentu simulacije, Edquist et al. (2011.) su testirali tri različite starosne grupe (18-25 godina (kategorija koja je prepoznata kao značajno najopasnija); 25-55 godina; 65+ godina) putem simulatora vožnje i zaključili su da prisustvo bilborda menja obrasce vizuelne pažnje vozača, dolazi do povećanja vremena koje je potrebno vozaču da odgovori na saobraćajni znak, a dolazi i do povećanja broj grešaka prilikom zadatka promene trake.

Stavrinos et al. (2016.) su u svom radu vršili eksperiment simulacije vožnje, u kome je učestvovalo 66 ispitanika koji su bili podeljeni u tri starosne kategorije (16-19 godina; 35-55 godina; 65+ godina). Kao zaključke svog rada, oni su izneli da tinejdžeri više vremena provedu gledajući u bilborde, naročiti kada su u pitanju pogledi koji traju duže od 0,7s i 2s (vremena koja su autori prepoznali kao opasna).

Putem eksperimenta prirodne vožnje, Young et al. (2017.) su pokazali da bilbordi nisu u velikoj meri uticali na strukturu svesti vozača. Naime, vozači su pažnju usmeravali ka bilbordima onda kada su saobraćajni zahtevi bili niske (npr. na auto-putu kada je saobraćaj bio umeren, u zonama sa nižim brzinama ili kada su bili zaustavljeni). Međutim, kada se od vozača očekivalo da preduzme određenu radnju oni su svoju pažnju usmeravali ka putu i neposredni zadatak vožnje. Ovo ukazuje da vozači samostalno vrlo efikasno mogu da kontrolišu svoju pažnju kada je potrebno da je usmere na zadatak vožnje (međutim, postavlja se pitanje da li je ovde u pitanju društveno prihvatljivo ponašanje zbog samog eksperimenta).

Još jedan eksperiment prirodne vožnje, koji su sproveli Sheykhfard i Haghghi (2020.), je uključio 78 ispitanika koji su gledali u digitalne bilborde dok su vozili. Rezultati pokazuju da saobraćaj, okruženje i ljudski faktor zajednički deluju sa ometačem (iako je ljudski faktor mnogo izraženiji). Mlađi vozači, vozači početnici i vozači muškog pola, noć i loše vreme, i lokacija postavljanja digitalnog bilborda su prepoznati kao glavni faktori koji povećavaju mogućnost ometanja.

2. METODOLOGIJA

2.1. Učesnici

U eksperimentu simulirane vožnje je učestvovalo jedanaest ispitanika (tri ispitanika muškog i osam ispitanika ženskog pola). Svi ispitanici su bili studenti, srednje starosne dobi od $M=21,44$ godine ($SD=0,821$). Dva ispitanika ženskog pola nisu imala vozačku dozvolu, ali su učestvovali u eksperimentu iz razloga što su u trenutku realizacije eksperimenta bili u procesu obuke kandidata za vozače, a samim tim nisu imali ni iskustvo u vožnji (18,2%). S druge strane, ostali ispitanici su imali vozačku dozvolu za upravljanje putničkim automobilom, a najviše njih je imalo vozačku dozvolu u periodu od poslednjih 3 do 5 godina (54,5%), dok je manji procenat ispitanika imao vozačku dozvolu u periodu du tri godine (27,3%). Pored dva ispitanika koji nisu posedovali vozačku dozvolu u trenutku realizacije eksperimenta, još jedan ispitanik nije imao iskustva kao vozač u saobraćaju (što čini 27,3% ukupnog uzorka), dok je najviše ispitanika (36,4%) vozilom upravljalo manje od tri puta nedeljno. Čime je pokazano da je uzorak ispitanika sastavljen od vozača početnika, sa do pet godina posedovanja vozačke dozvole. Od celokupnog uzorka, četiri ispitanika (36,4%) je svakodnevno koristilo naočare ili sočiva, i od njih je zahtevano da ih koriste i tokom procesa simulirane vožnje. Svi ispitanici su naveli da nisu učestvovali u saobraćajnim nezgodama.

2.2. Simulacija

Simulirana vožnja je realizovana putem dva monitora, gde su na jednom monitoru ispitanici pratili putu i okruženje puta, gde je ispitanik imao percepciju sa stanovišta stvarnog vozača; dok su na drugom monitoru bili prikazivani bilbordi. Sam eksperiment simulirane vožnje je sniman putem dve kamere. Jedna kamera je snimala vožnju ispitanika, dok je druga kamera snimala pokrete očiju i glave ispitanika. Ispitanike je vožnjom upravljao putem stvarnog točka upravljača, dok je ubrzavanje i usporavanje vozila mogao da vrši putem papučica, čime je ostvaren stvarni osećaj vožnje u putničkom automobilu.

Okruženje i uslovi vožnje su bili realni gradski uslovi, sa stvarnim (mogućim incidentnim) saobraćajnim situacijama. U eksperimentu je korišćeno deset različitih bilborda (sa pet komercijalnih), koji se razlikuju po poruci koju su prenosili (komercijalni i nekomercijalni) i po boji. Kao izvor bilborda koji su korišćeni u eksperimentu, korišćeni su bilbordi koji su se u periodu vršenja eksperimenta najčešće uočavali u gradu Beogradu, ali i oni koje je tim autora preozeo sa interneta, kao bilborde koji mogu da utiču na pažnju vozača. Pre početka simulacija, svaki ispitanik je bio upoznat sa razlogom i ciljevima vršenja eksperimenta. Svakom ispitaniku je predočeno da se u simuliranoj vožnji ponaša kao i u svakoj drugoj stvarnoj saobraćajnoj situaciji. Samim tim, se od ispitanika nije očekivalo da pamte bilborde koji se pojavljuju na drugom monitoru, već je bilo očekivano da detektuju njihovo prisustvo. Svaki ispitanik je imao priliku da se upozna sa simuliranim okruženjem pre samo početka eksperimenta.

2.3. Procedura

Pre početka svake simulacije, ispitanicima su date osnovne informacije o razlozima i cilju vršenja eksperimenta. Pored toga, ispitanici su odgovarala na pitanja istraživača o periodu posedovanja vozačke dozvole i iskustva u vožnji, čime bi se isključili učesnici koji nemaju vozačku dozvolu, a samim tim i iskustvo u vožnji.

Ispitanici su usmerene da se tokom simulirane vožnje ponašaju kao i u svakoj drugoj stvarnoj saobraćajnoj situaciji. Pre samog početka simulirane vožnje, ispitanici su imali na raspolaganju period od četiri minuta (koliko je u proseku trajala jedna simulirana vožnja) probne vožnje bez prikazivanja bilborda, kako bi se upoznali sa simuliranim okruženjem. S druge strane, ispitanici su upućeni da će se na drugom monitoru prikazivati bilbordi (ukupno deset bilborda po simulaciji, po jedan u trenutku), ali im je ukazano da se od njih ne očekuje da pamte prikazane bilborde, već samo da detektuju njihovo prisustvo.

Sama simulacije se sastojala od četiri dela, odnosno od četiri različite vožnje u istom simuliranom okruženju. Na ovaj način su pokriveno brzine od 50, 80, 100 i 130km/h, odnosno brzine koje su prisutne u stvarnim saobraćajnim situacijama u gradu Beogradu. Izbor brzina kretanja je bio slučajna, tako da ispitanici pre samog segmenta simulirane vožnje nisu mogli da pretpostave kojom brzinom će se kretati. Svaki segment, odnosno svaka simulirana brzina, je trajao u proseku oko četiri minuta, a ceo proces simulirane vožnje je trajao oko 16 minuta (bez probne vožnje). Ponovo, ispitanici su pre svakog segmenta dobijali uputstva kojom brzinom da se kreću, odnosno koju brzinu najpribližnije da održavaju tokom vožnje.

Po završetku simulirane vožnje, svaki pojedinačni ispitanik je usmeravan da popuni anketni upitnik, u kome je ponovo ponavljao demografske podatke o polu, starosti, periodu posedovanja vozačke dozvole i iskustva u vožnje, ali e navodio i podatke o iskustvu u saobraćajnim nezgodama, prekršajima, i uočenim bilbordima.

Kako cilj nije bio pamtni bilborde, ispitanici su navodili broj uočenih bilborda (posebno komercijalnih), koji bilbord je najlakše uočiti, ali i koji od uočenih bilborda je na njih ostavio najjači uticaj.

3. REZULTATI

Simulirana vožnja se sastojala iz četiri posebna segmenta. U svakom od ovih segmenata, ispitanici su upravljali vozilom u simuliranom okruženju, težeći da održe brzinu od 50, 80, 100 i 130km/h. Celokupan proces simulacije je sniman pomoću dve kamere. Jedna kamera je bila postavljena ispred ispitanika, ali tako da ne ometa njegovu pažnju, i ona je beležila pokrete očiju i glave, odnosno pogleda u bilborde. Na osnovu podataka sa ove kamere, dobijen je broj koliko puta je ispitanik pogledao u bilbord, i koliko je sam pogled trajao: kratak pogled – letimičan pogled ka bilbordu (manje od 1s); dug pogled – pogled koji je trajao do 2s; i veoma dug pogled – pogled koji je trajao više od 2s.

Druga kamera je beležila putanju kretanja vozila, odakle su dobijeni podaci o incidentnim situacijama: saobraćajnoj nezgode, sletanju sa puta (svako napuštanje trake: kretanje po trotoaru i/ili prelazak u traku namenjenu za suprotni smer kretanja) i udaranje u objekat pored puta (zaštitnu ogradu, zgradu, saobraćajni znak).

3.1. Broj pogleda

Tabela 1. pokazuje ukupan broj ispitanika koji jesi i koji nisu usmerili pogled ka simuliranom bilbordu. Tokom simulirane vožnje su zabeleženo je da ispitanici više puta tokom vožnje usmeravaju svoje poglede ka bilbordima koji im se prikazuju (tabela 2.). Naime, iako ispitanici više puta usmeravaju svoje poglede ka bilbordima, najviše njih pomera samo oči, postoji i mali broj njih koji u tom procesu pomeraju i glavu (bez obzira da li je jedini pogled ostvaren pomeranjem glave ili je u pitanju ponovljen pogled).

Tabela 1. Ukupan broj pogleda ka prikazanim bilbordima, u zavisnosti od bilborda koji je prikazan ispitaniku.

	50km/h		80km/h		100km/h		130km/h	
	Sa pogledom	Bez pogleda	Sa pogledom	Bez pogleda	Sa pogledom	Bez pogleda	Sa pogledom	Bez pogleda
I	5	4	3	7	7	4	5	4
II	4	5	5	5	5	6	6	3
III	5	4	6	4	6	5	5	4
IV	5	4	4	6	8	3	4	5
V	6	3	3	7	6	5	5	4
VI	7	2	4	6	7	4	6	3
VII	6	3	7	3	4	7	6	3
VIII	4	5	5	5	6	5	4	5
IX	5	4	4	6	5	6	5	4
X	5	4	5	5	6	5	5	4

Tabela 2. Ukupan broj pogleda ka prikazanim bilbordima, prema vrsti pogleda.

	Bez pomeranja	Pomeranje očiju	Pomeranje glave	Pomeranje i očiju i glave
I	17	19	0	1
II	19	19	0	1
III	17	20	1	1
IV	18	20	0	1
V	16	21	1	1
VI	15	21	0	3
VII	16	22	0	1
VIII	20	19	0	0
IX	20	18	0	1
X	18	20	0	1

Broj kratkih pogleda ka bilbordu po ispitaniku je prikazan u tabeli 3. Iz tabele se vidi da ispitanici imaju značajno veći broj kratkih pogleda koji su usmereni ka bilbordima u odnosu na ispitanike ženskog pola. Tabele 4. i 5. pokazuju broj dugih i veoma dugih pogleda ispitanika ka bilbordima. Ono što se može uočiti u ovim tabelama, u odnosu na tabelu 3., jeste da ispitanici tokom vožnje mnogo manje dužih pogleda usmeravaju ka bilbordima, čime više pažnje usmeravaju na primarni zadatak vožnje, a ne na prepoznavanje i čitanje teksta na bilbordima. Tabele 3.-4. takođe pokazuju da povećanje (zadate) brzine kretanja, smanjuje broj pogleda (bez obzira na njihovu dužinu) ispitanika ka bilbordu. razlog ovome je prepoznat u samoj (zadatoj) brzini kretanja; naime, viša brzina kretanja ispitaniku ostavlja mnogo manje mogućnosti da usmeri svoju pažnju (bez obzira na dužinu trajanja pogleda) na spoljni izvor ometanja.

Tabela 3. Broj kratkih pogleda ispitanika ka bilbordima.

	50km/h	80km/h	100km/h	130km/h	Pol ispitanika
1.	7	8	3	7	Ženski
2.	8	9	7	8	Ženski
3.	14	11	8		Muški
4.	25	27	34	19	Muški
5.	2	0	1	15	Ženski
6.	0	0	1	9	Ženski
7.	1	2	7	7	Ženski
8.	7	2	5	1	Ženski
9.	1	1	0	1	Ženski
10.			1		Ženski
11.		13	16	5	Muški

Tabela 4. Broj dugih pogleda ispitanika ka bilbordima.

	50km/h	80km/h	100km/h	130km/h	Pol ispitanika
1.	9	4	4	4	Ženski
2.	8	8	7	8	Ženski
3.	7	6	2		Muški
4.	3	2	0	3	Muški
5.	2	0	3	2	Ženski
6.	0	0	0	0	Ženski
7.	2	0	3	3	Ženski
8.	1	0	0	0	Ženski
9.	0	0	0	0	Ženski
10.			0		Ženski
11.		3	6	0	Muški

Tabela 5. Broj veoma dugih pogleda ispitanika ka bilbordima.

	50km/h	80km/h	100km/h	130km/h	Pol ispitanika
1.	5	3	3	2	Ženski
2.	7	4	3	3	Ženski
3.	1	2	0		Muški
4.	1	0	0	0	Muški
5.	0	0	4	1	Ženski
6.	0	0	0	0	Ženski
7.	0	0	0	0	Ženski
8.	0	0	0	0	Ženski
9.	0	0	0	0	Ženski
10.			0		Ženski
11.		1	0	0	Muški

U ovom radu je korišćen neparametarski Mann-Whitney U test, kao alternativa T-testa nezavisnih uzoraka, zbog male veličine uzorka (11 ispitanika). Vrednost p manja od 0,05 će biti smatrana statistički značajnom, dok će vrednost manja od 0,01 biti smatrana veoma statistički značajnom. Mann-Whitney U test je pokazao statističku značajnost ukupnog broja pogleda ka bilbordima (n=39 simulacija) i ispitanika muškog i ženskog pola, kod trećeg (muškarci Md=2; žene Md=1; U=37,5; p=0,03; r=0,35), šestog (muškarci Md=3; žene Md=1; U=26,5; p=0,025; r=0,36) i osmog (muškarci Md=3; žene Md=1; U=18,0; p=0,03; r=0,35) bilborda (tabela 6.). S druge strane, Mann-Whitney U test je pokazao visoku statističku značajnost ukupnog broja pogleda ka bilbordima (n=39 simulacija) i ispitanika muškog i ženskog pola, kod prvog (muškarci Md=3; žene Md=1; U=7,0; p=0,001; r=0,52), petog (muškarci Md=3; žene Md=1; U=19,0; p=0,005; r=0,45) i devetog (muškarci Md=3; žene Md=1; U=12,0; p=0,007; r=0,43) bilborda (tabela 6.).

Tabela 6. Mann-Whitney U test ukupnog broja pogleda ka bilbordima, u zavisnosti od pola ispitanika.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Mann-Whitney U	7,0	37,5	26,5	29,5	19,0	26,5	30,0	18,0	12,0	41,5
Wilcoxon W	98,0	103,5	131,5	120,5	110,0	117,5	150,0	96,0	90,0	107,5
Z	-3,253	-1,008	-2,173	-1,735	-2,786	-2,236	-1,672	-2,170	-2,696	-0,689
p-vrednost	0,001	0,314	0,030	0,083	0,005	0,025	0,094	0,030	0,007	-,491

3.2. Incidentne situacije

U ovom radu su incidentne situacije podeljene u tri različite grupe: nastale saobraćajne nezgode, odnosno čeon i sudari u sustizanju sa nailazećim i/ili vozilom koje se kreće ispred; sletanje sa puta, koje podrazumeva prelazak u traku koja je namenjena za saobraćaj iz suprotnog smera i/ili kretanje trotoarom; i udaranje u objekte pored puta, gde spada udaranje u zgrade i saobraćajnu signalizaciju.

Tabela 7. Mann-Whitney U test incidentnih situacija u zavisnosti od pola ispitanika.

I bilbord			
	Saobraćajna nezgoda	Sletanje sa puta	Udaranje u objekat pored puta
Mann-Withney U	105,0	132,0	73,5
Wilcoxon W	160,0	510,0	128,5
Z	-1,154	-0,144	-2,450
p-vrednost	0,249	0,886	0,014
II bilbord			
	Saobraćajna nezgoda	Sletanje sa puta	Udaranje u objekat pored puta
Mann-Withney U	134,5	126,0	109,0
Wilcoxon W	189,5	181,0	164,0
Z	-0,540	-1,163	-1,374
p-vrednost	0,589	0,245	0,170
III bilbord			
	Saobraćajna nezgoda	Sletanje sa puta	Udaranje u objekat pored puta
Mann-Withney U	135,0	130,0	113,5
Wilcoxon W	190,0	56,0	168,5
Z	-0,842	-1,045	-1,173
p-vrednost	0,4	0,296	0,241
IV bilbord			
	Saobraćajna nezgoda	Sletanje sa puta	Udaranje u objekat pored puta
Mann-Withney U	135,0	141,5	109,0
Wilcoxon W	190,0	196,5	164,0
Z	-0,842	-0,144	-1,374
p-vrednost	0,4	0,885	0,170
V bilbord			
	Saobraćajna nezgoda	Sletanje sa puta	Udaranje u objekat pored puta
Mann-Withney U	140,5	141,5	113,0
Wilcoxon W	575,5	196,5	548,0
Z	-0,313	-0,144	-1,198
p-vrednost	0,754	0,885	0,231
VI bilbord			
	Saobraćajna nezgoda	Sletanje sa puta	Udaranje u objekat pored puta
Mann-Withney U	144,5	68,5	85,0
Wilcoxon W	199,5	123,5	140,0
Z	-0,031	-3,077	-2,413
p-vrednost	0,976	0,002	0,16
VII bilbord			
	Saobraćajna nezgoda	Sletanje sa puta	Udaranje u objekat pored puta
Mann-Withney U	126,0	112,0	114,0
Wilcoxon W	561,0	167,0	169,0
Z	-1,163	-1,454	-1,2
p-vrednost	0,245	0,146	0,230
VIII bilbord			
	Saobraćajna nezgoda	Sletanje sa puta	Udaranje u objekat pored puta
Mann-Withney U	130,0	102,5	138,0
Wilcoxon W	185,0	157,5	193,0
Z	-1,045	-1,753	-0,262
p-vrednost	0,296	0,080	0,793
IX bilbord			
	Saobraćajna nezgoda	Sletanje sa puta	Udaranje u objekat pored puta
Mann-Withney U	130,0	121,5	142,5
Wilcoxon W	185,0	176,5	577,5
Z	-1,045	-1,137	-0,93
p-vrednost	0,296	0,256	0,926
X bilbord			
	Saobraćajna nezgoda	Sletanje sa puta	Udaranje u objekat pored puta
Mann-Withney U	130,5	136,5	128,5
Wilcoxon W	565,5	191,5	183,5
Z	-1,703	-0,361	-0,630
p-vrednost	0,089	0,718	0,529

U ovom radu je korišćen neparametarski Mann-Whitney U test, kao alternativa T-testa nezavisnih uzoraka, zbog male veličine uzorka (11 ispitanika). Vrednost p manja od 0,05 će biti smatrana statistički značajnom, dok će vrednost manja od 0,01 biti smatrana veoma statistički značajnom. Mann-Whitney U test je pokazao visoku statističku značajnost sletanja sa puta, kao incidentne situacije, (n=39 simulacija) i ispitanika muškog i ženskog pola, kod petog (muškarci Md=1; žene Md=1; U=68,5; p=0,002; r=0,49) bilborda (tabela 7.). Iako se, prema tabeli 8., može videti da su svi ispitanici imali poglede usmerene ka simuliranim bilbordima (barem jedan tokom jednog od četiri segmenta simulacije, bez obzira na dužinu pogleda), mišljenja smo da iskustvo, odnosno nedostatak iskustva u vožnji (budući da su svi ispitanici mladi vozači početnici, kojima je

vožnja još uvek nepoznata (CARRS, 2015.)), predstavlja glavni doprinoseći faktor nastanku incidentne situacije.

Tabela 8. Broj incidentnih situacija prema polu i iskustvu u vožnji vozača.

	Pol ispitanika	Postojanje pogleda	Saobraćajna nezgoda	Sletanje sa puta	Udaranje u objekat	Iskustvo
1.	Ženski	Da	4	28	14	1-3 godine
2.	Ženski	Da	3	37	24	1-3 godine
3.	Muški	Da	1	21	6	3-5 godina
4.	Muški	Da	2	25	14	3-5 godina
5.	Ženski	Da	3	36	26	3-5 godina
6.	Ženski	Da	1	30	11	3-5 godina
7.	Ženski	Da	4	37	19	3-5 godina
8.	Ženski	Da	2	20	6	Proces obuke
9.	Ženski	Da	5	37	26	Proces obuke
10.	Ženski	Da	1	9	8	1-3 godine
11.	Muški	Da	3	21	7	3-5 godina

3.3. Anketni upitnik

Svaki ispitanik je nakon savršene simulacije popunjavao anketni upitnik, gde je navodio broj uočenih bilborda (i komercijalnih), ali i koji bilborde je najlakše uočiti, i koji je ostavio najjači uticaj na ispitanika.

Od celokupnog uzorka, samo jedan ispitanik je tačno naveo da je tokom simulirane vožnje bilo pokazano 10 reklamnih bilborda, od kojih je 5 bilo komercijalnog karaktera (tabela 9.). Iz tabele 9. možemo da zaključimo da, bez obzira na broj pogleda, ispitanici koji su učestvovali u ovom eksperimentu nisu pamtili spoljni izvor ometanja, kao što je reklamni bilbord, na osnovu čega zaključujemo da je pogled refleksna radnja, koja utiče na bezbednost odvijanja saobraćaja.

Tabela 9. Raspored tačnih odgovora ispitanika o broju bilborda, u odnosu na ukupan broj pogleda ispitanika.

	Pol ispitanika	50km/h	80km/h	100km/h	130km/h	Ukupno	Komercijalni
1.	Ženski	21	16	10	13	10	5
2.	Ženski	23	21	17	20	6	5
3.	Muški	22	19	10		9	7
4.	Muški	29	29	34	22	5	2
5.	Ženski	4	0	8	8	4	3
6.	Ženski	0	0	1	0	2	0
7.	Ženski	3	2	10	10	4	1
8.	Ženski	8	2	5	1	5	4
9.	Ženski	1	1	0	1	6	4
10.	Ženski			1		2	2
11.	Muški		18	23	7	6	2

Najveći procenat ispitanika (36%) je naveo da su najlakše uočili komercijalni bilbord bele boje (slika 1.), koji ima vrlo malo teksta, ali lako privlači pažnju. S druge strane, bilbord koji je na ispitanike ostavio najjači utisak na najveći broj ispitanika (54%), jeste crni bilbord sa malo kontrastnog teksta o bezbednosti saobraćaja (slika 2.).



Slika 1. „Nike“ bilbord koji je ispitanicima najlakše uočljiv.



Slika 2. „Neko te voli, vozi pažljivo“ bilbord koji je na ispitanike ostavio najjači uticaj.

3. ZAKLJUČAK

Kako bi se testirao uticaj reklamnih bilborda na najrizičniju grupu vozača, mlade vozače početnike, sproveden je eksperiment simulacije vožnje, u kome su upravo vladi vozači početnici (sa do pet godina iskustva u vožnji), upravljali vozilom u simuliranom okruženju. U eksperimentu je učestvovali jedanaest ispitanika, koji su u simuliranom okruženju realizovali četiri nezavisne vožnje (brzinama od 50, 80, 100 i 130km/h). simulirano okruženje je obuhvatalo svakodnevne saobraćajne situacije u gradskim uslovima i deset simuliranih bilborda.

Uočeno je da su ispitanici tokom simulirane vožnje u velikoj meri posmatrali reklamne bilborde (neke i po više puta). Međutim, nije uočena značajna veza između simuliranog bilborda i performansi vožnje ispitanika. Naime, tokom analize podataka je uočen značajan broj incidentnih situacija i nemarne vožnje ispitanika, iako nije ima pogled usmeren ka bilbordu u datom trenutku. S tim u vezi se može pretpostaviti da na performanse vožnje mnogo više utiče iskustvo vozača, nego spoljni izvor ometanja, kao što je reklamni bilbord.

Dalje, najveći broj ispitanika je ka bilbordima usmeravao kratke (letimične) poglede, koji traju manje od jedne sekunde. Međutim, primećeno je da sa višom zadatom brzinom, znatno opada broj pogleda koji su usmereni ka bilbordima. Upravo ti kratki pogledi, i značajan pad pogleda sa povećanjem brzine, dovodi do shvatanja da je pogled refleksna radnja čija dužina utiče na saobraćajni tok i bezbednost saobraćaja, ali koja kod ispitanika ne ostaje trajno u svesti (od jedanaest ispitanika, samo jedan je navio tačno da je simulirano deset bilborda).

Simulirano je više različitih bilborda (po nameni: komercijalni i nekomercijalni, i po boji). Eksperiment je pokazao da su ispitanici lakše uočili svetlije bilborde sa manje tamnijeg teksta (što i jeste vodeći trik marketinških kompanija). Međutim, s druge strane se pokazalo da je na ispitanike najjači uticaj ostavio bilbord sa porukom o bezbednosti saobraćaja, sa tamnom podlogom i malo kontrastnog teksta velikog formata (čime se postavlja pitanja: Da li je time narušena bezbednost saobraćaja koji bilbord promoviše?).

Ograničenje ove studije leži u samoj simuliranoj vožnji. Naime, simulacija, iako je prepoznata kao veoma korisna u bezbednosti saobraćaja, u Republici Srbiji još uvek nema široku primenu, i učesnici se dovode u nepoznatu situacija. Pored toga, samo simulirano okruženje i vožnja u njemu su strani ispitaniku, i pojedinim ispitanicima je potrebno više vremena da se priviknu. Međutim, glavno ograničenje studije jeste mali broj ispitanika i potpuno kontrolisano okruženje. Ispitanici su učestvovali u eksperimentu simulirane vožnje u potpunoj tišini, što nije stvarni prikaz saobraćajnog okruženja.

S tim u vezi, predlaže se dalji rad kroz usavršavanje započetog eksperimenta. Naime, predlaže se povećanje broja ispitanika koji će voziti u okruženju u kojem su navikli, tačnije u uslovima u kojima su navikli. Ovi uslovi podrazumevaju slušanje muzike, kao jednog od vodećih izvora ometanja u vozilu. Pored toga se predlaže i jedan manji eksperiment, sa manjim uzorkom ispitanika (do deset ispitanika) starijih vozača početnika (sa većim iskustvom u vožnji, i svakodnevnim upravljanjem motornim vozilom u saobraćaju), koji bi podrazumevao prirodnu vožnju, odnosno upravljanje vozilom na putu prema unapred pripremljenim rutama, gde bi se sam proces upravljanja vozilom, saobraćajne situacije i pokreti očiju vozača snimali.

Literatura

- [1] Bendak S.; Al-Saleh K. 2010. The role of roadside advertising signs in distracting drivers, *International Journal of Industrial Ergonomics* 40: 233-236.
- [2] Bridsall M.S. 2008. The debate over digital billboards: Can new technology inform drivers without distracting them?, *ITE J* 78: 22-27.

- [3] CARRS 2015. Novice drivers.
- [4] Cicevic S.J.; Trifunovic A.V.; Nesic M.; Samcovic A. Perception and Attitudes towards Digital Billboards.
- [5] Crundall D.; Van Loon E.; Underwood G. 2006. Attraction and distraction of attention with roadside advertisements, *Accident Analysis and Prevention* 38: 671-677.
- [6] Decker S.J.; Stannard S.J.; McManus B.; Wittig S.M.O.; Sisiopiku V.P.; Stavrinou D. 2015. The Impact of Billboards on Driver Visual Behavior: A Systematic Literature Review, *Traffic Injury Prevention* 16: 234-239.
- [7] Edquist J.; Horberry T.; Hosking S.; Johnnoton I. 2011. Effects of advertising billboards during simulated driving, *Applied Ergonomics* 42:4: 619-626.
- [8] Gugerty L. 2011. Situation Awareness in Driving, *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine and Psychology*
- [9] Marciano H.; Setter P. 2017. The effect of billboard design specifications on driving: A pilot study, *Accident Analysis and Prevention* 104: 174-184.
- [10] Pettitt M.; Burnett G.; Stevens A. 2005. Defining driver distraction. Paper presented at: 12th World Congress on intelligent Transport Systems.
- [11] Sheykhfard A.; Haghighi F. 2020. Driver distraction by digital billboards? Structural equation modeling based on naturalistic driving study data: A case study of Iran, *Journal of Safety Research* 72: 1-8.
- [12] Stavrinou D.; Mosley P.R.; Witting S.M.; Johnson H.D.; Decker J.S.; Sisiopiku V.P.; Welburn S.C. 2016. Visual behavior differences in drivers across the lifespan: A digital billboard simulator study, *Transportation Research Part F* 41: 19-28.
- [13] Young M.S.; Mahfoud J.M.; Stanton N.A.; Salmon P.M.; Jenkins D.P.; Walker G.H. 2009. *Transport Research Part F* 12: 381-388.
- [14] Young K.L.; Stephens A.N.; Logan D.B.; Lenne M.G. 2017. Investigating the impact of static roadside advertising on drivers' situation awareness, *Applied Ergonomics* 60: 136-145.
- [15] Wallece B. 2003. Driver distraction by advertising: genuine risk or urban myth?, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Municipal Engineer* 156: 185-190.

UTICAJ KONTROLE PRISTUPA NA BRZINU GLAVNOG TOKA – KRITIČNI MANEVRI

Marijo Vidas¹

¹Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, email: m.vidas@sf.bg.ac.rs

Rezime: Kontrola pristupa predstavlja skup upravljačkih mera sa osnovnim zadatkom zaštite zahtevanog Nivoa Usluge i Kapaciteta na glavnom pravcu, čiji značaj prepoznaje i naša inženjerska praksa. Ovaj skup mera najveće pozitivne efekte ostvaruje na dvotračnim putevima, koji ujedno predstavljaju deo mreže najosetljiviji na ivičnu izgradnju koja direktno generiše pojavu pristupa. Uticaj pojedinačnog pristupa na uslove u saobraćajnom toku na glavnom pravcu najbolje je objasniti preko manevara ulivanja/izlivanja – identifikacijom kritičnih manevara. Istraživanjem u lokalnim uslovima kao kritični manevri identifikovani su manevri izlivanja iz glavnog pravca, koji na deonicama dvotračnih puteva sa velikim saobraćajnim opterećenjem značajno utiču na smanjenje eksploatacione brzine i povećanje vremenskih gubitaka. Pored toga u cilju boljeg razumevanja uticaja pristupa na glavni pravac, pored poznavanja kritičnih manevara, potrebno je i klasifikovati pristupe po veličini saobraćajnih zahteva koje generišu.

Ključne reči: kontrola pristupa, brzina saobraćajnog toka, manevri uliva/izliva

IMPACT OF ACCESS CONTROL ON TRAFFIC FLOW SPEED – CRITICAL MANEUVERS

Marijo Vidas²

¹ University of Belgrade – Faculty of Transport and Traffic engineering

Abstract: Access control is a set of management measures with the basic task of protecting the required Level of Service and Capacity on the main route, the important task that also is recognized by our engineering practice. This set of measures achieves the greatest positive effects on two-lane roads, which are also the part of the network most sensitive to edge construction, which directly generates the emergence of access. The impact of an individual access on traffic conditions on the main route is best explained through inflow / outflow maneuvers - by identifying critical maneuvers. The research in local conditions identified a outflow maneuvers from the main direction as critical maneuvers, which on sections of two-lane roads with high traffic demand significantly affect the reduction of exploitation speed and increase of time losses. In addition, in order to better understand the impact of access on the main route, in addition to knowledge of critical maneuvers, it is necessary to classify approaches by the size of traffic requirements they generate.

Keywords: access control, traffic flow speed, inflow / outflow maneuvers

1. UVOD

Kontrola pristupa predstavlja skup upravljačkih mera sa osnovnim zadatkom zaštite zahtevanog Nivoa Usluge i Kapaciteta na glavnom pravcu, čiji značaj prepoznaje i naša inženjerska praksa. Ovaj skup mera najveće pozitivne efekte ostvaruje na dvotračnim putevima koji ujedno predstavljaju deo mreže najosetljiviji na ivičnu izgradnju koja direktno generiše pojavu pristupa. Jedan od rezultata primene ovih mera je optimizacija putne mreže kroz prilagođavanje broja i lokacije pristupa funkciji puta u putnoj mreži. Drugim rečima, kontrola pristupa se definiše kao ograničenje i regulisanje javnih i privatnih pristupa na državne, odnosno javne puteve, u skladu sa državnim propisima ili zakonima. U inostranoj literaturi možemo pronaći nekoliko definicija pristupa koje su međusobno vrlo slične. Ove definicije su prikazane dalje u tekstu: Pod pojmom pristupa najčešće se smatra mogućnost ulaska na državni put ili izlaska sa državnog puta na susedni privatni kolovoz ili drugi državni put [1], odnosno, pristup predstavlja bilo koju ulaznu/izlaznu tačku sa putne mreže [2].

Pod pojmom pristup se najčešće smatra prilazni put kojim vozila ulaze na privatnu imovinu ili izlaze sa privatne imovine koja se nalazi neposredno uz kolovoz na javni put, odnosno put koji je pod neposrednom nadležnošću države [3].

Takođe, pristup se opisuje kao javni ili privatni kolovoz upotrebljavan prvenstveno za motorna vozila kod ulaza na javni put ili napuštanja javnog puta, odnosno kolovoza od susedne privatne parcele do puta [1]. Po nacionalnom uputstvu za upravljanje pristupima u Južnoafričkoj Republici [4], pod pristupom se smatra svaka raskrsnica, rampa na denivelisanoj raskrsnici ili prilazni put koji preseca put za javni saobraćaj ili je spojen na njega, možemo zaključiti da pristup predstavlja termin koji objedinjuje sve veze sa javnim putem.

¹ Autor zadužen za korespondenciju: email m.vidas@sf.bg.ac.rs

Pored ovog termina, u literaturi se pojavljuje još i pristupna tačka, koja je u priručniku HCM definisana na sledeći način: Pristupna tačka je raskrsnica, prilazni put ili otvor na desnoj strani puta. Pod pristupnom tačkom se može smatrati i otvor na suprotnoj strani puta ili otvor u razdelnom pojasu ako se očekuje njegov uticaj na saobraćajni tok u posmatranom smeru [5]. Prema State Highway Access Management Code, pristupna tačka označava lokaciju raskrsnice između javnog puta i ulice ili prilaznog puta ili drugog javnog puta [6]. U našoj zakonskoj regulativi (Sl. glasnik RS br. 104/2013) pronalazimo definicije za sledeće termine: raskrsnica, ukrštaj, prilazni put i priključak. Uvođenje termina pristup u našu inženjersku praksu, pod kojim bi se podrazumevale raskrsnice, priključci i veze prilaznih puteva sa javnim putem, dovelo bi do izjednačavanja značaja ovih pojmova u procedurama analiza nivoa usluge i kapaciteta puteva, jer je potrebno da se i veza prilaznih puteva i javnog puta sa aspekta njenog uticaja na uslove u saobraćajnom toku uključi u procedure za proračun nivoa usluge i kapaciteta puteva.

U svetskim istraživanjima, upravo zbog jasno regulisanih uslova za dobijanje prava na pristup, najčešće se koristi ukupan broj pristupa sa obe strane dvotračnog puta, ali se takođe posmatra i svaki pristup sa aspekta njegovog uticaja na uslove u saobraćajnom toku. Na deonicama vangradskih dvotračnih puteva u našoj zemlji, zbog haotične urbanizacije, imamo veoma veliki broj pristupa po jedinici dužine, za koji ne postoje istraživanja u svetskoj literaturi [7].

Dostizanje zahtevane efikasnosti saobraćajnog toka inicira veću kontrolu pristupa i obratno, povećan broj pristupa negativno utiče na smanjenje kapaciteta puta.

2. PREGLED LITERATURE

Američki priručnik Highway Capacity Manual (HCM) 2010 [5] broj pristupa svrstava u osnovne, odnosno ulazne podatke, i on se vrlo teško procenjuje bez obilaska posmatrane deonice, jer je vrednost ovog parametra vezana isključivo za specifičnu deonicu.

Zbog razlike u dužinama deonica u HCM2000, a kasnije i u HCM2010, usvojena je veličina: gustina pristupa, koja predstavlja ukupan broj pristupa u oba smera (sa obe strane) podeljen sa jedinicom dužine. HCM2000 daje kratko uputstvo da se u analizu uključe samo oni pristupi koje utiču na uslove u saobraćajnom toku na glavnom pravcu, bez detaljnijeg objašnjenja koje kriterijume koristiti u toj analizi. U HCM2010 to uputstvo se gubi i piše da je gustina pristupa ukupan broj pristupa po jedinici dužine. Kvantifikovanje uticaja gustine pristupa vrši se kroz analizu slobodne brzine, odnosno umanjenje iste usled postojanja pristupa na posmatranoj deonici.

Definisan je faktor f_A , koji u zavisnosti od broja pristupa umanjuje vrednost slobodne brzine za određenu vrednost, tj. ustanovljeno je da svaki pojedinačni pristup smanjuje slobodnu brzinu za 0,417 km/h.

Istraživanja uticaja kontrole pristupa na osnovne parametre saobraćajnog toka pokazuju da postoji direktna veza između procentualnog produženja vremena putovanja na glavnom pravcu i broja vozila koja sa jednog pristupa skreću desno na glavni pravac [1]. Za veličinu tokova od 30 voz/h produženje vremena putovanja je za 2.4%, dok se sa daljim porastom zahteva sa pristupa povećava i vreme putovanja, pa za tok od 90 voz/h to produženje iznosi 21.8%.

Veza između dostignutog Nivoa Usluge i kontrole pristupa postavljena je u istraživanju [1], odnosno sa njenim uvođenjem na konkretnim deonicama u američkoj državi Ajova, lošiji nivo usluge C i D se popravljaju za jedan nivo (B i C). Pored toga u istraživanju je zabeleženo i prosečno vreme putovanja na dva koridora u jutarnjem i poslepodnevnom vršnom satu u trenutnim uslovima, a nakon uvođenja kontrole pristupa dolazi do smanjenja prosečnog vremena putovanja od 9% do 12% i povećanja brzine od 10% do 12.5%.

U daljem tekstu će biti prikazan deo istraživanja koji je obavljen kao deo deoktroske disertacije [7] kao i drugačiji način tumačenja dobijenih rezultata. Kao kvantifikator uticaja pristupa na uslove u saobraćajnom toku u ovom radu posmatraće se smanjenje brzine koja je posledica manevra na pristupu.

3. ISTRAŽIVANJE U LOKALNIM USLOVIMA

Cilj istraživanja je bio da se snime realni podaci o promeni brzine na deonici sa naglaskom na situacije kada je ta promena direktna posledica manevra na pristupu. Manevri se mogu u prvom koraku podeliti na ulivanje u glavni pravac i izlivanje sa njega. Prikupljanje podataka je obavljeno korišćenjem GPS uređaja koji se nalazio u vozilu kojim se aktivno učestvovalo u saobraćajnom toku. Obavljeno je ukupno 200 vožnji, dok je detektovano 304 manevara ulivanja/izlivanja koji su doveli do poremećaja u saobraćajnom toku.

Kod odabira putnog pravca i lokacije snimanja kriterijumi koji su morali biti ispunjeni su sledeći: prolazak daljinskog puta kroz naselje i visok procenat tranzitnih kretanja. Put IB-22 zadovoljava sve navedene kriterijume; spaja Beograd sa Čačkom, a dalje preko IB-23 sa Crnom Gorom.

Na putu IB-22 nalazi se veliki broj naselja, ali kao predmet ovog istraživanja odabrana je deonica koja prolazi kroz naselje Meljak, odnosno deonica Velika Moštanica – Vranić (Barajevo). Ova deonica, zbog blizine

Beogradu, ispunjava uslov visokog procenta tranzitnih kretanja, odnosno pogodna je za snimanja uticaja pojedinačnih vozila u manevru ulivanja/izlivanja na brzinu saobraćajnog toka.

Obilaskom deonice utvrđeni su realni podaci o broju i širini svakog pojedinačnog pristupa u smeru od Beograda (Smer A) i suprotnom Smeru B. Obradeni podaci se nalaze u Tabeli 1.

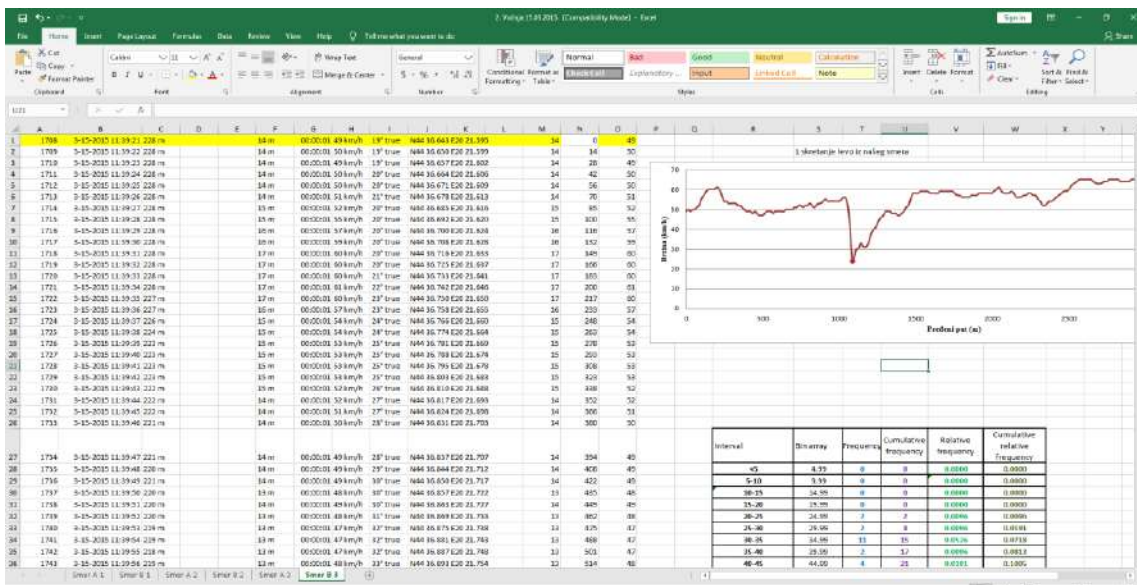
Tabela 1. Parametri slučajnih promenljivih širine pristupa i rastojanja između pristupa [7]

Širina pristupa	Smer A	Smer B	Rastojanje između pristupa	Smer A	Smer B
Broj pristupa (N)	66	45	Broj pristupa (N)	66	45
Srednja vrednost (m)	18.27	19.73	Srednja vrednost (m)	29.77	50.73
Standardno odstupanje (m)	16.81	17.76	Standardno odstupanje (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%

Izračunato standardno odstupanje za širinu pristupa u Smeru A je 16.81 metara, a u Smeru B 17.76 metara. Preko dobijenih vrednosti za standardno odstupanje i koeficijent varijacije može se ilustrovati problem koji nastaje usled neplanske gradnje (urbanizacije) putne mreže R. Srbije.

3.1. Obrada prikupljenih podataka

Upotreba GPS uređaja za snimanje promena brzine na deonici Velika Moštanica – Vranić (Barajevo) imala je za zadatak generisanje podataka o prostornoj promeni brzine saobraćajnog toka. Kao izlazni rezultat snimanja dobijeni su podaci o trenutnoj brzini i pređenom putu vozila za svaku sekundu snimanja. Pored ovih vrednosti na raspolaganju su bili i podaci o tačnom datumu i vremenu snimanja, geografskoj širini i dužini i nadmorskoj visini, kao što je prikazano na Slici 1. gde je prikazan jedan radni list iz programa Microsoft Office Excel sa delom podatka za jednu vožnju u smeru B.



Slika 1. Podaci sa snimanja u Microsoft Office Excel programu
Source: autor

Nakon obrade podataka za svaku od 200 vožnji (100 u Smeru A i 100 u Smeru B) generisani su rezultati u sledećem obliku: grafik zavisnosti brzine i pređenog puta, tabela sa frekvencijama brzina i tabela sa standardnim odstupanjem brzina i koeficijentom varijacije brzina. Na osnovu manevra ulivanja/izlivanja zabeleženih na diktafonu sa tačnim vremenom pomenutog manevra definisane su tačne promene brzine koje su posledica manevra na pristupima [7].

Radi utvrđivanja smanjenja brzine svakog manevra definisane su tabele po smerovima kretanja sa podacima za svaku vožnju: brzina na početku uticaja manevra na pristupu (V_{max}), minimalne brzine kao posledica manevra na pristupu (V_{min}), vrste manevra na pristupu, širine prostorne zone uticaja manevra na pristupu. Zbog veličine tabele dat je prikaz njenog dela kroz Sliku 2.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with a table containing data for different dates and flow types. The columns include 'Datum', 'Kod. izliva', 'Prosečna brzina (km/h)', 'V_{max} (km/h)', 'V_{min} (km/h)', 'manevri', 'dužina zone', 'V_{max} (km/h)', 'V_{min} (km/h)', 'manevri', 'dužina zone', 'V_{max} (km/h)', 'V_{min} (km/h)', 'manevri', 'dužina zone', 'V_{max} (km/h)', 'V_{min} (km/h)', 'manevri', 'dužina zone', 'Broj manevara'. The data is organized by date, with rows for 11.3.2015, 15.3.2015, 21.3.2015, and 21.8.2015.

Slika 2. Prikaz tabele sa obrađenim podacima
Source: autor

Uvedena je sledeća klasifikacija manevara na pristupima:

- Izliv desno iz glavnog toka u smeru snimanja – veličina uzorka 184 manevara,
- Izliv levo iz glavnog toka u smeru snimanja – veličina uzorka 79 manevara,
- Izliv levo iz glavnog toka iz suprotnog smera – veličina uzorka 10 manevara,
- Uliv sa desne strane u glavni tok u smeru snimanja – veličina uzorka 23 manevara,
- Uliv sa leve strane u glavni tok u smeru snimanja – veličina uzorka 5 manevara,
- Uliv sa desne strane u glavni tok u suprotan smer – veličina uzorka 3 manevara.

4. ANALIZA DOBIJENIH VREDNOSTI PO MANEVRIMA NA PRISTUPIMA

Kao što je prethodno navedeno podaci su analizirani na osnovu klasifikacije manevara. Za svaki manevar proračunata je srednja vrednost smanjenja brzine kao posledice manevara na pristupu, srednja vrednost širine prostorne zone uticaja manevara, standardno odstupanje, koeficijent varijacije, maksimalno i minimalno smanjenje brzine, minimalna i maksimalna širina prostorne zone uticaja manevara. Smanjenje brzine zbog manevara na pristupu predstavlja očigledan kvantifikator uticaja na brzinu saobraćajnog toka. Kao što je u ranijem tekstu rečeno HCM definiše da svaki pristup smanjuje slobodnu brzinu za 0.417 km/h, u našoj zemlji broj pristupa po jednom kilometru daleko premašuje granične tablične vrednosti iz američkog priručnika. Iz tog razloga napravljen je pokušaj kvantifikovanja uticaja pristupa na glavni tok, koji se javlja samo u slučaju da na njemu postoji vozilo koje želi da se ulije u glavni tok ili da se iz glavnog toka izlije na pristup. Fokus istraživanja je bilo prikupljanje podataka o brzini glavnog saobraćajnog toka kada se pojavi vozilo koje ima zahtev na pristupu (uliv/izliv). Usled primenjene tehnologije snimanja podataka upotrebom GPS uređaja, kao još jedna vrednost se pojavljuje i širina uticajne zone manevara, odnosno dužina – deo saobraćajne deonice koju vozilo posmatrač pređe na glavnom pravcu dok mu se brzina ne vrati na nivo ispred pojave zahteva za manevrnom.

4.1 Izliv desno iz glavnog toka u smeru snimanja

U Tabeli 2. prikazani su rezultati analize pada brzina i širine prostorne zone uticaja manevara – izliv desno iz glavnog toka u smeru snimanja.

Tabela 2. Parametri slučajne promenljive pada brzine i širine prostorne zone uticaja manevara - izliv desno iz glavnog toka u smeru snimanja

Veličina uzorka (N) =	184	Veličina uzorka (N) =	184
Srednja vrednost (km/h) =	21.7	Srednja vrednost (m) =	245.4
Standardno odstupanje =	9.52	Standardno odstupanje =	103.72
Koeficijent varijacije =	0.4396	Koeficijent varijacije =	0.4227
	43.96%		42.27%
Maksimalno smanjenje brzine (km/h)	48	Maksimalna širina zone (m)	573
Minimalna smanjenje brzine (km/h)	3	Minimalna širina zone (m)	60

4.2 Izliv levo iz glavnog toka u smeru snimanja

U Tabeli 3. prikazani su rezultati analize pada brzina i širine prostorne zone uticaja manevra – izliv levo iz glavnog toka u smeru snimanja.

Tabela 3. Parametri slučajne promenljive pada brzine kao posledice manevra - izliv levo iz glavnog toka u smeru snimanja

Veličina uzorka (N) =	79	Veličina uzorka (N) =	79
Srednja vrednost (km/h) =	21.7	Srednja vrednost (m) =	249.2
Standardno odstupanje =	15.57	Standardno odstupanje =	110.52
Koeficijent varijacije =	0.7184	Koeficijent varijacije =	0.4435
	71.84%		44.35%
Maksimalno smanjenje brzine (km/h)	69	Maksimalna širina zone (m)	565
Minimalna smanjenje brzine (km/h)	5	Minimalna širina zone (m)	45

4.3 Izliv levo iz glavnog toka iz suprotnog smeru

U Tabeli 4. prikazani su rezultati analize pada brzina i širine prostorne zone uticaja manevra – izliv levo iz glavnog toka iz suprotnog smeru.

Tabela 4. Parametri slučajne promenljive pada brzine kao posledice manevra - izliv levo iz glavnog toka u smeru snimanja

Veličina uzorka (N) =	10	Veličina uzorka (N) =	10
Srednja vrednost =	29.5	Srednja vrednost (m) =	293.1
Standardno odstupanje =	11.39	Standardno odstupanje =	142.31
Koeficijent varijacije =	0.3863	Koeficijent varijacije =	0.4855
	38.63%		48.55%
Maksimalno smanjenje brzine	46	Maksimalna širina zone (m)	603
Minimalna smanjenje brzine	13	Minimalna širina zone (m)	136

4.4 Uliv sa desne strane u glavni tok u smeru snimanja

U Tabeli 5. prikazani su rezultati analize pada brzina i širine prostorne zone uticaja manevra – Uliv sa desne strane u glavni tok u smeru snimanja.

Tabela 5. Parametri slučajne promenljive pada brzine kao posledice manevra - Uliv sa desne strane u glavni tok u smeru snimanja

Veličina uzorka (N) =	23	Veličina uzorka (N) =	23
Srednja vrednost =	21.5	Srednja vrednost (m) =	268.0
Standardno odstupanje =	11.69	Standardno odstupanje =	132.88
Koeficijent varijacije =	0.5442	Koeficijent varijacije =	0.4957
	54.42%		49.57%
Maksimalno smanjenje brzine	46	Maksimalna širina zone (m)	603
Minimalna smanjenje brzine	1	Minimalna širina zone (m)	58

4.5 Uliv sa leve strane u glavni tok u smeru snimanja

U Tabeli 6. prikazani su rezultati analize pada brzina i širine prostorne zone uticaja manevra – Uliv sa leve strane u glavni tok u smeru snimanja.

Tabela 6. Parametri slučajne promenljive pada brzine kao posledice manevra - Uliv sa leve strane u glavni tok u smeru snimanja

Veličina uzorka (N) =	5	Veličina uzorka (N) =	5
Srednja vrednost =	19.4	Srednja vrednost (m) =	218.0
Standardno odstupanje =	8.47	Standardno odstupanje =	111.01
Koeficijent varijacije =	0.4368	Koeficijent varijacije =	0.5092
	43.68%		50.92%
Maksimalno smanjenje brzine	30	Maksimalna širina zone (m)	377
Minimalna smanjenje brzine	10	Minimalna širina zone (m)	99

4.6 Uliv sa desne strane u glavni tok u suprotan smer

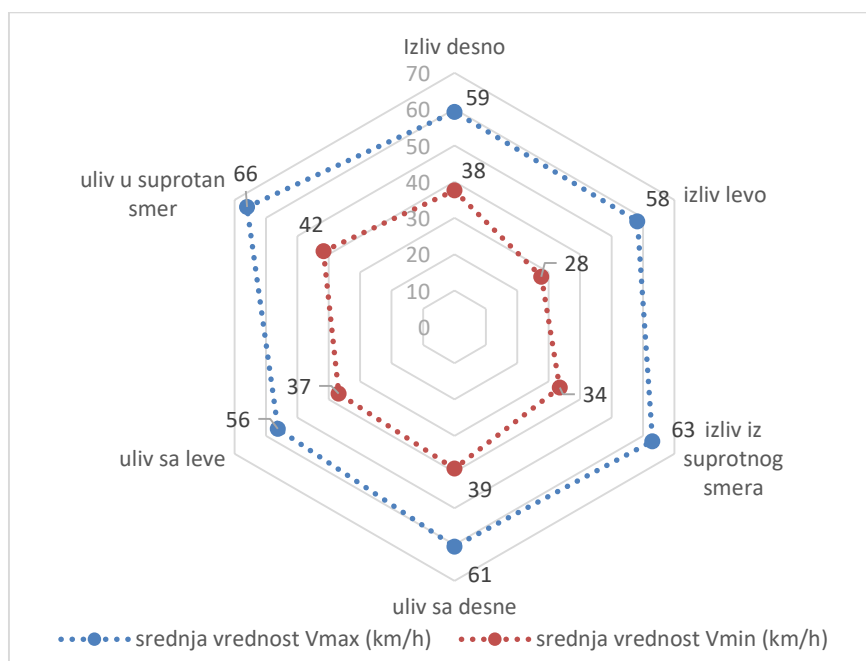
U Tabeli 7. prikazani su rezultati analize pada brzina i širine prostorne zone uticaja manevra – Uliv sa desne strane u glavni tok u suprotan smer.

Tabela 7. Parametri slučajne promenljive pada brzine kao posledice manevra - Uliv sa desne strane u glavni tok u suprotan smer

Veličina uzorka (N) =	3	Veličina uzorka (N) =	3
Srednja vrednost =	24.3	Srednja vrednost (m) =	325.7
Standardno odstupanje =	3.79	Standardno odstupanje =	67.68
Koeficijent varijacije =	0.1556	Koeficijent varijacije =	0.2078
	15.56%		20.78%
Maksimalno smanjenje brzine	27	Maksimalna širina zone (m)	372
Minimalna smanjenje brzine	20	Minimalna širina zone (m)	248

4.7 Zaključna razmatranja dobijenih rezultata

Posmatranjem prethodnih tabela možemo uočiti da se srednja vrednost smanjenja brzine saobraćajnog toka na glavnom pravcu nalazi u intervalu od 19.4 km/h do 29.5 km/h, odnosno da svaki realizovani manevar ima sličan uticaj na glavni pravac. Na Slici 3. prikazane su razlike između srednjih vrednosti V_{max} i V_{min} za svaki od identifikovanih manevara, što nam slikovito reprezentuje tvrdnju iz prethodne rečenice.



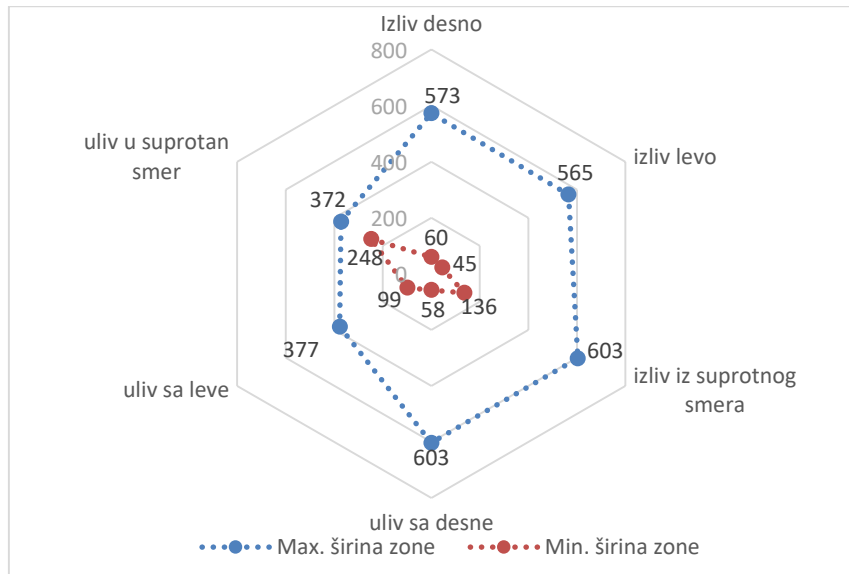
Slika 3. Prosečno smanjenje brzine usled manevra na pristupu
Source: autor

Na osnovu ovako dobijenih vrednosti smanjenja brzine možemo proračunati srednju vrednost za sve manevre, odnosno svaki pojedinačni manevar vezan za pristup smanjuje brzinu vozila koja se u glavnom saobraćajnom toku nalaze neposredno iza njega za prosečno 24 km/h.

Velike vrednosti za koeficijent varijacije (za manevar - izliv levo iz glavnog toka u smeru snimanja = 71.84%) pokazuje da dobijene vrednosti treba uzeti sa rezervom, odnosno u analizu treba uključiti i karakteristike određenih manevara. Pomenuti izliv levo iz glavnog toka u smeru snimanja predstavlja manevar koji u velikoj meri zavisi od veličine saobraćajnih zahteva u suprotnom smeru, odnosno da bi se bezbedno obavio ovaj manevar potrebno je da u suprotnom smeru postoji dovoljan interval sleđenja. Iz tog razloga ovaj manevar ima najveći uticaj na glavni tok. Vozila često zaustavljena čekaju pojavu bezbednog intervala sleđenja u suprotnom smeru, odnosno brzinu posmatranog smera svode na nulu – što potvrđuje visoka vrednost koeficijenta varijacije.

Takođe, postoji i suprotna situacija kada vozilo koje želi da napravi manevar izliva levo iz glavnog toka u trenutku kada nailazi na pristup, a nema vozila u suprotnom smeru, obavi manevar sa minimalnim uticajem na brzinu saobraćajnog toka. Minimalno zabeleženo smanjenje brzine je bilo od 5 km/h. Iz svega navedenog možemo zaključiti da manevri koji imaju najdominantniji uticaj na uslove u saobraćajnom toku predstavljaju izlivi iz glavnog pravca, iz prostog razloga što vozila dok napuštaju glavni pravac smanjuju svoju brzinu i direktno utiču na ostala vozila.

Opseg širine uticajne zone manevra nalazi se od minimalno 45 metara do maksimalno 603 metra (Slika 4.). Ako znamo da je dužina posmatrane saobraćajne deonice 3100 metara, možemo primetiti da vozilo pređe petinu deonice dok se uslovi u saobraćajnom toku ne vrate na nivo pre manevra. Tako velike razlike u širini uticajne zone su posledica karakteristika vozača i strukture saobraćajnog toka, a ne samog manevra na pristupu.



Slika 4. Maksimalna i minimalna širina zone uticaja manevra na pristupu
Source: autor

5. ZAKLJUČAK

Uticaj pristupa, odnosno nepostojanja adekvatne kontrole pristupa na mreži dvotračnih puteva u našoj zemlji predstavlja problem na čijem kvantifikovanju tek treba da se radi. HCM predstavlja najkorišćeniji i možda najvažniji priručnik za proračun nivoa usluge saobraćajnica, ali pre nego što se primeni u lokalnim uslovima potrebno je izvršiti kalibraciju modela. Definicija gustine pristupa po kojoj je to ukupan broj pristupa po jedinici dužine predstavlja jedan od problema primene pomenute metodologije u lokalnim uslovima, zbog velikog broja pristupa koji se pojavljuju na deonicama koje prolaze kroz mala naselja. Utvrđena vrednost od $0,417 \text{ km/h}$, za koju se smanjuje slobodna brzina za svaki pojedinačni pristup je utvrđena terenskim istraživanjima u Sjedinjenim Američkim Državama. Rezultat istraživanja prikazanog u ovom radu je vrednost smanjenja brzine vozila u saobraćajnom toku koja se nalaze iza vozila koje obavlja manevr na pristupu prosečno za 24 km/h . Postavlja se pitanje o broju vozila u glavnom saobraćajnom toku na koje pojedinačni manevr ima uticaja i koji su časovni saobraćajni zahtevi na pojedinačnim pristupima – direktna veza sa brojem manevra u okviru vršnog sata. Potrebno je nastaviti sa daljim istraživanjima u lokalnim uslovima radi kvantifikacije uticaja pristupa, odnosno manevra na pristupima na uslove u saobraćajnom toku da bismo ostali u korak sa savremenom svetskom inženjerskom praksom.

Literatura

- [1] Maze, T., D. Plazak, J. Witmer, S. Schrock (2000). Access Management Handbook. Center for Transport Research and Education, Iowa State University Park, Iowa.
- [2] Stolfus & Associates, Inc. (2016). Delta U.S. Highway 50 and State Highway 92 Access Study. Greenwood Village, City of Delta, Colorado.
- [3] Slocomb, W., J. O'Brien, G. Johnson, K. Trapani (2005). Highway Functional Classification System for the State of Rhode Island 2005–2015. Rhode Island Statewide Planning Program, Rhode Island.
- [4] Committee of Transport Officials (2012). South African Road Classification and Access Management Manual. Pretoria, South Africa.
- [5] National Research Council (2010). Highway Capacity Manual 2010. Transportation Research Board. Washington, D.C., USA.
- [6] New Jersey Department of Transport (2012). Chapter 47. State Highway Access Management Code. New Jersey, USA.
- [7] Vidas, M. 2017. Uticaj kontrole pristupa na kapacitet i nivo usluge dvotračnih puteva, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet

УТИЦАЈ СТАЊА КОЛОВОЗА НА БЕЗБЕДНОСТ САОБРАЋАЈА И БРЗИНУ КРЕТАЊА ВОЗИЛА

Оливера Дамњановић, студент

Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду, oljadamnjanovic@gmail.com

Проф. др Драженко Главич, дипл. инж. саобр.

Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду, drazen@sf.bg.ac.rs

Катарина Тадић, маг. инж. саобр.

k.tadic96@gmail.com

Резиме: Безбедност саобраћаја укључује многе факторе, као најутицајнији фактор препознат је човек, али и пут представља веома важан фактор. Утицај пута на безбедност саобраћаја огледа се кроз техничке и експлоатационе параметре. Технички параметри су у великој мери истражени, што није случај са експлоатационим параметрима. Један од веома слабо истражених експлоатационих параметара је стање коловоза. У карактеристике стања коловоза које утичу на безбедност саобраћаја убрајају се: хрпавост, текстура површине коловоза, носивост коловозне конструкције, трење, отпор котрљања, микротекстура и макротекстура. Стање коловоза поред безбедности саобраћаја утиче и на брзину кретања возила. У оквиру рада биће анализирана страна и домаћа искуства везана за утицај стања коловоза на безбедност саобраћаја и брзину кретања возила.

Кључне речи: стање коловоза, безбедност саобраћаја, брзина, хрпавост

IMPACT OF PAVEMENT CONDITION ON THE TRAFFIC SAFETY AND THE VEHICLE SPEED

Olivera Damnjanovic, student

Faculty of transport and traffic engineering, University of Belgrade, oljadamnjanovic@gmail.com

Drazenko Glavic, Ph.D. TE

Faculty of transport and traffic engineering, University of Belgrade, drazen@sf.bg.ac.rs

Katarina Tadic, MSc in TE

k.tadic96@gmail.com

Abstract: Traffic safety includes a lot of factors, the most important is human, but the road is very important factor. The impact of the road on road safety is reflected in technical and exploitation indicators. Technical indicators have been largely researched, which is not the case with exploitation parameters. One of the very poorly researched exploitation parameters is the pavement condition. Characteristics of the road surface that affect the traffic safety are: roughness, pavement surface texture, pavement load capacity, friction, rolling resistance, micro-textures and macro-textures. The road surface in addition to traffic safety also affects the vehicle speed. In this paper, analyses of foreign and domestic experiences related to the impact of the road surface on the traffic safety and vehicle speed has been analyzed.

Keywords: road surface, traffic safety, speed, roughness

1. УВОД

Када је реч о путу говори се о његовим техничким и експлоатационим показатељима. Технички показатељи су већој мери истражени од експлоатационих. Неке од техничких карактеристика су хоризонталне кривине, вертикалне кривине односно уздужни нагиб. Као најважнији експлоатациони показатељ издваја се стање коловоза (Glavic et al., 2018 [18]). Јако је тешко описати површину коловозне конструкције и измерити одговарајуће карактеристике. У карактеристике стања коловоза убрајају се: хрпавост, текстура површине коловоза, носивост коловозне конструкције, трење, отпор котрљања, микротекстура и макротекстура, површински дефекти, уздужне неравнине, деформације ивице, пукотине и колотрази. Неравност или како се негде назива и „глаткост“ представља компоненту површине текстуре и дефинише се као неправилност на површини коловоза која негативно утиче на квалитет вожње, а сходно томе и на самог корисника. Поред квалитета вожње хрпавост утиче и на трошкове кашњења возила, трошкове одржавања возила, брзину кретања возила, потрошњу горива, безбедност саобраћаја... У ранијем периоду се хрпавост мерила „садашњом проценом употребљивости“ (PSR). Затим је развијен „садашњи индекс употребљивости“ (PSI). Садашњи индекс употребљивости је представљао алгебарску функцију PSR. Да би се

стандардизовао начин мерења храпавости развијен је IRI- Међународни Индекс Храпавости. Овај индекс је развијен 1986. године користећу резултате из истраживања спроведног у Бразилу још 1982. године (Abulizi et al., 2016 [19]), јединица којом се углавном мери је метар по километру (m/km), ређе милиметар по километру (mm/km), односно у инчима по миљама (in/mi), зависно од подручја. За мерење храпавости раније коришћена су специјализована возила, данас са развојем технологија могуће је мерити и помоћу паметних телефона или таблет рачунара.

Поред IRI-ја у одређеним подручјима стање коловоза се оцењује уз помоћ PCI – Индекса стања коловоза. PCI даје нумеричку оцену за стања коловоза где је 0 најлошије стање коловоза, а 100 одлично стање коловоза.

Када се говори о саобраћају безбедност саобраћаја на путевима представља једно од важнијих питања. Кључно питање је како смањити број али и последице саобраћајних незгода. Безбедност саобраћаја укључује многе факторе. Као најутицајнији фактор препознат је човек, али и пут представља веома важан фактор. Са циљем повећања безбедности саобраћаја, значајно се настоји да се у систему човек – возило – пут – окружење унапреди фактор пута: геометрија саобраћајница, карактеристике коловоза, стање коловоза, стање опреме, саобраћајне сигнализације и др.

Један од основних параметара саобраћајног тока је брзина и она има изузетан утицај на ефикасност саобраћаја (време путовања) и безбедност саобраћаја (настанак и последице саобраћајних незгода) (Tubić and Celar, 2017 [20]). Брзина кретања возила у великој мери зависи од услова на путу. Мисли се на услове у саобраћајном току али и на геометрију пута, уздужне нагибе, закривљеност и стање коловозне конструкције. Од наведених фактора стање коловоза се може издвојити као показатељ који има значајан утицај на брзину возила.

Новоизграђени путеви су углавном путеви са највишим стандардом, који обезбеђују ефикасно и безбедно кретање возила. Ипак током експлоатације пута под утицајем саобраћајног оптерећења и временских услова јављају се промене на коловозној конструкцији. Свака промена на коловозној конструкцији може да утиче на промену руте кретања возила али и на промену брзине кретања возила. У литератури је препознато да све промене на коловозној конструкцији могу да утичу на повећан ризик од саобраћајних незгода (Al-Masaeid, 1997 [21]) (Zeng, Fontaine and Smith, 2014 [23]), такође смањује се капацитет као и оперативне перформансе (Ben-Edigbe and Ferguson, 2005 [22]).

У оквиру овог рада пажња се посвећује прегледу литературе како стање коловоза утиче на безбедност саобраћаја и брзину кретања возила.

2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

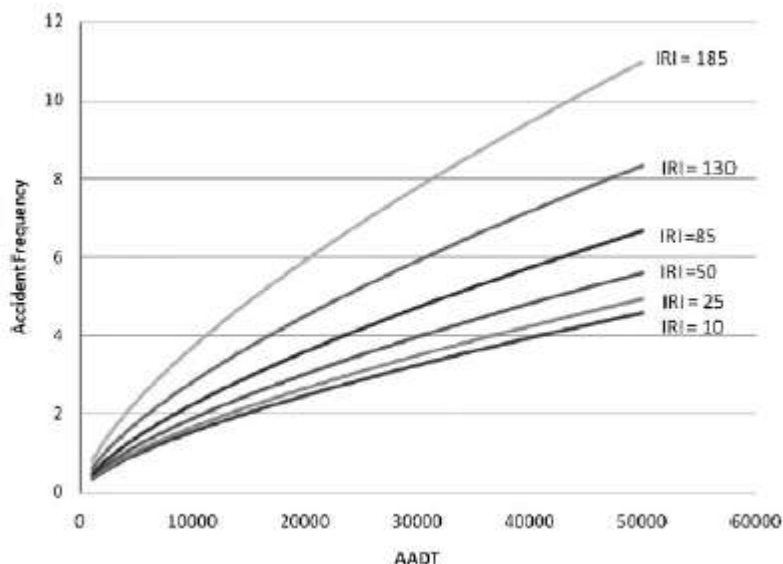
Аутори Tehrani и Falls [1] су публиковали студију под називом „Студија о утицају храпавости пута на број саобраћајних незгода, користећи GIS анализу у провинцији Алберта“. Циљ овог рада је истраживање односа између IRI-а, који представља алат за планирање програма одржавања и рехабилитације аутопутева, и безбедности саобраћаја, која се мери бројем саобраћајних незгода, како би изједначили граничне вредности IRI-а са циљевима безбедности саобраћаја. Подаци за аутопутеве 3А и 9 су прикупљени и евалуирани како би се проценио однос између IRI-а, дубине колотрага и саобраћајних незгода користећи ArcGIS и SPSS софтвер. Аутопутеви су класификовани у три категорије: одлични, добри и лоши у односу на њихову вредност IRI-а, користећи ArcGIS софтвер. Процент путне мреже у свакој категорији и одговарајући број саобраћајних незгода је израчунат и међусобно поређен. У следећем кораку, извршена је статистичка анализа података како би се проценио било какав статистички значајан однос између незгода и вредности IRI-а, користећи SPSS софтвер. Резултати показују да је број саобраћајних незгода на храпавим путевима мањи него на глатким путевима због чињенице да се возачи осећају мање комфортно док возе на храпавим деоницама пута. Возачи возе брже на деоницама са бољим стањем коловоза и успоре када наиђу на деонице са лошијим стањем коловоза, зато се број саобраћајних незгода смањује са повећањем вредности IRI-а и дубине колотрага. Анализа дисперзије је на предметним аутопутевима показала да просечни и максимални IRI имају значајније резултате, па се IRI користи као индикатор потенцијалних незгода у већини случајева. Према резултатима, храпавост је замена за безбедност и вредности IRI-а, а на трогодишњем тренду се могу сматрати одличним алатом за проналажење потенцијално небезбедних путева на путној мрежи без потребе за разматрањем геометрије пута. Управљачи пута лако могу проценити и пронаћи путеве са великим потенцијалом за саобраћајне незгоде у функцији IRI-а и сматрати их приоритетима за програме одржавања и рехабилитације.

Рад аутора Lee et al. [2] „Утицај стања површине коловоза на тежину саобраћајних незгода“ је рад који се фокусира на развој односа између лошег стања коловоза и тежине саобраћајних незгода коришћењем низа Bayesian-ових логистичких, регресионих модела за путеве са малим/средњим/великим брзинама и појединачне/ланчане саобраћајне незгоде. Прикупљени су

подаци о путу, саобраћају и саобраћајним незгодама за појединачне незгоде на државним путевима за 2012. годину из FDOT-а (Florida Department of Transportation) . Све незгоде су подељене у три нивоа према тежини последица, тј. лаке, средње и тешке саобраћајне незгоде. У овом раду је коришћен RFM (Random Forest Model). RFM се користи за идентификацију важних варијабли за категоричну циљну варијаблу. Прорачун је заснован на процесу случајно пермутованим вредностима доступних варијабли преко посматрања и мерења утицаја на тачност предикције добијених резултата. Ако варијабла има већи утицај, она се сматра важнијом за објашњење циљне варијабле (тј. величине последица саобраћајне незгоде). Резултати истраживања показују да се величина последица незгода може смањити добрим одржавањем стања коловоза. Препорука је да се стање коловоза одржава на ниво изнад прихватљивог: минимум 2,0 или више. Иако је ова студија показала занимљиве резултате, имала је два ограничења: прво, у анализи величине последица нису узета у обзир различите врсте оштећења коловоза као што су: хрпавости, пукотине, и колотрази одвојено. Специфичан тип оштећења може имати већи утицај на величину последица саобраћајне незгоде. Поред тога, анализа безбедности саобраћаја може се применити на различитим типовима коловозних конструкција јер различити типови коловоза укључују различита оштећења на површини.

Аутори Chan C.Y., et. al, [3] у свом раду бавили су се утицајем стања коловоза на безбедност саобраћаја. У циљу развијања и разумевања односа између коловоза и саобраћајних незгода, анализирани су међудржавни подаци из 2006. године. студија је била фокусирана на урбане међудржавне аутопутеве са асфалтним коловозним конструкцијама, сличним типовима разделног појаса и ограничењем брзине од 55 mph(88,51 km/h), што управо и представља ограничење ове студије. Укупна дужина међудржавних аутопутева која је коришћена у раду била је 110 миља (177,03km) у четири већа града у Тенесију, укључујући Knoxville, Memphis, Nashville, и Chattanooga. Како би се истражио однос између фреквенције саобраћајних незгода, при различитим условима и нивоа трошења коловоза, развијена су 33 модела. Резултати моделирања показују да је IRI значајна варијабла код свих врста незгода. Код модела за све незгоде, IRI је био 0,005, што указује да ако се IRI повећа са 0-100 на 101-200, фреквенција незгода би се повећала за 1,649 (e0,5) пута. IRI сумира подужне пукотине у траговима точкова које се рачунају из података о надморској висини. У поређењу са IRI коефицијентом (0,005) у моделу за незгоде дању, IRI у моделу за незгоде ноћу је повећан на 0,006. У поређењу са IRI коефицијентом (0,004) у моделу за незгоде са добрим временским условима, IRI у моделу за незгоде по киши је повећан на 0,007. Ово указује на то да са погоршањем стања коловоза, повећања фреквенције незгода за ноћне и кишне временске услове су већа него за дневне и добре временске услове.

Предходна студија (Huang,2004 [4]) категоризовала је вредности IRI на три нивоа: добар (IRI<95), средњи (95<IRI<170) и лош (IRI>170). На основу ове класификације средњи и лош ниво IRI коловоза, може довести до већег броја саобраћајних незгода, као што је приказано на слици 1.



Слика 1. Годишња фреквенца саобраћајних незгода која одговара различитим нивоима ПГДС-а и IRI за сваки одсек аутопута дужине од 0,1 миљу (0,16 km) (Извор: [3])

Група аутора (Alhasan A., et al. [5]) радила је на студији која представља детаљну анализу саобраћајних незгода које су се догодиле у Ајови између 2006. и 2016. Сви подаци о незгодама

подељени су на сегменте од једне милје са познатим ПГДС-ом, постављеним ограничењима брзине (SL), индексом храпавости коловоза (IRI) и дубинама колотрага (RD) у бази података географског информационог система (GIS). За корелацију саобраћајних незгода са стањем коловоза (тј. SN, IRI и RD) користили су негативне биномне регресијске моделе. Анализа показује значајан утицај отпора клизања на слетање са коловоза након саобраћајне незгоде. Након студије дошло се и до бројних других закључака:

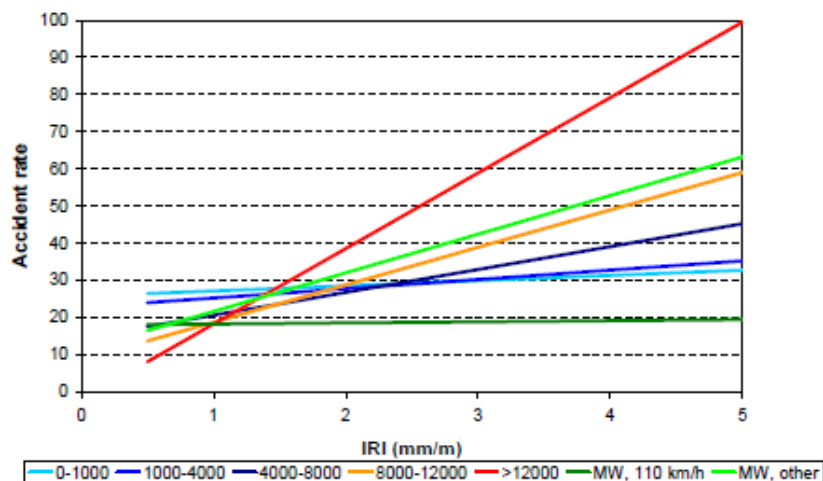
- већи отпор клизања смањио је стопу саобраћајних незгода при којима возило слеће са пута. Овај утицај је појачан на сегментима на којима је дозвољена већа брзина кретања возила и зато је важно да на сегментима са већим брзинама буде обезбеђен одговарајући отпор клизању.
- храпавији сегменти пута имали су нешто више стопе саобраћајних незгода. Овај утицај је појачан на сегментима са већом дозвољеном брзином кретања возила
- већи отпор клизања смањује стопу саобраћајних незгода

Анализа ризика ће олакшати координацију између система управљања коловозом и система управљања безбедношћу у будућности, што ће помоћи у оптимизацији укупних перформанси путне мреже. Детекцијом проблема са коловозом, пре свега са стањем коловоза и превазилажењем истих утиче се на повећање безбедности саобраћаја. Аутори су још навели и да је потребна даља истрага како би се разумео утицај временских прилика на саобраћајне незгоде и интеракција између стања коловоза и временских услова.

У оквиру студије „Утицај стање коловоза на стопу саобраћајних незгода“ (M. Vinayakamurthy [6]) вршена је анализа на аутопутевима у државама Аризона, Северна Каролина и Мериленд годинама између 2013. и 2015. са циљем истраживања везе између стопе незгода и храпавости коловоза. Две главне врсте података су прикупљане и то су: подаци о саобраћајним незгодама из евиденције о саобраћајним незгодама и подаци о храпавости и дубини улегнућа из базе података система управљања коловозом у свакој држави. Рађена је линеарна регресиона анализа да би се проучила повезаност параметара (броја саобраћајних незгода, IRI, дубине улегнућа). Анализа је показала позитивну корелацију између храпавости пута и дубине улегнућа у свим случајевима без обзира на степен озбиљности саобраћајне незгоде. Може се закључити да и храпавост и дубина улегнућа коловоза утичу на саобраћајне незгоде, а власти за одржавање аутопута треба да одржавају добро стање коловоза како би умањили саобраћајне незгоде.

Li Y., et al. (2013) [7] је извршио истраживање користећи податке о саобраћајним незгодама и коловозу из базе података Тексашког министарства транспорта (ТкДТО) између 2008. и 2009. У оквиру студије испитан је однос између тежине саобраћајне незгоде и фактора који указују на стање коловоза. Стање коловоза је категорисано према: ставу корисника пута, отпору клизања, храпавости коловозне конструкције и IRI (Међународни индекс храпавости). Резултати су показали да су се теже саобраћајне незгоде догодиле на путевима са лошим стањем коловоза у поређењу са путевима са коректним коловозом. Такође је примећено да су се незгоде релативно веће тежине догодиле и на путевима са врло добрим стањем коловоза, где је као последица тога наведена брза возња. Намерно посатављање грубих коловоза на путевима велике брзине предложено је као потенцијално решење за избегавање тежих саобраћајних незгода. Поред тога, резултати су показали да стање коловоза при тежим саобраћајним незгодама више утиче на путничка возила него што је то случај са комерцијалним возилима. Међутим, новија студија Li (2014) [8] показала је да су коловози са лошим стањем коловоза одговорни за веће стопе саобраћајних незгода. Аутор је такође изјавио да је истраживачки рад на утврђивању односа између саобраћајних незгода и стања коловоза ограничен.

У Шведској је у оквиру пројекта „Утицај површине коловоза на саобраћај“ спроведено неколико студија. За анализу коришћена је регресиона анализа, зависна променљива је стопа саобраћајних незгода а независне променљиве су дубина колотрага (mm) и храпавост коловозне конструкције изражена преко IRI-ја (mm/m). Резултати истраживања су показали да са повећањем храпавости коловозне конструкције односно IRI-ја долази до очитог повећања стопе саобраћајних незгода (Ihs 2004, [9]). Раст стопа саобраћајних незгода на деловима где је повећана вредност IRI био је већи у зимским месецима него у летњим. Пораст се може сматрати значајним (5% значајан ниво). На графикону на слици 2, приказано је да се број саобраћајних незгода повећава како се повећава IRI за све класе протока саобраћаја.



Слика 2. Резултати линеарне регресије са стопон незгода (број незгода на 100 милиона пређених километара) као зависне и IRI као независна променљива, за различите класе протока саобраћаја за целу годину (Извор: [9])

Раније је спроведено неколико студија које се баве везом између храпавости коловозне конструкције (IRI) и брзине кретања возила али резултати тих студија се разликују. Karan et al. (1976) [27] у раном истраживању анализирали су однос између IRI и брзине возила на 72 локације у близини Онтарија у Канади. истраживање је спроведено 1974. године и те 72 локације су имале сличне карактеристике- у питању је аутопут са две траке. Подаци који су снимљени на лицу места су: брзина возила, храпавост коловозне конструкције, геометријске карактеристике и проток саобраћаја. Ауторима су ови подаци омогућили да креирају однос проток капацитет за сваку тачку на којој се вршено мерење. Аутори су закључили да се брзина смањује за око 1.93mph (3,11 km/h) кад се IRI повећава са 63 на 126 in/mi (са 1 на 2mm/m). Студија је имала и одређена ограничења, локације нису имале заједничко ограничење брзине и није се разматрало како је на свако возило утицала храпавост с обзиром на степен zasiћења.

Velde (1985) [24] је разматрао утицај храпавости површине коловоза на брзину. Посматрао је 200m глатке површине и 200m храпаве површине коловоза. Пронашао је разлике у брзини вожње, ниже брзине кретања возила тамо где је храпава површина коловоза. Брзина се редукује за 5%. Slangen (1983) [25] је такође уочио смањење брзине на путевима са неравним коловозом и то смањење од 14 до 23%.

I.A. Naj-Ismael (1989) [26] истраживао је утицај стања коловоза на брзину у дневним и ноћним условима. Стање коловоза изражавано је преко индекса стања коловоза (PCI). Утврдио је да постоји инверзна веза између брзине кретања возила и стања коловоза тј. како се смањује ниво неравности коловоза тако се брзина повећава. Када се упореде вредности у дневним и ноћним условима није уочена статистички значајна разлика.

Chandra (2004) [10] је спровео студију како би се идентификовао утицај стања коловоза на слободну брзину возила па сходно томе и на капацитет двотрачних путева. Истраживање је спроведено у Индији на три пута али на укупно 8 деоница. Одабране деонице биле су без других капацитивних ограничења тј. равна коловозна конструкција без икаквих ограничења за кретање возила. Студија је подразумевала прикупљање две групе података. Прво подаци о храпавости коловозне конструкције и брзини слободног тока прикупљани су на 55km мреже двотрачних путева. Ови подаци су затим анализирани како би се утврдио ефекат храпавости на брзину. Мерење храпавости је на деоници без утицаја уздужног нагиба, кривина и раскрсница. За прикупљање података о слободној брзини коришћен је радар. Брзина је мерена при малим протоцима возила и разматране су само две категорије возила путнички аутомобил и теретна возила (аутобуси и камиони). Друга група података прикупљана је да би се утврдио утицај храпавости на капацитет. Коришћена је техника видео записа. Снимани су подаци 4-5h током типичног радног дана. Затим су у лабораторији снимци прегледани и добијене су жељене информације. Том приликом су возила класификована у 10 категорија, према димензијама. На графикону на слици 3, приказана је варијација брзине слободног тока у зависности

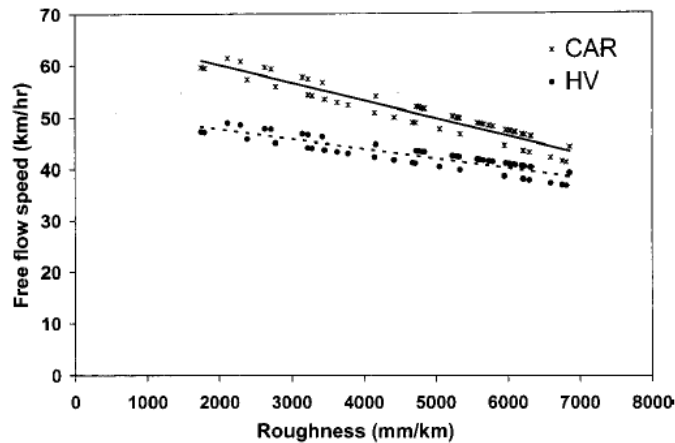
од храпавости коловозне конструкције и то за путничке аутомобиле и теретна возила. Слободна брзина путничког аутомобила је у вези са храпавошћу и та формула има следећи облик:

$$V_{ffsc} = 66.9 - 0.0034 * UI \text{ при том је } R^2 = 0.91 \quad (1)$$

док код теретних возила облик је следећи:

$$V_{ffshv} = 51.6 - 0.0019 * UI \text{ при том је } R^2 = 0.84 \quad (2)$$

У једначинама (1) и (2) је брзина (V_{ffsc}) у km/h, UI је индекс храпавости и изражен је у mm/km, а R^2 је коефицијент корелације.



Слика 3. Утицај храпавости и слободну брзину возила
(Извор: [10])

Финални закључак студије је да, иако HCM 2000 (Highway Capacity Manual) не узима у обзир, утицај храпавости на слободну брзину и капацитет ипак постоји. Студија је показала да се слободна брзина смањује са порастом храпавости коловозне конструкције и то за промену IRI за један m/km брзина се промени за 3.4km/h код путничких аутомобила и за 1.9km/h код тешких теретних возила. Такође и да се капацитет двотрачних путева може повећати за 10% до 15% уколико се одржава добро стање коловоза са малом вредношћу храпавости.

Wang *et al.* (2014) [11] су у оквиру своје студије истраживали утицај храпавости коловозне конструкције на брзину слободног тока. Развили су модел линеарне регресије брзине слободног тока и храпавости коловозне конструкције са подацима из Калифорније. Подаци који су коришћени за креирање модела су укупан број трака, дани у недељи, регион, цена горива и храпавост коловоза-IRI. Подаци који су коришћени били су експанзивни јер су прикупљени од 2000. до 2011. године и због броја фактора коришћених у моделу. Око 90% прикупљених података о храпавости било је са прихватљивим IRI према FHWA а то је мање или једнако 3m/km (170in/mi). Резултати у оквиру ове студије су показали да храпавост коловоза има веома мали утицај на брзину слободног протока. Промена IRI за један m/km (63in/mi) доводи до промене просечне брзине слободног протока око 0.48–0.64km/h (0.3–0.4 mph). Овај резултат показује да побољшање стања коловоза неће допринети значајно већим оперативним брзинама.

Yu and Lu (2014) [12] у свом раду су за 32 сегмента пута прикупљали податке о храпавости у току 8 година. Одабрани сегменти садрже и флексибилне и круте коловозне конструкције и различит број трака. Укључене су следеће регресионе варијабле: брзина возила, храпавост, однос проток/капацитет, врста коловоза, број трака и ограничење брзине. Прво је извршена анализа варијансе и утврђено је да ограничење брзине и врста коловоза нису фактори који утичу значајно на просечну брзину возила. Добијени регресиони модел показује да се просечна брзина возила смањује за 0.0083mph са сваки повећањем храпавости од 1in/mi (0.84km/h за 1m/km). Формула за овај модел има следећи облик:

$$V = 72.18 - 0.0083 * IRI - 3.035 * VCR - 3.78 * L_3 - 2.29 * L_4 \quad (3)$$

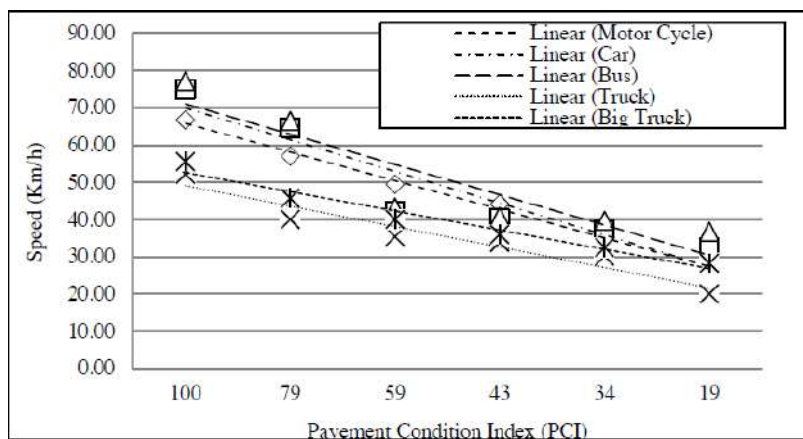
где L_3 и L_4 представљају секције са три и четири траке, VCR- однос проток-капацитет, IRI- међународни индекс храпавости (m/km), V-брзина (km/h). Брзину може да повећа и увођење додатног броја трака. Повећање ограничења са 65mph (104,6km/h) на 70mph (112,7km/h) доприноси малом

повећању брзине док врста коловоза не утиче на просечну брзину возила. Ограничење модела је то што не узима тип возила као независну променљиву што може смањити поузданост модела.

Setyawan, Kusdiantoro and Syaffi (2015) [13] у оквиру свог рада спровели су истраживање на путу Klaten Kartosuro Road који повезује градове Solo to Yogyakarta у Индонезији, укупна дужина деонице је 21.6km. За оцену стања коловоза коришћен је Индекс стања коловоза (Pavement Condition Index PCI). PCI класификује стање коловоза у 6 категорија: одлично (100), веома добро (79), добро (60), солидно (44), лоше (34), веома лоше (19). Прво су утврдили везу између стања коловоза и брзине кретања возила. Посматране деонице нису опремљене светлосним сигнаlima нити другом опремом која омета саобраћајни ток, тако да је тај утицај на брзину искључен. Табела на слици 4 и графикон на слици 5, приказан испод нам показују вредности брзина возила различитих категорија при различитом стању коловоза. Поред тога приказан је и коефицијент корелације и регресиона једначина. Види се да постоји блиска веза између стања коловоза и брзине јер коефицијент корелације има високе вредности за сваку категорију возила. Финалани закључак је да веома лоше стање коловоза смањује брзину за 55% у поређењу са брзинама када је одлично стање коловоза за све категорије возила.

No	Type of Vehicle and Speed	PCI Value						Correlation	R ²
		100	79	60	44	34	19		
1	Motor Cycle (km/hour)	66.77	57.05	49.50	44.21	33.84	27.93	$y = -5.4886x + 54.536$	0.92
2	Car (km/hour)	75.05	64.66	42.39	40.21	37.34	32.34	$y = -5.1437x + 57.709$	0.96
3	Bus (km/hour)	77.27	66.48	43.27	40.74	39.70	36.82	$y = -7.6893x + 73.462$	0.99
4	Truck (km/hour)	52.26	40.10	35.43	33.87	30.22	20.08	$y = -8.5063x + 78.437$	0.87
5	Big Truck (km/hour)	55.58	45.70	40.07	36.08	32.53	28.28	$y = -8.1464x + 79.227$	0.82

Слика 4. Табела брзина различитих категорија возила при различитом стању коловоза (Извор:[13])



Слика 5. Зависност брзине кретања возила и стања коловоза за различите категорије возила (Извор:[13])

Semeida et al. (2016) [14] у свом раду бавили су се утицајем путних фактор на 85ти прецентил брзине возила. Студија обухвата 67 деоница ванградских путева у Египту, свака деоница је дужине 100m. Од тих 67 деоница 39 има две траке у једном смеру док остатак има три траке по смеру. Након спроведене регресионе анализе веза између брзине и храпавости има следећи облик:

$$V_{85}(2trake) = 87.86 - 2.18 * IRI + 0.17PCI \quad (4)$$

Повећање IRI за 1m/km доводи до смањења брзине за 2.6km/h, код путева са две траке. Аутори овг рада су приметили да тачност и валидност података могу представљати ограничења резултата.

Nashim, Younes and El-hamrawy (2018) [15] истраживали су утицај стања коловоза на брзину кретања возила. Подаци на терену прикупљени су на 13 локација двотрачних путева у покрајинама Menoufia и Gharbua у Египту. Свака локација имала је две секције, лошег и доброг стања коловоза, која је одређена на основу PCI. Анализа података показала је да је лоше стање коловоза узроковало велике варијације у брзинама возила и да је због тога расподела брзине одступала од нормалне расподеле. Резултати развијеног модела показују да је знатно мања промена брзина на путевима који имају

добро стање коловоза (PCI већи од 40). Са смањењем PCI промена брзине је већа. Формула која показује промену 85ог перцентиала брзине у зависности од стања коловоза има следећи облик:

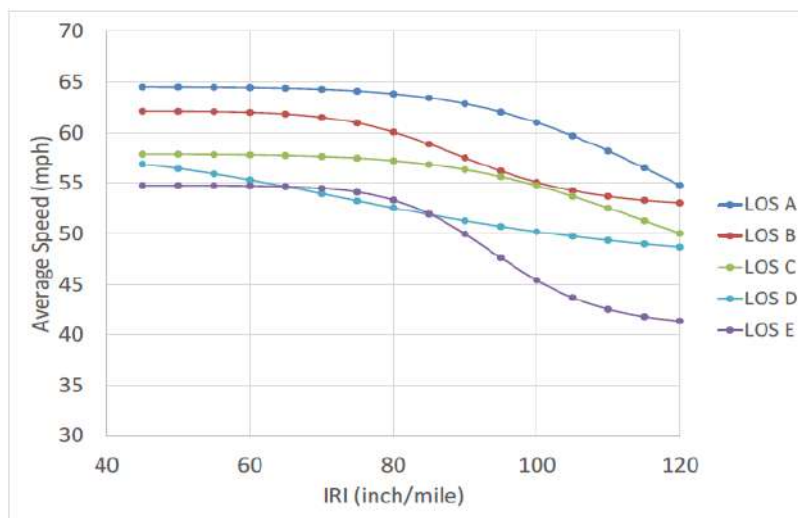
$$\Delta V_{85} = \frac{1385.406}{PCI} - 15.985$$

Где је:

ΔV_{85} -промена 85ог перцентиала брзине за све категорије возила (km/h)

PCI- индекса стања коловоза

Liccardo (2017) [17] се у оквиру рада бавио односом између храпавости површине коловоза и брзине возила, што није било добро проучено у претходним студијама. примењен је нови скуп података, Naturalistic Driving Study (NDS) из Strategic Highway Research Program 2 (SHRP 2), за утврђивање везе између храпавости и брзине. Неколико различитих скупова података коришћено је у истраживању. Први сет података садржи информације са сензора из тест возила чиме је одређено растојање од осталих возила у току и брзину возила у свакој секунди. Овај сет података је обиман, обухвата 3000 учесника током три године истраживања. Следећи сет података су подаци о путу, укључени су видео и сензорски подаци, тако да се брзина, ГПС и видео могу гледати у једном тренутку како би боље разумело зашто би возач могао успорити или убрзати. Гледањем снимка сваког путовања долази до дељења путовања и груписања оних са истим IRI-јем и за сваку групу је утврђен ниво услуге. Истраживање је спроведено у нормалним временским условима (без кише, снега и других екстерних временских прилика) како би се елиминисао утицај времена. На слици 6, приказана је веза IRI-брзина при различитим нивоима услуге. Трендови ових кривих су слични: брзина је стабилна када је IRI низак, а брзина се брзо смањује када IRI достигне високу вредност. Са различитим IRI вредностима, промена брзине се може поделити у две фазе. Прва фаза је IRI вредности од 80in/mi. Када је IRI мањи од 80in/mi, брзина се не мења много како се IRI повећава. Када је IRI већи од 80in/mi, просечна брзина се брзо смањује како се IRI повећава.



Слика 6. Веза IRI-брзина при различитим нивоима услуге (Извор:[17])

3. ЗАКЉУЧАК

Стање коловоза, као један од важних фактора квалитета вожње, представља и елемент који утиче на број и величину последица саобраћајних незгода. У овом раду је анализиран утицај стања коловоза на безбедност саобраћаја и на брзину кретања возила, кроз преглед литературе страних и домаћих истраживања.

Резултати појединих истраживања су показали да стање коловоза утиче на безбедност саобраћаја. Поједини аутори су дошли до закључака да се највећи број саобраћајних незгода догоди на путевима где је коловоз у добром стању, односно да лошије стање коловоза утиче на смањење ризика настанка саобраћајне незгоде. Ово може бити последица тога да путеви са добрим стањем коловоза пружају

већи комфор приликом вожње и омогућавају кретање већим брзинама, па је и ризик настанка саобраћајних незгода на таквим путевима већи. Због великих брзина, на таквим путевима су и последице саобраћајних незгода веће. Док су други аутори током истраживања установили да погоршање стања коловоза доводи до већег броја саобраћајних незгода.

Када је реч о утицају стања коловоза на брзину кретања возила одређени број аутора утврдио је да се са повећањем храпавости коловозне контрукције, односно погоршањем стања коловоза смањује брзина кретања возила. Резултати неких од студија показују да није јака веза између стања коловоза и брзине и да је незнатан утицај стања коловоза на брзину.

Утицај стања коловоза на безбедност саобраћаја и на брзину кретања возила није у великој мери истражен, студије углавном имају одређена ограничења. У будућности потребно је спровести опсежно истраживања и усмерити ка утврђивању утицаја на безбедност саобраћаја и на брзину кретања возила, ако се као параметар посматра само стање коловоза.

Литература

- [1] Tehrani, S. S., Falls, L. C. (2012). Study of the effects of road roughness on number of collisions using GIS analysis in the province of Alberta.
- [2] Lee, J., Nam, B., Abdel-aty, M. (2015). Effects of Pavement Surface Conditions on Traffic Crash Severity. American Society of Civil Engineers. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000785](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000785).
- [3] Chan, C.Y., Huang, B., Yan, X., Richards, S., (2010). Investigating effects of asphalt pavement conditions on traffic accidents in Tennessee based on the pavement management system (PMS). *Journal of Advanced Transportation* 44, 150–161.
- [4] Huang, Y.H. (2004) *Pavement Analysis and Design*; 2nd edn, Pearson Prentice Hall: New Jersey.
- [5] Alhasan, A., Nlenanya, I., Smadi, O., Cameron, A. (2018). Impact of Pavement Surface Condition on Roadway Departure Crash Risk in Iowa. *Infrastructures* 2018, 3, 14; doi:10.3390/infrastructures3020014.
- [6] Vinayakamurthy, M. (2017). Effect of Pavement Condition on Accident Rate. A thesis presented in partial fulfillment of the requirements for the degree master of science, Arizona State University.
- [7] Li, Y., Liu, C., Ding, L. (2013). Impact of pavement conditions on crash severity. *Accident Analysis and Prevention* 59 (2013) 399–406.
- [8] Li, Y. (2014). Safety Impact of Pavement Conditions. Transportation research board 93rd annual meeting, 14-5373.
- [9] Ihs, A. (2004)., The Influence of Road Surface Condition on Traffic Safety and Ride Comfort. The Swedish National Road and Transport Research Institute
- [10] Chandra, S. (2004). Effect of Road Roughness on Capacity of Two-Lane Roads. *JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING*, (June)
- [11] Wang, T., Harvey, J., Lea, J. and Kim, C. (2014). Impact of Pavement Roughness on Vehicle. American Society of Civil Engineers, pp. 1–11. doi: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000689.
- [12] Yu, B. and Lu, Q. (2014). International Journal of Pavement Engineering Empirical model of roughness effect on vehicle speed, (March 2015), pp. 37–41. doi: 10.1080/10298436.2013.792931.
- [13] Setyawan, A., Kusdiantoro, I. and Syaffi'i (2015). The effect of pavement condition on vehicle speeds and motor vehicles emissions, *Procedia Engineering*. Elsevier B.V., 125, pp. 424–430. doi: 10.1016/j.proeng.2015.11.111.
- [14] Semeida, A. M. et al. (2016) 'Impact of multi-lane pavement condition on passenger car traffic', 68, pp. 635–644. doi: 10.14256/JCE.1466.2015.
- [15] Hashim, I. H., Younes, M. A. and El-hamrawy, S. A. (2018). Impact of Pavement Condition on Speed Change for Different Vehicle Classes. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, 43, pp. 271–290.
- [16] Alessandrini, G. et al. (2017). A Study on the Influence of Speed on Road Roughness Sensing: The SmartRoadSense Case †. doi: 10.3390/s17020305.
- [17] Liccardo, N. (2017). Methodology for Roughness-Speed Relationship with SHRP2 Naturalistic Driving Study Data.
- [18] Glavic, D., Tadic, K. and Damjanovic, O. (2018). Uticaj stanja kolovoza na troškove eksploatacije i bezbednosti. doi: 10.31075/PIS.64.01.07.
- [19] Abulizi, N., Kawamura, A. and Tomiyama, K. (2016). Measuring and evaluating of road roughness conditions with a compact road profiler and ArcGIS. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. Elsevier Ltd, 3(5), pp. 398–411. doi: 10.1016/j.jtte.2016.09.004
- [20] Tubic, V. and Celar, N. (2017) . Analiza brzina na putnoj i uličnoj mreži u R. Srbiji.
- [21] Al-Masaeid, H. R. (1997). Impact of pavement condition on rural road accidents. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 24(4), pp. 523–531. doi: 10.1139/197-009.

- [22] Ben-Edigbe, J. and Ferguson, N. (2005) 'Extent of capacity loss resulting from pavement distress', Proceedings of the ICE - Transport, 158(1), pp. 27–32. doi: 10.1680/tran.2005.158.1.27.
- [23] Zeng, H., Fontaine, M. and Smith, B. (2014) 'Estimation of the Safety Effect of Pavement Condition on Rural, Two-Lane Highways', Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2435(2435), pp. 45–52. doi: 10.3141/2435-06.
- [24] Velde, te, P. J. (1985) The Influence of Roughness of Road Pavement on Driving Speed of Cars [De Invloed van de Onvlakheid van Wegverhardingen op de Rij snelheid van Personenauto's]. ICW Nota 1599, Februari 1985.
- [25] Slangen, B. (1983) Changes in Road (Environment) may Lead to Speed Reduction [Verandering van de Weg (-omgeving) Kan Leiden tot Snelheidsverlaging] Wegen, Oktober, pp. 312-319.
- [26] I.A. Haj-Ismael. The Effect of Roadway Surface Condition on Traffic Speed During Day and Night Operations. PhD Thesis, Texas A&M University, 1989.
- [27] M. A. Karan, R. Hass, and R. Kher. Effect of pavement roughness on speeds. Transportation Research Record 602, National Research Council, Washington, D.C., pp. 122-127.

АНАЛИЗА РАСПОДЕЛЕ САОБРАЋАЈНИХ ТОКОВА СА ИБАРСКЕ МАГИСТРАЛЕ НА АУТОПУТ “МИЛОШ ВЕЛИКИ” НА ПОТЕЗУ БЕОГРАД-ПРЕЉИНА

Немања Степановић¹

Универзитет у Београду - Саобраћајни факултет, n.stepanovic@sf.bg.ac.rs

Ивана Андријанић

Јавно предузеће „Путеви Србије“, ivana.andrijanic@putevi-srbije.rs

Јелена Бошковић

Јавно предузеће „Путеви Србије“, jelena.boskovic@putevi-srbije.rs

Теодора Бурсаћ

Универзитет у Београду - Саобраћајни факултет, teodora.bursac15@gmail.com

Резиме: Изградња аутопутева који обезбеђују непрекинуте и неометене услове у саобраћајном току са повољним нивоом услуге, узрокују велику промену у структури и величини саобраћајних токова на постојећој мрежи двотрачних путева. Промена у структури и величини саобраћајних токова нарочито је изражена уколико су услови у саобраћајном току на постојећем путу неадекватни рангу, односно функцији пута у мрежи. Карактеристичан пример представља расподела саобраћајних токова са државног пута ИБ реда, број 22, познатији као “Ибарска магистрала”, на новоизграђени потез аутопута А2 “Милош Велики”. Циљ овог рада управо је у детаљној анализи расподеле саобраћајних токова, са посебним освртом на карактеристичне временске периоде и експлоатационе услове који имају утицаја на наведене промене. У раду је извршена упоредна анализа саобраћајних токова на потезу од Београда до Прељине пре и после пуштања путног потеза А2 Обреновац – Љиг у експлоатацију, узимајући у обзир периоде без и са наплатом путарине. Такође, комплетна анализа извршена је и за период после отварања деонице Сурчин – Обреновац, односно комплетирања потеза Сурчин-Прељина, чиме је на адекватан начин омогућен приступ новој саобраћајници.

Кључне речи: расподела саобраћаја, аутопут, ниво услуге, постојећи пут

ANALYSIS OF THE DISTRIBUTION OF TRAFFIC FLOWS FROM THE IBAR HIGHWAY TO THE “MILOS VELIKI” FREEWAY ON THE BELGRADE-PRELJINA ROUTE

Немања Степановић

Faculty of Transport and Traffic Engineering, n.stepanovic@sf.bg.ac.rs

Ивана Андријанић

Public company „Путеви Србије“, ivana.andrijanic@putevi-srbije.rs

Јелена Бошковић

Public company „Путеви Србије“, jelena.boskovic@putevi-srbije.rs

Теодора Бурсаћ

Faculty of Transport and Traffic Engineering, teodora.bursac15@gmail.com

Abstract: The construction of freeways that provide traffic conditions with a favorable level of service causes a major change in the structure and traffic flow volume on the existing two-lane road network. The change in the structure and traffic flow volume is especially expressed if the conditions in the traffic flow on the existing roads are inadequate to the rank, that is, the function of the road in the network. A characteristic example is the redistribution of traffic flows from the state road IB, no. 22, better known as the “Ibar Highway”, to the newly constructed section of the A2 “Milos Veliki” freeway. The aim of this paper is precisely reflected in the detailed analysis of traffic flow distribution, with special reference to characteristic time periods and operating conditions that influence these changes. The paper presents a comparative analysis of traffic flows on the route from Belgrade to Preljina before and after the commissioning of the A2 freeway from Obrenovac to Ljig, taking into account periods with and without toll collection. Furthermore, a complete analysis is made for the period after the opening of the Surčin - Obrenovac section, namely by completing the Surčin-Preljina section of A2 freeway, which adequately enabled access to the new road.

Keywords: traffic flow distribution, freeway, level of service, existing road

¹ Аутор задужен за кореспонденцију: n.stepanovic@sf.bg.ac.rs

1. УВОД

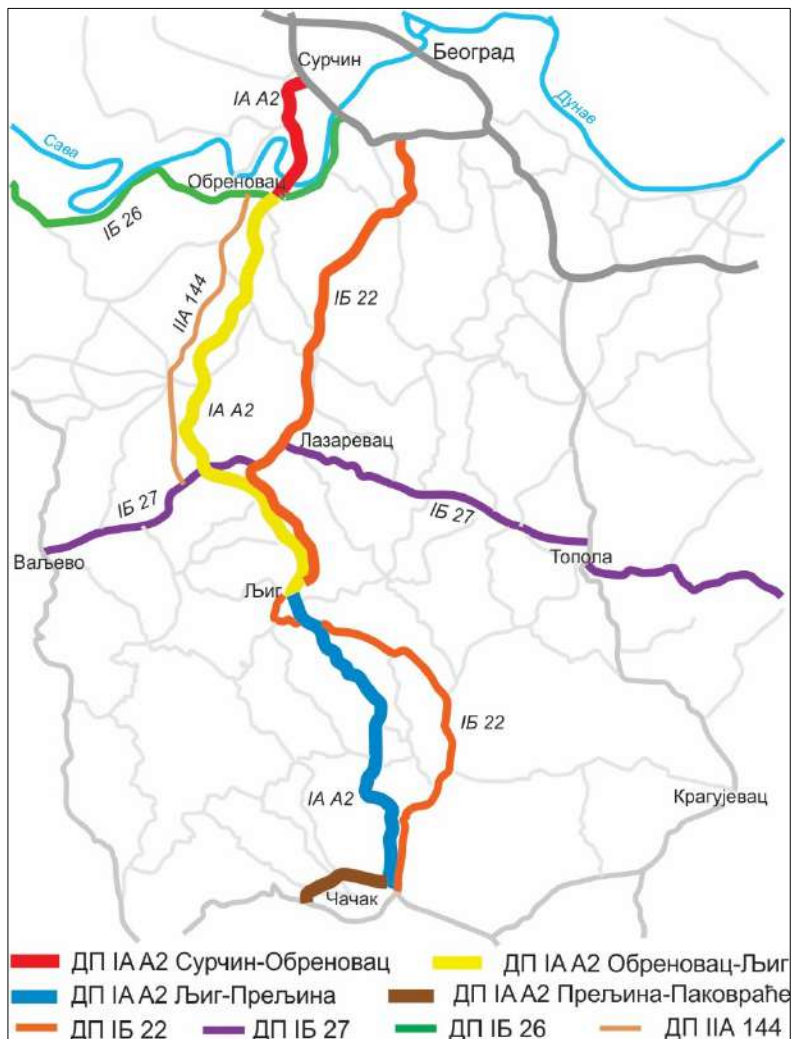
Развој било ког друштва или региона са било ког аспекта директно је условљен развојем путне мреже која је основ саобраћајног система. Ефикасност путног саобраћаја управо зависи од квалитета саме путне мреже.

Када нови транспортни објект или услуга постану доступни, корисници транспортног система могу кориговати своје понашање на више начина - променом руте, начина путовања и фреквенције путовања, на основу чега могу скратити или повећати време путовања [1]. Изградња путева, посебно аутопута знатно побољшава услове у саобраћајном току и основни је предуслов за појаву индукованог саобраћаја. Фактори који утичу на појаву индукованог саобраћаја заснивају се на: повећању капацитета путне мреже; побољшању саобраћајних услова на новом аутопуту у поређењу са лошијим условима на постојећој путној мрежи; смањењу времена путовања; повећању постојећих друштвених и економских активности на утицајном подручју новог аутопута; стварању услова за развој потпуно нових друштвених и економских активности у утицајном подручју новог аутопута. Побољшани саобраћајни услови на новом аутопуту, у поређењу са постојећом путном мрежом, одражавају се у смањењу времена путовања и смањењу *VOC*-а (*vehicle operating costs* - трошкови експлоатације возила) за очекиване саобраћајне токове, који су предвиђени на основу нормалног раста саобраћаја. То значи да се кроз уштеду времена путовања и *VOC*-а појављује економски вишак јер возачи користе нови аутопут да би одржали исте друштвене и економске активности уместо постојеће, мање ефикасне путне мреже. Остварени економски вишак, тј. уштеда у времену путовања и/или уштеда у трошковима рада возила, власници возила могу користити на различите начине. Из постојећих пракси познато је да се један део економског вишка (уштеда) користи за повећање постојеће друштвене и економске активности на утицајном делу новог аутопута, што изазива раст саобраћаја на новом аутопуту. Овај раст протока на новом аутопуту назива се индуковани саобраћај [2]. То значи да се укупни очекивани саобраћај на аутопуту састоји од нормалног, преусмереног (промене у виду превоза и рута) и индукованог саобраћаја [3].

Предмет овог рада јесте анализа расподеле саобраћајних токова са државног пута *IB* реда број 22, познатијег као "Ибарска магистрала", на новоизграђени потез аутопута *A2* "Милош Велики". Такође кроз рад ће бити приказана и анализа прерасподеле саобраћајних токова са околних путева у утицајној зони новоизграђеног аутопута, који су отварањем деоница поменутог аутопута прешли на његово коришћење. За потребе овог рада извршена је анализа саобраћајног тока за одређени број деоница на државном путу *IB* реда број 22, државном путу *IB* реда број 26 и 27 као и *IIA* реда са бројем 144. Деонице на државном путу *IB* реда број 22 представљају директну алтернативу аутопуту *A2*, а деонице државног пута *IB* реда са ознаком 27 и 26 омогућавају приступ новом аутопуту околним тежиштима у ужој и широј гравитационој зони, попут Београда, Обреновца, Ваљева. Деоница на државном путу *IIA* реда са бројем 144 значајна је за анализу због поређења токова који су раније из Уба ишли ка Лајковцу, а сада преко петље Уб иду директно на аутопут *A2*.

У овом раду извршена је упоредна анализа периода пре и након изградње аутопута Милош Велики, односно сагледан је тренд саобраћаја на деоницама горе поменутих путева у периоду од 2014. до 2019. године. Сагледавање тренда саобраћаја од великог је значаја јер пре свега показује промене које је узороковало отварање деоница аутопута "Милош Велики". Поменути пут је један од најважнијих у држави, пошто повезује Београд са јужним и западним делом државе. Аутопут *A2* је део европских путева *E763* (Београд-Чачак) и *E761* (Чачак-Бољаре). Пут је тренутно отоврен за саобраћај од Сурчина (Београд) до Паковраћа (Чачак), док је остатак који ће омогућавати повезивање са Црном Гором је у изградњи. Деонице које су анализирани у овом раду су: Сурчин-Обреновац, Обреновац-Уб, Уб-Лајковац, Лајковац-Љиг, Љиг-Прељина [4]. Комплетирањем целе деонице од Београда до Црне Горе, овај путни правац постаће један од најзначајнијих у Србији и проуроковаће додатну расподелу саобраћајних токова на примарној путној мрежи [5].

На **Слици 1.** графички су приказани наведени путеви који су од значаја за анализу у овом раду. Аутопут 'Милош Велики' подељен је на три сегмента у зависности од времена пуштања потеза у експлоатацију (први потез Љиг-Прељина приказан је плавом бојом, други потез од Обреновца до Љига жутом бојом и последњи сегмент од Сурчина до Обреновца приказан је црвеном бојом), државни пут *IB* реда 22 приказан је наранџастом бојом, државни пут *IB* реда 26 зеленом бојом, државни пут *IB* реда 27 љубичастом бојом и државни пут *IIA* реда 144 љубичастом бојом.



Слика 1. Приказ аутопута А2 и државних путева IB 22, 26, 27 и II A 144 који су од значаја за анализу

Ради лакшег сагледавања рад је подељен у три временска периода која су од значаја за анализу (тачка 2.), у складу са пуштањем сегмената аутопута у експлоатацију. Први период посматрања приказан је у тачки 2.1. у којој је пре свега анализиран утицај отварања прве деонице аутопута Љиг-Прелјина крајем 2016., године на саобраћајно оптерећење на алтернативним деоницама државног пута IB реда 22. Други значајан сегмент рада (тачка 2.2.) јесте отварање деонице аутопута од Обреновца до Љига у августу 2019. године, што је такође узроковало одређене промене на државном путу IB реда број 22, 26 и 27, као и државном путу II A реда број 144. Комплетирањем целог потеза аутопута од Сурчина до Прелјине, односно отварањем последње деонице аутопута Сурчин-Обреновац крајем 2019. године, доводи до нове прерасподеле саобраћајног оптерећења на одређеним деоницама државног пута IB реда број 22, што је приказано у тачки 2.3. Све наведене анализе у наредном поглављу спроведене су употребом званичних база Јавног предузећа „Путеви Србије“ о бројању саобраћаја у Републици Србији [6]. Због недавног пуштања у експлоатацију деонице аутопута А2 од Прелјина до Паковраћа, утицај на додатну прерасподелу токова није анализиран.

2. АНАЛИЗА РАСПОДЕЛЕ САОБРАЋАЈНИХ ТОКОВА У УТИЦАЈНОМ ПОДРУЧЈУ

2.1. Анализа пуштања у експлоатацију дела аутопута “Милош Велики” на потезу Љиг-Прелјина

Познато је да је прва деоница аутопута Љиг-Прелјина пуштена за саобраћај 7.11.2016. године. Самим тим неопходно је извршити поређење саобраћаја на деоници аутопута Љиг-Прелјина са деоницама државног пута IB реда са ознаком 22 да бисмо увидели проценат прерасподеле саобраћајних токова. Деонице државног пута IB реда са ознаком 22 које представљају директну алтернативу аутопуту А2 на делу између Љига и Прелјине су: Угриновци-Бућин Гроб. Деонице које су такође укључене у

анализу су: Вранић-Дражевац, Велика Моштаница-Барајево, Дудовица-Пољанице, Пољанице-Љиг и Кадина Лука-Дићи.

У Табели 1. приказане су стопе промене саобраћајног оптерећења од 2014. до 2018. године на наведеним деоницама услед отварања прве деонице аутопута Љиг-Прељина.

Табела 1. Анализа стопе раста/пада од 2014. до 2020. године за сваку од наведених деоница на државном путу ИБ 22 у утицајној зони аутопута А2

Година	Велика Моштаница-Барајево (АБС Мељак 1002)	Вранић-Дражевац (АБС Вранић1244)	Дудовица-Пољанице (АБС Моравци1034)	Пољанице-Љиг (АБС Пољанице1243)	Кадина Лука-Дићи (АБС Гукоши(Дићи)1036)	Угриновци-Бућин Гроб (АБС Заграђе1153)
2014-2015	3,61%	3,85%	10,24%	8,61%	9,70%	6,95%
2015-2016	7,92%	8,89%	10,87%	10,54%	11,43%	-3,20%
2016-2017	8,13%	8,53%	11,91%	10,39%	15,10%	-64,87%
2017-2018	0,87%	0,42%	-4,48%	-3,71%	-0,94%	-8,03%
2018-2019	-8,74%	-10,44%	-17,71%	-17,72%	-27,66%	3,94%
2019-2020	-28,91%	-36,10%	-54,82%	-45,08%	-68,18%	-11,96%

Извор: Јавно предузеће „Путеви Србије“

Вредност ПГДС-а за деоницу Липовачка шума (Велика Моштаница)-Мељак (Барајево) расте од 2014. до 2018. године. Слична ситуација је и на наредној деоници односно деоници Мељак (Вранић)-Степојевац (Дражевац). Пре свега поменути деонице су укључене у анализу ради сагледавања тренда саобраћаја на делу државног пута ИБ реда број 22 на коме отварање прве деонице аутопута нема великог утицаја. Разлог томе је велика удаљеност прве деонице аутопута од наведених деоница. На њима се може приметити благи пад у 2019. години, који је присутан и на осталим анализираним деоницама. Узрок томе може се пронаћи у прерасподели саобраћајног тока након пуштања деонице Обреновац-Љиг у августу 2019. године. Благо процентуално смањење (до 10%) може се образложити касним отварањем деоница у години, односно чињеницом да је аутопут био у експлоатацији нешто више од 4 месеца, али и положајем наведених деоница у мрежи, где је због близине Београду и насељених места кроз које пролазе велики удео локалних саобраћајних токова. Значајнији пад догодио се у 2020. години, као последица комплетирања путног правца А2 од петље Сурчин до Прељине, али и пандемије COVID 19 и свих мера које су утицале на смањење мобилности становништва и привреде (забрана кретања, рад од куће итд.)

Деонице Дудовица-Пољанице и Пољанице-Љиг налазе се у ужој гравитационој зони новоотворене деонице аутопута Љиг-Прељина и самим тим је неопходна њихова детаљнија анализа. Вредност ПГДС-а расте од 2014. до 2017. године, да би од 2018. године почео благо да опада. Сличан тренд забележен је и на деоници Кадина Лука-Дићи, са које се до августа 2019. године приступало деонци аутопута А2 Љиг-Прељина. Разлози пада на наведеним деоницама у 2019. и 2020. години су исти као и на деоницама Липовачка Шума-Мељак и Мељак-Степојевац, осим што је процентуални пад израженији због већег удела даљинских токова. Деоница Угриновци-Бућин Гроб представља директну алтернативу деоници аутопута Љиг-Прељина. На овој деоници долази до наглог смањења саобраћаја у 2017. години, као последица отварања прве деонице аутопута А2 крајем 2016. године. Забележено је смањење саобраћаја за 4232 возила односно за 65%. Другим речима, анализа саобраћаја на овој деоници показује да велики број возила услед отварања деонице аутопута Љиг-Прељина прелази на њено коришћење. Услед генералног раста ПГДС-а у 2019. години, и на овој деоници долази до благог раста од око 4%, док је у 2020. години забележен значајнији пад од око 12% због утицаја пандемије и додатног преласка токова на аутопут А2 услед комплетирања потеза од Сурчина до Прељине.

У Табели 2. приказан је тренд промене саобраћаја од 2017. до 2020. године за деоницу аутопута Љиг-Прељина. Може се видети да саобраћај на потезу Љиг-Прељина, конкретно на деонци Таково-Прељина, има константни тренд раста, осим занемарљивог пада од 1% у 2018. години. Посебно је интересантан раст у 2020. години за преко 19% у 2020. години, упркос утицају пандемије COVID 19. То се може образложити значајнијим скраћењем времена путовања по комплетирању целог потеза од Сурчина до Прељине, што је узроковало прелазак већег броја возила са деоница пута ИБ 22 и генерисању додатног саобраћаја.

Табела 2. Анализа саобраћаја од 2017. до 2018. године за потез аутопута А2 Љиг-Прељина (подаци са деонице Таково-Прељина)

Година	ПА	БУС	ЛТ	СТ	ТТ	АВ	ПГДС (воз/дан)
2017	5334	151	122	218	87	803	6715
2018	5027	233	132	281	246	717	6636
2019	5611	155	130	215	85	680	6876
2020	6428	235	244	318	199	787	8211

Извор: Јавно предузеће „Путеви Србије“

2.2. Анализа пуштања у експлоатацију дела аутопута “Милош Велики” на потезу од Обреновца до Љига

Потез од Обреновца до Љига пуштен је за саобраћај 18.8.2019. године, а наплата путарине на том делу аутопута уведена је 1.9.2019. године. Као што је извршено поређење преусмеравања саобраћајних токова са деоница Ибарске магистрале на деонице аутопута Љиг-Прељина, неопходно је испитати утицај отварања аутопута од Обреновца до Љига на деонице постојеће мреже у утицајној зони аутопута. Ту се пре свега мисли на следеће деонице тзв. Ибарске магистрале: Липовачка шума (Велика Моштаница)-Мељак (Барајево), Мељак (Вранић)-Степојевац (Дражевац), Ћелије-Жупањац, Дудовица-Пољанице, Пољанице-Љиг, које представљају алтернативу деоницама аутопута од Обреновца до Љига. Поред Ибарске магистрале неопходно је извршити поређење саобраћаја и са деоницама на државним путевима IB реда 26 и 27, које омогућавају везу са аутопутем: Умка-Барич, Лајковац-Ћелије и Словац-Лајковац. Такође од значаја за поређење јесте и деоница УБ-Словац на државном путу IIA реда 144 због поређења токова који су раније из Уба ишли ка Лајковцу, а сада преко петље УБ иду директно на аутопут А2. Периоди који су узети у обзир јесу периоди од 22. до 29. августа (за деонице приказане у **Табели 3.**), период од 22. до 25. августа (за деонице приказане у **Табели 4.**) и период од 5. до 12. септембра (за деонице приказане у **Табели 5.**) за 2018. и 2019. годину. Такође за исте те периоде, односно за период од 22. до 29. августа и за период од 5. до 12. септембра, приказан је тренд промене саобраћаја на деоницама аутопута од Обреновца до Љига (**Табела 6.**). Ови периоди омогућавају поређење саобраћаја пре увођења наплате путарине као и након њеног увођења. Разлог за узимање наведених периода није само могућност поређења саобраћаја пре и након увођења наплате путарине већ и то што је у периоду од 22. до 29. августа на аутопуту вршено контролно бројање саобраћаја да би од 5. септембра почео са радом нови АБС на деоници Обреновац-УБ. Ради лакшег поређења података у свим наведеним табелама приказане су вредности просечног дневног саобраћаја за поменуте периоде у августу и септембру.

Анализа саобраћаја за овај период интересантна је пре свега из разлога што су у том периоду, односно од 18.08.2019. године, пуштене у експлоатацију деонице аутопута од Обреновца до Љига а самим тим је извршено спајање са деоницом аутопута Љиг-Прељина. То нам омогућава да сагледамо степен раста или пада саобраћаја на деоницама које су наведене у табелама 3, 4 и 5. У **Табели 3.** и на **Слици 2.** приказана је упоредна анализа просечног дневног саобраћаја у периоду седмице (од 22. до 29. августа) 2018. и 2019. године за наведене деонице.

Табела 3. Анализа саобраћаја за 2018. и 2019. годину за наведене деонице државних путева IB 22, 26, 27 и IIA 144 за период 22.-29. август

Август (22.8 до 29.8)	Умка- Барич (IB-26) АБС 1059 (воз/дан)	Липовачка шума-Мељак (IB-22) АБС 1002 (воз/дан)	Вранић- Дражевац (IB-22) АБС 1244 (воз/дан)	УБ- Словац (IIA-144) АБС 1146 (воз/дан)	Словац- Лајковац (IB-27) АБС 1148 (воз/дан)	Ћелије- Жупањац (IB-22) АБС 1151 (воз/дан)	Дудовица- Пољанице (IB-22) АБС 1034 (воз/дан)	Пољанице- Љиг (IB-22) АБС 1243 (воз/дан)
2018	14563	21457	18314	5414	6785	13962	11734	12775
2019	23931	14356	11004	4462	8282	6615	4630	5710

Извор: Јавно предузеће „Путеви Србије“



Слика 2. Анализа саобраћаја за 2018. и 2019. годину за наведене деонице државних путева IB 22, 26, 27 и IIA 144

Извор: Јавно предузеће „Путеви Србије“

Евидентно је да је дошло до преусмеравања саобраћаја тако да је у смеру према Обреновцу саобраћај повећан, док се у Мељаку и Вранићу смањило за 33% и 40%, респективно. Остала возила на државном путу IB-22 представљају доминантно локални саобраћај на територији града Београда и околних места, а мањи проценат се односи на токове који су остали на Ибарској магистрали због различитих разлога (уског грла на деоницама од петље Остружница до Барича, нижих трошкова, навика, побољшања услова у току услед смањења оптерећења итд.) Велико повећање саобраћаја на АБС-у 1059 Барич за 9368 возила односно за 64% представља директан утицај аутопута с обзиром да је до завршетка изградње деонице Сурчин-Обреновац, деоница Умка-Барич представљала једину приступну саобраћајницу из Београда. Забележено је и преусмеравање саобраћаја на деоницама на којима су возила раније кретала из околине Уба ка Лајковцу и Ибарској магистрали путевима IIA 144 и IB 27. Тако је на деоници Уб (Дупљај)–Словац, на којој се налази АБС 1146 Мургаш, дошло до смањења саобраћаја за 17%. Наиме, поједини возачи који су раније користили ову деоницу као приступ Ибарској магистрали, одустали су од њеног коришћења због блиске конекције на аутопут (петља Уб). Остатак представљају локални токови који саобраћају на релацији Уб–Ваљево/Лајковац и ближем окружењу, којима коришћење аутопута не доноси никакве користи. На деоници Словац–Лајковац (АБС-у 1148 Непричава) забележено је повећање саобраћаја за 1497 воз/дан. Повећање возила индуковао је нови аутопут с обзиром да се овај АБС налази на деоници на коју се везују приступне саобраћајнице петље Лајковац. Смањење саобраћаја на претходној деоници Уб (Дупљај)–Словац и повећање на деоници Словац–Лајковац нам умногоме говори о утицају аутопута А2. Такође је дошло до преусмеравања саобраћаја са тзв. Ибарске магистрале на којој се налази АБС 1151 Ћелије2, 1034 Моравци и 1243 Пољанице (Љиг). Саобраћај се смањило за 52%, 60%, 55%, респективно што се види из табеле 3. Уочава се да је на потезу од Ћелија до Љига саобраћај опао за око 7000 возила на свим деоницама, што се може приписати преласку возила на аутопут А2.

У Табели 4. и на Слици 3. приказана је упоредна анализа просечног дневног саобраћаја за 2018. и 2019. годину за наведене деонице за период у августу (од 22. до 25. августа). Означени период узет је у обзир због недостатка података од 25. до 29. августа за ове деонице.

Табела 4. Анализа саобраћаја за 2018. и 2019. годину за наведене деонице на државном путу IB-22 за период 22.-25. август

Август (22.8 до 25.8.)	Кадина Лука-Дићи (IB-22) АБС 1036 (воз/дан)	Угриновци-Бућин Гроб (IB-22) АБС 1153 (воз/дан)
2018	7687	6618
2019	2054	1712

Извор: Јавно предузеће „Путеви Србије“



Слика 3. Анализа саобраћаја за 2018. и 2019. годину за наведене деонице на државном путу ИБ-22
Извор: Јавно предузеће „Путеви Србије“

Још једном се потврђује да је дошло до преусмеравања саобраћаја на нови аутопут са Ибарске магистрале, на којој се налази АБС 1036 Гукоши (Дићи) и 1153 Заграђе, што се види из **Табеле 4**. Смањење износи 5633 и 4906 воз/дан, односно око 73% и 74% респективно. Локације ова два бројача су битна за дубљу анализу прерасподеле саобраћајних токова. Наиме, АБС 1036 налази се на деоници Кадина Лука-Дићи, а позициониран је пре некадашње везе са деоницом аутопута А2 Дићи-Прељина, која је била оперативна до пуштања осталих деоница у експлоатацију. Другим речима, бројач до пуштања у експлоатацију осталих деоница А2 бележио је укупан проток свих возила, како оних која су прелазила на А2 тако и оних који су настављали путем ИБ 22 односно Ибарском магистралом. Са друге стране, АБС 1153 налази се на деоници Угриновци-Бућин Гроб, односно прелазак токова на А2 је забележен и пре 2018. године (7.11.2016. године отворена деоница Дићи-Прељина). Међутим, може се уочити да је комплетирањем потеза аутопута А2 дошло до додатног значајног смањења у односу на 2018. годину, што се може приписати повећању дужине аутопута односно повећању уштеда корисника али и одсуством теретних возила која су опслуживала градилиште за време извођења радова.

У **Табели 5.** и на **Слици 4.** приказана је анализа просечног дневног саобраћаја за 2018. и 2019. годину за наведене деонице за период у септембару (од 5. до 12. септембра), након отпочињања наплате путарине.

Табела 5. Анализа саобраћаја за 2018. и 2019. годину за наведене деонице државних путева ИБ 22, 27 и ИА 144 за период 5.-12. септембар

Септембар (5.9. до 12.9.)	Уб–Словац (ИА-144) АБС 1146 (воз/дан)	Словац– Лајковац (ИБ-27) АБС 1148 (воз/дан)	Ћелије- Жупањац (ИБ-22) АБС 1151 (воз/дан)	Дудовица- Пољанице (ИБ-22) АБС 1034 (воз/дан)	Пољанице- Љиг (ИБ-22) АБС 1243 (воз/дан)
2018	5235	6485	12307	9972	11177
2019	4634	7302	6964	5069	5553

Извор: Јавно предузеће „Путеви Србије“

Анализом у овом периоду могуће је сагледати ситуацију пре увођења наплате путарине као и након њеног увођења поређењем **Табеле 3.** и **Табеле 5.** Евидентно је да је дошло до преусмеравања саобраћаја са деонице Уб (Дупљај)–Словац, на којој се налази АБС 1146 Мургаш, где је саобраћај смањен због коришћења петље Уб, што се види из **Табеле 5**. На деоници Уб – Лајковац (АБС-у 1148 Непричава) забележено је повећање саобраћаја за 817 возила односно 16%. Потврђује се и да је дошло до преусмеравања саобраћаја са тзв. Ибарске магистрале, на којој је на АБС 1151 Ћелије2, 1034 Моравци и 1243 Пољанице (Љиг), дошло до смањења саобраћаја за 43%, 49% и 50%, респективно. Уочава се да је на потезу од Ћелија до Љига саобраћај опао за око 4800 возила на свим деоницама, што се може приписати преласку возила на аутопут А2.



Слика 4. Анализа саобраћаја за 2018. и 2019. годину за наведене деонице државних путева IB 22, 27 и IIA 144

Извор: Јавно предузеће „Путеви Србије“

Поређењем **Табеле 3.** и **Табеле 5.** може се уочити да се на АБС-у 1146 број возила у септембарском периоду у односу на август 2019. године повећао за 172 возила односно за 4%. На АБС-у 1148 примећује се смањење броја возила за 980 односно за 12 % у септембру у односу на август. У претходном тексту је напоменуто да деоница Словац-Лајковац (улаз) на коме се налази АБС 1148 представља везу са аутопутем А2. Самим тим је и јасно зашто у септембру долази до смањења броја возила на овом делу пута. На АБС-у 1151 и 1034 који се налазе на тзв. Ибарској магистрали, број возила у 2019. години у септембарском периоду у односу на август се повећао за 349 и 439 возила, респективно. На деоници Љиг-Пољанице долази до смањења броја возила у септембру у односу на август за 157 возила односно 3%. Може се закључити да одређени број возила увођењем наплате путарине одустају од коришћења аутопута. Наравно, до смањења броја возила у септембарском периоду долази и због смањења саобраћајних токова сезонског (туристичког) карактера.

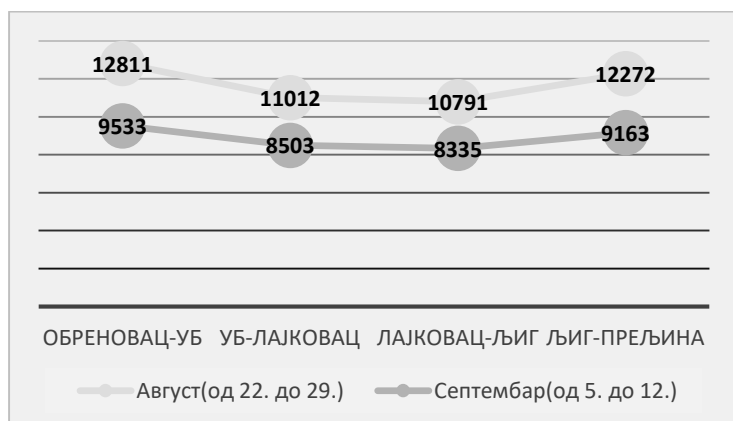
У **Табели 6.** и на **Слици 5.** приказана је анализа саобраћаја за све наведене деонице на аутопуту А2 "Милош Велики". Узете су у обзир просечне вредности дневног саобраћајног оптерећења за период од 22. до 29. августа и 5. до 12. септембра за 2019. годину. Упоредна анализа ова два периода даје нам јаснију слику пре и након увођења наплате путарине.

Табела 6. Анализа саобраћаја за наведене деонице аутопута А2 за 2019. годину

Деонице АП А2	Август (22.8. до 29.8.) (воз/дан)	Септембар (5.9. до 12.9.) (воз/дан)
Обреновац-Уб	12811	9533
Уб-Лајковац	11012	8503
Лајковац-Љиг	10791	8335
Љиг-Прељина	12272	9163

Извор: Јавно предузеће „Путеви Србије“

Укупан просечни дневни саобраћај на деоници Обреновац–Уб за посматрани период у августу износи 12811 воз/дан а у септембру 9533 воз/дан, што представља смањење за 3278 воз/дан, односно за 26%. На осталим посматраним деоницама забележена је слична разлика, која се креће од 2456 воз/дан до 3109 воз/дан, односно од 23% до 25%. Може се закључити да се број возила за период у септембру на свим горепоменутих деоницама на аутопуту смањило у односу на период у августу. Већ наведени разлог за смањење сличног броја возила не лежи само у увођењу наплате путарине, већ и због завршетка летње сезоне са којом се смањује проценат путовања са туристичком сврхом.



Слика 5. Анализа саобраћаја за наведене деонице аутопута А2 у испитиваним седмичним периодима у 2019. години

Извор: Јавно предузеће „Путеви Србије“

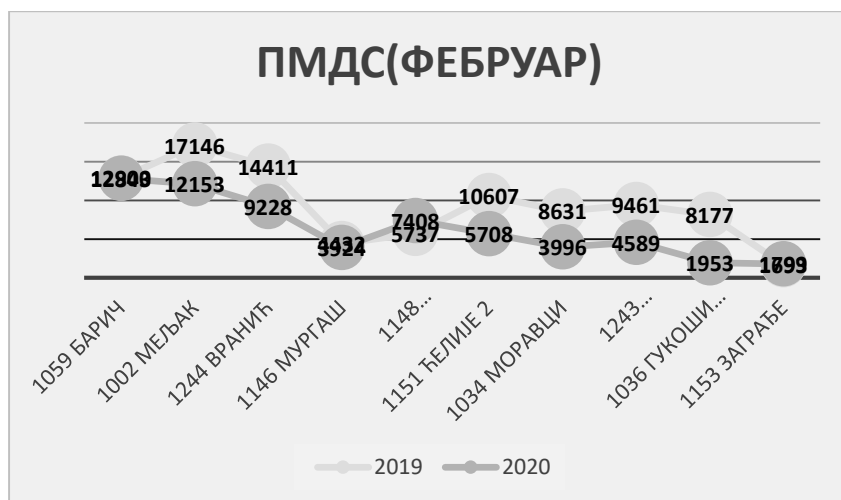
2.3. Анализа пуштања у експлоатацију дела аутопута “Милош Велики” на потезу Сурчин-Обреновац

Анализа саобраћајних токова и овде је извршена за све већ наведене деонице тзв. Ибарске магистрале, државним путевима IB реда 26 и 27 и IIA реда са ознаком 144 за 2019. и 2020. годину, што је приказано у Табели 7 и на Слици 6. Анализиран је просечни дневни саобраћај месеца фебруара за разлику од претходног случаја где је вршена анализа за једну седмицу у августу и септембру. Циљ анализе саобраћаја за овај период огледа се у испитивању утицаја на прерасподелу саобраћајних токова за деонице приказане у Табели 7. Наиме, након завршетка деонице аутопута од Сурчина до Обреновца, која је 18.12.2019. пуштена у експлоатацију, комплетан је цео потез аутопута од Љига до Прељине.

Табела 7. Анализа саобраћаја за 2019. и 2020. годину за наведене деонице државног пута IB 22, 27 и IIA 144

ПМДС фебруар	Умка-Барич (IB-26) АБС1059 (воз/дан)	Л. шума-Мељак (IB-22) АБС1002 (воз/дан)	Вранић-Дражевац (IB-22) АБС1244 (воз/дан)	Уб-Словац (IIA-144) АБС1146 (воз/дан)	Словац-Лајковац (IB-27) АБС1148 (воз/дан)	Ћелије-Жупањац (IB-22) АБС1151 (воз/дан)	Дудовица-Пољанице (IB-22) АБС1034 (воз/дан)	Пољанице-Љиг (IB-22) АБС1243 (воз/дан)	Кадина Лука-Дићи (IB-22) АБС1036 (воз/дан)	Угриновци-Бућин Гроб (IB-22) АБС1153 (воз/дан)
2019	12900	17146	14411	4432	5737	10607	8631	9461	8177	1693
2020	12843	12153	9228	3924	7408	5708	3996	4589	1953	1799

Извор: Јавно предузеће „Путеви Србије“



Слика 6. Анализа саобраћаја за 2019. и 2020. годину за наведене деонице државних путева IB 22, 27 и IIA 144

Извор: Јавно предузеће „Путеви Србије“

Отварањем последње деонице аутопута Сурчин-Обреновац 18.12.2019. и комплетирањем целог потеза од Сурчина до Прељине неопходно је извршити и последњу анализу односно анализу за месец фебруар 2020. године на аутопуту А2. Тиме омогућавамо да, уз промене на деоницама постојећих путева, кроз приказ просечних вредности сагледамо утицаје изазване отварањем последње деонице на овом аутопуту. Ова анализа приказана је у **Табели 8**.

Табела 8. Анализа саобраћаја за наведене деонице аутопута А2 за 2020. годину

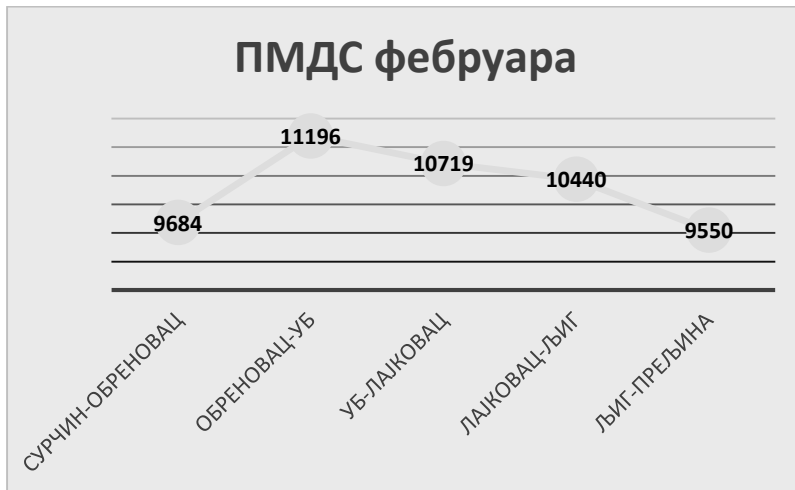
Деонице АП А2	ПМДС фебруара (воз/дан)
Сурчин-Обреновац	9684
Обреновац-Уб	11196
Уб-Лајковац	10719
Лајковац-Љиг	10440
Љиг-Прељина	9550

Извор: Јавно предузеће „Путеви Србије“

Просечан месечни дневни саобраћај на деоници Сурчин-Обреновац износи 9684 воз/дан, док на деоници Обреновац–Уб износи 11196 воз/дан, односно за око 15% више (Табела 8). Број возила на АБС-у 1059 се смањило за чак 46% у фебруару 2020. године у односу на период у августу 2019. године. Разлог томе је отварање деонице аутопута Сурчин-Обреновац, за коју се опредељује далеко већи број возача аутопута у поређењу са деоницом Умка-Барич. Петља Сурчин знатно олакшава приступ новом аутопуту А2. Пре свега то важи за токове који долазе из правца Орловаче, Бубањ Потока и из правца Новог Сада, који се преко аутопута Е-75 прикључују на нови аутопут А2 помоћу петље Сурчин. Број возила на АБС-у 1002 Мељак и АБС-у 1244 Вранић се у 2020. години смањило у односу на 2019. годину за 4993 воз/дан, односно 29%, и 5183 воз/дан, односно 36% за посматрани период у фебруару. То доводи до закључка да око 5000 возила која су раније користила државни пут ИБ-22 сада користе нову деоницу аутопута Сурчин-Обреновац. На бројачком месту Мељак и Вранић је у августу месецу 2019. саобраћај био нижи у просеку за 33% и 40% респективно у односу на исти период 2018. године, док је поређењем са месецом фебруаром 2020. године, саобраћај нижи за 43% и 50%. Може се закључити да је због изградње деонице Сурчин-Обреновац и лакше конекција на А2, додатни саобраћај прешао на аутопут. Преусмеравање саобраћаја приметно је и са деонице УБ (Дупљај)–Словац на којој се налази АБС 1146 Мургаш, где је саобраћај у месецу фебруару 2020. године смањен за 12% у односу на фебруар 2019. (Табела 7). Такође, смањење од 12% је приметно у фебруару 2020. године у односу на август 2019. док у односу на месец септембар смањење износи 15%. На деоници Словац–Лајковац (АБС-у 1148 Непричава) забележено је повећање саобраћаја за 1671 воз/дан односно за 29%. Укупан саобраћај на деоници УБ–Лајковац износи 10719 воз/дан, односно око 4% мање у односу на претходну деоницу (Обреновац-УБ). До преусмеравања саобраћаја дошло је и на делу државног пута ИБ реда 22 на коме се налази АБС 1151 Ћелије2, 1034 Моравци и 1243 Пољанице (Табеле 7), односно смањења за 46%, 54% и 51% респективно. Уочава се да је на потезу од Ћелија до Љига саобраћај опао за око 4700 возила, који су прешли на деоницу аутопута А2 Лајковац-Љиг, где је ПМДС у фебруару износио 10440 воз/дан. Приметно је смањење броја возила у односу на претходну деоницу за 279 возила, односно за мало више од 2%. Такође до смањења броја возила дошло је на деоници Кадина Лука-Дићи у 2020. години у месецу фебруару за 6224 воз/дан, односно 76% у односу на фебруар 2019. године.

На основу ових резултата може се закључити да је велики број возила који је 2019. године користио тзв. Ибарску магистралу, 2020. године прешао на коришћење аутопута. На основу података са бројача саобраћаја који се налазе на деоници Љиг–Прељина, укупан саобраћај на предметној деоници износи 9550 возила. Уочава се да се у односу на претходну деоницу Лајковац–Љиг, саобраћај смањило за око 8,5%.

На основу **Табеле 8**. и **Слике 7**. може се уочити да укупан саобраћај на деоници аутопута А2 Сурчин-Обреновац износи 9684 возила за месец фебруар 2020. године. На деоницама Обреновац-УБ, УБ-Лајковац, Лајковац-Љиг и Љиг-Прељина приметно је повећање броја возила у фебруару 2020. године у односу на септембар 2019. године за 17%, 26%, 25% и 4%, респективно. Може се уочити да је комплетирањем потеза аутопута А2 односно отварањем деонице Сурчин-Обреновац дошло до додатног повећања саобраћаја у односу на период у септембру 2019. године, што се може приписати повећању дужине аутопута односно повећању уштеда.



Слика 7. Анализа саобраћаја за наведене деонице аутопута А2 за 2020. годину
Извор: Јавно предузеће „Путеви Србије“

3.ЗАКЉУЧАК

Циљ рада огледа се у приказу расподеле саобраћајних токова са државног пута IB реда број 22, познатијег као “Ибарска магистрала”, на новоизграђени потез аутопута А2 “Милош Велики”. Такође је извршена и анализа саобраћајног тока на осталим путевима у утицајној зони новоизграђеног аутопута, који су пуштањем аутопута у експлоатацију, прешли на његово коришћење. Ту се пре свега мисли на државни пут IB реда број 26 и 27 као и државни пут IIA реда са бројем 144. Анализе су вршене са циљем испитивања утицаја директног алтернативног правца (пут IB реда број 22 и аутопута А2), али и утицају на приступне саобраћајнице (пут IB реда број 26 и 27, као и IIA 144).

Прва деоница аутопута од Љига до Прељине отворена је за саобраћај 7.11.2016. године, а за њу је извршена анализа саобраћаја од 2017. до 2020. године. Због свеобухватности анализе неопходно је било извршити и испитивање саобраћаја од 2014. до 2020. године за деонице у утицајном подручју (Дудовица-Пољанице, Пољанице-Љига и Кадина Лука-Дићи), а посебно за деоницу Угриновци-Бућин Гроб која представљају директну алтернативу аутопуту А2 на делу између Љига и Прељине. На овој деоници дошло је до значајнијих промена након отварања прве деонице аутопута А2, где је уочено нагло смањење саобраћаја између 2016. и 2017. године, за чак 65%. То говори да је велики број возила (око 6600 воз/дан) која су раније користила ову деоницу пута 22 прешло на коришћење нове деонице аутопута Љига-Прељина. У анализу су укључене и деонице Вранић-Дражевац и Велика Моштаница-Барајево, ради анализе тренда ПГДС-а на целом потезу. Закључено је да отварање прве деонице аутопута није довело до значајнијих промена, односно да је постојао тренд благог раста саобраћаја до 2019. године, када се бележи пад као последица отварања друге деонице аутопута А2 (Обреновац-Љига) 18.8.2019. године. 2020. године уочава се значајнији пад ПГДС-а на свим анализираним деоницама пута IB-22, као последица значајнијег преласка даљинских токова на аутопут А2, али и утицају пандемије COVID 19.

Пуштање деонице аутопута од Обреновца до Љига у експлоатацију довело је до смањења саобраћаја на деоницама државног пута IB-22. Сагледана је седмица у августу у којој је вршено аутоматско контролно бројање саобраћаја на аутопуту А2, на основу којег су добијене вредности просечног дневног саобраћаја. На АБС-у Мељак и Вранић саобраћај се смањио за 33% и 40% респективно. На деоницама државног пута IB реда са ознаком 26 и 27 које представљају везу са аутопутем дошло је до повећања саобраћаја. Повећање саобраћаја на АБС-у 1059 Барич за 9364 воз/дан односно 64%, представља директан утицај аутопута с обзиром да је до завршетка изградње деонице Сурчин-Обреновац, деоница Умка-Барич представљала најближу приступну саобраћајницу из Београда. Такође, од значаја за поређење јесте и деоница путу IIA-144 Уб-Словац (АБС 1146 Мургаш) због упоредне анализе токова који су раније из Уба ишли ка Лајковцу и тзв. Ибарској магистрала, а сада преко петље Уб иду директно на аутопут А2. На овој деоници забележен је пад саобраћаја за 17%.

Наплата путарине на деоницама аутопута од Обреновца до Љига уведена је 1.9.2019. године. С обзиром да је у раду анализиран август месец односно период без наплате путарине, извршена је и додатна анализа за седмицу у месецу септембру. Поређењем се долази до закључка да се увођењем наплате путарине број возила на аутопуту у септембру месецу смањио у односу на август месец када

се на том делу пута није вршила наплата путарине. Разлог за пад броја возила делимично се проналази и у смањењу сезонских токова, односно токова са туристичком сврхом, узроковано постепеним завршетком летње сезоне. Укупно смањење износи око 24% на целом потезу аутопута од Обреновца до Љига. Такође закључак о доминантном утицају наплате путарине на смањење саобраћаја на аутопуту потврђују и подаци са државних путева IB реда 22, 26 и 27 као и државном путу IIA реда са бројем 144, где се број возила на већини деоница које представљају алтернативу новоизграђеном аутопуту, повећава. На АБС-у Мургаш број возила у септембарском периоду у односу на август 2019. године повећао се за 4%. На АБС-овима 1151 Ћелије2 и 1034 Моравци такође долази до повећања броја возила за 5% и 9%, респективно. На АБС-у Непричава који омогућава повезивање са аутопутем А2 примећује се смањење броја возила за 12% у септембру у односу на август 2019.

Отварањем последње деонице Сурчин-Обреновац 18.12.2019. комплетиран је цео потез аутопута од Љига до Прељине. Због тога је извршена и упоредна анализа просечног дневног саобраћаја за месец фебруар 2019. и 2020. године. Циљ анализе саобраћаја за овај период огледа се у испитивању утицаја пуштања комплетног аутопутског потеза на прераспodelу саобраћајних токова за деонице државног пута IB реда са ознаком 22, 26 и 27 као и државног путу IIA реда са бројем 144. Број возила на АБС-у Барич који се налази на IB-26 се у фебруару 2020. године смањено за чак 46% у односу на августовски период 2019. године. Разлог за то је отварање деонице аутопута Сурчин-Обреновац, која омогућава возачима неколико алтернативних праваца за приступ аутопуту коришћењем обилазнице Београда. На бројачком месту Мељак и Вранић који су позиционирани на IB-22 у августу месецу 2019. саобраћај је био нижи у просеку за 33% и 40% респективно у односу на исти период 2018. године, док је поређењем са месецом фебруаром 2020. године, саобраћај нижи за 43% и 50%. Претходно исказано наводи на закључак да је као последица изградње деонице Сурчин-Обреновац и лакше конекције на А2, додатни саобраћај прешао на аутопут. На АБС-у 1146 Мургаш који се налази на државном путу IIA-144 смањење од 12% је приметно у фебруару 2020. године у односу на август 2019., док у односу на месец септембар смањење износи 15%. Комплетирањем потеза аутопута од Сурчина до Прељине, односно завршетком градње деонице Сурчин-Обреновац 18.12.2019. године, број возила на аутопуту од Обреновца до Прељине се повећао за 18% у фебруару 2020. у односу на септембарски период 2019. године. То се може приписати повећању дужине аутопута што је утицало на повећање укупних уштеда корисника.

Приказана анализа је потврдила прелазак токова са државног пута 22, као и осталих путева у гравитационој зони новог аутопута. С обзиром на јако кратак период од комплетирања целог потеза од Сурчина до Прељине, утицају пандемије COVID 19 и најави градње нових приступних саобраћајница, који ће директније повезати токове из Београда, потребно је овакву анализу поновити након одређеног периода времена. Такође, будуће анализе би требало да обухвате и испитивање структуре тока, односно да квантификују прелазак комерцијалних возила на нови пут. Тек на основу поменутих додатних анализа би се прецизно могао утврдити директан и индиректан утицај новог аутопута. Наравно, сличну анализу потребно је спровести и након изградње додатних деоница и комплетирања планираног потеза до Црне Горе односно Јадранског приморја, чиме би се коначно употпунио значај аутопута А2.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Institute for Transport Studies, University of Leeds. (2003). Part of Toolkit for the Economic Evaluation of World Bank Transport Projects, Treatment of Induced Traffic
- [2] Kuzović, Lj., Topolnik, D., & Glavić, D. (2010). Induced Traffic and its Treatment in the Evaluation of Motorway Projects. *Promet-Traffic&Transportation*, 22(6), 459-465.
- [3] Litman, T., & Colman, S. B. (2001). Generated traffic: Implications for transport planning. *ITE journal*, 71(4), 38-46.
- [4] Maletin, M., Tubić, V., & Vidas, M. (2015). Functional Classification of Rural Roads in Serbia. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 5(2).
- [5] Maletin, M., & Tubić, V. (2005). General analysis of transportation demand and supply on primary state rural roads network in the Republic of Serbia. *International Journal Transport&Logistics*, (9).
- [6] Јавно предузеће „Путеви Србије“, „Бројање саобраћаја на државним путевима Републике Србије 2014-2020“.

ANALIZA RASPOLOŽIVE PREGLEDNOSTI NA POSTOJEĆIM PUTEVIMA (autori: Mišel Sabo, dipl.inž.građ., Marina Komad, dipl.inž.građ., Đorđe Sokić, mast.inž.saob.)

Mišel Sabo, dipl.inž.građ.¹

¹ Panpro Team d.o.o., sabomisel@gmail.com

Rezime: *Analiza raspoložive preglednosti i njeno poređenje sa zahtevanom i preticajnom preglednošću je ključna aktivnost za adekvatno projektovanje saobraćajne signalizacije i upravljanje brzinama ali i za proveru bezbednosti saobraćaja na postojećim putevima. Obaveze vezane za ovu aktivnost proističu iz domaćih i stranih propisa i normativa. Međutim, u dosadašnjoj inženjerskoj praksi analiza raspoložive preglednosti je bila ili neadekvatno tretirana ili kompletno izostavljena. Razlog za tako nešto leži u činjenici da nisu postojali odgovarajući alati kojima bi se takve analize sprovodile budući da se zasnivaju na veoma kompleksnim vizuelizacijama pogleda vozača u trodimenzionalnom prostoru sa svim mogućim preprekama koje taj pogled ometaju. Takvu kompleksnost trodimenzionalnog prostora nije moguće predstaviti, niti analizirati, na osnovu klasičnih geodetskih snimanja i merenja.*

U okviru ovog rada dat je pregled teoretskih i normativnih osnova u vezi sa analizama preglednosti, zatim dosadašnje prakse ali i predlog inovativnog rešenja baziranog na simulaciji pogleda vozača kreiranog u trodimenzionalnom modelu oblaka tačaka dobijenog laserskim (lidarskim) skeniranjem puta i njegove okoline.

Ključne reči: *Laserski (lidarski) sistemi, oblaci tačaka, vizuelizacija, preglednost, rehabilitacija puteva, provera bezbednosti saobraćaja.*

ANALYSIS OF AVAILABLE SIGHT DISTANCES ON EXISTING ROADS

Mišel Sabo, dipl.civ.eng.¹

¹ Panpro Team d.o.o., sabomisel@gmail.com

Abstract: *Analysis of available sight distance and its comparison with the required and overtaking visibility is a key activity for adequate design of traffic signals and speed management, but also for checking traffic safety on existing roads. Obligations related to this activity arise from domestic and foreign regulations and norms. However, in the engineering practice so far, the analysis of available visibility has been either inadequately treated or completely omitted. The reason for such a thing lies in the fact that there were no appropriate tools to conduct such analyzes since they are based on very complex visualizations of the driver's view in three-dimensional space with all possible obstacles that interfere with that view. Such complexity of three-dimensional space cannot be presented or analyzed on the basis of classical geodetic surveys and measurements.*

This paper provides an overview of theoretical and normative bases related to visibility analysis, current practice and a proposal for an innovative solution based on simulation of the driver's view created in a three-dimensional model of point clouds obtained by laser (lidar) scanning of the road and its surroundings.

Keywords: *Laser (lidar) systems, point clouds, visualization, visibility, sight distance, road rehabilitation, traffic safety inspection.*

1. UVOD

Premda su teoretske osnove vezano za pojam preglednosti relativno jednostavne i precizno definisane normativima, njihovo utvrđivanje i analiza predstavljaju verovatno najkompleksniji i gotovo nemoguć zadatak za projektante, čak i u današnje vreme veoma razvijenih informacionih tehnologija. Iako u teoriji razlikujemo više vrsta preglednosti kao što su: **zaustavna, zahtevana, preticajna, izoštrana, slobodna**, među njima se ističe **raspoloživa** preglednost iz razloga što bi ona morala predstavljati osnov za adekvatno upravljanje brzinama i projektovanje odgovarajuće saobraćajne signalizacije. Međutim, upravo je raspoloživa preglednost istovremeno i neuhvatljiva za građevinske i saobraćajne stručnjake, naročito na postojećim putevima za razliku od novoprojektovanih. Međutim, činjenica je da će svaki novoprojektovani put jednog dana postati postojeći, duž kojeg će nicati vegetacija i mnogi drugi manji ili veći objekti koji predstavljaju smetnje vizurama vozača.

2. TEORETSKE OSNOVE

Jednostavnost teoretskih osnova vezanih za pojmove preglednosti ogleda se u tome što su sve one, osim raspoložive preglednosti, zapravo proračunske vrednosti i direktno zavisne od brzine, bilo da je to računaska, projektna, eksploataciona ili neka druga vrsta brzine. Za razliku od njih, raspoloživa preglednost ne predstavlja

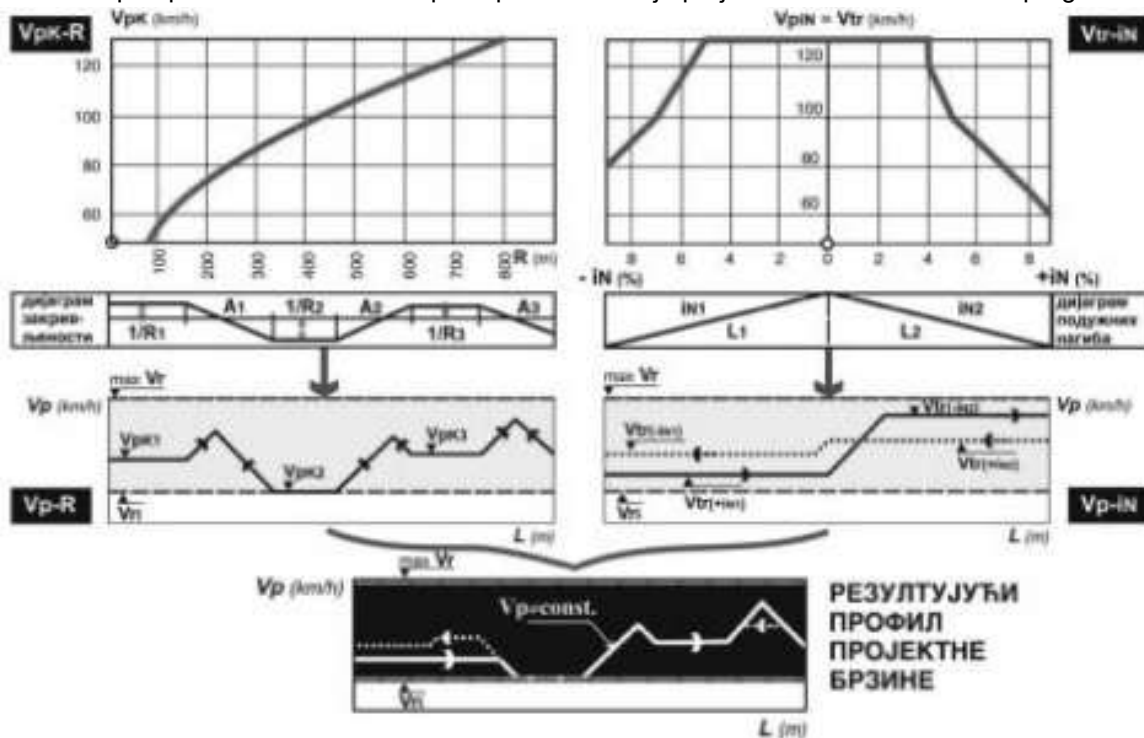
¹ Mišel Sabo, dipl.inž.građ.: sabomisel@gmail.com

proračunsku vrednost već kako joj ime samo govori, izmerenu preglednost koja je zaista prisutna/ostvorena/raspoloživa na putu. Da problem raspoložive preglednosti bude još kompleksniji stara se priroda i razlike u godišnjim dobima. Čak i u ravničarskim uslovima, kod puteva u niskim nasipima gde se ne očekuju neki naročiti problem sa preglednošću, uslovi se mogu drastično razlikovati u letnjim mesecima uz prisustvo poljoprivrednih kultura uz put u odnosu na zimske uslove.

S obzirom da je teorija vezana za preglednost puta manje-više istovetna bilo gde u svetu, kao i s obzirom da su različite vrste preglednosti u R.Srbiji jasno i precizno definisane važećim domaćim pravilnikom², u okviru ovog rada ne postoji potreba da se navodi definicija svake od njih. Ipak izdvojićemo pojam **zahtevane** preglednosti koja se najčešće određuje u sklopu vozno-dinamičkih analiza.

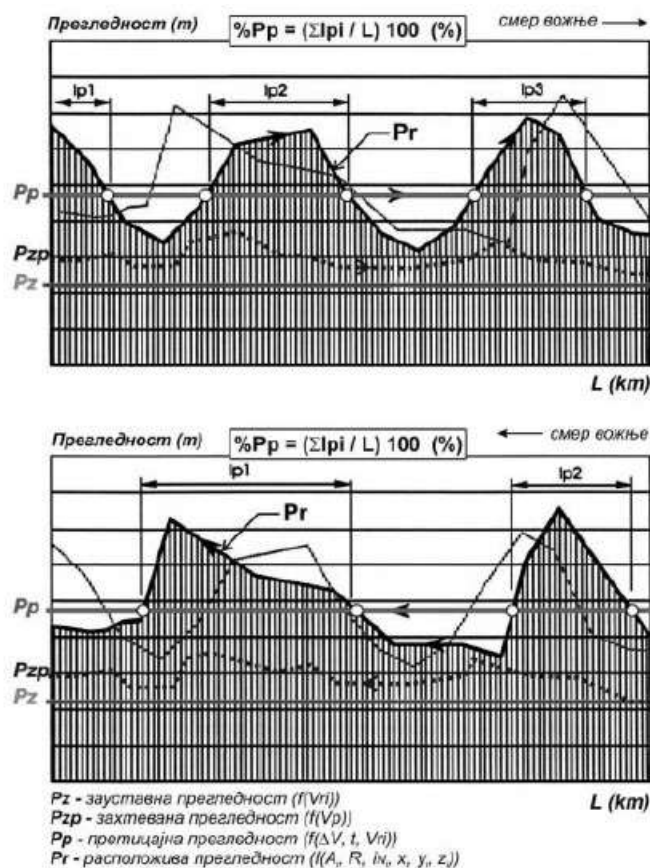
U skladu sa teorijom i važećim pravilnikom, **zahtevana** preglednost (P_{zp}) je preglednost koja je direktno zavisna od **projektne** brzine (V_p), koja je pak sa druge strane direktno zavisna od horizontalne i vertikalne geometrije puta. Zapravo, budući da se prilikom projektovanja puteva teži korišćenju komformnijih elemenata od graničnih koji su definisani **računskom** brzinom (V_r), proističe da su uslovi na putu promenljivi i da se mogu javljati i ostvarivati i brzine koje su veće od računskih. Brzine koje se dobijaju proračunski u odnosu na projektovanu ili postojeću horizontalnu i vertikalnu geometriju nazivaju se projektnim brzinama. U odnosu na nju proračunavaju se potrebni poprečni nagibi i određuje zahtevana preglednost koje se razlikuje od **zaustavne** (P_z) utoliko što se zaustavna preglednost odnosi na proračunsku vrednost dobijenu na osnovu računске brzine. Dakle, u svakoj tački puta mora biti ostvorena zahtevana preglednost kako bi se usamljeno vozilo pri uslovima vlažnog kolovoza moglo zaustaviti ispred iznenadne prepreke. Kako bi se potvrdilo da li je zahtevana preglednost zaista i ostvorena mora se uporediti sa stvarnom **raspoloživom** (P_r) preglednošću.

Na slikama ispod prikazani su šematski postupci određivanja projektne brzine i zahtevane preglednosti.



Slika 1 Konstrukcija rezultujućeg profila projektne brzine
Izvor: važeći pravilnik²

² Pravilnik o uslovima koje sa aspekta bezbednosti saobraćaja moraju da ispunjavaju putni objekti i drugi elementi javnog puta (Sl.glasnik RS 50/11)



Slika 2 Profil raspoložive preglednosti
 Izvor: važeći pravilnik²

3. NORMATIVI I REGULATIVA

U prethodnom delu teksta već je navedeno da su različite vrste preglednosti jasno i precizno tretirane i definisane u važećem pravilniku². Međutim, obaveza utvrđivanja i provere preglednosti proističe i iz mnogih drugih domaćih i stranih propisa kao što su:

- ✓ Zakon o putevima (Sl. glasnik RS, br. 41/2018)
 - u ovom zakonu pojam preglednosti se naglašava u brojnim članovima a u članu 2. je između ostalog definisano sledeće:

“45) **zahtevana preglednost** je rastojanje potrebno za bezbedno zaustavljanje vozila ispred nepokretne prepreke na kolovozu puta koja mora biti obezbeđena na svakoj tački puta i koja se određuje na osnovu merodavnih vrednosti **projektne brzine** u oba smera vožnje;”

- ✓ Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima (Sl. glasnik RS, br. 41/2009, 53/2010, 101/2011, 32/2013 - odluka US, 55/2014, 96/2015 - dr. zakon, 9/2016 - odluka US, 24/2018, 41/2018, 41/2018 - dr. zakon, 87/2018 i 23/2019)
 - u ovom zakonu se pojam preglednosti takođe pojavljuje u brojnim članovima a u članu 7. definisano je sledeće:

“79) **preglednost** je odstojanje na kome učesnik u saobraćaju, s obzirom na fizičke prepreke, može u uslovima normalne vidljivosti jasno videti drugog učesnika u saobraćaju, odnosno drugu moguću prepreku na putu.”

- ✓ Pravilnik o saobraćajnoj signalizaciji (Sl. glasnik RS, br. 85/17)
 - U ovom pravilniku akcenat je više stavljen na problematiku preticajne preglednosti

- ✓ Pravilnik o sadržini i načinu sprovođenja nezavisne ocene doprinosa javnog puta nastanku, odnosno posledicama saobraćajne nezgode (Sl. glasnik RS, br. 46/2019)

Kao iznenađujuća, može se navesti činjenica da se u sledećim normativima:

- ✓ Pravilnik o sadržini i formi izveštaja o izvršenoj kontroli i oceni stanja javnih puteva (Sl. glasnik RS, br. 34/2019)
- ✓ Pravilnik o načinu sprovođenja revizije i provere i sastavu stručnog tima za sprovođenje revizije i provere (Sl. glasnik RS, br. 52/2019)
- ✓ Pravilnik o proceni uticaja puta na bezbednost saobraćaja (Sl. glasnik RS, br. 63/2019)

nigde ne pominje termin preglednost. Međutim, imajući u vidu da su gotovo svi ovi domaći normativi bazirani na pozitivnim stranim normativima i uputstvima, pre svega na EU direktivama i PIARC dokumentima kao što su:

- ✓ DIRECTIVE (EU) 2019/1936 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, of 23 October 2019, amending Directive 2008/96/EC on road infrastructure safety management;
- ✓ DIRECTIVE 2008/96/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, of 19 November 2008 on road infrastructure safety management;
- ✓ Road safety audit guidelines for safety checks of new road projects (PIARC 2011R01),

Iako se može izvući zaključak da je analiza preglednosti nezaobilazna aktivnost i prilikom ispunjavanja svih gore pomenutih domaćih normativa.

U okviru ovih EU direktiva i PIARC uputva pojam preglednosti (visibility, sight distance), odnosno obaveza utvrđivanja i provere preglednosti, se pominje u gotovo svim aktivnostima i alatima vezanim za upravljanje bezbednošću saobraćaja.

4. DOSADAŠNJA PRAKSA VEZANA ZA UTVRĐIVANJE I PROVERU PREGLEDNOSTI

Dosadašnja praksu u oblasti analiza preglednosti može se pre svega podeliti na:

- period pre i posle pojave savremenih računara,
- problematiku vezanu za postojeće puteve, u odnosu na novoprojektovane puteve

U okviru ovog rada fokus je na problemima preglednosti kod postojećih puteva budući da je njihova problematika mnogo složenija u odnosu na novoprojektovane. Odnosno, kod novoprojektovanih puteva u savremeno doba cela problematika se svodi na analizu čistih površina (triangulisanih digitalnih modela - **DTM**³ ili **DSM**) kolovoza i trupa puta (useci, zaseci, nasipi) neopterećenih različitom vegetacijom i objektima koji se vremenom stvaraju uz put ili eventualno planiranom hortikulturom i objektima koje opet možemo sasvim uverljivo izmodelirati i prikazati. Dakle, kod novoprojektovanih puteva i njegove okoline problem se uglavnom svodi na analizu da li vizura vozača prodire kroz žičani model terena i pratećih objekata ili ne.

4.1. Praksa pre pojave personalnih računara

Za jednu od najjednostavnijih metoda za analizu preglednosti uopšte nisu potrebni računari. Naime, za najjednostavniju analizu preglednosti potrebne su dve osobe pri čemu će se prva nalaziti na kolovozu na položaju vozača a druga takođe na kolovozu udaljena od prve za dužinu zahtevane vizure preglednosti, odnosno na lokaciji potencijalne prepreke. Pored toga, potrebno je da imaju obične merne letve za potrebe podešavanja visine pogleda vozača 1.1m i prepreku visine 0.1m. Ukoliko osoba 1 sa pozicije oka vozača dogleda prepreku na udaljenosti zahtevane vizure preglednosti onda je zahtevana preglednost ispunjena i obrnuto. Nakon toga se se osobe-operateri pomeraju duž puta po unapred utvrđenom koraku. Naravno, ova metoda ne samo da je neefikasna i neracionalna već je i nebezbedna obzirom da zahteva prisustvo operatera na kolovozu.

³ DTM-Digital terrain model, DSM-Digital surface model. Razlika između ova dva modela je što DTM predstavlja mrežni-žičani model terena bez vegetacije i objekata a DSM predstavlja model terena u koji su uključena vegetacija i drugi objekti. U okviru ovog rada ćemo ih zajednički zvati žičani model.

Osim ove terenske metode, pre pojave personalnih računara analizu preglednosti bilo je moguće raditi i na crtežima situacionih planova i podužnih profila. Takva metoda podrazumevala je da se različite projekcije (horizontalna-situacioni plan i vertikalna-podužni profil) nezavisno ocenjuju ručnim ucrtavanjem vizura preglednosti duž trase po određenom koraku a zatim bi se kreirala obvojnica vizura preglednosti. Nakon pojave savremenih računara ova metoda je samo doživela automatizaciju. Mane ove metode su sasvim očigledne i ogledaju se pre svega u nemogućnosti trodimenzionalnog sagledavanja problema već se analiza sprovodi u međusobno nezavisnim dvodimenzionalnim ravnima.

4.2. Praksa nakon pojave personalnih računara

O ranim počecima računarski podržanih optičkih analiza više se može naći u udžbeniku za projektovanje puteva Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu (autori: Jovan Katanić, Vojo Anđus, Mihajlo Maletin, 1983 god.). Međutim, i ti rani počeci su u osnovi opet bili orijentisani na analizu žičanih modela trupa puta i okoline i uglavnom su se odnosili na novoprojektovane puteve čije okruženje (kosine useka i nasipa) nije opterećeno vegetacijom i drugim objektima. Optičke analize uz pomoć specijalizovanih simulatora bile su izuzetno komplikovane, skupe i nepristupačne običnom projektantu.

Dugi niz godina uobičajeni proces projektovanja, bilo novoprojektovanih puteva ili rehabilitacija postojećih puteva, podrazumevao je kreiranje podloga za projektovanje baziranih na klasičnim geodetskim merenjima primenom tahimetrijske metode ili snimanjem tačaka po unapred utvrđenim profilima. Na osnovu velikog broja snimljenih tačaka bilo je moguće kreirati žičane modele kroz koje su potom isecani podužni i poprečni profili. Klasična geodetska snimanja pored beleženja podataka o poziciji tačke i nivou terena podrazumevala su i beleženje podataka o lokacijama stabala drveća, stubova osvetljenja, raznih vrsta objekata (zgrada, kuća, zidova, ograda, itd.) i mnogih drugih pojava duž puta ali uvek sa veoma ograničenim brojem podataka koji nisu omogućavali njihovu adekvatnu trodimenzionalnu predstavu u prostoru. Samim tim, bilo kakvu detaljnu analizu preglednosti, koja bi uključila prostornu predstavu krošnji drveća i žbunja, raznih reklamnih panoa, ograda, parkiranih vozila, kontejnera i svih drugih različitih smetnji vizura vozača, nije bilo moguće sprovesti.

Razvojem tehnologije u međuvremenu su se pojavile razne foto i video kamere koje su danas čak integrisane u mobilne telefone koje gotovo svako poseduje. Ovo je omogućilo vrlo jeftina i efikasna fotografisanja i video snimanja trasa postojećih puteva sa neverovatnim nivoom detaljnosti. Jedini nedostatak ovim pristupačnim i jeftinim uređajima i podacima je što ne mogu da obezbede merenje dubine (distance).

Daljim razvojem tehnologija pojavili su se i lidarski(laserski) uređaji koji imaju mogućnost snimanja ogromnog broja tačaka, više od milion tačaka svake sekunde, čime se praktično ostvaruje mobilno skeniranje trupa puta i njegove okoline. Takvi uređaji se danas mogu montirati kako na automobile, tako i na dronove koji snimanja mogu vršiti iz vazduha. S obzirom da svaka snimljena tačka beleži podatak o distanci odbijenog laserskog zraka omogućeno je merenje dužina za razliku od snimaka načinjenih fotoaparatom ili video kamerama. Zapravo, tehnologija je danas toliko napredovala da je čak i fotogrametrijskim metodama, odnosno preklapanjem slika snimljenih sa različitih lokacija moguće vršiti skeniranje prostora i formiranje oblaka tačaka, slično kao i lidarskim uređajima, a vrlo često se i kombinuju snimci napravljeni ovim različitim tehnologijama.

Saglasno takvom napretku tehnologije danas je moguće dobiti vizuelnu predstavu skeniranog prostora u okviru oblaka tačaka sa veoma velikom gustinom tačaka.

U današnje vreme postoji veliki broj softvera namenjenih projektovanju puteva ili GIS-u koji imaju mogućnost obrade oblaka tačaka i automatske analize preglednosti, i jako malo onih kojih imaju mogućnost proračuna projektne brzine i posledično zahtevane vizure preglednosti. Međutim, svi oni ili barem oni sa kojima su autori ovog rada imali kontakt (Civil3D, ArcGIS, Global Mapper), imaju jednu nepremostivu manu o kojoj će kasnije biti više reči a to je da se zasnivaju na analizi prodora prave kroz žičani model. Takođe, još jedna od značajnih mana tih softvera je da zahtevanu preglednost tretiraju kao konstantu, a ne kao promenljivu vrednost duž trase puta.

Kao primer primene softvera Civil3d u analizi preglednosti navodi se simulacija kretanja vozila i prepreke u oblaku tačaka dobijenog laserskim skeniranjem prostora koja se može videti na linku⁴.

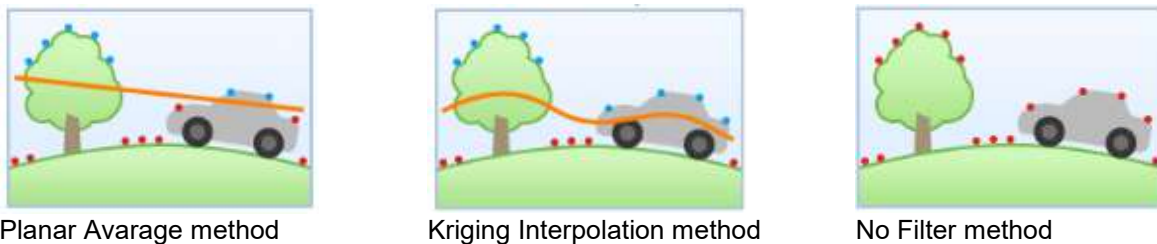
U predmetnoj simulaciji žuta crtica u dubini slike, koja se pomera zajedno sa kretanjem vozila, predstavlja prepreku na visini 0.1 od površine kolovoza i na udaljenosti vizure zahtevane preglednosti. Visina oka vozača

⁴ <https://drive.google.com/file/d/1TJuwigJRak9SIW1GM0O78MbxZ9VCqo-X/view?usp=sharing>

u simulaciji je postavljena na 1.1m u odnosu na površinu kolovoza. Oko vozača i prepreka pomeraju se duž trajektorije saobraćajne trake puta. Nedostatak alata (Analyze/Drive) koji je ugrađen u softver Civil3d, koji je korišćen za izradu predmetne animacije, je što daljinu vizure zahtevane preglednosti tretira kao konstantnu vrednost i što ne može vratiti podatak o dužini raspoložive preglednosti. Međutim, i takav alat je dovoljno indikativan i može ukazati na problematična mesta na trasi postojećeg puta. Za potrebe vizuelizacije definisana je dužina vizure zahtevane preglednosti od 100m kao konstantna vrednost, dok se realno promenljiva dužina zahtevane preglednosti na predmetnoj deonici u zavisnosti od geometrijskih elemenata kreće od 68 do 108m.

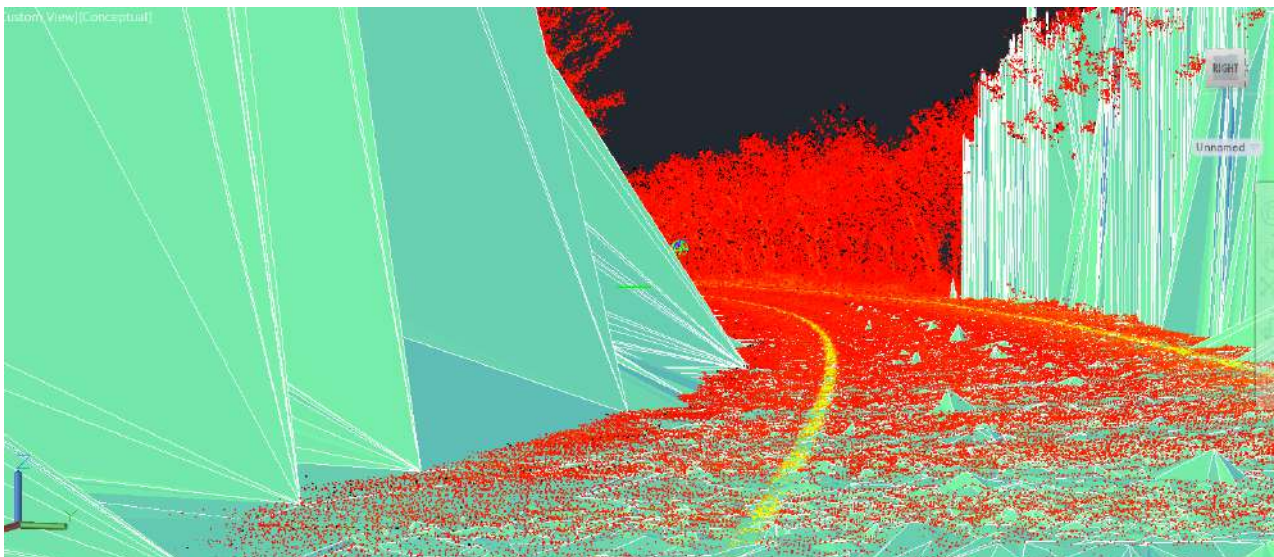
Pored ovog alata, Civil3d poseduje i poseban alat (Analyze/Visibility Check/Check Site Distance). Ovaj alat zaista može analizirati preglednosti i kao rezultat dati anvelopu preglednosti, odnosno razliku između anvelopa zahtevane i raspoložive preglednosti. Međutim, ovaj alat analizira prodor vizure kroz žičani model što je ranije navedeno kao neprihvatljiva mana. U čemu se ogleda ta mana?

Ogleda se u tome što triangulisani digitalni model ne može formirati žičani model koji će u jednoj vertikali imati dva preseka. Odnosno, ako se za primer uzme visoko stablo drveta sa velikom krošnjom žičani model će se formirati na jedan od sledeća tri načina:

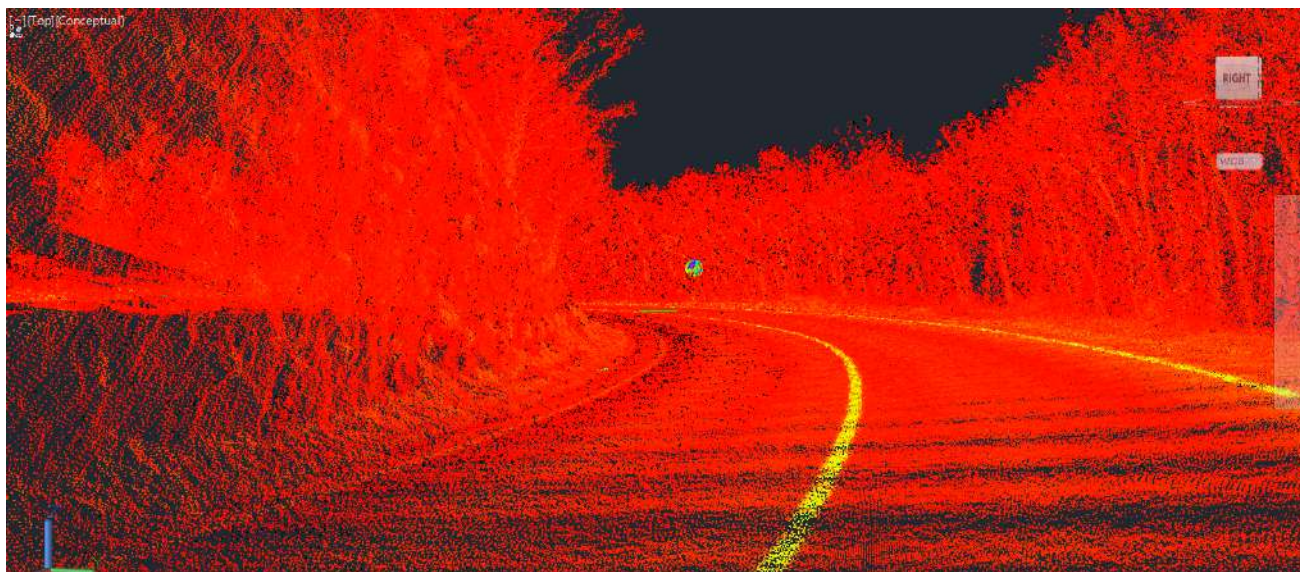


Slika 3 Različite metode kreiranja triangulisanog digitalnog modela
Izvor: Priručnik za korišćenje softvera Civil3d

Ne ulazeći dalje u opis bilo koje od ove tri metode jasno je da prve dve predstavljaju samo aproksimaciju dok je treća takođe neupotrebljiva jer će umesto trodimenzionalne predstave drveta sa krošnjom u obliku vinske čaše, drvo biti predstavljeno kao bure. Slično kao kada se sto ili stolica prekriva čaršavom koji pada do poda. Zapravo, prozirni deo ispod krošnje će u takvom modelu biti neproziran jer će se model formirati po spoljnom obodu najisturenijih delova krošnje i povezati sa tačkama na tlu. Ovo je veliki problem jer će se tačke vegetacije koja se nadvija nad kolovozom, po njenom spoljnom obimu povezati sa tačkama na kolovozu, tako da će deo kolovoza koji se nalazi ispod krošnji biti pokriven žičanim modelom, kao što je to slučaj na sledećim slikama gde je isti pogled prikazan sa i bez žičanog modela.



Slika 4 Prikaz oblaka tačaka preklopljen sa žičanim modelom

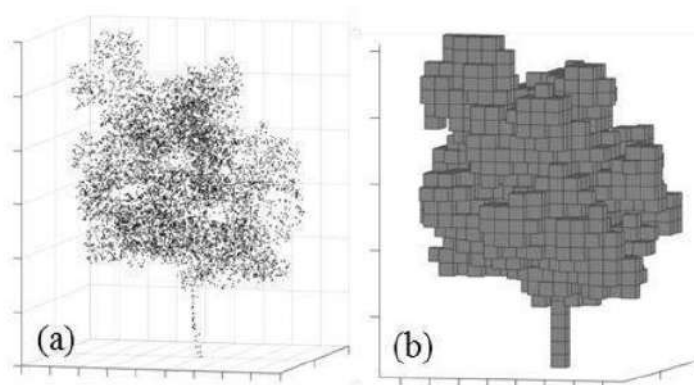


Slika 5 Prikaz oblaka tačaka bez preklopljenog žičanog modela

Na prethodnim slikama se može videti da je preglednost sa ove pozicije posmatrača zadovoljavajuća, odnosno žuta crtica na udaljenosti zahtevane vizure preglednosti jeste vidljiva u prikazu oblaka tačaka bez žičanog modela. Međutim, ista nije vidljiva u kombinovanom prikazu sa žičanim modelom iz razloga što su se tačke na vrhu krošnje drveća povezale sa tačkama na kolovozu kreirajući trouglove koji sakrivaju sve ono što se nalazi ispod njih.

5. SAVREMENE METODE ANALIZE PREGLEDNOSTI

S obzirom na prethodno opisane nedostatke utvrđivanja prodora vizure preglednosti kroz žičane modele savremene metode se više zasnivaju na analizi prodora vizure preglednosti kroz **voxel**. Šta je to voxel? Najlakše objašnjenje voxel-a je da je to trodimenzionalni pixel. Zapravo, budući da je tačka bezdimenzionalna veličina (ne poseduje gabarit) njena predstava u ravni se mora vizuelizirati kvadratom određene dimenzije koji se naziva pixel. Na isti način gabarit određene tačke u prostoru se može vizuelizirati sferom ili kockom određene dimenzije. Takav objekat u prostoru će se umesto pixel zvati voxel. Zamenjujući tačke u oblaku tačaka telima sfernog ili kocakstog oblika određenih dimenzija dobija se skup tela u prostoru koji se mogu dodirivati i preklapati kao što je to prikazano na slici ispod.



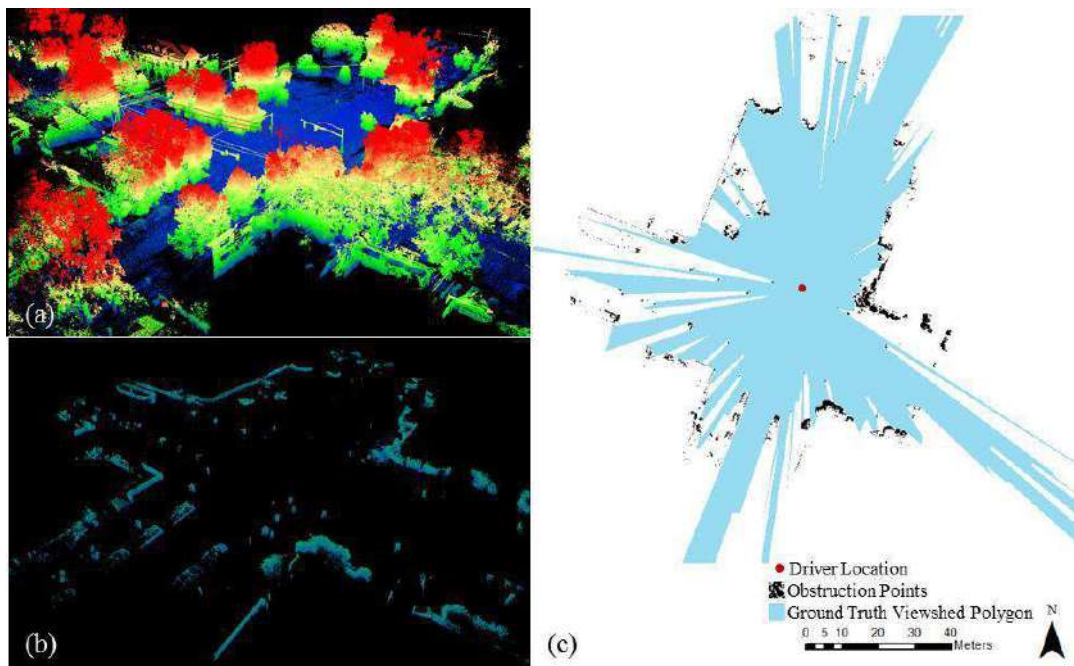
Slika 6 Drvo predstavljeno kao oblak tačaka (levo) i isto drvo predstavljeno kao skup voxel-a (desno)
Izvor: 3D VIRTUAL SIGHT DISTANCE ANALYSIS USING LIDAR DATA ⁵

⁵ 3D VIRTUAL SIGHT DISTANCE ANALYSIS USING LIDAR DATA
(https://digital.lib.washington.edu/researchworks/bitstream/handle/1773/43497/2015-S-OSU-81_Michael-Olsen_3D-Virtual-Sight.compressed.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Time je postignuto da svako telo u prostoru umesto žičanim modelom bude predstavljeno skupom gradivnih ćelija (voxel-a) čije preseke sa pravom kompjuter može izračunavati. To pak znači da je problem analize preglednosti sveden na traženje prodora prave kroz voxel. Ostaje da se voxel-u dodeli gabarit što je opet posebna vrsta problema kako sa stanovišta preciznosti, tako i sa stanovišta potrošnje resursa računara. Budući da se teoretski proverena ispunjenosti zahtevane preglednosti svodi na jedan zrak svetlosti koji se odbija od zamišljene prepreke visine 0.1m, koja se nalazi na putanji vožnje i udaljenosti od oka vozača po toj putanji jednakoj dužini zahtevane vizure preglednosti, reklo bi se da je problem jednostavan i rešiv. Ukoliko taj zrak ne prođe ni kroz jedan jedini voxel na svom putu dužina zahtevane preglednosti je ostvarena. Ukoliko pak preseče neki voxel onda nije ostvarena. Međutim, to opet ne govori kolika zapravo jeste raspoloživa preglednost. Sa druge strane pitanje je koliki je taj objekat koji se isprečio zraku koji putuje do oka vozača. Da li je to voxel u skupu voxel-a koji grade vitak stub saobraćajne signalizacije i da li je to realna smetnja u preglednosti ili nije?

Kako bi se utvrdila zaista raspoloživa preglednost upotrebom voxel-a nije dovoljan jedan zrak uperen u zamišljenu prepreku na određenoj distanci već snop zrakova pri čemu će merodavan biti zrak koji preseca voxel koji je uglovno najbliži pravcu koji zauzima vozilo u prostoru. Ukoliko se pak planira da se pusti snop zrakova mora se razmišljati koliko mala ili velika treba da bude promena ugla u tom snopu. Sva ova problematika je vrlo lepo opisana u dokumentu⁵ koji se preporučuje onima koji žele dodatno da se informišu. U uvodnom delu tog dokumenta navedeno je da je USA savezna država Oregon ovu metodologiju primenila na svim svojim državnim putevima kako bi prepoznala lokacije koje imaju problem sa preglednošću i preuzela mere na otklanjanju tih problema, kao i da se jednom godišnje proveravaju lokacije od najvišeg prioriteta.

Ova metoda može dati odlične rezultate kod provere trouglova preglednosti na raskrsnicama. Međutim, pomenuti dokument ne objašnjava da li se prilikom detektovanja problema sa preglednošću duž neke deonice u obzir uzima promenljivost brzine i posledično promenljivost vizure preglednosti, da li se i na koji način utvrđuju pojedinačne raspoložive vizure preglednosti i anvelope sukcesivnih vizura i da li se vrši poređenje sa anvelopom zahtevane preglednosti. Takođe, ova metoda ne daje odgovor da li se iza prepoznate smetnje nalaze dodatne smetnje koje treba detektovati. Zapravo, ako uklonimo prvu smetnju u vizuri vozača ne znači da smo uklonili i sve ostale koje se nalaze iza prve.



Slika 7 Analiza trouglova preglednosti na raskrsnici sa detekcijom prepreka
Izvor: 3D VIRTUAL SIGHT DISTANCE ANALYSIS USING LIDAR DATA⁵

Saglasno prethodnom postavlja se pitanje da li postoje i drugi modeli koji će ipak omogućiti da se utvrde zone raspoložive i zahtevane preglednosti, i njihovo preklapanje radi poređenja. Jedan sličan inovativni metod osmislili su autori ovog rada, s nadom da će ga do konačne prezentacije na Srpskom kongresu o putevima kompletno razraditi i isprobati na nekoj opitnoj deonici. Metod koji je zamišljen je opisan u narednim pasusima.

6. PREDLOG INOVATIVNE METODE

Opis metode autora započinje pitanjem ko bi mogao imati koristi od analiza preglednosti i šta bi bio konačni rezultat koji bi mogao imati najveću upotrebnu vrednost takve analize.

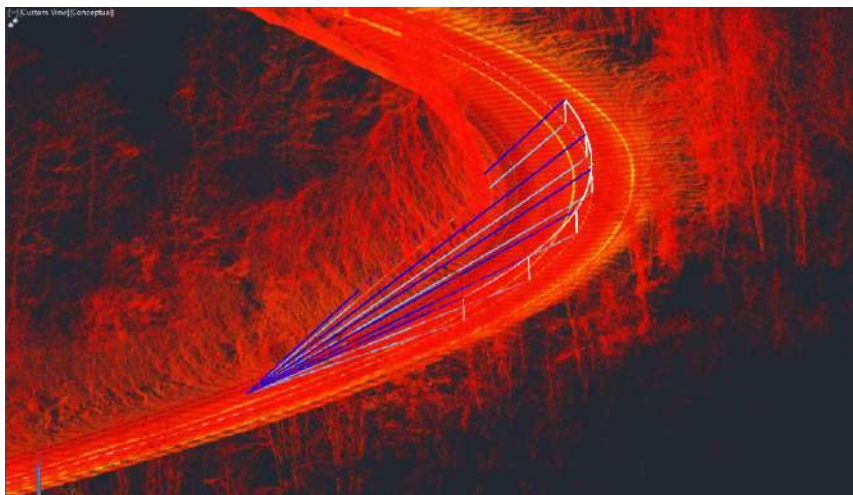
Nesumnjivo, koristi mogu imati različiti učesnici u planiranju, projektovanju, proverama bezbednosti, održavanju puteva, procesima veštačenja, osiguranja i sl. Osim što bi mogli imati koristi, s obzirom na uticaj na bezbednost saobraćaja izrada analize preglednosti im je i obaveza u skladu sa zakonskom i podzakonskom regulativom koju smo ranije delimično pobrojali. Ipak, orijentacija autora je najviše usmerena prema upravljaču puta i ako se analizira njegova uloga željeni finalni rezultat bi bio sledeći.

Upravljaču puta je potrebno detektovanje smetnji u vizurama vozača kako bi mogao da:

- ukloni smetnje
- reguliše ograničenja brzine ukoliko smetnje ne može da ukloni

Saglasno tome, upravljaču puteva je neophodan situacioni prikaz preklapljenih anvelopa vizura raspoložive i zahtevane preglednosti sa detektovanim objektima u tom preklopu koji predstavljaju smetnje. Naime, ne moraju svi objekti koji upadaju u preklap anvelopa preglednosti biti istovremeno i smetnje. Radi se o objektima koji se nalaze ispod ili iznad dve **lepeze** preglednosti koje se kreiraju u svakoj tački puta ili su dovoljno mali i vitki kao stubovi saobraćajnih znakova da realno ne predstavljaju smetne preglednosti. Prva pomenuta lepeza polazi od oka vozača i cilja tačke po kolovozu puta. Krajnja tačka duž tih lepeza nalazi se na udaljenosti zahtevane vizure preglednosti od oka vozača duž njegove trajektorije. Druga lepeza cilja tačke koje su iznad kolovoza izdignute za tačno određenu veličinu. Saglasno normativima, te tačke na kolovozu treba podići za 0.1m kada je u pitanju provera zahtevane preglednosti. Zapravo, korak lepeze i visina prepreke će biti ulazni parametri koje će definisati operater čime se stiče mogućnost za različite scenarije provere preglednosti (za putničko vozilo, teretno i sl.).

Pomenute lepeze predstavljaju ključ predložene metode. Umesto traženja preseka vizura koje polaze iz oka vozača sa trouglovma žičanog modela ili voxel-ima, izdvojiće se sve tačke oblaka tačaka koje se nalaze između te dve lepeze. Za prepoznavanje tih tačaka nije potreban ni žičani model niti kreiranje voxel-a, odnosno dodeljivanje gabarita tačkama. Vizuelni prikaz prethodno opisanih lepeza prikazan je na sledećoj slici, s tim što je zbog bolje vizuelne predstave visina prepreke postavljena na 1.5m.

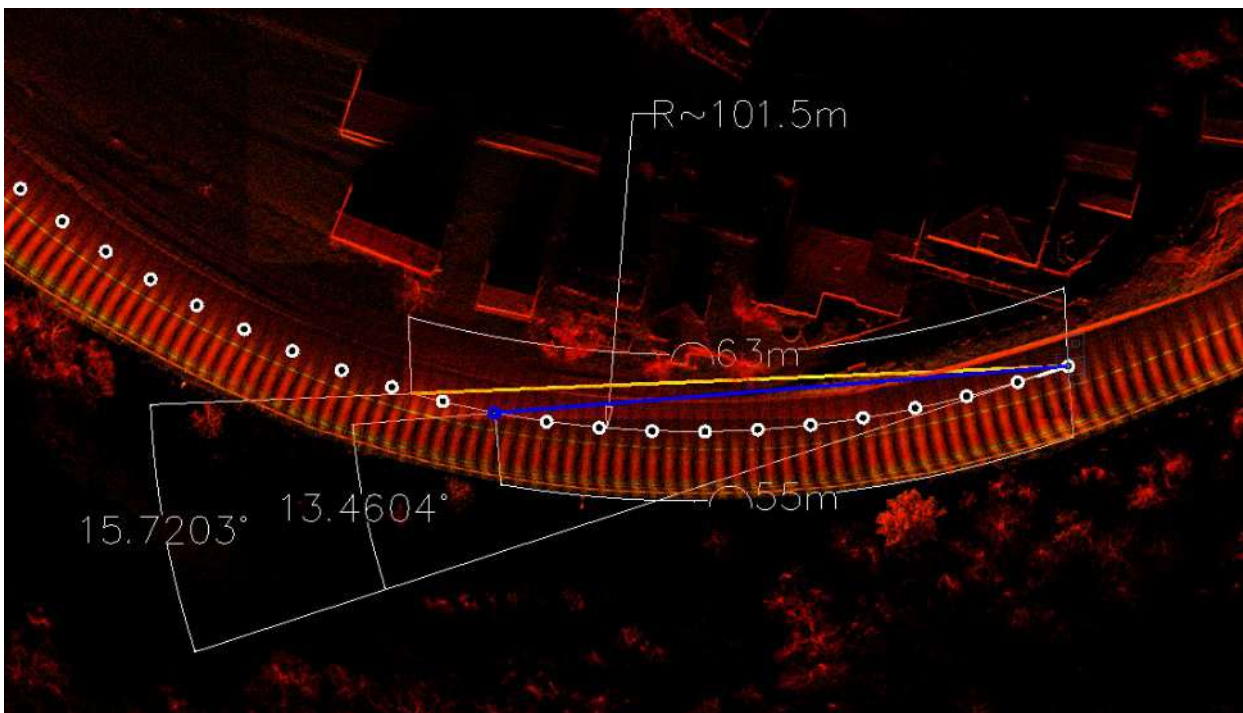


Slika 8 Prikaz kreiranja lepeza (piramide) preglednosti

Pomeranjem složenog geometrijskog tela, koji će se radi jednostavnosti zvati **piramida** preglednosti, kojeg formiraju pomenute dve lepeze po trajektoriji vožnje, stvoriće se mogućnost za selektovanje svih tačaka u okviru celokupnog oblaka tačaka koje predstavljaju smetnju vizurama preglednosti. Korak pomeranja piramide preglednosti, visina oka vozača iznad kolovoza i pozicija u okviru saobraćajne trake, će takođe biti ulazni parametri koji će biti ostavljen na slobodu operateru.

Kada su u piramidi preglednosti izdvojene sve tačke koje se u njoj nalaze, određivanje raspoložive preglednosti se svodi na određivanje marginalne tačke koja je uglovno najbliža pravcu koji definiše položaj vozila u prostoru, kao što je to pokušano da se ilustruje na slikama ispod.

Ilustrovani primer se odnosi na odabranu krivinu radijusa $R \sim 101.5\text{m}$, gde zahtevana preglednost iznosi $P_{zp} \sim 63\text{m}$. Prepreke su predstavljene u vidu valjaka radijusa $r=0.5\text{m}$, visine $h=0.1\text{m}$. Valjci su poređani na svakih 5m duž trase a sa prve slike se vidi da se najdalje može videti valjak obojen plavom bojom koji se nalazi na rastojanju $\sim 55\text{m}$ od vozača. Svi ostali valjci pokriveni su kosinom trupa puta koja se nazire u oblaku tačaka. Na drugoj slici zahtevana (žuta) i raspoloživa (plava) vizura prikazane su i kotirane u situacionom planu. Raspoloživa preglednost sa predmetne pozicije vozača iznosi $P_r \sim 55\text{m}$. Takođe, na toj slici su kotirani i uglovi koje zahtevana i raspoloživa vizura zauzimaju u odnosu na položaj vozila koji je tangencijalan u odnosu na trasu.



Slika 9 Primer određivanja dužine vizure raspoložive preglednosti

Analiza raspoložive preglednosti definisanom metodom podrazumevaće sledeće aktivnosti i korake:

- prikupljanje podataka i izradu oblaka tačaka;
- generisanje trajektorije vozila za oba smera vožnje;
- izradu dijagrama projektne brzine na osnovu horizontalne i vertikalne geometrije koju sadrži trajektorija;
- korekciju dijagrama projektne brzine na osnovu postojećih ograničenja ili ograničenja definisanih opštim uslovima vožnje (u naselju, van naselja);
- izradu dijagrama zahtevane preglednosti ili bilo koje druge preglednosti koja se računski može dobiti iz dijagrama projektne brzine;
- izradu anvelope zahtevane preglednosti;
- detekciju svih tačaka u okviru kreiranog oblaka tačaka koje padaju unutar pokretne piramide preglednosti;
- utvrđivanje dužine raspoložive preglednosti za svaku poziciju vozila na putu;
- izradu anvelope raspoložive preglednosti;
- analizu smetnji koje padaju u zonu ograničene anvelopama raspoložive i zahtevane preglednosti sa eliminacijom onih za koje se proceni da ne predstavljaju realnu smetnju;
- izradu digitalnog crteža sa smetnjama razdvojenim po različitim karakteristikama i lejerima;
- izradu elaborata sa predlozima i zaključcima

7. ZAKLJUČAK

Prema podacima preuzetim iz baze podataka⁶ dostupne na internet portalu Agencije za bezbednost saobraćaja, u periodu 2016-2020 god. u R.Srbiji desilo se 2520 saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima. Od tih 2520 nezgoda, 192 je svrstano u grupu uticajnih faktora *'Propusti vozača zbog neadekvatne vidljivosti, preglednosti, odnosno kompletnog doživljaja i viđenja puta i saobraćaja'*. Od te 192 nezgode, 71 je svrstano u uticajne faktore: *'Uticaj zaustavljenog ili parkirano vozila', 'Uticaj vegetacije', 'Uticaj pružanja puta na preglednost vozača', 'Uticaj građevinskih objekata, reklama, saobraćajne signalizacije'*. Ukoliko se pomenute brojke pretvore u procenite može se zaključiti da se 7.6% svih nezgoda sa poginulim licima svrstava u uzroke koje imaju vezu sa neadekvatnom vidljivošću i preglednošću, dok 2.8% kao uzrok direktno imaju neadekvatnu preglednost.

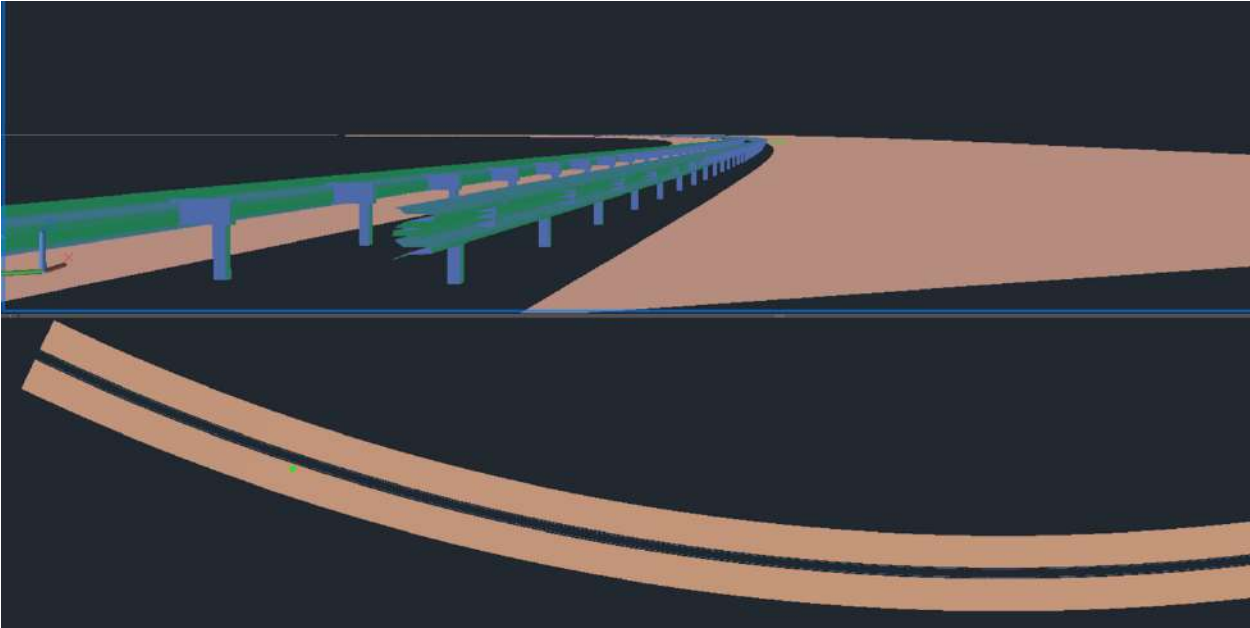
Pomenute brojke bi verovatno bile i veće kada bi u obzir uzeli činjenicu da je uticaj preglednosti na nastanak saobraćajne nezgode jako teško proceniti bez adekvatne opreme i alata, odnosno da u velikom broju njihov preglednost nije prepoznata kao uticajni faktor. Npr., autori ovog rada u pomenutoj bazi podataka nisu našli pojam "preticanje" kao uticajni faktor ali ukoliko se iz grupe uticajnih faktora *'Pogrešno izvođenje radnji u saobraćaju od strane vozača'* izabere uticajni faktor *'Neodgovarajuća procena putanje ili brzine kretanja drugog učesnika u saobraćaju'*, dolazi se do dodatne 94 saobraćajne nezgode sa poginulim licima koje vrlo verovatno u uzroku imaju neadekvatnu preglednost.

U svakom slučaju i takve brojke se mogu smatrati nedopustivo velikim ukoliko se obzir uzme da se mogu sprečiti preventivnim delovanjem struke nezavisno od delovanja okruženja, odnosno šire društvene zajednice.

Autori ovog rada su u svojoj stručnoj praksi, ali i kao obični učesnici u saobraćaju, nailazili na ogroman broj slučajeva problema sa preglednošću. Za mnoge će verovatno krajnje iznenađujuće delovati i činjenica da čak i zaštitna čelična ograda uz puteve, čija je uloga osiguranje bezbednosti, ima negativan uticaj na bezbednost kao smetnja preglednosti. Za potvrdu ove činjenice nije potrebna čak ni specijalizovana oprema već je dovoljno izmodelirati npr., kolovoz autoputa sa razdelnim pojasom u krivini R=800m i standardnu čeličnu ogradu sa stubovima na standardnom odstojanju i plaštom koji se nalazi udaljen 0.5m od ivice kolovoza. Dakle, sve u skladu sa normativima iz oblasti projektovanja puteva, premda treba napomenuti da je u nekim stranim propisima (Nemačka RAS-L) prepoznata i regulisana ova problematika. Usled nedostatka prostora u ovom radu na slici ispod je prikazan samo slučaj predmetne vizuelizacije vizure vozača sa preprekom visine 0.1m na udaljenosti 100m dok se svi ostali slučajevi sa korakom 50m do udaljenosti 300m i različitim visinama prepreke 0.1/1.5m, mogu naći na linku⁷.

⁶ <https://www.abs.gov.rs/%D1%81%D1%80/analize-i-istrazivanja/baza-podataka>

⁷ https://docs.google.com/document/d/1ZSHSQZM0ciSafghpb0UqJf-c_pm2LE/edit?usp=sharing&ouid=116637629425345738978&rtpof=true&sd=true



Slika 10 Primer vizuelizacije prepreke visine 0.1m na udaljenosti 100m od vozača koji se nalazi u preticajnoj traci u krivini autoputa $R=800m$

Ukoliko se zna da u krivini autoputa predmetne geometrije zaustavna vizura iznosi 300m, jedino što se može zaključiti je da čelična zaštitna ograda ometa preglednost. To pak znači da ne postoji teoretska mogućnost da vozač zakoči ispred iznenadne prepreke, ukoliko se kreće dozvoljenom brzinom od 130km/h, jer je ne može primetiti na vreme.

Osim problema sa čeličnom zaštitnom ogradom probleme sa preglednošću autori ovog rada registrovali su na postojećim putevima na brojnim mestima i elementima kao što su kosine useka, kegle nadvožnjaka, duž potpornih zidova, vegetacijom obraslih površina duž puta, duž dvorišnih ograda industrijskih ili stambenih objekata, vegetacije i elemenata protiv zasene u razdelnom pojasu autoputeva, duž zidova za zaštite od buke, itd. Ono što iznenađuje je činjenica da se npr. elementi za zasenu kao mera poboljšanja bezbednosti saobraćaja preporučuju i postavljaju i na mestima gde su u kontradiktornosti sa problemima preglednosti. Isto tako, zidovi za zaštitu od buke koji se postavljaju u sklopu izgradnje nekog putnog pravca ili kao naknadna mera su često u suprotnosti sa zahtevima preglednosti. Sve ovo govori o nedovljnoj upućenosti stručnih lica na probleme preglednosti na putevima.

Saglasno svemu prethodnom autori ovog rada iznose sledeće zaključke:

- ✓ problemi sa preglednošću svake godine uzrokuju saobraćajne nezgode sa smrtno stradalim posledicama što je nedopustivo obzirom da se na njih može preventivno delovati;
- ✓ sa današnjim razvojem tehnologije ne postoji opravdanje za nesprovođenje aktivnosti vezanih za analizu preglednosti u bilo kojoj fazi i proceduri planiranja, projektovanja, provere bezbednosti i odražavanja puteva, definisanih zakonskom i podzakonskom regulativom;
- ✓ s obzirom na uočene kontradiktornosti potrebno je preispitivanje mera koje se predlažu u svrhu poboljšanja bezbednosti saobraćaja ali i sveobuhvatno preispitivanje elemenata definisanih normativima koji se odnose na kretanje i zaustavljanje vozila saglasno savremenom napretku tehnologije i vozila.

U prilog poslednjem zaključku zainteresovani se upućuju na doktorski rad⁸ prof.dr. Biljane Ivanović. U zaključcima ovog doktorskog rada između ostalog se takođe navodi potreba za preispitivanjem merodavnih vozila i osnovnih ulaznih parametara koji imaju uticaj na kretanje i kočenje vozila.

⁸ Doktorski rad, prof.dr. Biljana Ivanović, Univerzitet Crne Gore – Građevinski fakultet Podgorica, "Kvantifikacija faktora zahtijevane preticajne preglednosti prema očekivanoj brzini u slobodnom toku dvotračnih puteva u konturnim uslovima Crne Gore"

Zahvale

Zahvaljujemo se JP "Putevi Srbije" što su prepoznali probleme bezbednosti saobraćaja vezane za preglednost puta i podžali naše napore da kreiramo inovativne metode i alate u te svrhe.

Pismo podrške JP "Putevi Srbije" zainteresovanim licima dostupno je na linku⁹

Literatura

- Za **KNJIGE I MONOGRAFIJE:**

- [1] Projektovanje puteva - Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu (autori: Jovan Katanić, Vojo Anđus, Mihajlo Maletin, 1983 god.)
- [2] Doktorski rad, prof.dr. Biljana Ivanović, Univerzitet Crne Gore – Građevinski fakultet Podgorica, "Kvantifikacija faktora zahtijevane preticajne preglednosti prema očekivanoj brzini u slobodnom toku dvotračnih puteva u konturnim uslovima Crne Gore"

- Za **NORMATIVE I PRIRUČNIKE:**

- [3] Pravilnik o uslovima koje sa aspekta bezbednosti saobraćaja moraju da ispunjavaju putni objekti i drugi elementi javnog puta (Sl. glasnik RS 50/11)
- [4] Zakon o putevima (Sl. glasnik RS, br. 41/2018)
- [5] Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima (Sl. glasnik RS, br. 41/2009, 53/2010, 101/2011, 32/2013 - odluka US, 55/2014, 96/2015 - dr. zakon, 9/2016 - odluka US, 24/2018, 41/2018, 41/2018 - dr. zakon, 87/2018 i 23/2019)
- [6] Pravilnik o saobraćajnoj signalizaciji (Sl. glasnik RS, br. 85/17)
- [7] Pravilnik o sadržini i načinu sprovođenja nezavisne ocene doprinosa javnog puta nastanku, odnosno posledicama saobraćajne nezgode (Sl. glasnik RS, br. 46/2019)
- [8] Pravilnik o sadržini i formi izveštaja o izvršenoj kontroli i oceni stanja javnih puteva (Sl. glasnik RS, br. 34/2019)
- [9] Pravilnik o načinu sprovođenja revizije i provere i sastavu stručnog tima za sprovođenje revizije i provere (Sl. glasnik RS, br. 52/2019)
- [10] Pravilnik o proceni uticaja puta na bezbednost saobraćaja (Sl. glasnik RS, br. 63/2019)
- [11] DIRECTIVE 2008/96/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, of 19 November 2008 on road infrastructure safety management
- [12] DIRECTIVE (EU) 2019/1936 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, of 23 October 2019, amending Directive 2008/96/EC on road infrastructure safety management
- [13] Road safety audit guidelines for safety checks of new road projects (PIARC 2011R01)

- Za **INTERNET:**

- [14] 3D Virtual sight distance analysis using lidar data
https://digital.lib.washington.edu/researchworks/bitstream/handle/1773/43497/2015-S-OSU-81_Michael-Olsen_3D-Virtual-Sight.compressed.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [15] Baza podataka o saobraćajnim nezgodama – Agencija za bezbednost saobraća u R.Srbiji,
<https://www.abs.gov.rs/%D1%81%D1%80/analize-i-istrazivanja/baza-podataka>
- [16] Primer vizuelizacije pokretne vizure vozača i prepreke korišćenjem Civil3d/Analyze/Drive alata,
<https://drive.google.com/file/d/1TJuwigJRak9SIW1GM0078MbxZ9VCqo-X/view?usp=sharing>
- [17] Primer smetnje vizure preglednosti koju predstavlja čelična zaštitna ograda,
https://docs.google.com/document/d/1ZSHQZM0ciSafgxp0UqJF-c_pm2LE/edit?usp=sharing&oid=116637629425345738978&rtpof=true&sd=true
- [18] Pismo podrške JP "Putevi Srbije",
https://drive.google.com/file/d/1ZK5XBX_UKaEQE5o585pZuCJ0zlxulzI/view?usp=sharing

⁹ https://drive.google.com/file/d/1ZK5XBX_UKaEQE5o585pZuCJ0zlxulzI/view?usp=sharing

АНАЛИЗА ЗАВИСНОСТИ БРЗИНЕ ОД ПРОТОКА НА АУТОПУТЕВИМА

Милица Тубић^а, дипл. инж. саобр.

^аСаобраћајни факултет, Универзитет у Београду, milica.tubic66@gmail.com

Јелица Комарица^а, дипл. инж. саобр.

^аСаобраћајни факултет, Универзитет у Београду, jelicakomarica98@gmail.com

Резиме: Брзина представља један од основних параметара саобраћајног тока који има утицај на ефикасност, време путовања, безбедност у саобраћају, економичност и трошковне анализе. У исто време представља главни индикатор Нивоа Услуге при датом саобраћајном оптерећењу за димензионисање и вредновање пројектних решења. У овом раду кроз преглед литературе извршена је анализа функционалне зависности брзине од протока, кроз пет издања Приручника за капацитет аутопутева („Highway Capacity Manual“) и то HCM₁₉₆₅ - HCM₂₀₁₆. Реперне вредности из наведених приручника су основ за поређење са вредностима добијеним у спроведеном истраживању, приказаном у наставку рада. Циљ рада је да се испита функционална зависност брзине и протока на аутопуту А1 (Е 75), анализирајући саобраћајне токове на једном делу градског аутопута, на мосту Газела, на ком се на дневном нивоу бележи преко 150 000 воз/дан. Истраживање је обухватало анализу реалних података са аутоматских бројача саобраћаја у временском периоду од 16 неузастопних радних дана, спроведену у добрим временским условима без падавина и магле, али са лимитираном брзином до 80km/h. Као резултат истраживања добијена је граница осетљивости брзине на промене протока и њена функционална зависност до максималних вредности протока (q_{max}). На крају рада кроз дискусију и закључке приказани су и резултати компаративне анализе са реперним вредностима параметара у издањима Приручника HCM.

Кључне речи: брзина, проток, капацитет, аутопут, Highway Capacity Manual.

ANALYSIS OF SPEED DEPENDENCE ON FREEWAY TRAFFIC FLOW

Milica Tubić^a, B.Sc. T.E.

^aThe Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, milica.tubic66@gmail.com

Jelica Komarica^a, B.Sc. T.E.

^aThe Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, jelicakomarica98@gmail.com

Abstract: Speed is one of the basic parameters of traffic flow that has an impact on efficiency, travel time, traffic safety, economy, and cost analysis. At the same time, it is the main indicator of the Level of Service at a given traffic load, used for dimensioning and evaluation of project solutions. In this paper, the analysis of the functional dependence of speed on flow was performed through the literature review of five editions of the "Highway Capacity Manual" (HCM₁₉₆₅ - HCM₂₀₁₆). The benchmarks from the analyzed manuals are the basis for comparison with the values obtained in the conducted research, presented in the rest of this paper. The aim of this paper is to examine the functional dependence of speed and flow on the A1 freeway (E 75), analyzing traffic flows on one part of the city highway, on the Gazela Bridge, where over 150 000 veh/day are recorded daily. The research included the analysis of real data from automatic traffic meters in a period of 16 non-consecutive working days, conducted in good weather conditions without precipitation and fog, but with a limited speed of up to 80km/h. As a result of the research, the limit of speed sensitivity to flow changes and its functional dependence to maximum flow values (q_{max}) were obtained. At the end of the paper, the results of comparative analysis with referent values of parameters in the mentioned editions of the HCM are presented through discussion and conclusions.

Key Words: speed, flow, capacity, freeway, Highway Capacity Manual.

1. УВОД

Саобраћајни ток подразумева истовремено кретање више возила на путу у одређеном поретку. За описивање саобраћајних токова и законитости кретања возила у саобраћајном току на путној мрежи неопходно је анализирати одређене параметре. Брзина као један од основних параметара саобраћајног тока има утицај на ефикасност, време путовања, безбедност у саобраћају, економичност и трошковне анализе. У исто време представља индикатор Нивоа Услуге при датом саобраћајном захтеву и главни критеријум у димензионисању и вредновању пројектних решења. Њена просечна вредност у великој мери зависи од интензитета саобраћаја. Међутим, поред интензитета, постоји и свеобухватан скуп саобраћајних услова који такође узрокују зависност брзина на аутопутевима као што су временске прилике, вожња у дневним и ноћним условима, стање коловоза итд. (Chand et al., 2017).

Дуги низ година се сматрало да је начин на који брзина варира у односу на вредности протока на аутопутевима поприлично добро схваћен. Наиме, сматрало се да је однос протока и брзине био мање-више параболичан, са знатно мањим брзинама при протоку који се приближава вредностима капацитета. Међутим, саобраћајне студије које су објављене у раним 1980-тим годинама су доказале супротно. Такође, новијим студијама и објављивањем различитих издања Приручника о капацитету путева („Highway Capacity Manual“, у даљем тексту HCM) могу се видети различите вредности односа протока и брзине саобраћајног тока. Добро разумевање начина на који брзина варира са променом протока је суштински предуслов за формирање и коришћење било ког концепта Нивоа Услуге за одсеке аутопутева (Hurdle & Datta, 1983). Посматрајући различита издања Приручника HCM може се уочити промена у облику кривих односа протока и брзине које настају као последица ограничених и новијих података у односу на свако претходно издање. Важно је истаћи да се на основу облика кривих даље одређује и вредност Нивоа Услуге у односу на формиране границе.

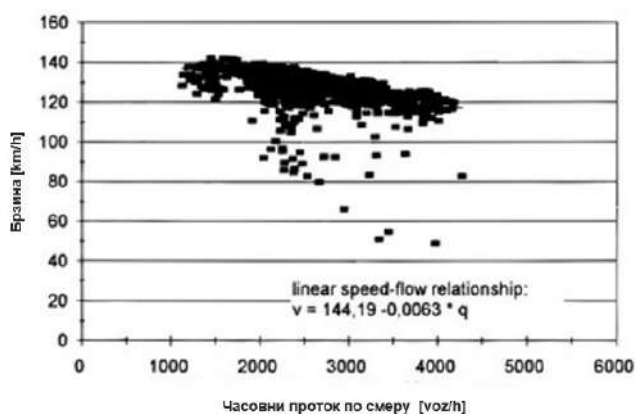
Саобраћајни ток на основном одсеку аутопута може бити под утицајем услова који владају на претходном и наредном одсеку. У случају појаве уског грла на претходном или наредном одсеку, као последице уливања, изливања, преплитања, радова на путу или других ситуација, поремећаји у саобраћајном току се могу пренети на суседне одсеке. Из тог разлога, а и с обзиром на величину захтева, саобраћајни ток на основном одсеку аутопута може се категоризовати у 3 различите врсте: незасићен саобраћајни ток (саобраћајни ток на којем нема утицаја поменутих услова), саобраћајни ток пражњења реда (саобраћајни ток који је прошао кроз уско грло на претходном одсеку и убрзава до жељене брзине) и засићен саобраћајни ток (услови који владају у реду који се пренео са одсека са уским грлом као последица проблема испред или иза посматраног одсека). На аутопуту А1 (Е 75) преко моста „Газела“ може се свакодневно забележити засићен саобраћајни ток, поготово током вршних периода током дана услед наведених фактора и недовољног капацитета, као и константног пораста степена моторизације у Београду.

Узимајући наведено у обзир, циљеви овог истраживања подразумевају анализу функционалне зависности брзине и протока, кроз пет издања Приручника за капацитет аутопутева (HCM₁₉₆₅, HCM₁₉₈₅, HCM₂₀₀₀, HCM₂₀₁₀ и HCM₂₀₁₆), утврђивање функционалне зависности брзине и протока на аутопуту А1 (Е 75), анализирајући саобраћајне токове на мосту „Газела“ у временском периоду од 16 неузастопних радних дана, у добрим временским условима без падавина и магле, али са лимитираном брзином до 80km/h и поређење реперних вредности из наведених приручника са вредностима добијеним у спроведеном истраживању. Један од доприноса овог рада огледа се и у анализи резултата функционалне зависности брзине и протока, на једном делу одсека аутопута А1 (Е 75), у градским условима, као и анализи фактора утицаја добијене дисперзије брзина при максималним вредностима протока. Такође, узимајући у обзир да је издање приручника HCM₂₀₁₆ релативно ново издање, овај рад се базира на компаративној анализи реалних и најактуелнијих података и њихових реперних вредности. Оно што рад издваја од осталих из ове области јесте извршена анализа односа поменутих параметара одвојено по тракама, што даје на значају и сагледавању свеобухватних услова на аутопуту. Добијени резултати у овом раду, могу имати значајну улогу у даљим истраживањима из ове научне области, а могу и представљати основ за даљу анализу услова у саобраћајном току на одсецима аутопутева.

2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

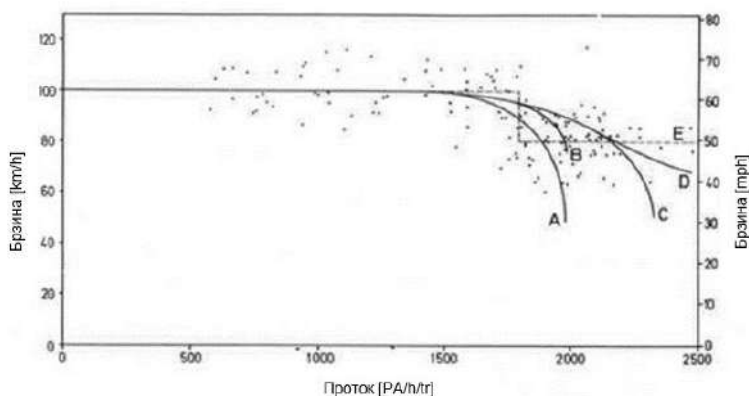
2.1. Осврт на претходна истраживања

Прегледом досадашње литературе може се забележити низ фактора који утичу на вредност брзине и протока па тако и на њихов однос. Наиме, подаци о типу возила, али и сврси кретања (нпр. одлазак на посао, реализовање дужих путовања), могу имати значајан утицај на брзину у саобраћајном току током различитих периода дана. Узимајући наведено у обзир, брзина саобраћајног тока се може разликовати током периода викенда као и радних дана (Слика 1), али и током периода празника и одмора и специфичних догађаја (манifestација, концерата и сл.), што ће значајно утицати на однос брзине и протока. То се у овом случају пре свега односи на формирање засићеног саобраћајног тока и мале дисперзије брзина (до 10km/h) у току. Поред наведеног, значајан утицај на брзину и проток могу имати и временске (не)прилике, као и ноћни и дневни услови војње (Brilon & Ponzlet, 1997).



Слика 1. Однос брзине и протока током радних дана у добрим временским условима на аутопуту А81 са три саобраћајне траке, правац Штутгарт (Извор: Brilon & Ponzlet, 1997)

Hurdle & Datta (1983) су вршили истраживање односа протока и брзине на аутопуту са шест саобраћајних трака у близини града Торонта (Канада) узимајући у обзир податке за три узаступна јутра. Као резултат истраживања дошли су до закључка да је брзина константна док проток не достигне вредност од најмање 1500 PA/h/tr (Слика 2). Међутим за вредности протока изнад 1850 PA/h/tr брзине су значајно ниже и у само једном случају од 78, брзина је при датом протоку била 100 km/h.



Слика 2. Криве односа протока (PA/h/tr) и брзине (km/h) (Извор: Hurdle & Datta, 1983)

2.2. Улога брзине у пројектовању и експлоатацији путева

У саобраћајном инжењерству, брзина је доминантан показатељ који има утицај на ефикасност, време путовања, безбедност у саобраћају, економичност и трошковне анализе. Као један од основних показатеља саобраћајног тока, она у исто време представља индикатор Нивоа Услуге при датом саобраћајном оптерећењу и главни параметар у димензионисању и вредновању пројектних решења, будући да од ње зависе сви елементи пута.

У досадашњој литератури препознати су термини безбедне, ограничене, пројектне и експлоатационе брзине, међутим, за потребе анализе конкретног проблема у овом раду, у даљем фокусу су ограничена и реална - експлоатациона брзина.

Ограничење брзине представља једну од основних мера политике управљања брзинама на путевима. Основна сврха ограничења брзине је да се повећа безбедност на путевима кроз смањење ризика које намећу брзине изабране од стране возача, уз истовремено постизање ефикасног и уредног саобраћајног тока. Дакле, постављено ограничење брзине би требало да буде у складу са карактеристикама и функцијом пута, окружењем и безбедношћу, али и да одговори на захтеве у погледу мобилности и времена путовања. Веродостојно ограничење брзине се дефинише као ограничење које се поклапа са сликом коју изазивају пут и услови саобраћаја (SWOV, 2012).

Генерално је утврђено да 40-50% возача вози брже од постављеног ограничења брзине (Oecd & Ocde, 2006). Један од разлога зашто возачи прекорачују постављена ограничења брзине односи се на кредибилитет постављеног ограничења брзине (Fildes & Lee, 1993; van Schagen, 2004). Возачи ће се вероватно придржавати ограничења брзине ако га сматрају реалним и одговарајућим за пут (Richard Allsop, 1995). У прилог томе, Goldenfeld & van Schagen, 2007 тврде да се генерално претпоставља да ће возачи поштовати ограничења брзине ако их сматрају разумним или "кредибилним". Ако то није случај, може доћи до проблема неусклађености перцепције возача о одговарајућој брзини на одређеном делу пута и постављеног ограничења брзине, при којем, према Gardner & Rockwell, 1983, возачи имају већу тенденцију да се пре ослањају на сопствене процене о одговарајућој брзини, него на постављено ограничење брзине. Постављена ограничења брзине која су већа или мања од оних које омогућавају путни и саобраћајни услови, већина возача игнорише (Elliott et al., 2003).

У домаћој пракси, експлоатациона брзина се дефинише као просечна брзина саобраћајног тока у нормалним условима, тј. условима међусобног ометања учесника у саобраћају (Кузовић, 1987). Експлоатационе брзине на аутопутевима зависе од многих фактора који се односе на возаче, возила, путно окружење, радијусе хоризонталних кривина, стопе закривљености, уздужне нагибе, дужине хоризонталних кривина, углове дефлексије, прегледности, факторе бочног трења и стања коловоза (Praticò & Giunta, 2012). Значај експлоатационе брзине и модела за анализу експлоатационих брзина је вишеструк. Процена експлоатационе брзине пружа прилику за процену очекиваних промена у брзинама возила која прелазе узастопне елементе пута (TRB, 2011).

2.3. Третман брзине и Нивоа Услуге у HCM₁₉₆₅ и HCM₁₉₈₅

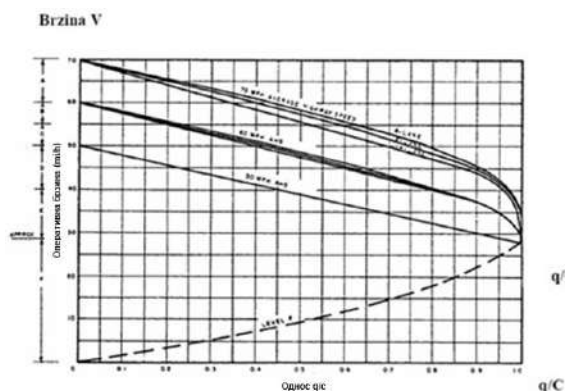
Приручник за капацитет аутопутева „Highway Capacity Manual“ биће анализиран кроз сва своја издања од 1965. до 2016. године са фокусом на зависност брзине од величине протока, као и дефинисање граничних вредности Нивоа Услуге.

Прво издање HCM приручника издато је 1950. године. Уведен је и дефинисан основни концепт капацитета аутопута. Тачније, HCM из 1950. користио је три различите врсте капацитета: практични капацитет, могући капацитет и идеалан капацитет. „Практични капацитет“ је био претеча концепта Нивоа Услуге, „могући капацитет“ је био аналоган садашњој употреби „капацитета“, док се „идеални капацитет“ односио на стање са идеалним геометријским и саобраћајним карактеристикама.

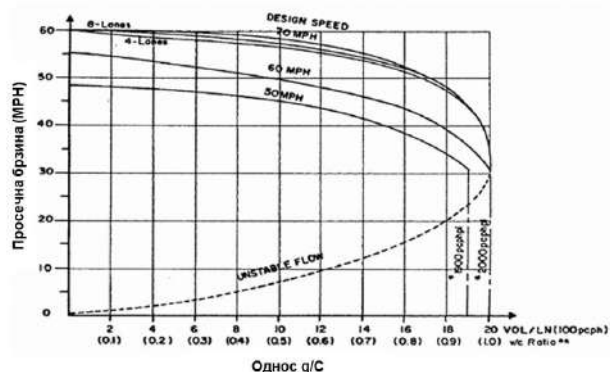
Упркос чињеници да је приручник био заснован на недовољно дефинисаној бази података и да је имао препознате недостатке, наставио је да буде практични водич за анализу капацитета аутопута до објављивања другог издања 1965. HCM из 1965. године одражавао је знатно побољшане базе података, као и саме процедуре. Треће издање приручника из 1985. године засновано је на две деценије опсежних истраживања спроведених у Сједињеним Америчким Државама и другим земљама. Општа процедура анализе капацитета са више трака на аутопутевима у HCM-у из 1985. остаје иста као у HCM-у из 1965. године (Sharma, 1987).

Већина анализа у HCM-у из 1985. заснива се на мерењу протока за вршни 15-минутни период унутар меродавног вршног сата, за разлику од HCM-а из 1965. који је заснивао већину анализа на часовном протоку.

Брзина сваког појединачног возила у саобраћајном току варира. Сваки саобраћајни ток садржи опсег и дистрибуцију појединачних брзина возила. Да би се окарактерисао дати ток саобраћаја, мора се узети репрезентативна вредност. HCM из 1985. користи просечну брзину путовања као главни параметар брзине. На наредним сликама приказани су дијаграми зависности брзине од величине протока за издања HCM₁₉₆₅ и HCM₁₉₈₅.



Слика 3. Оперативна брзина у функцији односа q/C по HCM₁₉₆₅
(Извор: Highway Capacity Manual 1965)



Слика 4. Зависност брзина-ток за практично идеалне услове по HCM₁₉₈₅
(Извор: Highway Capacity Manual 1985)

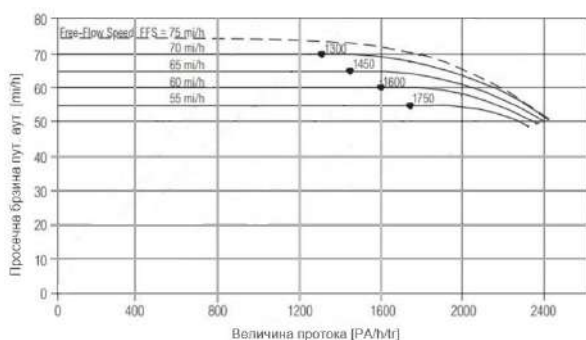
У издању HCM из 1965. однос проток/капацитет (q/c) је основна мера која се користила при одређивању Нивоа Услуге на аутопутевима и брзим путевима (Слика 3). Примењује се за било који аутопут, без обзира на број трака, за било који капацитет и без обзира да ли су „услови идеални“.

На Слици 4, за пројектовану брзину од 70 mi/h, брзина не варира значајно са протоком за вредности протока до приближно 1600 voz/h/tr. Након тога, брзина нагло опада како се проток приближава капацитету. Због тога се брзина није могла узети као главни показатељ Нивоа Услуге. Готово да је немогуће дефинисати смислени Ниво Услуге који се односи на тако уски опсег брзине (The Highway Capacity Manual Development and Application Problem, 1985).

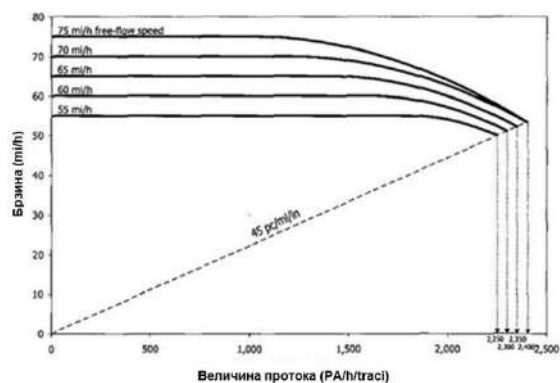
Из тог разлога је у издању HCM из 1985. укључен и показатељ о густини тока, поред показатеља о брзини и релацији ток/капацитет. Тако су дефинисане густине по једној саобраћајној траци, као базне вредности за поједине Нивое Услуге.

2.4. Третман брзине и Нивоа Услуге у HCM₂₀₀₀ и HCM₂₀₁₀

Посматрајући део приручника који се бави аутопутевима, изводи се закључак да је HCM₂₀₁₀ по својој методологији сличан издању из 2000 године, са новом процедуром за анализу зона преплитања. Поређењем издања може се уочити и да је побољшан модел за предикцију брзине слободног тока. Поред тога, са другог аспекта се посматра утицај активних управљачких мера на услове у саобраћају, као и утицај временских услова и зона радова на капацитет. На наредним сликама приказане су зависности брзине од величине протока за издања из 2000. и 2010. године.



Слика 5. Однос брзина-ток за основне одсеке аутопутева по HCM₂₀₀₀
(Извор: Highway Capacity Manual 2000)



Слика 6. Основни график зависности брзине и протока (PA/h/tr) по HCM₂₀₁₀
(Извор: Highway Capacity Manual 2010)

На Сликама 5 и 6 приказане су зависности слободне брзине и протока за основни одсек аутопута које функционишу под практично идеалним условима. За пет различитих вредности брзине дато је пет кривих (75 mi/h, 70 mi/h, 65 mi/h, 60 mi/h и 55 mi/h, односно 120 km/h, 112 km/h, 105 km/h, 97 km/h и 89 km/h).

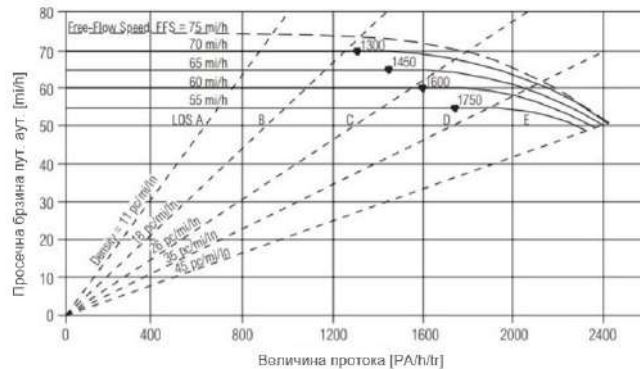
Третман Нивоа Услуге у HCM₂₀₀₀ подразумевао је дефинисање на основу критеријума однос проток/капацитет, брзине (изражена као просечна брзина путничког аутомобила), као и главног критеријума густине при чему су промењене граничне вредности (Табела 1).

Табела 1. Граничне вредности Нивоа Услуге HCM₂₀₀₀ за основни одсек аутопута

Ниво Услуге	Густина тока (PA/km/tr)
A	0-7
B	>7-11
C	>11-16
D	>16-22
E	>22-28
F	≥28

(Извор: Highway Capacity Manual 2000)

На наредној слици приказане су криве брзина-ток са граничним вредностима Нивоа Услуге за основне одсеке аутопута за HCM₂₀₀₀.

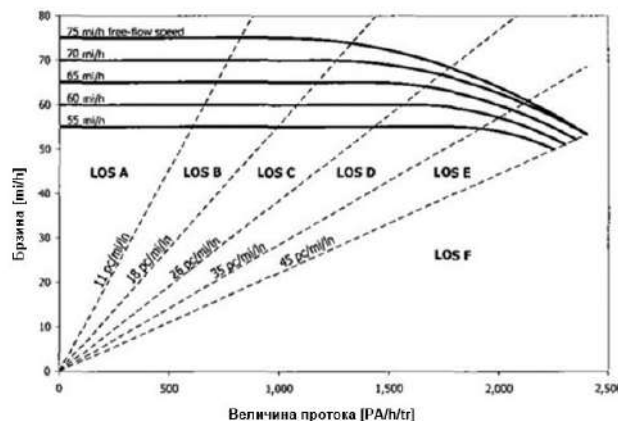


Слика 7. Дијаграм брзина-ток са граничним вредностима Нивоа Услуге за HCM₂₀₀₀ (Извор: Highway Capacity Manual 2000)

Истраживања указују да код мањих и средњих вредности величине тока, брзина не зависи од тока. Ово је приказано на Слици 6, где се види да је за токове до 1300 PA/h/tr брзина константна и једнака брзини слободног тока и износи 70 mi/h. Независност између ове две величине се повећава са смањењем брзине слободног тока и повећањем густине тока. Брзина слободног тока представља просечну брзину путничких аутомобила када је густина тока мања од 1300 PA/h/tr.

На Слици 7 могу се уочити две зоне за сваку криву; до тачке када је брзина константна – неосетљива на промену протока и граничне вредности протока за које се брзине смањују док се не достигне капацитет.

У издању HCM₂₀₁₀ године задржане су идентичне граничне вредности Нивоа Услуге, које су такође засноване на густини. На наредној слици приказан је дијаграм зависности ток-брзина са учртаним граничним вредностима Нивоа Услуге за основни одсек аутопута.

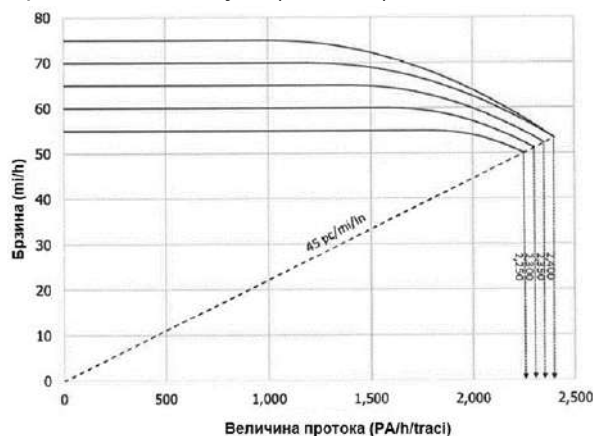


Слика 8. Дијаграм брзина-ток са граничним вредностима Нивоа Услуге за HCM₂₀₁₀ (Извор: Highway Capacity Manual 2010)

2.5. Третман брзине и Нивоа Услуге у HCM₂₀₁₆

У основним условима, криве брзине и протока за непрекинут ток на основним одсецима аутопутева (The Highway Capacity Manual, 2016.) зависе од:

- ❖ Опсега константне брзине. Постоји распон протока у којима је брзина константна. Опсег се протеже од протока који тежи нули до граничне вредности преломне тачке. У овом опсегу, брзина је једнака брзини слободног тока.
- ❖ Смањење опсега брзине. Од преломне тачке до капацитета, брзина опада од слободне брзине тока у генерално параболичном односу.
- ❖ Капацитета. У свим случајевима, капацитет се јавља када је густина саобраћајног тока 45 PA/mi/tr, означена испрекиданом линијом (Слика 9).



Слика 9. Основни график зависности брзине и протока (PA/h/tr) по HCM₂₀₁₆
(Извор: Highway Capacity Manual 2016)

Једначина за основну криву брзине и протока за сваки основни одсек аутопута и сегмент аутопута са више трака прати овај облик. У свим случајевима, вредност капацитета је директно повезана са слободном брзином тока.

За основне сегменте аутопута, вредност преломне тачке је такође директно повезана са слободном брзином тока. Основне криве протока и брзине су развијене за брзину слободног тока за вредности између 55 и 75 mi/h (89 km/h и 120 km/h), за основне одсеке аутопутева по 5 tr/h, респективно.

За аутопутеве, преломна тачка варира у зависности од брзине слободног тока и повећава се како се брзина слободног тока смањује. Ово сугерише да ће при нижим вредностима брзине слободног тока возачи одржавати брзину кроз веће вредности протока, као и у претходним издањима. Вредности густине које су дефинисане као границе Нивоа Услуге остале су исте као и у издању HCM₂₀₁₀.

2.6. Упоредна анализа вредности протока по HCM₂₀₀₀ – HCM₂₀₁₆

Брзина слободног тока и вредности протока у директној су зависности. Са једне стране, евидентно је да на свим кривама брзина остаје константна са порастом протока до одређених вредности (које се разликују за сваку криву), а затим креће да опада. Са друге стране, максимални проток зависи од криве брзина слободног тока.

У наредној табели приказане су вредности максималног протока које одговарају кривама за свих 5 брзина у HCM₂₀₀₀, HCM₂₀₁₀ и HCM₂₀₁₆.

Табела 2. Вредности максималног протока и протока при константној брзини у HCM₂₀₀₀, HCM₂₀₁₀ и HCM₂₀₁₆

Слободна брзина (km/h)	Вредност протока при константној брзини (PA/h/tr)			Максималне вредности протока за криве слободног тока (PA/h/tr)
	HCM ₂₀₀₀	HCM ₂₀₁₀	HCM ₂₀₁₆	
120	825	1000	1152	2400
112	1300	1200	1248	
105	1450	1400	1481	
97	1600	1600	1702	
89	1750	1800	1823	

(Извор: Highway Capacity Manual 2000, 2010, 2016)

Приказане величине брзина (Слика 5, Слика 6, Слика 9 и Табела 2) за издања НСМ₂₀₀₀, НСМ₂₀₁₀ и НСМ₂₀₁₆ односе се на пет кривих брзина слободног саобраћајног тока. Поредиши вредности протока у сва три издања приручника, евидентно је да је у издању НСМ₂₀₁₆ брзина неосетљива до већих вредности протока у односу на издања приручника из 2000. и 2010. године. Такође, може се приметити да је слободна брзина неосетљива на проток до његове вредности од 825 PA/h/tr у НСМ₂₀₀₀, од 1000 PA/h/tr у НСМ₂₀₁₀ и од 1152 PA/h/tr у НСМ₂₀₁₆ при највећој брзини од 120 km/h. Са смањењем слободне брзине, долази до повећања вредности протока при којој је брзина константна.

3. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

На основу добијених законитости зависности брзине и протока на основном одсеку аутопута из Приручника за капацитет путева (НСМ), овај рад је базиран на компаративној анализи реперних и реалних података добијених саобраћајним истраживањем на аутопуту А1 (Е 75) на мосту „Газела“. Реални подаци који се тичу основних параметара саобраћајног тока, добијени су независним истраживањем. Подаци везани за структуру тока, временске услове као и параметре тока по смеру и тракама, добијени су на основу аутоматског бројача саобраћаја (АБС) и путно-метеоролошке станице. Са АБС-а су добијени подаци часовног протока возила и брзине саобраћајног тока за меродавни период током године. Имајући у виду да се у крајњој десној саобраћајној траци реализују маневри улива и излива, фокус истраживања представљале су возне и претицајне саобраћајне траке у оба смера вожње, како би се добила што реалнија слика услова у саобраћајном току на предметном одсеку аутопута А1 (Е 75).

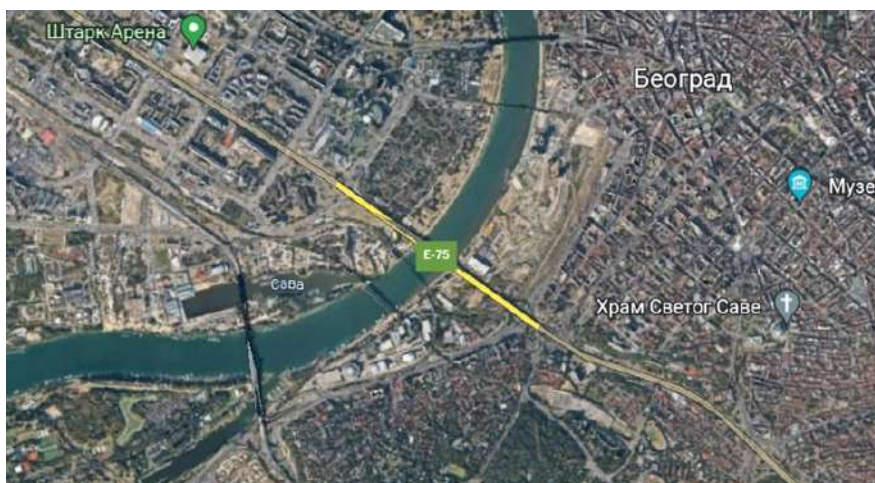
На основу путно-метеоролошке станице било је могуће утврдити који су дани током посматраног периода били са приближно идеалним временским условима, с обзиром на то да би временске неприлике, имале значајан утицај на промену брзине саобраћајног тока, повећан ризик од настанка незгода итд. Наредни корак методологије подразумева анализу зависности поменутих параметара по тракама, за оба смера вожње са фокусом на добијање границе осетљивости брзине на промене протока и њене функционалне зависности до максималних вредности протока (q_{max}) као и одређеног Нивоа Услуге. Након извршеног независног, следи спровођење зависног истраживања које је базирано на компаративној анализи реперних вредности из Приручника НСМ₂₀₁₆ и добијених реалних података на основу истраживања.

3.1. Подручје истраживања

Подручје истраживања овог рада обухвата део градског аутопута у Београду. Као један од постојећих осам мостова преко Саве, мост „Газела“ представља најзначајнији мост у Београду и грађен је пре више од 50 година.

Мост „Газела“ се простира дужином од 940m и укупном ширином од 27,5m. Коловоз ширине 21,8m обухвата три саобраћајне траке по смеру вожње и две пешачке стазе дуж обе стране моста. На „Газели“ се саобраћај реализује у крајњој левој (претицајној) и средњој (возној) траци ширине од по 3,5m, као и у крајњој десној траци ширине 3m. Узимајући у обзир да се крајња десна трака налази у зони уливних и изливних рампи, она неће бити предмет истраживања. Пешачке стазе дуж моста заузимају ширину од по 3m, док удаљеност бочних сметњи износи 0,9m. Имајући у виду наведене техничко-експлоатационе карактеристике као и положај и намену моста, брзина вожње је ограничена на 80 km/h.

Мост „Газела“ (Слика 10) представља део градског аутопута А1 и до завршетка обилазнице око Београда прихвата и део даљинских токова са Коридора Х (Е 75). С обзиром да је овај мост пројектован за 50.000 возила на дан и да данас дневно пређе у распону од 120.000 до 150.000 возила, овај мост је изузетно саобраћајно оптерећен са вишечасовним условима засићеног тока.



Слика 10. Положај моста „Газела“
(Извор: Google Earth)

3.2. Прикупљање података

За потребе овог истраживања извршено је прикупљање података о часовном протоку возила и брзини у оба смера вожње током 16 неузастопних радних дана у 2020. и 2021. години. Истраживање је спроведено у данима са идеалним временским условима, што карактерише сунчане дане са сувим коловозом и добром видљивости, без падавина и повећане влажности у ваздуху, пријатне спољашње температуре и без значајног интензитета ветра.

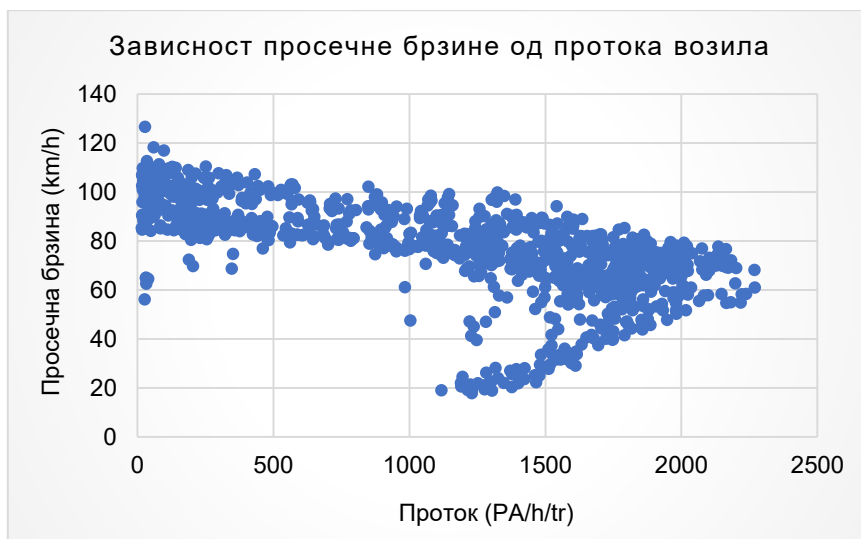
Аутоматски бројачи саобраћаја непрекидно бележе податке о протоку и брзини у реалном времену током читаве године. Подаци могу бити изведени на минутном, часовном, дневном, месечном, годишњем нивоу, а у зависности од потреба истраживања и за свако возило појединачно. На основу података добијених са АБС прецизно се аналитички могу идентификовати и услови у саобраћајном току у одређеном временском периоду. Метеоролошке станице – (PMS) пружају податке о свим временским условима у периоду истраживања и бележе све релевантне локалне атмосферске услове у реалном времену и преносе те информације у управљачке центре.

4. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

За потребе истраживања преузети су релевантни подаци из јавних база података Јавног предузећа „Путеви Србије“. Најзначајнији подаци односе се на брзину кретања и проток возила. Подаци су класификовани по данима и сатима у периодима без падавина. Резултати истраживања за 384 часовна периода, током различитих месеци, су представљени помоћу дијаграма. Обрада и приказ података се односе на оба смера кретања по тракама (без крајње десне) за читав период истраживања.

4.1. Зависност брзине од протока на мосту Газела

Први део истраживања односи се на функционалну везу протока и експлоатационих брзина за оба смера кретања, тј. смер 1 петља Бубањ Поток - петља Београд и смер 2 петља Београд – петља Бубањ Поток. Изворни подаци су прво анализирани по 10-то минутним интервалима па потом сведени на часовне интервале, чиме су добијени протоци по часовима и просечне брзине по сваком сату у току дана. Вредности просечних брзина крећу се у опсегу од 20 km/h до 130 km/h. На наредном брзина-проток дијаграму приказане су добијене вредности за целокупан анализирани период од 16 дана, тј. за свих 384 сата.



Слика 11. Дијаграм зависности просечне брзине од протока возила на мосту Газела у оба смера

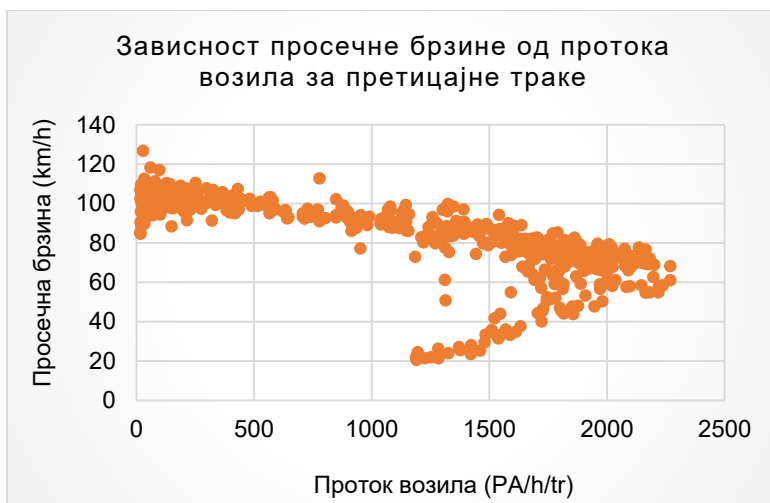
Максимална вредност протока из најновијег издања HCM₂₀₁₆ од 2250 PA/h/tr, односи се на идеалне услове у саобраћајном току који подразумевају: добре временске услове (без падавина), добру видљивост, без утицаја саобраћајних незгода на путу, без зона радова, задовољавајуће стање коловоза и познато окружење за возаче. Међутим, добијени резултати истраживања указују на незнатну разлику у максималној вредности протока (добијена вредност од 2270 PA/h/tr). Такође, може се уочити да се на дијаграму издвајају две засебне криве зависности брзине од протока, од којих крива са већим вредностима брзине одговара вредностима протока у претицајним тракама. Из тог разлога у наставку је извршена посебна анализа возних и претицајних трака (за оба смера заједно).

4.2. Зависност просечне брзине од протока у претицајној и возној траци на мосту Газела

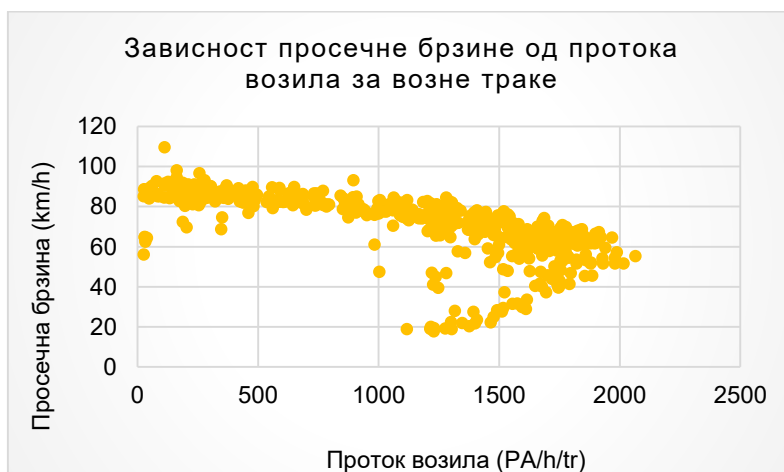
На наредним дијаграмима приказана је функционална зависност просечних брзина и протока за целокупан анализирани период од 16 дана по тракама.

Добијене максималне вредности протока се разликују за возну и претицајну траку, при чему је вредност за претицајну траку већа и износи **2270** PA/h/tr, док је за возну траку добијена вредност од **2065** PA/h/tr. За обе траке прорачунати су емпиријски капацитети који представљају 99 перцентил, који за претицајну траку износи **2237** PA/h/tr, док за возну износи **2000** PA/h/tr.

Као што је већ наведено добијени резултати указују на разлику у максималној вредности протока у односу на ону добијену у издању приручника HCM₂₀₁₆. Разлика је евидентно већа у случају возне траке, што је очекивано, узимајући у обзир да услови кретања у овој траци нису идеални. Возна трака, за разлику од претицајне, трпи већи утицај маневара. Наиме, возачи се из возне траке претрстројавају у претицајну која омогућава већу брзину кретања, док се са друге стране, возила претрстројавају у и из возне траке како би се извршили маневри улива и излива.

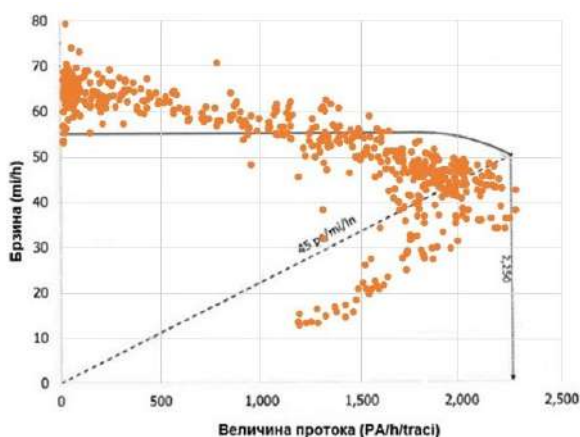


Слика 12. Дијаграм зависности просечне брзине од протока возила на мосту Газела за претицајне траке у оба смера

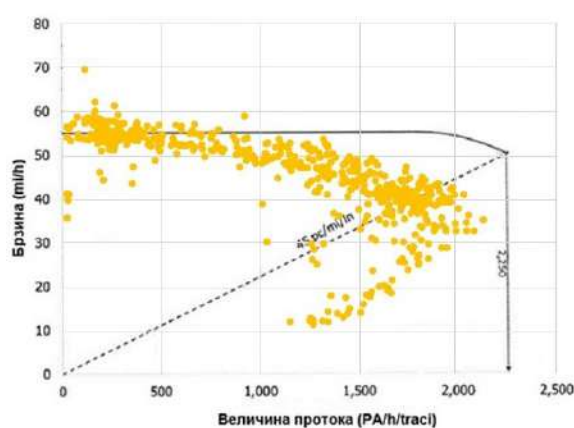


Слика 13. Дијаграм зависности просечне брзине од протока возила на мосту Газела за возне траке у оба смера

Како би била извршена упоредна анализа са последњим издањем приручника HCM₂₀₁₆, на добијеним дијаграмима уцртане су криве зависности брзине и протока из приручника.



Слика 14. Дијаграм зависности просечне брзине од протока на мосту Газела у претицајној траци са кривом из HCM₂₀₁₆

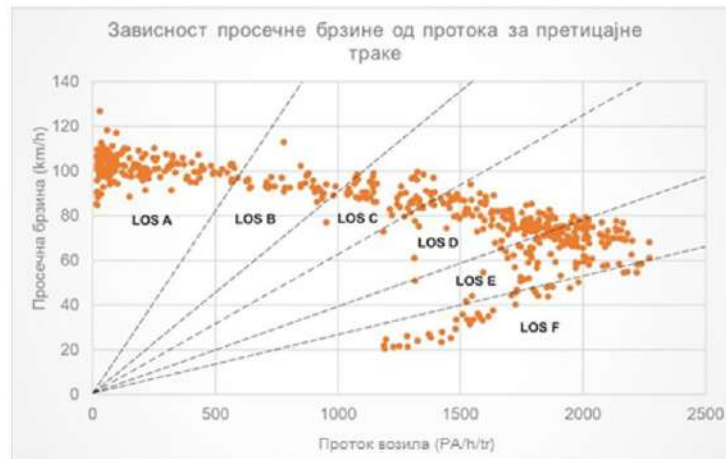


Слика 15. Дијаграм зависности просечне брзине од протока на мосту Газела у возној траци са кривом из HCM₂₀₁₆

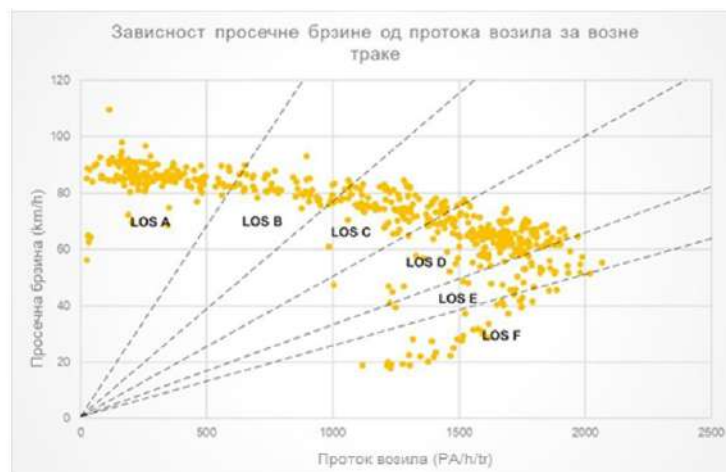
С обзиром да је ограничење брзине на посматраном делу аутопута 80 km/h, извршена је упоредна анализа са кривом 55 mi/h (89km/h) која представља меродавну вредност.

Наведена крива у приручнику HCM₂₀₁₆ задржава константну вредност брзине до вредности протока од 1823 PA/h/tr, док резултати истраживања у овом раду показују да је неосетљивост брзине само до вредности протока од 100 PA/h/tr у случају претицајне траке, а затим крену да опадају. Неосетљивост брзине у возној траци је нешто већа и креће се до 750 PA/h/tr, а након тих вредности региструје се значајна осетљивост брзине на промене протока. Дакле, криве добијене истраживањем показују знатно већу осетљивост брзине на промене вредности протока.

На основу граничних вредности густине из HCM₂₀₁₆ дефинисане су вредности протока које су коришћене за одређивање распона Нивоа Услуге за анализирану деоницу. На наредним дијаграмима приказани су дијаграми брзина-ток са уцртаним граничним вредностима Нивоа Услуге.



Слика 16. Дијаграм брзина-ток са граничним вредностима Нивоа Услуге за претицајне траке



Слика 17. Дијаграм брзина-ток са граничним вредностима Нивоа Услуге за возне траке

Због разлике у облику криве у издању приручника HCM₂₀₁₆ у односу на криве добијене из истраживања, распони Нивоа Услуге се разликују у одређеној мери, из разлога што је облик крива добијених истраживањем условљен бржим опадањем брзина.

У наредној табели приказане су прорачунате граничне вредности протока, брзине и густине за сваки од Нивоа Услуге за предметну деоницу.

Табела 3. Граничне вредности Нивоа Услуге за претицајну и возну траку

Ниво Услуге	Густина (PA/km/tr) Претицајна трака	Густина (PA/km/tr) Возна трака	Густина тока HCM ₂₀₁₆ (PA/km/tr)
A	0-6,24	0-6,95	0-7
B	>6,24-11,12	>6,95-13,03	>7-11
C	>11,12-17,02	>13,03-20,43	>11-16
D	>17,02-26,74	>20,43-33,19	>16-22
E	>26,74-37,92	>33,19-40,00	>22-28
F	≥37,92	≥40,00	≥28

Може се уочити да се добијене граничне вредности густине за претицајну траку незнатно разликују у односу на HCM₂₀₁₆ када су у питању Нивои Услуге А, В и С док се драстичне промене у вредностима уочавају од Нивоа услуге D. Добијене разлике су последица бржег опадања брзине са вредностима протока за анализиран случај у односу на HCM₂₀₁₆.

Знатно већа одступања у граничним вредностима могу се видети на примеру возне траке, где драстичне разлике почињу од Нивоа Услуге С. Разлог томе је брзина кретања корисника у возној траци у нижем распону у односу на претицајну.

5. ЗАКЉУЧЦИ И ПРЕПОРУКЕ

Мост „Газела“ који је део градског аутопута А1 и европске мрежи путева Е 75 представља кључни део саобраћајне мреже града Београда на коме се на дневном нивоу бележи проток возила у распону од 120.000 до 150.000 воз/дан. На аутопуту А1 (Е 75) преко моста „Газела“ саобраћај се свакодневно реализује у условима засићеног саобраћајног тока, поготово током вршних периода дана услед недовољног капацитета, као и константног пораста степена моторизације у Београду.

На основу свеобухватне анализе података о протоку и брзинама возила преузетих из база података Јавног предузећа „Путеви Србије“ за 16 неузастопних радних дана који су током посматраног периода били са приближно идеалним временским условима, добијене су криве функционалне зависности брзине од протока. Резултати истраживања приказани су посебно за претицајну и возну траку због разлике у опсегу брзина којим се корисници крећу у овим тракама. Имајући у виду да се у крајњој десној саобраћајној траци реализују маневри улива и излива, она је искључена из детаљније анализе. С обзиром да је ограничење брзине на посматраном делу мреже 80 km/h, извршена је упоредна анализа са кривом 55 mi/h која представља меродавну вредност од понуђених у последњем издању приручника HCM₂₀₁₆ (89 km/h). Наведена крива у приручнику HCM₂₀₁₆ задржава константну вредност брзине до вредности протока од 1823 PA/h/tr, док резултати истраживања у овом раду показују да је константност брзине у претицајној траци до вредности протока од 100 PA/h/tr, а затим крену да опадају. Неосетљивост брзине у возној траци је нешто већа и креће се до 750 PA/h/tr, а након тих вредности региструје се значајна осетљивост брзине на промене протока. Дакле, криве добијене истраживањем показују знатно већу осетљивост брзине на промене вредности протока.

Максимална вредност протока добијена у најновијем издању приручника HCM₂₀₁₆ од 2250 PA/h/tr, односи се на идеалне услове у саобраћајном току који подразумевају: добре временске услове (без падавина), добру видљивост, без утицаја саобраћајних незгода на путу, без зона радова, задовољавајуће стање коловоза и познато окружење за возаче. Међутим, резултати истраживања указују на незнатну разлику у максималној вредности протока, 2237 PA/h/tr за претицајну и 2000 PA/h/tr за возну траку. Разлика је евидентно већа у случају возне траке, што је очекивано, узимајући у обзир да услови кретања у овој траци нису идеални. Возна трака, за разлику од претицајне, трпи већи утицај маневара. Наиме, возачи се из возне траке престојавају у претицајну која омогућава већу брзину кретања, док се са друге стране, возила престојавају у и из возне траке како би се извршили маневри улива и излива.

Због разлике у облику криве у издању приручника HCM₂₀₁₆ у односу на криве добијене из истраживања, распони Нивоа Услуге се разликују у одређеној мери, из разлога што је облик кривих добијених истраживањем условљен бржим опадањем брзина. Као последица тога, криве за анализирани траке у односу на криву из приручника, утичу на граничне вредности густине које се разликују од реперних. Добијене граничне вредности густине за претицајну траку се незнатно разликују у односу на HCM₂₀₁₆ када су у питању Нивои Услуге А, В и С док се драстичне промене у вредностима уочавају од Нивоа услуге D (веће граничне вредности). Знатно већа одступања у граничним вредностима могу се видети на примеру возне траке, где драстичне разлике почињу од Нивоа Услуге С. Разлог томе је брзина кретања корисника у возној траци у нижем распону у односу на претицајну.

Како су у самом истраживању коришћени актуелни подаци, резултати добијени у овом раду могу имати значајну улогу у даљим истраживањима из ове области и могу представљати основ за даљу анализу услова у саобраћајном току на осталим одсецима аутопутева. Препорука је спровођење детаљнијих истраживања, како би се у потпуности могли сагледати услови на аутопутској мрежи и на тај начин прилагодити скале Нивоа Услуге локалним условима.

6. ЛИТЕРАТУРА

1. Brilon, W., & Ponzlet, M. (1997). Variability of speed-flow relationships on German autobahns. *Transportation Research Record*, 1555, 91–98. <https://doi.org/10.1177/0361198196155500112>
2. Chand, S., Aouad, G., & Dixit, V. v. (2017). Long-range dependence of traffic flow and speed of a motorway: Dynamics and correlation with historical incidents. *Transportation Research Record*, 2616(1), 49–57. <https://doi.org/10.3141/2616-06>
3. Elliott, M. A., Armitage, C. J., & Baughan, C. J. (2003). Drivers' Compliance with Speed Limits 1 Running head: DRIVERS' COMPLIANCE WITH SPEED LIMITS Drivers' Compliance with Speed Limits: An Application of the Theory of Planned Behavior. *Journal of Applied Psychology*, 88(5), 964–972.
4. Fildes, B., & Lee, S. (1993). *THE SPEED REVIEW: ROAD ENVIRONMENT, BEHAVIOUR, SPEED LIMITS, ENFORCEMENT AND CRASHES Prepared by Federal Office of Road Safety Department of Transport and Communications*.
5. Gardner, D. J., & Rockwell, T. H. (1983). *Two Views of Motorist Behavior in Rural Freeway Construction and Maintenance Zones: The Driver and the State Highway Patrolman* (Vol. 25, Issue 4).
6. Goldenbeld, C., & van Schagen, I. (2007). The credibility of speed limits on 80 km/h rural roads: The effects of road and person(ality) characteristics. *Accident Analysis and Prevention*, 39(6), 1121–1130. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2007.02.012>
7. Highway Capacity Manual 2000., Transportation Research Board
8. Highway Capacity Manual 2010., *VOLUME 2: Uninterrupted flow*, Transportation Research Board
9. Highway Capacity Manual: A Guide for Multimodal Mobility Analysis (2016)
10. Hurdle, V. F., and P. K. Datta. Speeds and Flows on an Urban Freeway: Some Measurements and a Hypothesis. In *Transportation Research Record 905*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1983, pp. 127–137.
11. I.N.L.G. van Schagen, (2004). *Veilige en geloofwaardige snelheids limieten*.
12. Kuzović, Lj. (1987). *Teorija saobraćajnog toka*, Gradjevinska knjiga, Beograd
13. National Academies. (2011). *Transportation Research Board 2011 Annual Report*.
14. Oecd, & Ocde. (2006). *SPEED MANAGEMENT*.
15. Praticò, F. G., & Giunta, M. (2012). Modeling Operating Speed of Two Lane Rural Roads. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 53, 664–671. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.916>
16. Richard Allsop, E. T. S. C. (1995). *REDUCING TRAFFIC INJURIES RESULTING FROM EXCESS AND INAPPROPRIATE SPEED*.
17. Road Weather Information System (RWIS): <http://77.46.145.242/RWIS/index.html>, datum i vreme pristupa: 28.03.2022. u 21:35h
18. Sharma, S. C. (1987). Driver population factor in new highway capacity manual. *Journal of Transportation Engineering*, 113(5), 575–579. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(1987\)113:5\(575\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1987)113:5(575))
19. *SWOV Fact sheet Speed choice: the influence of man, vehicle, and road*. (2012).
20. *The Highway Capacity Manual Development and Application Problem*. (1985).

PROVERA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA - KONTROLA PRISTUPA I POPREČNI PROFIL - PRIMER PRIKLJUČAK KARTING CENTRA AUTOKOMERC NA DRŽAVNI PUT IA REDA

Sanja Fric, dipl.grad.inž.¹

¹ Docent, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, sfric@grf.bg.ac.rs

Dejan Gavran, dipl.grad.inž.

Vanredni profesor, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, gavran@eunet.rs

Filip Trpčevski, mast.inž.grad.

Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, frpcevski@grf.bg.ac.rs

Vladan Ilić, mast.inž.grad.

Docent, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, vilic@grf.bg.ac.rs

Stefan Vranjevac, mast.inž.grad.

Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, svranjevac@grf.bg.ac.rs

Miloš Lukić, mast.inž.grad.

Asistent, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, mlukic@grf.bg.ac.rs

Rezime: Provera bezbednosti saobraćaja je u domaću zakonsku regulativu ušla tokom poslednjih izmena Zakona o putevima tokom 2018.godine. Po članu 89. Zakona o putevima Upravljač javnog puta je dužan da obezbedi periodične i ciljane provere bezbednosti saobraćaja na državnim putevima I reda. U radu će biti opisana metodologija provere bezbednosti saobraćaja kroz konkretan primer priključka karting centra Autokomerc na državni put IA reda. U radu će akcenat biti na specifičnim nedostacima bezbednosti saobraćaja sa aspekta kontrole pristupa i elemeneta poprečnog profila na datom primeru, kao i prikazane mere za otklanjanje tih nedostataka.

Ključne reči: provera bezbednosti saobraćaja, priključak, nedostaci, mere

ROAD SAFETY INSPECTION – ACCESS CONTROL AND TYPICAL CROSS SECTION – CASE STUDY: CONNECTION OF AUTOKOMERC CARTING CENTER ON THE IA CATEGORY STATE ROAD

Sanja Fric, dipl.grad.inž.²

¹ Assistant professor, University of Belgrade – Faculty of Civil Engineering, sfric@grf.bg.ac.rs

Dejan Gavran, dipl.grad.inž.

Associate professor, University of Belgrade – Faculty of Civil Engineering, gavran@eunet.rs

Filip Trpčevski, mast.inž.grad.

University of Belgrade – Faculty of Civil Engineering, frpcevski@grf.bg.ac.rs

Vladan Ilić, mast.inž.grad.

Assistant professor, University of Belgrade – Faculty of Civil Engineering, vilic@grf.bg.ac.rs

Stefan Vranjevac, mast.inž.grad.

University of Belgrade – Faculty of Civil Engineering, svranjevac@grf.bg.ac.rs

Miloš Lukić, mast.inž.grad.

Teaching assistant, University of Belgrade – Faculty of Civil Engineering, mlukic@grf.bg.ac.rs

Abstract: According to Article 89 of the Law on Roads, the Road Safety Inspection entered the domestic legislation during the last amendments to the Law on Roads in 2018. The State Road Investor is obliged to provide periodic and targeted inspections of road safety on IA category state roads. The paper will describe the methodology of road safety inspection through a case study of the connection of the Autokomerc karting center to the IA state road. The paper will focus on specific flaws of road safety from the aspect of access control and elements of the typical cross profile on this example, as well as the needed improvement measures for eliminating these flaws.

Keywords: road safety inspection, connection road, flaws, improvement measures

¹ Autor zadužen za korespondenciju: sfric@grf.bg.ac.rs

² Autor zadužen za korespondenciju: sfric@grf.bg.ac.rs

1. UVOD

Tokom 2018.godine u Zakon o putevima je uključeno posebno poglavlje XI pod nazivom *Posebni zahtevi koje javni put mora da ispuni sa aspekta bezbednosti saobraćaja*. Tom prilikom je u domaću legislativu prvi put uvedena grupa procedura koje za cilj imaju unapređenje bezbednosti saobraćaja na našoj putnoj mreži, kao što su: Procena uticaja puta na bezbednost saobraćaja, Revizija projekata državnih puteva I reda sa aspekta bezbedonosnih karakteristika puta za sve projekte novogradnje i rekonstrukcije, *Provera bezbednosti saobraćaja na putu*, Mapiranje rizika, identifikacija i rangiranje opasnih mesta na putu i na kraju Nezavisna oceana uticaja puta na saobraćajne nezgode sa poginulim licima [1].

U ovom radu će detaljnije biti objašnjen process Provere bezbednosti saobraćaja na putu kroz primer priključka na državni put IA reda, sa akcentom na suštinsku problematiku kontrole pristupa, ali i pojedinih elemenata normalnog poprečnog profila puta.

2. PROVERA SIGURNOSTI PUTA – PRIMENA U DOMAĆOJ PUTNOJ PRAKSI

Posmatrajući funkcionisanje zatvorenog kibernetičkog sistema vozač-vozilo-okolina, u raznoj inostranoj i domaćoj literaturi prepoznat je i identifikovan procentualno značaj uticaj puta i njegovok okruženja na događanje saobraćajnih nezgoda (u većini istraživanja, taj procenat varira u intervalima od 30% do 40% od ukupnog broja saobraćajnih nezgoda).

Tako su po PIARC-u (2003.g.) izdvojeni sledeći odnosi između uticajnih faktora na bezbednost saobraćaja kao dominantni:



Slika 1. Uticajni faktori koji doprinose nastanku saobraćajne nezgode na putevima (Izvor: [2])

Uzimajući u obzir nesporno značajan uticaj puta i njegove okoline na bezbednost saobraćaja na putevima, po članu 89. Zakona o putevima za Upravljača državnog puta je uvedena obaveza primene periodičnih provera državnih puteva I reda najmanje jednom u periodu od 5 godina, kao i ciljanih provera za deonice javnih puteva najvećeg rizika, u skladu sa zaključcima mapiranja rizika.

Po Zakonu o putevima, o Proveri puta se sačinjava Izveštaj i Upravljač javnog puta mora pokrenuti proceduru za otklanjanje nedostataka evidentiranih u Izveštaju u roku od 90 dana od dana dobijanja Izveštaja. Ako Upravljač javnog puta nije u mogućnosti da postupi po preporukama iz Izveštaja, dužan je o tome da obavesti nadležni organ za poslove saobraćaja (u ovom slučaju Ministarstvo građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture), u roku od 30 dana od dobijanja Izveštaja. Konačnu odluku o obrazloženju Upravljača javnog puta donosi nadležni organ i ona je za Upravljača javnog puta obavezujuća u daljem postupanju.

Kada je u pitanju tim koji može vršiti Proveru puta, po članu 92. Zakona o putevima taj stručni tim mora biti nezavisan od Upravljača puta, njim je potrebno da rukovodi licencirani proveravač. Kako bi lice moglo biti licencirani proveravač, po važećem Zakonu, neophodno je da pored formalnih uslova koje čine završene master studije građevinarstva, usmerenje putevi i železnice ili završene master studije saobraćajne struke, usmerenja drumski saobraćaj, zatim minimalno 5godišnje iskustvo u oblasti projektovanja puteva ili bezbednosti drumskog saobraćaja, neophodan uslov je da to lice ima i položen stručni ispit za Proveravača, odnosno da bude licencirani Proveravač. Poslovima izdavanja, obnavljanja i oduzimanja licence rukovodi Agencija za bezbednost saobraćaja [1].

Domaća praksa je pokazala da procedura definisana Zakonom o putevima i dalje nije u potpunosti implementirana u domaćoj putnoj praksi, imajući u vidu da nadležni organ, odnosno nadležno Ministarstvo i dalje nije oformilo Komisiju čija nadležnost bi bila donošenje konačne odluke o postupanju u slučajevima Provere bezbednosti saobraćaja na putu.

U nastavku će biti prikazani ključni problemi sa aspekta kontrole pristupa i elemenata poprečnog profila puta, koji se mogu smatrati dominantnim kada je u pitanju Provera na državnim putevima I reda.

3. PRIKLJUČAK KARTING CENTRA AUTOKOMERC NA DRŽAVNI PUT IA REDA

3.1 Predmet Provere bezbednosti saobraćaja – opis deonice

Prema Referentnom sistemu državnih puteva I i II reda, analizirana deonica spada u rang državnog puta IA reda, broj A1, deonica 1201 petlja Beograd - petlja Bujanj Potok (Leštane). Ukupna dužina deonice iznosi 29,5 km. Predmet provere bezbednosti saobraćaja koja je sprovedena oktobra meseca 2021.g. bila je deonica 1021 od 0+000 km do 0+510 km, u dužini 0,51 kilometra, Provera je sprovedena u okviru programa obuke stručnog osposobljavanja za revizora/proveravača bezbednosti saobraćaja.



Slika 2. Mikrolokacija predmetne deonice

Posmatrana deonici se nalazi na teritoriji grada Beograda, opština Zemun. Upravljač posmatrane deonice je JP „Putevi Beograda“. Provera bezbednosti saobraćaja je realizovana terenskim istraživanjem a potom i radom u kancelariji.

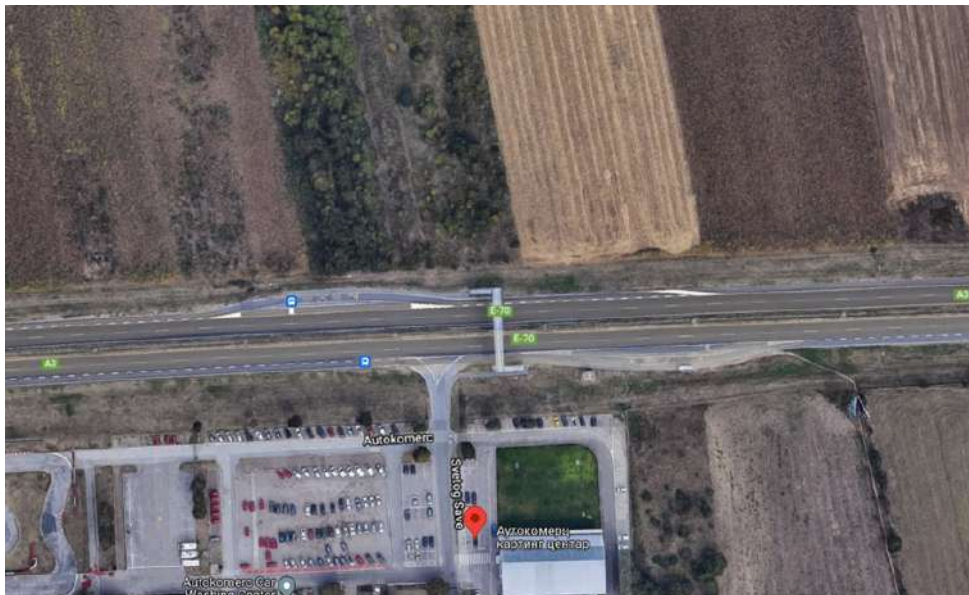
Za potrebe izveštavanja, a pre obilaska same predmetne deonice, izvršena je priprema koja je obuhvatila analizu saobraćajnih nezgoda na predmetnoj deonici, analizu podataka o saobraćajnim tokovima, pregled dostupnih snimaka deonice, kao i novinskih natpisa o saobraćajnim nezgodama na deonici. Nakon izvršenog obilaska terena, uočeni nedostaci puta sa aspekta bezbednosti saobraćaja su sistematizovani i prikazani u okviru izveštaja.

Kao najznačajniji nedostaci puta sa aspekta bezbednosti saobraćaja identifikovani su problemi kontrole pristupa kao i pojedini elementi normalnog poprečnog profila puta.

3.2 Konflikt funkcije puta i kontrole pristupa – evidencirani ključni nedostaci i predložene mere za otklanjanje

Prema funkcionalnoj klasifikaciji glavna funkcija predmetnog puta je daljinsko povezivanje, odnosno povezivanje regionalnih i državnih saobraćajnih težišta, povezujući veća odstojanja međuregionalnog, državnog i međudržavnog dometa. Predmetna deonica puta ne prolazi kroz naselja. Geometrijski elementi na većem delu puta zadovoljavaju računsku brzinu od 120 km/h.

Osnovni problem predmetne deonice, koji za posledicu može imati veliki broj saobraćajnih nezgoda jeste saobraćajni priključak koji se nalazi sa desne strane kolovoza na stacionaži 0+230 km. Saobraćajni priključak je u nivou, suprotno pravilim struke kao i važećoj regulative, čime se ozbiljno narušava osnovna funkcija autoputa.



Slika 3. Mikrolokacija samog priključka
(Izvor:[4])

Obilaskom terena uočena je pojava svih kategorija vozila i učesnika u saobraćaju, od teških teretnih vozila, do autobusa, putničkih automobila i pešaka. Naime, na predmetnoj lokaciji je usled sadržaja u vidu objekata velikih pravnih lica, zabavnih sadržaja kao što je karting staza „Autokomerc“, formiranog naselje „Radio Far“, koje broji oko 1500 stanovnika i 40 velikih i srednjih preduzeća, sa preko 400 zaposlenih lica u zoni autoputa dolazi do povećane atraktivnosti lokacije i pojave velikog broja pešaka kao ranjivih učesnika u saobraćaju.

Ove činjenice ukazuju upravo da je osnovna funkcija autoputa ozbiljno ugrožena, i da je osnovna funkcija daljinskog povezivanja suštinski prešla u mešovitu funkciju ovog dela državnog puta IA reda.

S obzirom da se na predmetnom delu pored priključka u nivou nalazi i autobusko stajalište brzina kretanja vozila na glavnom pravcu, zajedno sa dužinom i širinom ulivno/izlivnih traka ne omogućava bezbedno kretanje vozila u samoj zoni priključka, i to za sve kategorije učesnika u saobraćaju.



Slika 4. Mikrolokacija samog priključka
(Izvor:[4])

Prvo je evidentirano da postojeća geometrija priključka i njegova ivična geometrija ne odgovaraju merodavnom vozilu što za posledicu ima prelazak vozila u saobraćajnu traku prilikom manevra skretanja udesno iz pravca Autokomerca.

U skladu sa važećim pravilnikom za projektovanje vangradskih puteva jasno je definisan postupak dimenzionisanja ulivnih i izlivnih traka. U pravilniku je data standardna dužina uliva i izliva od 250m, ali se napominje da je to standardna dužina ulivno/izlivnih traka kada su primenjeni svi projektni elementi u skladu sa standardima i na samom priključku [3]. Kako se na predmetnoj lokaciji nalazi priključak pod pravim uglom, koji kao takav ne bi smeo da se nađe na autoputu, u trenutnim uslovima odvijanja saobraćaja, potrebno je u zoni samog priključka brzinu smanjiti na 10km/h kako bi se uspešno izveo manevr desnog skretanja bez ugrožavanja vozilu u dugom smeru.

Ako bi se usvojile maksimalne vrednosti ubrzanja (1m/s^2), odnosno usporenja (2m/s^2), dolazi se do zaključka da je potrebna dužina izlivne trake 300m, dok je potrebna dužina ulivne trake 500m. Dužina ulivne i izlivne trake na predmetnoj deonici je izmerena i iznosi 230m.

Potom, kao naročito opasan detalj po bezbednost saobraćaja se izdvaja formiranje konfliktne zone u delu ulivne trake sa priključka na autoput i formiranje autobuske niše.



Slika 5. Konflikt ulivna traka/niša za zaustavljanje vozila
(Izvor:[4])

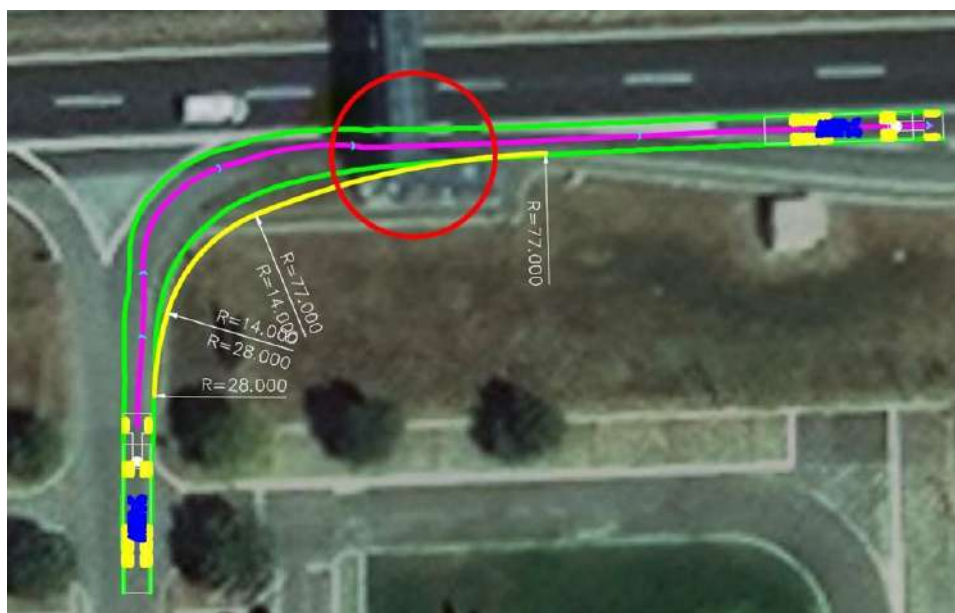
Pored prethodno navedenih nedostataka, konstantovan je i problematičan detalj ulivanja sa autobuskog stajališta u osnovni tok autoputa. Naime, radijus kojim je oblikovana trajektorija priključenja autobusa je neadekvatan i ugrožava bezbednost saobraćaja osnovnog toka, s obzirom da autobus prilikom manevra priključenja svojom trajektorijom zalazi u voznu traku autoputa.



Slika 5. Problematična trajektorija uliva u osnovni tok autoputa
(Izvor: [4])

Sve prethodno navedeno jasno signalizira da neadekvatno rešena kontrola pristupa može rezultira značajnim konfliktima u saobraćaju i narušavanjem bezbednosti po sve kategorije učesnika.

Kao prva mera za otklanjanje nedostataka se izdvaja formiranje ulivno/izlivnih traka u skladu sa zahtevima iz Pravilnika. Međutim, kroz simulaciju prohodnosti vozila vidi se da nije moguće konstruisati ulivnu lepezu (trocentričnu krivinu) tako da vozilo ne izlazi u voznu traku bez izmeštanja postojeće pasarele.



Slika 6. Simulacija kretanja vozila prilikom desnog skretanja

Međutim, uzimajući u obzir narušenu funkciju autoputa postojanjem priključka u nivou ali i blizinu autobusnog stajališta i trenutno mešovitu funkciju predmetne deonice, najefikasnije bi bilo primeniti suštinsku meru a to je potpuna rekonstrukcija predmetnog priključka, izmeštanje autobusnog stajališta i konstruisanje ulivne i izlivne trake na dužini od 250m [3].



Slika 7. Rekonstrukcija predmetnog priključka



Slika 8. Formiranje ulivno/izlivnih traka dužine 250m

3.3 Poprečni profil puta – evidentirani nedostaci i predložene mere za otklanjanje nedostataka

Pored evidentiranog niza problema koji potiču usled neadekvatno rešene kontrole pristupa, primećen je i niz problema koji proističu iz elemenata poprečnog profila i nivelacionog uklapanja priključka u profil autoputa.

3.3.1 Širina saobraćajnog profila

Izmerena širina saobraćajnog profila na slobodnoj deonici autoputa iznosi 10.80 metara. U skladu sa starim propisima kada je predmetna deonica autoputa izgrađena, ovakva širina je adekvatna. Samim tim, u zoni ulivno/izlivnih traka širina saobraćajnog profila nije menjana, odnosno primenom horizontalne signalizacije za razdvajanje voznih traka od traka za ulivanje i izlivanje, vozna traka je suštinski sužena na 3.50m, a ulivno/izlivna traka je neadekvatne širine od 3.00m. Ovakva širina nije u skladu sa važećim propisima i nije primerena kretanju teških teretnih vozila koja, uzimajući u obzir funkciju autoputa i samu mikrolokaciju priključka, procentualno predstavljaju značajan udeo u saobraćajnom toku.

Mera koja je predložena a koji je moguće prilagoditi postojećem stanju je svakako proširenje kolovoza na način da se ostvari širina ulivno/izlivne trake od 3.50m, kao i potrebna širina ivičnih traka, a bez suženja vozne trake u saobraćajnom profilu.

3.3.2 Neadekvatno odvodnjavanje priključka

Deonica autoputa koja je predmet provere je projektovana i izgrađena u skladu sa starim propisima koji nisu podrazumevali neophodno uvođenje zatvorenog sistema odvodnjavanja. Samim tim, voda sa kolovoza se odvodi preko bankina i kosina do upojnih jarkova u nožici nasipa. Podužni pad priključka je suprotno usmeren

u odnosu na poprečni pad kolovoza autoputa. Ovakvo nivelaciono uklapanje priključka uzrokuje pojavu najnižeg mesta na kolovozu baš u zoni samog priključka, što je rezultiralo i oštećenjem kolovoza na tom mestu.



Slika 9. Oštećenje kolovoza usled neadekvatnog odvodnjavanja u zoni priključka
(Izvor:[4])

U ovom slučaju, predložena mera bi bila uvođenje šaht slivnika kojim bi se voda poprečno odvela do zemljanih jarkova. Nakon rekonstrukcije autoputa i uvođenja sistema kišne kanalizacije bilo bi moguće i direktno upuštanje tih slivnika.

3.3.3 Neadekvatno odvodnjavanje zone autobusnog stajališta

U obilasku terena konstantovano je da je poprečni pad autobusnog stajališta suprotno usmeren u odnosu na poprečni pad kolovoza autoputa. Takvo nivelaciono uklapanje uzrokuje pojavu najnižeg mesta na kolovozu, kao i zadržavanje vode u zoni baš između kolovoza autoputa i autobusnog stajališta. Tako se zadržavanje vode javlja i uz ivičnjak razdelnog ostrva. Samim tim, u ovim zonama dolazi i do nanošenja materijala koji se sakuplja zbog neadekvatnog odvodnjavanja.



Slika 10. Nanošenje materijala u zoni razdelnog ostrva autobusnog stajališta
(Izvor: [4])

Kao i u prethodnom slučaju, predložena mera bi bila uvođenje šaht slivnika kojim bi se voda poprečno odvela do zemljanih jarkova. Nakon rekonstrukcije autoputa i uvođenja sistema kišne kanalizacije bilo bi moguće i direktno upuštanje tih slivnika.

4. ZAKLJUČAK

Kroz ovaj primer opisana je sažeta metodologija procesa Provere bezbednosti saobraćaja na putu, koja je definisana važećom zakonskom regulativom. Cilj rada je bio da, kroz konkretan primer, opiše krucijalne

probleme na našoj mreži državnih puteva I reda, koji pre svega proističu iz neadekvatno rešene kontrole pristupa, ali i iz detalja poprečnog profila koji mogu dovesti do ugrožavanja bezbednosti učesnika u saobraćaju.

S obzirom na činjenicu da ovde prikazani nedostaci jasno impliciraju da je rešenje pojedinih problema na našoj putnoj mreži moguće isključivo ozbiljnijim intervencijama na mreži (npr. hitno zatvaranje priključka i njegova potpuna rekonstrukcija), koje zahtevaju značajna investiciona ulaganja, apsolutno je neophodno da nadležni organ za poslove saobraćaja (Ministarstvo za građevinarstvo, saobraćaj i infrastrukturu) u narednom periodu uzme aktivno učešće u ovoj problematici, kao što je to Zakonom i definisano.

LITERATURA

- [1] Zakon o putevima ("Sl. glasnik RS", br. 41/2018 i 95/2018)
- [2] Agencija za bezbednost saobraćaja, AMSS CMV, Saobraćajni fakultet, S projekt. Priručnik za sticanje licenci i stručno usavršavanje revizora i proverivača bezbednosti puta
- [3] Pravilnik o uslovima koje sa aspekta bezbednosti saobraćaja moraju da ispunjavaju putni objekti i drugi elementi javnog puta ("Sl.glasnik RS", br.50/2011)
- [4] Lična foto dokumentacija

BUĐENJE SVESTI UČESNIKA U SAOBRAĆAJU O ZNAČAJU I UPOTREBI ZAUSTAVNE TRAKE

Ibrović Ljerka¹

JP "Putevi Srbije", Bul. kralja Aleksandra br.282, 11000 Beograd, ljerka.ibrovic@putevi-srbije.rs,

Branković Rajko

JP "Putevi Srbije", Bul. kralja Aleksandra br.282, 11000 Beograd, rajko.brankovic@putevi-srbije.rs,

Arbutina Nikolina

JP "Putevi Srbije", Bul. kralja Aleksandra br.282, 11000 Beograd, nikolina.arbutina@putevi-srbije.rs,

Reković Petar

„Novius” d.o.o., ul.Brsjačka br.18, 11050 Beograd, prekovic@novius.rs,

Rezime: Bezbednost saobraćaja je umnogome rezultat sistematski osmišljenih i dobro realizovanih kampanja, prvenstveno od strane vlada, društvenih struktura i pojedinaca kojima se podiže nivo svesti svih učesnika u saobraćaju o opasnostima koje prete u saobraćaju na putevima. Iako zakonska regulativa jasno definiše zaustavnu traku, njenu namenu i način korišćenja u slučaju nužde, veliki broj učesnika u saobraćaju u Srbiji ne ponaša se u skladu sa zakonskim propisima. Analizirajući saobraćajne nezgode na autoputu i strukturu saobraćajnog toka u poslednjih pet godina, ustanovljena je značajna zastupljenost nezgoda koje su se dogodile usled nepropisnog korišćenja zaustavne trake, koje su rezultirale teškim posledicama po učesnike u saobraćaju. S obzirom na to da se zaustavna traka ne koristi samo onda kada je to neophodno, a da su posledice takvog ponašanja ogromne, došlo se do zaključaka da se kroz dobro osmišljenu i organizovanu kampanju mogu definisati jasni načini delovanja na učesnike u saobraćaju, pre svega kroz edukaciju, kako bi se unapredila bezbednost svih učesnika u saobraćaju, a posebno prilikom nužnog korišćenja zaustavne trake.

Ključne reči: zaustavna traka, autoput, bezbednost, saobraćajne nezgode, kampanje u bezbednosti saobraćaja.

AWAKENING AWARENESS OF TRAFFIC PARTICIPANTS ABOUT THE IMPORTANCE AND USE OF THE STOP LANE

Ibrovic Ljerka

PE "Roads of Serbia", Bul. kralja Aleksandra 282, 11000 Belgrade, ljerka.ibrovic@putevi-srbije.rs

Brankovic Rajko

PE "Roads of Serbia", Bul. kralja Aleksandra 282, 11000 Belgrade, rajko.brankovic@putevi-srbije.rs,

Arbutina Nikolina

PE "Roads of Serbia", Bul. kralja Aleksandra 282, 11000 Belgrade, nikolina.arbutina@putevi-srbije.rs,

Rekovic Petar

„Novius” Ltd.,Brsjackska street No 18, 11050 Belgrade, prekovic@novius.rs,

Abstract: Traffic safety is mostly the result of systematically designed and well-implemented campaigns, primarily by governments, social structures and individuals that raise the awareness of all road users about the dangers of road traffic. Although the legislation clearly defines the emergency lane, its purpose, and the manner of use in case of emergency, many traffic participants in Serbia do not act in accordance with legal regulations. Analyzing traffic crashes on the motorways sections and the structure of traffic in the last five years, a significant prevalence of crashes that occurred due to improper use of the emergency lane, which resulted in severe consequences for traffic users, was established. Given that the emergency lane is not used only when necessary, and that the consequences of such behavior are huge, it was concluded that a well-designed and organized campaign could define clear ways of acting and influence on road users, primarily through education, in order to improve traffic safety of all participants, especially when using the emergency lane.

Keywords: emergency lane, highway, safety, traffic crashes, traffic safety campaigns.

¹ Autor zadužen za korespondenciju: Ljerka Ibrović, ljerka.ibrovic@putevi-srbije.rs

1. UVOD

Bezbednost saobraćaja je tema koja podseti na svoju ozbiljnost tek kada se saobraćajna nezgoda dogodi i kada su njene posledice svima vidljive na putu. Nezgode pamte samo preživeli i porodice poginulih i povređenih.

Iskustva razvijenih zemalja pokazuju da se nezgode na putevima mogu predvideti i sprečiti. Preventivnim aktivnostima učesnika u saobraćaju moguće je u mnogim slučajevima sprečiti pojavu saobraćajnih nezgoda, a u slučaju događaja saobraćajne nezgode moguće je smanjiti posledice saobraćajnih nezgoda.

Pored ostalih aktivnosti koje se sprovode za unapređenje bezbednosti saobraćaja, ona je umnogome rezultat sistematski osmišljenih i dobro realizovanih kampanja, prvenstveno od strane vlada, društvenih struktura i pojedinaca kojima se podiže nivo svesti svih učesnika u saobraćaju o opasnostima koje prete u saobraćaju na putevima. S obzirom na to da se veliki broj učesnika u saobraćaju u Srbiji ne ponaša bezbedno, tj. u skladu sa zakonskim propisima, kao i da kažnjavanje tako širokog kruga učesnika gubi svrhu, dobro osmišljene edukativne kampanje mogu dati značajan doprinos promeni njihovog ponašanja i ukupnog smanjenja broja, kao i posledica saobraćajnih nezgoda.

Upravljač državnih puteva JP „Putevi Srbije“, kao jedan od najaktivnijih učesnika u unapređenju bezbednosti saobraćaja, prepoznao je značaj i efekte sprovođenja kampanja koje imaju pozitivan uticaj na sve učesnike u saobraćaju. U okviru kampanje koje će imati edukativni karakter kako za vozače tako i za sve učesnike u saobraćaju, (u daljem tekstu Kampanja) obrađena je tema „Buđenja svesti učesnika u saobraćaju o značaju i upotrebi zaustavne trake“.

Imajući u vidu veliku zastupljenost saobraćajnih nezgoda u zaustavnoj traci potrebno je razmotriti i definisati način delovanja na vozače kategorija vozila prepoznatih kao rizične.

2. BUĐENJE SVESTI UČESNIKA U SAOBRAĆAJU O ZNAČAJU I UPOTREBI ZAUSTAVNE TRAKE

2.1. CILJ

Pored opšteg cilja za smanjenje broja saobraćajnih nezgoda na mreži državnih puteva I reda, osnovni cilj Kampanje je delovanje na nepropisno ponašanje učesnika u saobraćaju prilikom korišćenja zaustavne trake odnosno buđenje svesti učesnika u saobraćaju o značaju i upotrebi zaustavne trake;

Pored osnovnih ciljeva Kampanje izdvajaju se i sledeći zadaci:

- podizanje svesti o problemima stradanja u saobraćaju (skretanje pažnje javnosti na značaj i mogućnosti unapređenja nivoa bezbednosti saobraćaja),
- identifikovanje pojedinca sa problemima stradanja u saobraćaju,
- podizanje svesti o mogućnosti uticaja na smanjenje nivoa stradanja u saobraćaju – edukacija stanovništva,
- promena neželjenog u željeno ponašanje i
- potvrda aktivne uloge JP „Putevi Srbije“ u oblasti bezbednosti saobraćaja

Ciljevi i zadaci Kampanje usmereni su na buđenje svesti o bezbednosti saobraćaja na putevima, posledicama nezgoda i nastanku povreda u saobraćaju. Zbog toga je neophodno implementirati adekvatnu komunikacionu strategiju koja će se zasnivati na kontinualnom i temeljnom informisanju i edukaciji o ovom problemu kako bi se broj nezgoda smanjio, ali i predupredio.

Ciljna grupa na koju se želi delovati su vozači svih starosnih i socio-ekonomskih grupa, učesnici u saobraćaju koji koriste zaustavnu traku u suprotnosti sa važećim zakonskim propisima.

U okviru realizacije predmetnog rada izvršena je analiza sledećih tema:

- Pregled zakonske regulative u vezi sa temom zaustavne trake
- Istraživanje dostupnih (međunarodnih i domaćih) kampanja sa istim ili sličnim temama,
- Analiza bezbednosti saobraćaja i istraživanje vrste i obima problema kao polaznih podataka za sprovođenje Kampanje;
- Pregled zaključaka;

2.2. PREGLED ZAKONSKE REGULATIVE U VEZI SA TEMOM ZAUSTAVNE TRAKE

U okviru analize bezbednosti saobraćaja izvršena je analiza zakonske regulative koja se odnosi na nepropisno i nebezbedno korišćenje zaustavne trake. Pregledom zakonske regulative uočeno je da je odredbama „Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima ("Sl. glasnik RS", br. 87/2018, 23/2019 i 128/2020 - dr. zakon)" definisana namena i upotreba zaustavne trake.

Zakonom o bezbednosti saobraćaja na putevima jasno je definisana zaustavna traka kao deo puta koji je namenjen isključivo za zaustavljanje vozila koja se zbog nepredvidivih razloga moraju zaustaviti (član 7.). Definisano je takođe da vozač ne sme vozilom da vrši preticanje ili obilaženje zaustavnom trakom (član 55.), niti da se na njoj parkira (član 66.). Dodatno je definisan način obeležavanja vozila kada se zaustavljaju na kolovozu (član 67.).

Analizom zakonske regulative utvrđeno je da postoji jasna definicija zaustavne trake, njena namena kao način korišćenja iste u slučajevima nužde.

2.3. DOMAĆE I MEĐUNARODNE KAMPANJE SA ISTIM ILI SLIČNIM TEMAMA

Kao jedan od alata unapređenja bezbednosti saobraćaja u svetu, pa i kod nas, koriste se medijske kampanje. Medijske kampanje o bezbednosti na putevima imaju za cilj da informišu, ubede i motivišu ljude da promene stavove, ponašanje i na kraju da unaprede bezbednost na putevima. Rezultati kampanja za bezbednost saobraćaja zavise, pre svega od načina komunikacije sa učesnicima u saobraćaju. Pošto su meta kampanja ljudi ili grupe ljudi, a kako su karakteristike njihovog ponašanja različite od zemlje do zemlje, svaka od zemalja koja se bavila unapređenjem bezbednosti do sada je sledila sopstveni pristup u ovoj oblasti. Dok većina pravila i propisa koji regulišu bezbednost na putevima postaju jedinstveni u svim zemljama zbog sve šire primene UN sporazuma i konvencija, specifične poruke upućene ciljnoj grupi odabranoj za kampanju mogu varirati od zemlje do zemlje, pa čak i unutar jedne zemlje. Da bi kampanje, usmerene na određenu ciljnu grupu učesnika, imale svoj puni efekat treba da uključe vladine, gradske, opštinske i nevladine institucije i organizacije kao i masovne medije što većoj meri..

U narednim podpoglavljima opisana su iskustva različitih zemalja u sprovođenju kampanja o bezbednosti saobraćaja. Koncept istraživanja dostupnih kampanja sa istim ili sličnim temama sproveden je kroz analizu realizovanih kampanja na teritorijama: Republike Srbije, u regionu (Slovenija, Hrvatska, i Bosna i Hercegovina), Evropi (Holandija, Poljska i Velika Britanija) i Sjedinjenim Američkim Državama (SAD).

Na teritoriji Republike Srbije godinama unazad sprovode se akcije i kampanje koje za cilj imaju podizanje svesti o bezbednosti saobraćaja. Unapređenju bezbednosti saobraćaja na mreži puteva i ulica kroz realizaciju kampanja uključila su se mnoga javna preduzeća i institucije kao što su: JP „Putevi Srbije“, Agencija za bezbednost saobraćaja, Sekretarijat za saobraćaj grada Beograda, Ministarstvo unutrašnjih poslova, Uprava saobraćajne policije itd, koji za cilj imaju podizanje svesti svih učesnika u saobraćaju, a samim tim i nivoa bezbednosti saobraćaja.

Kampanje u Republici Srbiji se najčešće korisnicima u saobraćaju prezentuju putem video kampanja, kratkih edukativnih snimaka, promotivnog materijala, bilborda, putem društvenih mreža i u drugim formama obaveštenja kroz koje se učesnicima u saobraćaju skreće pažnja na odgovorno i bezbedno ponašanje u saobraćaju. Detaljne informacije sprovedenih kampanja koje se odnose na metodologiju sprovođenja, analize koje su prethodile, troškove realizacije, kao i efekte sprovedenih kampanja u najvećoj meri nisu javno dostupne informacije.

Prezentovanje informacija o efektima sprovedenih kampanja dodatno bi uticalo na podizanje svesti učesnika u saobraćaju. Predstavljanje koliko neki postupci učesnika u saobraćaju mogu da doprinesu bezbednijem ponašanju u saobraćaju, podstaklo bi učesnike da se pridržavaju mera definisanih zakonom čineći tako saobraćaj bezbednijim za sve.

Tema predmetne kampanje, prema trenutnim saznanjima, nije obrađivana na teritoriji Republike Srbije.

Kada se radi o regionu, država koja je najviše uradila po pitanju kampanja bezbednosti saobraćaja je svakako Slovenija. Može se reći da su ostale države regiona poput Hrvatske i BiH sledile njen primer u organizovanju i sprovođenju kampanja.

Kampanje za podizanje svesti o bezbednosti saobraćaja na autoputevima nisu definisane kao klasične kampanje već su predstavljene kroz kratke edukativne video materijale koji su prikazani na sajtovima preduzeća koja se bave upravljanjem puteva. Pored edukativnih video materijala prezentuju se i snimci nedoličnog i opasnog ponašanja korisnika na autoputevima koje može da utiče na nastanak saobraćajnih nezgoda. Snimci nedoličnog ponašanja koji su snimljeni na mreži autoputeva, kroz njihovo prikazivanje, prenose snažne poruke kako ne bi trebalo da se ponašaju korisnici autoputa.

U regionu, zaustavljanje vozila u zaustavnoj traci u najvećoj meri obrađeno je kroz informativne video materijale ili uputstva upravljača puteva o sigurnoj vožnji i kako se treba ponašati i šta treba preduzeti ako dođe do kvara vozila na autoputu i zaustavljanja u zaustavnoj traci.

Primeri informisanja i edukacije učesnika o bezbednom ponašanju u saobraćaju koji podrazumevaju izradu video materijala informativnog karaktera i prezentaciju putem interneta (veb sajta, društvenih mreža) po uzoru na Sloveniju, Hrvatsku i BiH, mogao bi dati pozitivan efekat u pogledu informisanosti i promeni stavova učesnika u saobraćaju i u Srbiji.

Tematika obrađena u okviru video materijala, iako svima poznata, često biva zaboravljena od strane učesnika u saobraćaju zbog čega ovaj vid kampanje bezbednosti saobraćaja ima pozitivne efekte. Dobro osmišljene kampanje sprovedene na ovaj način, bez angažovanja medijskih kompanija, javnih ličnosti, mogle bi da predstavljaju i manje opterećenje za upravljača državnih puteva jer bi promocija edukativnih video materijala mogla da se vrši putem interneta i društvenih mreža.

Evropske države su veoma rano prepoznale mogućnost da se kroz dobro osmišljene i plasirane kampanje može uticati na učesnike u saobraćaju da promene svoje stavove, percepcije, znanja i ponašanja u saobraćaju kako bi se smanjio broj saobraćajnih nezgoda i njihovih posledica. Kampanje u Evropi pa i šire su plasirane kroz različite vrste medija kao što su: televizija, radio, novine/časopisi, bioskop, veb/online, društveni mediji, bilbordi, flajeri/leci/posteri, VMS znakovi i događaji koji uključuju komunikaciju licem u lice. Kao neki od primera uspešno sprovedenih kampanja u Evropskoj Uniji svakako su kampanje koje su sprovedene u Holandiji, Poljskoj i Velikoj Britaniji.

Sistemski pristup sprovođenju kampanja koji je uočen na primerima iz Holandije i Poljske može biti dobar polazni osnov za buduće kampanje u Srbiji kako bi se već u fazi planiranja kampanje mogli predvideti svi postupci koji bi omogućili da jedna kampanja bude uspešna. Primeri dobrih tema za kampanje kojima se u Evropi pridaje dosta značaja, a koje su primenljive i na teritoriji Republike Srbije, su svakako kampanje za putno-pružne prelake i hitne koridore. Iako su ove teme sve više zastupljene u Srbiji, izostaje njihova popularizacija i stavljanje u prvi plan. Primeri iz Poljske i njihovog desetogodišnjeg sprovođenja i praćenja efekata kampanja na putno-pružnim prelazima je jedan od boljih primera kako se kampanjama može delovati na promenu svesti učesnika u saobraćaju.

Primer oštre kaznene politike u SAD koji očigledno daje dobre rezultate kada je u pitanju korišćenje zaustavne trake može biti jedan od načina delovanja kako bi se smanjio broj saobraćajnih nezgoda nastalih u zaustavnoj traci u Srbiji.

Kampanja o značaju i pravilnoj upotrebi zaustavne trake u slučaju kvara vozila na autoputevima u Republici Srbiji je trebalo bi da bude u fokusu zbog velikog broja vozača koji imaju navike gradske vožnje ali ne i iskustvo vožnje na autoputu. Dodatni razlog zbog kog je dobro pokrenuti navedenu kampanju je prisustvo velikog broja tranzitnih vozila u toku letnjih meseci, a koji nisu upoznati sa pravilima saobraćaja u Republici Srbiji.

Uputstva i saveti inostranim korisnicima koji po prvi put saobraćaju putevima u Republici Srbiji bila bi od velikog značaja za bezbednost u saobraćaju zbog čega je kampanju potrebno sprovoditi na ulazima u državu kao i na čeonim naplatnim rampama.

2.4. ANALIZA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA I ISTRAŽIVANJE VRSTE I OBIMA PROBLEMA KAO POLAZNIH PODATAKA ZA SPROVOĐENJE KAMPANJE

U skladu sa definisanim pristupom realizaciji analize bezbednosti saobraćaja i istraživanja vrste i obima problema izvršeno je prikupljanje podataka raspoloživih JP „Putevi Srbije“ i podataka iz ostalih relevantnih izvora za potrebe analize stanja bezbednosti saobraćaja koji su u vezi sa zaustavnim trakom.

Svi prikupljeni podaci iskorišćeni su kao polazni osnov za sprovođenje Kampanje. U okviru predmetnog zadatka izvršene su sledeće analize:

- Analiza podataka o saobraćajnim nezgodama nastalih prilikom korišćenja zaustavne trake
- Analiza podataka o protoku saobraćaja na državnim putevima ili deonicama državnih puteva gde je primećeno nagomilavanje saobraćajnih nezgoda u vezi sa predmetnom temom, kao i
- Analize ostalih podataka koji su od značaja za nastanak saobraćajnih nezgoda koje su u vezi sa temom zaustavne trake.

Analiza saobraćajnih nezgoda nastalih kao posledica zaustavljanja ili/i kretanja zaustavnim trakom na deonicama na kojim je uočeno nakupljanje nezgoda sa navedenim uzrokom izvršena je na osnovu podataka

raspoloživih JP „Putevi Srbije“, ali i podataka dobijenih od MUP-a. Podaci o saobraćajnim nezgodama su analizirani za period od 2016. do 2020. godine.

Na osnovu dostupnih podataka izvršena je vremenska i prostorna raspodela saobraćajnih nezgoda, kao i analiza posledica saobraćajnih nezgoda za navedenu temu.

Karakteristike saobraćaja (PGDS i struktura) analizirane su za pravce/deonice državnih puteva na kojima je uočeno nakupljanje saobraćajnih nezgoda sa navedenim uzrocima.

2.5. PODACI O SAOBRAĆAJNIM NEZGODAMA

Za potrebe Kampanje za podizanje nivoa bezbednosti saobraćaja izvršena je analiza podataka o saobraćajnim nezgodama (u daljem tekstu SN) na državnim putevima za period od 2016. do 2020. godine. Analiza je obuhvatila petogodišnji period, sa većim brojem nezgoda, kako bi se na taj način izvršilo lakše sagledavanje trendova i zakonitosti u nastanku i posledicama SN.

Analiza SN nastalih usled upotrebe zaustavne trake, a za potrebe rada, obuhvatila je sledeće analize:

- Analiza ukupnog broja i strukture SN, na osnovu raspoloživih podataka za prethodnih 5 godina
- Analiza ukupnog broja i strukture SN sa nastradalim licima, na osnovu raspoloživih podataka za prethodnih 5 godina
- Prostorna analiza saobraćajnih nezgoda
- Vremenska analiza saobraćajnih nezgoda
- Analiza uticajnih faktora
- Analiza kategorije učesnika saobraćajnih nezgoda

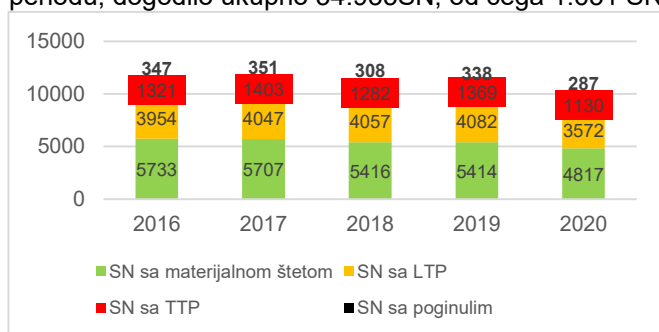
Analiza SN na državnim putevima, na teritoriji Republike Srbije, obuhvatila je analizu ukupnog broja i strukture SN, na osnovu raspoloživih podataka za prethodnih 5 godina.

Tabela 1. Broj saobraćajnih nezgoda po godinama i po vrsti

Godina	SN sa materijalnom štetom	SN sa povređenim licima	SN sa poginulim	UKUPNO
2016	5733	5275	347	11355
2017	5707	5450	351	11508
2018	5416	5339	308	11063
2019	5414	5451	338	11203
2020	4817	4702	287	9806
UKUPNO	27087	26217	1631	54935

Izvor: (Dostupna baza JP „Putevi Srbije“)

Analizom dobijenih podataka može se videti da se na državnim putevima Republike Srbije, u posmatranom periodu, dogodilo ukupno 54.935 SN, od čega 1.631 SN sa poginulim licima.



Najveći broj SN dogodio se 2017. godine, ukupno 11.508 SN. Od 2017. godine broj SN na državnim putevima beleži pad. Broj SN u 2020. godini manji je za čak 12.5% u odnosu na 2019. godinu. Veliki pad broja SN u 2020. godini može se povezati sa pandemijom COVID-19 i restrikcijama koje su važile za vreme trajanja pandemije.

Slika 1. Broj saobraćajnih nezgoda na državnim putevima u periodu od 2016. do 2020. god

Izvor: (Dostupna baza JP „Putevi Srbije“)

Usled postojanja ograničenja u vođenju evidencije o SN koje su se dogodili u zaustavnoj traci ili usled voženje zaustavnom trakom, izvršena je detaljna analiza dostupne baze podataka i ti podaci su zatim ukršteni sa informacijama dobijenim od MUP-a Srbije. U cilju sagledavanja svih nezgoda koje su od interesa za analizu, a uzimajući u obzir ograničenja sprovedeni su sledeći koraci:

1. Iz baze podataka o SN identifikovane su sve nezgode u kojima je kao specifično mesto navedena zaustavna traka.
2. Dobijenim rezultatima dodate su nezgode koje su dobijene od MUP-a Srbije, a koje su se prema njihovoj evidenciji dogodile u zaustavnoj traci. U najvećoj meri došlo je do preklapanja podataka ali su ipak identifikovane dodatne nezgode koje su značajne za analizu.
3. Izvršena je analiza nezgoda koje su kao tip SN imale sudar sa parkiranim vozilom na državnim putevima IA reda. Usvojena je pretpostavka da su vozila mogla biti parkirana jedino u zaustavnoj traci na autoputu usled čega je došlo do SN. Dodatno je izvršena logička provera nezgoda. Sve one za koje postoji sumnja da nisu mogle biti vezane za zaustavnu traku (npr. specifično mesto benzinska stanica, granični prelaz, naplatna stanica, parkiralište, zona radova i sl.) su eliminisani iz dalje analize. Eliminirani su i sudari sa parkiranim vozilima sa leve strane kolovoza, kao i nezgode koje su se dogodile u ulicama uz autoput.
4. Eliminirane su nezgode za koje je u okviru baze navedeno da ne postoji zaustavna traka (analizom utvrđeno da se radi o mestima gde je formirana traka za spora vozila, ulivno/izlivna traka i sl.)
5. Stupanje pešaka na autoput može se povezati sa parkiranjem vozila u zaustavnoj traci zbog čega su u analizu uvrštene i nezgode sa pešacima koje su se dogodile na autoputu (putevi IA reda). Izvršena je logička provera kako bi se eliminisale nezgode za koje postoji sumnja da nisu mogle biti vezane za zaustavnu traku.

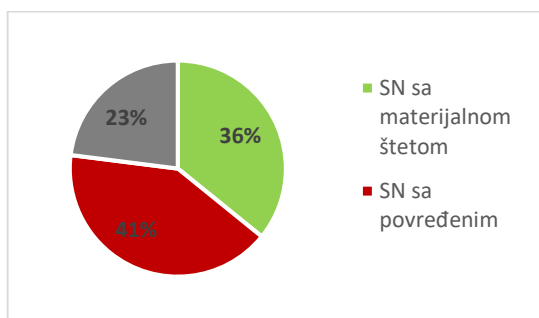
U narednim tabelama i grafikonima predstavljeni su obrađeni podaci na temu SN koje su se dogodile usled upotrebe zaustavne trake na državnim putevima IA reda uzimajući u obzir sva prethodno navedena ograničenja.

Tabela 2. Broj saobraćajnih nezgoda koji se dogodio usled upotrebe zaustavne trake po godinama i po vrsti

Godina	SN sa materijalnom štetom	SN sa povređenim licima	SN sa poginulim	UKUPNO
2016	14	15	7	36
2017	14	18	13	45
2018	14	10	7	31
2019	14	19	11	44
2020	11	15	5	31
UKUPNO	67	77	43	187

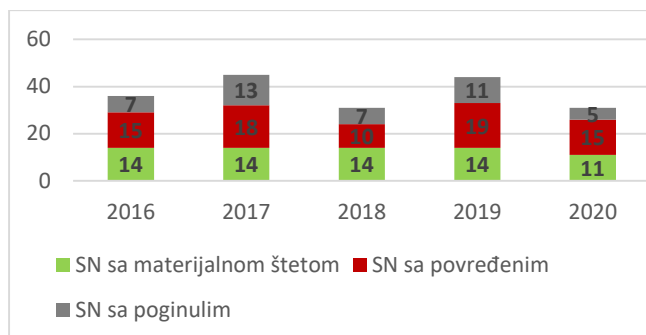
Izvor: (Dostupna baza JP „Putevi Srbije“)

Analizom dostupnih podataka o SN koje su se dogodile na državnim putevima u Republici Srbiji, utvrđeno je da se u posmatranom periodu usled upotrebe zaustavne trake dogodilo ukupno 187 saobraćajnih nezgoda sa materijalnom štetom, povređenim i preminulim licima. SN nastale usled upotrebe zaustavne trake čine 0.3% ukupnog broja saobraćajnih nezgoda koje su se dogodile u analiziranom petogodišnjem periodu.



Slika 2. Učešće vrsta SN u ukupnom broju saobraćajnih nezgoda koje su se dogodile u periodu od 2016. do 2020. godine

SN koje su se dogodile usled upotrebe zaustavne trake u najvećoj meri su za posledicu imale povređena lica, 41%, odnosno 77SN. SN sa materijalnom štetom imaju učešće od 36% u ukupnom brojuSN , dok je broj SN koje su za posledicu imale poginula lica, ukupno 43, što predstavlja 23%.



Slika 3. Učešće vrsta SN u ukupnom broju saobraćajnih nezgoda koje su se dogodile u periodu od 2016. do 2020. godine

Najveći broj SN dogodio se 2017. i 2019. godine, kada je zabeleženo 45, odnosno 54 saobraćajne nezgode respektivno. U istim godinama zabeležen je i najveći broj nezgoda sa poginulim licima, 13 i 11 nezgoda. U 2018. godini zabeležen je trend pada u broju nezgoda, za šta ne postoji očigledno objašnjenje. Pad broja saobraćajnih nezgoda u 2020. godini sa druge strane se može objasniti pandemijom korona virusa i ograničenjima kretanja koja su važila za vreme trajanje pandemije koja su uticala obim saobraćaja na državnim putevima.

Tabela 3. Tipovi saobraćajnih nezgoda

Grupa tipova saobraćajnih nezgoda	SN sa materijalnom štetom	SN sa LTP	SN sa TTP	SN sa poginulim	UKUPNO
SN sa jednim vozilom	3	1	0	0	4
SN sa najmanje dva vozila - bez skretanja	7	4	0	3	14
SN sa najmanje dva vozila - skretanje ili prelazak	1	2	1	1	5
SN sa parkiranim vozilima	55	32	16	16	119
SN sa pešacima	1	7	14	23	45
UKUPNO	67	46	31	43	187

SN sa parkiranim vozilima sa 63.6% predstavljaju dominantni tip nezgode nastale usled upotrebe zaustavne trake. Sledeći najčešći tip saobraćajne nezgode su SN sa pešacima sa učešćem od 24.1%. Imajući u vidu navedena ograničenja visoko učešće ovog tipa SN nije iznenađujuće. Iz navedenog se može zaključiti da se zaustavna traka koristi za parkiranje i zaustavljanje, i to ne samo u situacijama kada je to neophodno.

Tabela 4. Broj nastradalih lica po godinama u zaustavnoj traci

Godina	Br. SN	Br. Poginulih lica	Br. Lica sa TTP	Br. Lica sa LTP	UKUPNO
2016	36	9	17	26	52
2017	45	16	19	50	85
2018	31	9	15	17	41
2019	44	15	22	36	73
2020	31	6	7	31	44
Ukupno	187	55	80	160	295

U analiziranom u SN ukupno 240 lica je zadobilo povrede, a 55 lica je preminulo. Najveći broj preminulih lica zabeležen je u 2017. godini (16 lica) dok je najmanje lica poginulo 2020. godine (6 lica) što se može objasniti i smanjenim brojem SN usled pandemije korona virusom.

Od ukupnog broja vozila koja su učestvovala u SN, 42% čine putnička vozila, a 54% čine teretna i priključna vozila. Kada se posmatraju samo nezgode sa poginulim licima situacija je malo drugačija (48% putnička vozila, 49% teretna i priključna vozila).

Na osnovu dostupnih podataka iz MUP-a Srbije utvrđeno je da su u saobraćajnim nezgodama preminula 24 lica sa državljanstvom Republike Srbije i 2 lica koja su strani državljani, dok za ostala preminula lica ova informacija nije poznata.

Analizom dostupnih podataka dobijenih od MUP-a Srbije utvrđeno je da se u 8 saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima vozilo zaustavilo u zaustavnu traku usled kvara vozila.

Tačan razlog zaustavljanja/kretanja vozila zaustavnom trakom u ostalim nezgodama nije bilo moguće utvrditi na osnovu dostupnih podataka.

Sigurnosni trougao postavljen je u 3 saobraćajne nezgode, dok za ostale SN koje su za učesnika imale zaustavljeno vozilo u zaustavnoj traci taj podatak nije bio dostupan.

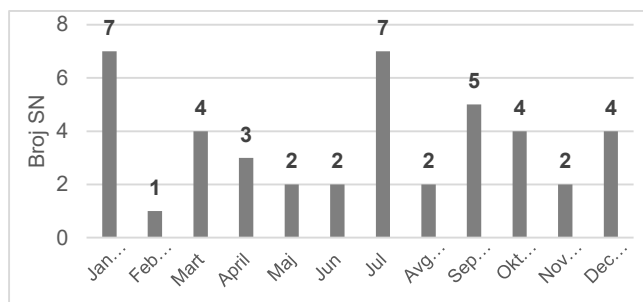
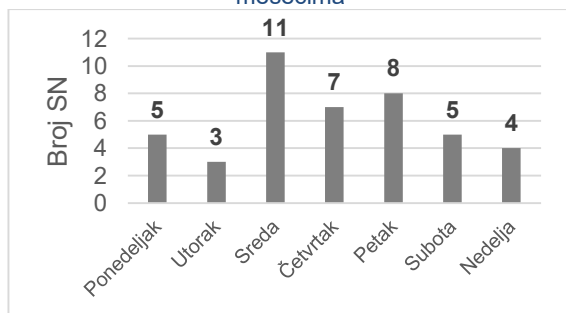
U narednoj tabeli prikazani su uticajni faktori nastanka saobraćajnih nezgoda koje su za posledicu imale preminula lica.

Tabela 5. Uticajni faktori nastanka SN sa poginulim licima

Uticajni faktor SN	Broj SN
Izvođenje opasnih radnji pešaka na kolovozu (igranje dece, istrčavanje ispred vozila i sl.)	1
Klizav kolovoz zbog vremenskih prilika	1
Kretanje površinom koja nije namenjena za kretanje te vrste vozila	1
Nagla (iznenadna) promena smeru kretanja vozila	1
Nebezbedno odstojanje ili rastojanje između vozila	2
Nemarno, bezobzirno, užurbano ili nepromišljeno ponašanje pešaka koje je doprinelo saobraćajnoj nezgodi	10
Neodgovarajuće (preblizu) preticanje/obilaženje pešaka, bicikliste ili jahača	1
Neoprezno stupanje pešaka na kolovoz,	2
Neprikladna brzina uslovima saobraćaja i stanju puta	14
Nervozna, panična i nepredvidiva vožnja	1
Ostali faktori koji se ne mogu pridružiti prethodno navedenim faktorima, a imaju uticaj na nastanak saobraćajne nezgode	1
Pešak pod uticajem alkohola i ponašanje na način koji je doprineo saobraćajnoj nezgodi	1
Pogrešna procena brzine i putanje kretanja vozila od strane pešaka	1
Propust vozača koji se odnosi na nepravilno sagledavanje saobraćajne situacije	2
Stupanje na kolovoz između parkiranih ili zaustavljenih vozila	1
Umor vozača	2
Vozač pod uticajem alkohola	1
UKUPNO	43

Na osnovu prikazanih podataka može se zaključiti da je uticajni faktor „Neprikladna brzina uslovima saobraćaja i stanju puta“ uticao na nastanak najvećeg broja saobraćajnih nezgoda, 14. Nemarno, bezobzirno, užurbano ili nepromišljeno ponašanje pešaka koje je doprinelo saobraćajnoj nezgodi uticajni faktor je u 10 saobraćajnih nezgoda. Uticajni faktor nastanka saobraćajnih nezgoda i nepravilno sagledavanje saobraćajne situacije prepoznati je u 3 saobraćajne nezgode. Iz navedenog može se zaključiti da se kroz edukaciju i kampanje može uticati na ponašanje korisnika i smanjenje ovog tipa saobraćajnih nezgoda.

Vremenska raspodela saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima usled upotrebe zaustavne trake prikazana je na narednim grafikonima.


Slika 4. Raspodela saobraćajnih nezgoda po mesecima

Slika 5. Raspodela saobraćajnih nezgoda po mesecima

Najveći broj saobraćajnih nezgoda dogodio se tokom januara i jula meseca. Može se pretpostaviti da vremenski uslovi u januaru mogu da doprinesu većem broju nezgoda. S obzirom na tranzitni karakter autoputskih pravaca, u toku letnjih meseci dolazi do povećanja PGDS-a što može isto doprineti povećanju broja nezgoda.

Što se tiče raspodele SN u toku dana nedelje, dominantni period predstavljaju dani sreda, četvrtak i petak kada se ukupno dogodilo 26 SN (60.6%). U toku dana vikenda nije zabeležen povišen broj nezgoda što se moglo očekivati uzimajući u vidu tranzitni karakter posmatranih deonica puta, te smanjen obim saobraćajnih tokova posebno teških teretnih vozila tokom vikend perioda.

U toku dana najveći broj SN događa se u jutarnjim i večernjim časovima što može biti posledica umora vozača ili smanjene vidljivosti.

Izvršena je i analiza vremenskih prilika u trenutku nastanka nezgoda. Utvrđeno je da je u 70% nezgoda vreme bilo vedro bez padavina. U 6 nezgoda sa poginulim licima u trenutku nezgoda bila je magla ili izmaglica. Ovakvi podaci ne ukazuju na zakonitost ili trend nastanka SN u zavisnosti od vremenskih prilika.

Analizom raspodele SN sa poginulim licima po putnim pravcima, u analiziranom periodu od pet godina, utvrđeno je da se najveći broj saobraćajnih nezgoda dogodio na putnom pravcu državna granica sa Mađarskom (granični prelaz Horgoš) - Novi Sad - Beograd - Niš - Vranje - državna granica sa Makedonijom (granični prelaz Preševo), odnosno na državnom putu IA reda br. A1, ukupno 33 saobraćajne nezgode. Dok se na državnom putu IA reda br. A3, državna granica sa Hrvatskom (granični prelaz Batrovci) – Beograd, za pet godina dogodilo ukupno 8 SN.

Deonice državnog puta A2 i A4 su puštene u saobraćaj u skorijem periodu, i manje su opterećeni pravci usled čega je i broj nezgoda na ovim pravcima manji.

Tabela 6. Broj saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima na državnim putevima po godinama

Локација	2016	2017	2018	2019	2020	Укупно
Државни пут IA реда бр. 1 (A1)	6	10	5	10	2	33
Државни пут IA реда бр. 2 (A2)					1	1
Државни пут IA реда бр. 3 (A3)	1	3	2		2	8
Државни пут IA реда бр. 4 (A4)				1		1

Najveći broj SN sa poginulim licima u zaustavnoj traci dogodio se 2017. i 2019. godine na državnom putu IA broj A1, po 10 SN. Na narednom grafikonu prikazana je raspodela SN po deonicama državnog puta IA reda.

Analizom prostorne raspodele SN koje su za posledicu imale poginula lica uočeno je da se u periodu od 2016. do 2020. godine najveći broj SN dogodio na deonici broj 1095/1096 (petlja Aleksinac - petlja Trupale) i deonici broj 1089/1090 (petlja Pojate - petlja Ražanj). Navedene deonice pripadaju državnom putu IA reda, broj A1 i čine deo putnog pravca: državna granica sa Mađarskom (granični prelaz Horgoš) - Novi Sad - Beograd - Niš - Vranje - državna granica sa Makedonijom (granični prelaz Preševo). U periodu od 5 godina na deonici 1095/1096 dogodilo se ukupno 5 SN koje su za posledicu imale preminula lica, 4 SN dogodile su se na deonici 1089/1090 državnog puta IA reda broj A1. Na narednoj slici prikazana je prostorna raspodela SN sa poginulim licima nastalih usled upotrebe zaustavne trake.

Ranije je navedeno da su najčešći tipovi saobraćajnih nezgoda SN sa parkiranim vozilom i SN sa pešacima. U cilju sagledavanja potencijalnih razloga za zaustavljanje vozila u zastavnu traku i/ili stupanja pešaka na kolovoz kroz prostornu analizu izvršena je provera dostupnosti lokacija za bezbedno zaustavljanje duž deonice autoputa. Identifikovana su sva uređena parkirališta i stanice za snabdevanje gorivom na deonicama državnog puta i upoređene sa lokacijama gde su se dogodile SN sa poginulim licima. Analiza je dovela do zaključaka da su vozačima bila na raspolaganju mesta za bezbedno zaustavljanje.

2.6. Podaci o saobraćajnom opterećenju

U narednom poglavlju izvršena je analiza protoka saobraćaja na državnim putevima na kojim je u posmatranom periodu uočen značajan broj SN na gore navedene teme.

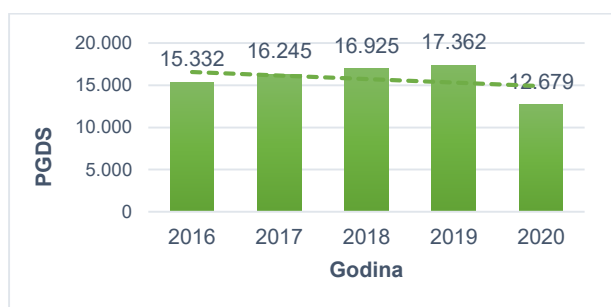
Podaci o saobraćajnom opterećenju preuzeti su sa internet preznetačije JP „Putevi Srbije“ koje u okviru svojih redovnih aktivnosti vrše prikupljanje i obradu podataka o saobraćajnom opterećenju na državnim putevima u Srbiji. Podaci su prikazani na nivou Prosečnog Godišnjeg Dnevnog Saobraćaja (PGDS) za svaki putni pravac za svaku kategoriju vozila ponaosob i ukupno.

Imajući u vidu da se protoci saobraćaja duž državnih puteva razlikuju od deonice do deonice, za potrebe Kampanje, protok saobraćaja za analizirane puteve sveden je na prosečni dnevni saobraćaj po kilometru analiziranog puta. Na ovaj način uprosečena je vrednost PGDS-a na nivou celog putnog pravca kako bi se lakše sagledali odnosi protoka između putnih pravaca i učešća pojedinih kategorija vozila u toku. Rezultati brojanja za specifične deonice korišćenih za analizu su dostupni na sajtu upravljača puta i podaci nisu prikazivani u okviru izveštaja.

Analizom dostupnih podataka o saobraćajnim nezgodama koje su se dogodile usled upotrebe zaustavne trake uočeno je da se u periodu od 2016. do 2020. godine najveći broj nezgoda dogodio na državnom putu IA reda broj A1 i A3.

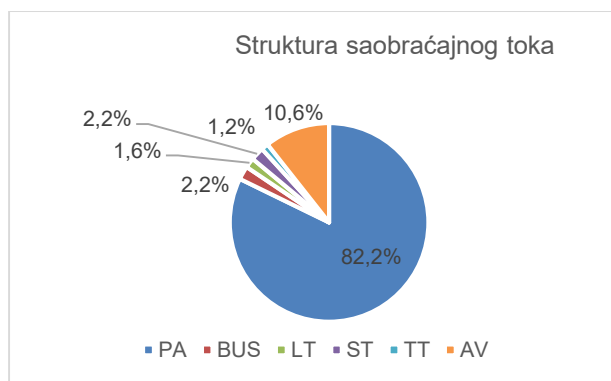
Državni put IA reda broj A1 deo je evropskog puta E75, koji spaja krajnji sever (Norvešku) i jug (Grčku, tačnije ostrvo Krit) Evrope. To je najduži evropski međunarodni put koji prolazi kroz Srbiju, a ukupna dužina ovog auto-puta iznosi 5.639 km.

Na tom putu, od Subotice do Batajnice i od Beograda do Preševa već postoji autoput, sa fizički odvojenim kolovoznim trakama. Ukupna dužina autoputa kroz Srbiju iznosi 575.6 km nakon izgradnje deonice puta od Grdelice do Vladičinog Hana i od Bujanovca do Levosolja koje su puštene u rad 2019. godine.



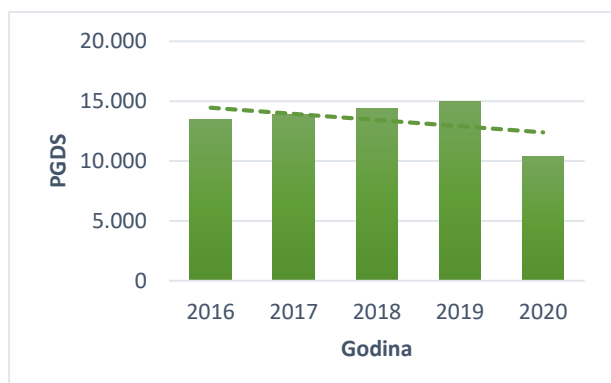
Slika 6. Trend promene PGDS-a u proteklih pet godina na posmatranom državnom putu IA reda broj A1 – prosečna vrednost PGDS-a na putnom pravcu

Primetno je da je saobraćajno opterećenje na državnom putu IA reda broj A1 od 2016. do 2019. godine postepeno raslo. U posmatranom periodu najveći broj vozila na analiziranoj deonici registrovan je 2019. godine kada je registrovan PGDS od 17.362 vozila. Nakon 2019. godine zabeležen je pad PGDS. Smanjenje obima saobraćaja u 2020. godini može se tumačiti kao posledica pandemije virusa „Covid 19“ i ograničenog kretanja prouzrokovanog merama protiv pandemije.



Slika 7. Struktura saobraćajnog toka državnog puta IA reda broj A1 – prosečna vrednost PGDS-a na putnom pravcu

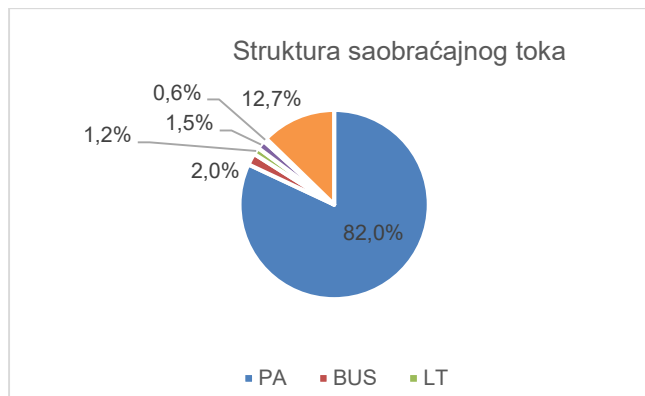
Kada se posmatra struktura saobraćajnog toka, putnički automobili imaju najveće učešće u ukupnom saobraćajnom toku od 82,2%. Primetno je učešće auto vozova od 10,6%, dok preostale kategorije teretnih vozila u sumi imaju 5,0 % učešće. Autobusi u saobraćajnom toku učestvuju sa 2,2%. Veliko učešće autovozova objašnjava se činjenicom da je predmetni put glavna veza Evrope sa Turskom



Slika 8. Trend promene PGDS-a u proteklih pet godina na posmatranom državnom putu IA reda broj A3 – prosečna vrednost PGDS-a na putnom pravcu

Državni put IA reda A3 se u svom najvećem delu pruža na području Vojvodine (kroz Srem), a manjim delom na području Grada Beograda. Državni put prvog A reda A3 je deo međunarodnog auto-puta Beograd-Zagreb. Postojeći put A3 je celom dužinom, 95,4 km, autoput sa dve saobraćajne i jednom zaustavnom trakom u svakom smeru.

Podaci prikazani u tabeli svedeni su na prosečnu dnevnu vrednost. Primetno je da saobraćajno opterećenje na državnom putu ima trend rasta sve do 2019. godine nakon čega beleži pad za oko 30% u odnosu na prethodnu godinu. Pad PGDS-a tumači se kao posledica pandemije virusa „Covid 19“ i ograničenog kretanja prouzrokovanog merama protiv pandemije.



Struktura saobraćajnog toka na državnom putu IA reda, broj A3 slična je kao i na državnom putu IA reda, broj A1. Najveće učešće u ukupnom saobraćajnom toku imaju putnička vozila od 82%. Primetno je učešće auto vozova od 12,7%, dok preostale kategorije teretnih vozila u sumi imaju 3,3 % učešće. Autobusi u saobraćajnom toku učestvuju sa 2,0%.

Slika 9. Struktura saobraćajnog toka državnog puta IA reda broj A1 –prosečna vrednost PGDS-a na putnom pravcu

Saobraćajno opterećenje na državnim putevima IA reda ukazuje na visoko učešće komercijalnih vozila koja svojim gabaritom mogu delimično da pređu u zaustavnu traku.

Poznavanje strukture saobraćajnog toka u pogledu tranzitnih kretanja za očekivati je da se na državnom putu IA reda nađe veliki broj stranih državljana koji tranzitiraju Srbijom i koji usled umora i/ili nedostatka koncentracije mogu da naprave propuste u vožnji ili požele da se zaustave u zaustavnoj traci.

3. ZAKLJUČAK

S obzirom na to da se veliki broj učesnika u saobraćaju u Srbiji ne ponaša bezbedno, tj. u skladu sa zakonskim propisima, kao i da kažnjavanje tako širokog kruga učesnika gubi svrhu, dobro osmišljene medijske kampanje mogu dati značajan doprinos promeni njihovog ponašanja i ukupnog smanjenja broja i posledica SN.

S tim u vezi, JP „Putevi Srbije“ pokrenulo je projekat „Kampanja za podizanje nivoa bezbednosti saobraćaja“ koji će imati edukativni karakter kako za vozače tako i za sve učesnike u saobraćaju. Tema obuhvaćena ovim radom tiče se buđenja svesti učesnika u saobraćaju o značaju i upotrebi zaustavne trake.

Kada se radi o teritoriji Republike Srbije na osnovu istraživanja dostupnih domaćih kampanja utvrđeno je sledeće:

- Na teritoriji Republike Srbije godinama unazad sprovode se akcije i kampanje koje za cilj imaju podizanje svesti o bezbednosti saobraćaja.
- Kampanje u Republici Srbiji se najčešće korisnicima u saobraćaju prezentuju putem video kampanja, kratkih edukativnih snimaka, promotivnog materijala, bilborda, putem društvenih mreža, i u drugim formama obaveštenja kroz koje se učesnicima u saobraćaju skreće pažnja na odgovorno i bezbedno ponašanje u saobraćaju.
- Kampanje zasnovane na ličnim pričama učesnika u SN imaju veliki doprinos u buđenju svesti učesnika u saobraćaju.
- Na teritoriji Republike Srbije se sprovode ili su se sprovodile kampanje čije su osnovne teme: brzina, vožnja u pijanom stanju, upotreba pojasa, deca i pešaci kao učesnici u saobraćaju, dečija sedišta, upotreba telefona, motociklisti, umor, putno-pružni prelazi i itd.
- S obzirom na predmet kampanje koja se odnosi na temu nepropisnog i nebezbednog korišćenja zaustavne trake, navedena tema za sada nije bila obrađena kroz kampanje na teritoriji Republike Srbije.
- Kampanje za podizanje svesti o bezbednosti saobraćaja na autoputevima u regionu nisu definisane kao klasične kampanje već su predstavljene kroz kratke edukativne video materijale koji su prikazani na sajtovima preduzeća koja se bave upravljanjem puteva. Najviše uspeha u ovim kampanjama je imala Slovenija, a kasnije njen primer su pratile Hrvatska i BiH.
- Primeri informisanja i edukacije učesnika o bezbednom ponašanju u saobraćaju koji podrazumeva izradu video materijala informativnog karaktera i prezentaciju putem interneta (veb sajta, društvenih mreža) po uzoru na Sloveniju, Hrvatsku i BiH, mogao bi dati pozitivan efekat u pogledu informisanosti i promeni stavova učesnika u saobraćaju i u Srbiji. Tematika obrađena u okviru video materijala iako svima poznata često biva zaboravljena od strane učesnika u saobraćaju zbog čega ovaj vid kampanje bezbednosti saobraćaja ima pozitivne efekte. Dobro osmišljene kampanje sprovedene na ovaj način, bez angažovanja medijskih kompanija, javnih ličnosti, mogle bi da predstavljaju i manje opterećenje za upravljača državnih puteva jer bi promocija edukativnih video materijala mogla da se vrši putem interneta, društvenih mreža uz moguće sponzorisane.

- Sistemski pristup sprovođenju kampanja koji je uočen na primerima iz Evrope može biti dobar polazni osnov za buduće kampanje u Srbiji kako bi se već u fazi planiranja kampanje mogli predvideti svi postupci koji bi omogućili da jedna kampanja bude uspešna.
- Primer oštre kaznene politike u SAD koji očigledno daje dobre rezultate kada je u pitanju korišćenje zaustavne trake može biti jedan od načina delovanja kako bi se smanjio broj SN nastalih u zaustavnoj traci.

Analiza bezbednosti saobraćaja i istraživanje vrste i obima problema vršena je kako bi poslužila kao polazni podatak za sprovođenje kampanja o buđenju svesti o pravilnoj upotrebi zaustavne trake. Analiza je izvršena na osnovu raspoloživih podataka dobijenih od JP „Putevi Srbije“ kao i dodatnih podataka dostavljenih od strane MUP-a Srbije. Osnovno ograničenje u pogledu analize bezbednosti saobraćaja odnosi se na kvalitet evidencije SN. Evidencija nezgoda nije usaglašena tako da se nedvosmisleno može utvrditi da je do nezgode došlo usled nepropisnog korišćenja zaustavne trake. U tom kontekstu potrebno je preduzeti mere da se prilikom evidencije SN jasno definiše zaustavna traka kao specifično mesto ili na drugi način ukazati da je do nezgode došlo usled nepropisnog korišćenja zaustavne trake.

Analiza SN koje su nastale usled korišćenja zaustavne trake, u kombinaciji sa analizom veličine i strukture saobraćajnog toka dala je sledeće zaključke:

- Ne postoji jasan trend promene broja SN po godinama budući da postoji primetan pad u 2018. godini u odnosu na 2017. i 2019. godinu.
- Relativno teške posledice SN sa 64% svih nezgoda u kojima su učesnici zadobili povrede ili poginuli.
- Veliko učešće teretnih vozila i priključnih vozila u SN (oko 50%). Saobraćajno opterećenje na državnim putevima IA reda (PGDS) ukazuje na visoko učešće komercijalnih vozila koja svojim gabaritom mogu delimično da pređu u zaustavnu traku.
- Najčešći tip saobraćajnih nezgoda (SN sa parkiranim vozilima) ukazuje na to da se zaustavna traka koristi za parkiranje i zaustavljanje i to ne samo u situacijama kada je to neophodno. Malo je učešće nezgoda iz kojih se može zaključiti da su se vozila kretala zaustavnom trakom.
- Neprikladna brzina i ponašanje pešaka su najčešći uticajni faktori u SN sa poginulim licima. Imajući ovo u vidu može se zaključiti da se kroz edukaciju korisnika i kampanje može uticati na ponašanje korisnika i smanjiti broj SN koje su nastale usled korišćenja zaustavne trake.
- U toku dana najveći broj SN događa se u jutarnjim i večernjim časovima što može biti posledica umora vozača ili smanjene vidljivosti.
- Deonice državnog puta A2 i A4 su puštene u saobraćaj u skorijem periodu, i manje su opterećeni pravci usled čega je i broj nezgoda na ovim pravcima manji u poređenju sa deonicama na putu A1 i A3.
- Poznavanjem strukture saobraćajnog toka u pogledu tranzitnih kretanja za očekivati je da se na državnom putu IA reda nađe veliki broj stranih državljana koji tranzitiraju Srbijom i koji usled umora i/ili nedostatka koncentracije mogu da naprave propuste u vožnji ili požele da se zaustave u zaustavnoj traci. Podaci o SN pokazuju ipak da su najveći broj nastradalih lica državljani Srbije.
- Procenjena udaljenost mesta nezgode od prethodnog/narednog odmarališta (gde je vozilo moglo da se bezbedno zaustavi) u najvećem broju slučajeva ne prelazi 10 kilometara, što je približno 5 minuta voženje.

S obzirom na rezultate sprovedene analize predlažu se sledeće akcije koje se mogu preduzeti u budućnosti kako bi se smanjio rizik od nastanka nezgoda usled tema koje su predmet ove analize:

• Evidencija

- Bolja i detaljnija evidencija SN koje su se dogodile u zaustavnoj traci.
- Potrebno je bolje koristiti postojeće sisteme za evidenciju vožnje zaustavnom trakom. Na ovaj način dobila bi se bolja statistika o ponašanju korisnika i mogli bi da se prate efekti preduzetih mera kampanja. Postojeći sistemi koji bi mogli da se koriste između ostalog podrazumevaju kamere na deonicama autoputeva kao i automatske brojače saobraćaja koji bi se dodavanjem induktivnih petlji u zaustavnu traku mogli koristiti za evidenciju kretanja zaustavnom trakom.

• Kontrola

- Postavljanjem dodatnih kamera duž deonica autoputa mogla bi se vršiti detekcija kretanja zaustavnom trakom kao i parkiranje i zaustavljanje u njoj.
- Sprovesti ciljane kontrole koristeći prenosive (mobilne) sisteme za praćenje parametara saobraćajnog toka (kamere ili detektori za brojanje saobraćaja). Ovaj tip kontrole može zavisno od raspoložive opreme može biti vezan za sankcionisanje korisnika ili vođenje evidencije za potrebe statistike.

- Ciljane kontrole od strane preduzeća zaduženog za održavanje deonice puta kojim bi se pratilo stanje saobraćajne signalizacije i evidentirali prekršaji vezani za nepravilno korišćenje zaustavne trake.
- Dodatno angažovanje pripadnika MUP-a Srbije na kontroli i sankcionisanju prekršaja.

- **Kampanje**

- Ciljane kampanje kojima se promoviše korišćenje postojećih odmarališta duž deonice autoputa.
- Kampanje kojima se informišu vozači o važnosti pravljenja redovnih pauza tokom vožnje.
- Kampanje podizanja svesti o nameni i pravilnom korišćenju zaustavne trake.
- Ciljane kampanje za vozače teretnih vozila na temu zadržavanja vozila u voznoj traci i opasnosti prelaska vozila u zaustavnu traku. Podizanje svesti o opasnosti da se u zaustavnoj traci može naći vozilo.

- **Implementacije**

- Dodatni znakovi koji bi informisali korisnike na autoputu o udaljenosti do narednog mesta gde je bezbedno zaustaviti se (odmaralište, stanica za snabdevanje gorivom).
- Unaprediti atraktivnost postojećih odmarališta kako bi se vozači stimulisali da ih koriste.

Literatura

- [1] Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima, Službeni glasnik RS, br. 41/2009, 53/2010, 101/2011, 32/2013 - odluka US, 55/2014, 96/2015 - dr. zakon, 9/2016 - odluka US, 24/2018, 41/2018, 41/2018 - dr. zakon, 87/2018, 23/2019 i 128/2020 - dr. zakon.
- [2] Forward S, Kzemi, A. 2009. *A teoretical approach to assess road safety campaigns, Evidence from several European countries*, Belgian Road Safety Institute (BIVV - IBSR),.
- [3] JPPS 2022. Kampanje za podizanje nivoa bezbednosti saobraćaja - Analiza i evaluacija kampanja. JP „Putevi Srbije“, Beograd.
- [4] JPPS 2021. Izveštaj o sprovedenoj kampanji „3 Sekunde-Ceo život“, JP „Putevi Srbije“, Beograd.
- [5] <https://www.putevi-srbije.rs>

UTICAJ OŠTEĆENE I POKRADENE SAOBRAĆAJNE SIGNALIZACIJE I OPREME NA BEZBEDNOST U SAOBRAĆAJU

Ibrović Ljerka¹,

JP"Putevi Srbije", Bul. kralja Aleksandra br.282 ,11000 Beograd, ljerka.ibrovic@putevi-srbije.rs,

Subotić Ivana,

JP"Putevi Srbije", Bul. kralja Aleksandra br.282, 11000 Beograd, ivana.subotic@putevi-srbije.rs,

Jugović Nevena,

JP"Putevi Srbije", Bul. kralja Aleksandra br.282, 11000 Beograd, kabinet@putevi-srbije.rs,

Trajković Filip,

Novius"d.o.o., ul.Brsjačka br.18, 11050 Beograd, ftrajkovic@novius.rs,

Rezime: Evropske države su veoma rano prepoznale mogućnost da se kroz dobro osmišljene i plasirane kampanje može uticati na učesnike u saobraćaju da promene svoje stavove, percepcije, znanja i ponašanja u saobraćaju kako bi se smanjio broj saobraćajnih nezgoda i njihovih posledica. Problemi oštećene i pokradene saobraćajne signalizacije i opreme na mreži državnih puteva je prisutan već decenijama u Republici Srbiji. Vandalskim ponašanjem trećih lica i sticanjem vrednosti od prodaje sekundarnih sirovina materijala dolazi do uništavanja i krađe saobraćajne signalizacije i opreme puta, što automatski utiče na nemogućnost pravovremenog reagovanja i donošenja odluka učesnika u saobraćaju. Kroz dobro pripremljenu i organizovanu Kampanju, koja sadrži adekvatnu komunikacionu strategiju zasnovanu na kontinualnom i temeljnom informisanju i edukaciji ciljne grupe koja oštećuje i otuđuje saobraćajnu signalizaciju i opremu, potrebno je uticati na buđenje svesti o bezbednosti saobraćaja na putevima, kao i o mogućim posledicama saobraćajnih nezgoda, koje podrazumevaju i smrtni ishod.

Ključne reči: saobraćajni znakovi, krađa, oštećenje i uništavanje signalizacije, saobraćajne nezgode, kampanje u bezbednosti saobraćaja.

IMPACT OF DAMAGED AND STOLEN TRAFFIC SIGNALIZATIONS AND EQUIPMENT ON TRAFFIC SAFETY

Ibrovic Ljerka

PE"Roads of Serbia", Bul. kralja Aleksandra 282 ,11000 Belgrade, ljerka.ibrovic@putevi-srbije.rs

Subotic Ivana,

PE"Roads of Serbia", Bul. kralja Aleksandra 282 ,11000 Belgrade, ivana.subotic@putevi-srbije.rs,

Jugovic Nevena,

PE"Roads of Serbia", Bul. kralja Aleksandra 282 ,11000 Belgrade, kabinet@putevi-srbije.rs,

Filip Trajkovic,

„Novius”Ltd.,Brsjacka street No 18, 11050 Belgrade, ftrajkovic@novius.rs,

Abstract: European countries recognized very early on the possibility that through well-designed and placed campaigns they can influence traffic participants to change their attitudes, perceptions, knowledge and behavior in traffic in order to reduce the number of traffic accidents and their consequences. Problems of damaged and stolen traffic signals and equipment on the state road network have been present in the Republic of Serbia for decades. Vandalism of third parties and gaining value from the sale of secondary raw materials leads to the destruction and theft of traffic signals and road equipment, which automatically affects the inability to react in a timely manner and make decisions of traffic participants. Through a well-prepared and organized campaign, which contains an adequate communication strategy based on continuous and thorough information and education of the target group that damages and alienates traffic signals and equipment, it is necessary to raise awareness of road safety and possible consequences of traffic accidents. which imply a fatal outcome.

Keywords: traffic signs, stealing, damage and destruction of signalization, traffic accidents, traffic safety campaigns

¹ Autor zadužen za korespondenciju: Ljerka Ibrović, ljerka.ibrovic@putevi-srbije.rs

1. UVOD

Bezbednost saobraćaja je umnogome rezultat sistematski osmišljenih i dobro realizovanih kampanja, prvenstveno od strane vlada, društvenih struktura i pojedinaca kojima se podiže nivo svesti svih učesnika u saobraćaju o opasnostima koje prete u saobraćaju na putevima. S obzirom da se veliki broj učesnika u saobraćaju u Srbiji ne ponaša bezbedno, tj. u skladu sa zakonskim propisima, kao i da kažnjavanje tako širokog kruga učesnika gubi svrhu, dobro osmišljene medijske kampanje mogu dati značajan doprinos promeni njihovog ponašanja i ukupnog smanjenja broja i posledica saobraćajnih nezgoda.

Upravljač državnih puteva JP „Putevi Srbije“ kao jedan od najaktivnijih učesnika u unapređenju bezbednosti saobraćaja prepoznao je značaj i efekte sprovođenja kampanja koje imaju pozitivan uticaj na sve učesnike u saobraćaju. U okviru kampanja koje će imati edukativni karakter kako za vozače tako i za sve učesnike u saobraćaju, obrađena je i tema „Uticaja oštećene i pokradene saobraćajne signalizacije i opreme na bezbednost u saobraćaju“.

Imajući u vidu veliku zastupljenost saobraćajnih nezgoda čiji je uzrok nedostajuća ili pokradena saobraćajna signalizacija i oprema na državnim putevima, ciljna grupa nisu samo vozači već i deo populacije koji neposredno može učestvovati u uništavanju i krađi saobraćajne signalizacije i opreme.

1.2. CILJ

Pored opšteg cilja za smanjenje broja saobraćajnih nezgoda na mreži državnih puteva I reda i II reda, osnovni cilj kampanje je delovanje na i to na nemogućnost pravovremenog reagovanja i donošenja odluka učesnika u saobraćaju zbog nedostatka ili ispravnosti saobraćajne signalizacije i opreme pre svega kao posledica vandalskog ponašanja trećih lica.

Pored osnovnih ciljeva kampanja izdvajaju se i sledeći zadaci:

- Podizanje svesti o problemima stradanja u saobraćaju (skretanje pažnje javnosti na značaj i mogućnosti unapređenja nivoa bezbednosti saobraćaja),
- Identifikovanje pojedinca sa problemima stradanja u saobraćaju,
- Podizanje svesti o mogućnosti uticaja na smanjenje nivoa stradanja u saobraćaju – edukacija stanovništva,
- Promena neželjenog u željeno ponašanje i
- Potvrda aktivne uloge JP „Putevi Srbije“ u oblasti bezbednosti saobraćaja.

Ciljevi i zadaci kampanja usmereni su na buđenje svesti o bezbednosti saobraćaja na putevima, posledicama nezgoda i nastanku povreda u saobraćaju. Zbog toga je neophodno implementirati adekvatnu komunikacionu strategiju koja će se zasnivati na kontinualnom i temeljnom informisanju i edukaciji o ovom problemu kako bi se broj nezgoda smanjio, ali i predupredio.

Ciljna grupa na koju se želi delovati su vozači svih starosnih i socio-ekonomskih grupa i grupe ljudi koji uništavaju ili oštećuju saobraćajnu signalizaciju (pretežno mladi ljudi).

U okviru realizacije predmetnog rada izvršena je analiza sledećih tema:

- Pregled zakonske regulative u vezi sa temom nesotajuće i otuđene saobraćajne signalizacije
- Istraživanja dostupnih sadržaja vezanih za oštećenje i krađu saobraćajne signalizacije i opreme,
- Analiza bezbednosti saobraćaja i istraživanje vrste i obima problema kao polaznih podataka za sprovođenje Kampanje;
- Pregled zaključaka.

2. PREGLED ZAKONSKE REGULATIVE U VEZI SA TEMOM KAMPANJE

U okviru analize bezbednosti saobraćaja izvršena je analiza zakonske regulative koja se odnosi na oštećenje i krađu saobraćajne signalizacije. Pregledom zakonske regulative utvrđeno je da su odredbe sledećih zakona od najvećeg značaja za teme kampanje:

- Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima ("Sl. glasnik RS", br. 87/2018, 23/2019 i 128/2020 - dr. zakon)
- Zakon o putevima ("Sl. glasnik RS", br. 41/2018 i 95/2018 - dr. zakon)

- Krivični zakonik ("Sl. glasnik RS", br. 35/2019)

Zakonom o bezbednosti saobraćaja u pogledu saobraćajne signalizacije zakonom je data definicija i namena saobraćajne signalizacije. Članom 133 definisano je da se saobraćajna signalizacija postavlja i održava tako da učesnici u saobraćaju mogu na vreme i lako da ih uoče danju i noću i da blagovremeno postupe u skladu sa njihovim značenjem. Istovremeno članom 134 zabranjuje se neovlašćeno postavljanje, uklanjanje, oštećivanje i izmena značenja saobraćajne signalizacije kao i opreme puta.

Zakonom o putevima između ostalog definisane su nadležnosti upravljača puta, ovlašćenog inspektora i radovi koji spadaju u redovno održavanje javnog puta. Definisano je da nadležni inspektor može da naloži uklanjanje saobraćajne signalizacije i opreme a da se u okviru redovnog održavanja može vršiti popravka, zamena, dopuna i obnavljanje saobraćajne signalizacije i opreme.

Krivični zakonik u članu 204 definisao je da će se učinilac dela krađe, bez obzira na vrednost ukradene stvari, ako ukradena stvar predstavlja uređaje sistema javnog saobraćaja i veza, odnosno delove tih uređaja kazniti zatvorom od jedne do osam godina. Dodatne odredbe navedene su u delu krivičnog zakonika koji se odnosi na krivična dela protiv bezbednosti javnog saobraćaja. Članom 290 definisano je da će se kaznom zatvora do tri godine kazniti onaj ko uništenjem, uklanjanjem ili težim oštećenjem saobraćajnih uređaja dovede u opasnost život ili telo ljudi ili imovinu većeg obima.

Oblast saobraćajne signalizacije je u potpunosti definisana, definisani su uslovi pod kojima se ona može ukloniti kao i kaznena politika u slučaju neovlašćenog uklanjanja ili oštećenja signalizacije. Iz navedenog se može zaključiti da postoji zakonska osnova za kontrolu i sankcionisanje nepoštovanja ovih odredbi.

3. ISTRAŽIVANJA DOSTUPNIH SADRŽAJA VEZANIH ZA OŠTEĆENJE I KRAĐU SAOBRAĆAJNE SIGNALIZACIJE I OPREME

Tema krađe saobraćajne signalizacije i opreme iako česta pojava na našim, a i na putevima u svetu nije ispraćena kampanjama koje bi podigle svest ljudi o posledicama koje na izgled bezazlena zanimacija može da prouzrokuje.

Krađa saobraćajnih znakova i opreme često predstavlja deo zabave mlađe populacije koja krađu saobraćajne znakove kako bi im služili kao ukrasi, neki krađu znakove kako bi ih prodali u staro gvožđe, zbog duhovitih natpisa ili čak da bi izbegli poštovanje zakona.

Prema nezvaničnim informacijama na teritoriji grada Šapca u periodu od 2009. do 2013. godine je ukradeno oko 1.000 saobraćajnih znakova.

Ponekad krađa predstavlja šalu, deo zabave, međutim krađa saobraćajnog znaka često može da bude skupa i fatalna u slučaju saobraćajne nezgode. U Sjedinjenim Američkim državama zamena jednog saobraćajnog znaka košta između 100 do 500 dolara. Troškovi zamene saobraćajnog znaka zavise od države do države a i od tipa saobraćajnog znaka. Na primer troškovi zamene saobraćajnog znaka „Welcome to Kerry“, u Irskoj, iznose između 500 i 2000 evra, dok kod nas se zamena kreće od 100 do 300 evra za standardne znakove i do nekoliko hiljada evra kada su u pitanju putokazne table.

Kada saobraćajni znakovi nedostaju ili su oštećeni, vozači ne dobijaju potrebnu informaciju o opasnosti na koju nailaze zbog čega često donose pogrešne odluke koje utiču na njihovu bezbednost, a i bezbednost drugih učesnika u saobraćaju. Oštećenja saobraćajnih znakova namenjenih regulisanu prvenstvu prolaza na raskrsnicama povećava verovatnoću ozbiljnog ili fatalnog sudara. Dakle, aktivnost koju vandali smatraju samo bezazlenom šalom ili „lovom na trofeje“ mogla bi nekoga drugog koštati života.

Neke od najčešćih vrsta vandalizma su prefarbavanje i ispisivanje znakova, stavljanje nalepnica ili postera preko znaka, lomljenje i oštećenje. Iako se može smatrati bezopasnim, oštećeni znakovi ili nedovoljno čitljivi mogu zbuniti vozače ili uzrokovati odloženu reakciju koja može dovesti do smrti ili povreda. Promene na znakovima (dopisivanje, doctrtavanje ili prefarbavanje) takođe mogu biti ozbiljan problem kao što je čest slučaj sa znakovima ograničenja brzine. Takve izmene su posebno opasne za vozače koji nisu upoznati sa područjem i pružanjem puta kojim prolaze.

U većini država u okviru zakonodavstva, krađa saobraćajnih znakova se tretira kao svaka druga krađa u pogledu krivičnog gonjenja i izricanja kazne. Ako, pak, krađa dovede do povrede, onda lopovi mogu biti krivično odgovorni i za povredu, pod uslovom da je povreda te vrste bila predvidiva posledica takve krađe. Kazne za krađu saobraćajnih znakova i druge infrastrukture u Republici Srbiji najčešće su uslovne ili novčane.

U daljem tekstu ispod su primeri zabeleženih krađa i uništavanja saobraćajne signalizacije u Evropi i svetu.



Slika1. Primer uništavanja saobraćajnih znakova

Izvor: <https://intrans.iastate.edu/news/taking-the-laugh-out-of-sign-vandalism/>

Primer rešavanja problema krađe saobraćajnih znakova i opreme u SAD gde se ovaj problem u najvećoj meri rešava kroz represivno sankcionisanje i ozbiljne zatvorske kazne dokazuje da je adekvatnom primenom zakona moguće uticati na smanjenje obima problema. Na teritoriji Republike Srbije, aktivnije sprovođenje kaznenih mera definisanih Zakonom podigla bi svest stanovništva i smanjila broj ukradene saobraćajne signalizacije i opreme.

Kao jedan od predloga kako bi se dodatno moglo uticati na smanjenje krađe saobraćajnih znakova jeste da se na obaveznoj nalepnici na poleđini znaka (koja mora da se nalazi na svakom znaku), dodaju posledice krađe i otkupa ukradenih znakova i opreme kao svojevrsni podsetnik onome koji bi hteo da otuđi ili ošteti saobraćajni znak.

Kao jedna do mogućih akcija sprečavanja krađe saobraćajnih znakova i opreme, mogao bi da bude i javni poziv Upravljača puta i Uprave saobraćajne policije koji bi bio upućen otkupljivačima sekundarnih sirovina da ne otkupljuju saobraćajnu signalizaciju i opremu jer oni predstavljaju nacionalni resurs. Takođe, ukoliko i dođe do ponude otkupa ovakvih sirovina da odmah obaveste policiju.

Saradnju sa otkupljivačima sekundarnih sirovina moguće je ostvariti kroz svetovanja, akcije i javne apele koje bi pozvale sve otkupljivače na saradnju sa upravljačem puta i saobraćajnom policijom kada do njih dođu ukradeni saobraćajni znakovi i oprema.

4. ANALIZA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA I ISTRAŽIVANJE VRSTE I OBIMA PROBLEMA KAO POLAZNIH PODATAKA ZA SPROVOĐENJE KAMPANJE

U skladu sa definisanim pristupom realizacije analize bezbednosti saobraćaja i istraživanja vrste i obima problema izvršeno je prikupljanje raspoloživih podataka sa kojima raspolažu JP „Putevi Srbije“ i ostalih relevantnih izvora za potrebe analize stanja bezbednosti saobraćaja koji su u vezi sa oštećenjem i krađom saobraćajne signalizacije.

Svi prikupljeni podaci iskorišćeni su za sprovođenje analiza bezbednosti saobraćaja i istraživanja vrste i obima problema kao polaznog podatka za sprovođenje kampanje. U okviru predmetnog zadatka izvršene su sledeće analize:

- Analiza podataka o saobraćajnim nezgodama čiji je mogući uzrok nastanka učestale krađe i oštećenja saobraćajne signalizacije i opreme, itd.
- Analiza podataka o protoku saobraćaja vršena je na državnim putevima ili deonicama državnih puteva gde je primećeno nagomilavanje saobraćajnih nezgoda vezano za predmetnu temu, kao i
- Analize ostalih podataka koji su od značaja za nastanak saobraćajnih nezgoda koje su u vezi sa navedenom temom.

Karakteristike saobraćaja (PGDS i struktura) analizirane su za pravce/deonice državnih puteva na kojima je uočeno nakupljanje saobraćajnih nezgoda sa navedenim uzrocima.

4.1 PODACI O SAOBRAĆAJNIM NEZGODAMA

Za potrebe kampanje za podizanje nivoa bezbednosti saobraćaja izvršena je analiza podataka o saobraćajnim nezgodama (u daljem tekstu SN), nastalih kao posledica ukradene ili oštećene saobraćajne signalizacije i opreme i saobraćajnog protoka na deonicama na kojim je uočeno nakupljanje nezgoda sa navedenim uzrokom izvršena je na osnovu podataka raspoloživih podataka JP „Puteva Srbije“ ali i podataka dobijenih od MUP-a.

Podaci o saobraćajnim nezgodama su analizirani za petogodišnji period, od 2016. do 2020. godine, kako bi se na taj način izvršilo lakše sagledavanje trendova i zakonitosti u nastanku i posledicama SN.

Analiza saobraćajnih nezgoda nastalih usled ukradene ili oštećene saobraćajne signalizacije, a za potrebe rada, obuhvatila je sledeće analize:

- Analiza ukupnog broja i strukture saobraćajnih nezgoda, na osnovu raspoloživih podataka za prethodnih 5 godina,
- Prostorna analizu saobraćajnih nezgoda,
- Vremensku analizu saobraćajnih nezgoda,
- Analizu uticajnih faktora,
- Analizu kategorije učesnika saobraćajnih nezgoda.

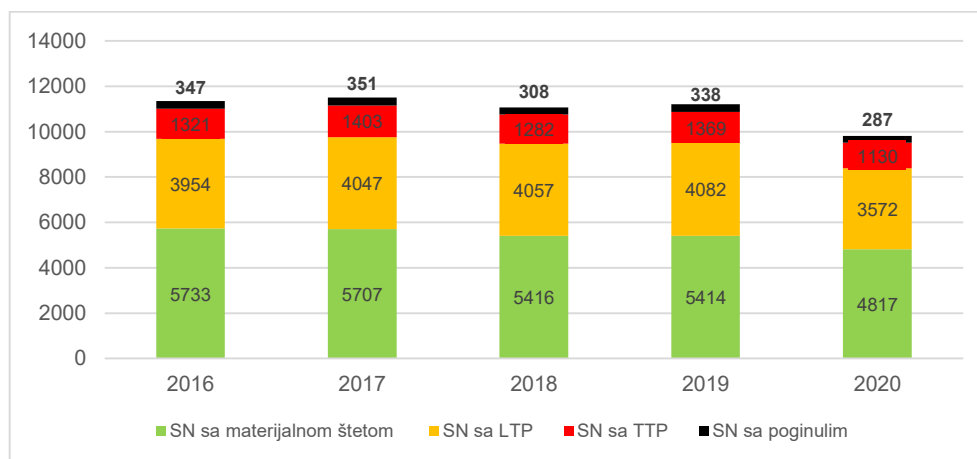
Saobraćajne nezgode koje su nastale kao posledica ukradene, oštećene saobraćajne ili nedostajuće signalizacije i opreme analizirane su kroz podatke dostupne za saobraćajne nezgode gde je za uticajni faktor utvrđen „Neodgovarajuća/nepostojeća ili nedovoljno uočljiva saobraćajna signalizacija i/ili oprema puta“.

Tabela 1. Broj saobraćajnih nezgoda po godinama i po vrsti

Godina	SN sa materijalnom štetom	SN sa povređenim licima	SN sa poginulim	UKUPNO
2016	5.733	5.275	347	11.355
2017	5.707	5.450	351	11.508
2018	5.416	5.339	308	11.063
2019	5.414	5.451	338	11.203
2020	4.817	4.702	287	9.806
UKUPNO	27.087	26.217	1.631	54.935

Izvor: (Dostupna baza JP „Putevi Srbije“)

Analizom dobijenih podataka može se videti da se na državnim putevima Republike Srbije, u periodu od 2016. godine do kraja 2020. godine, dogodilo ukupno 54.935 saobraćajne nezgode, od čega 1.631 SN sa poginulim licima.



Slika 2. Broj saobraćajnih nezgoda na državnim putevima u periodu od 2016 do 2020. godine

Izvor, Dostupna baza JP „Putevi Srbije“

Najveći broj saobraćajnih nezgoda dogodio se 2017. godine, ukupno 11.508 saobraćajnih nezgoda. Od 2017. godine broj saobraćajnih nezgoda na državnim putevima beleži pad. Broj saobraćajnih nezgoda u 2020. godini manji je za čak 12,5% u odnosu na 2019. godinu. Veliki pad broja saobraćajnih nezgoda u 2020. godini može se povezati sa pandemijom COVID-19 i restrikcijama koje su važile za vreme trajanja pandemije.

Na osnovu dostupnih podataka o saobraćajnim nezgodama nije moguće nedvosmisleno utvrditi da je do nezgoda došlo usled oštećene ili pokradene saobraćajne signalizacije. Pored MUP-a RS, druge institucije ne

vode evidenciju koja bi mogla da se unakrsno analizira i izvedu zaključci neophodni da se sprovede analiza. Usled ovog ograničenja usvojena je pretpostavka da su nezgode sa prepoznatim uticajnim faktorom nastanka saobraćajnih nezgoda „Neodgovarajuća/nepostojeća ili nedovoljno uočljiva saobraćajna signalizacija i/ili oprema puta“ nezgode koje su od značaja za analizu.

- ✓ **Neophodno je da se u budućnosti vodi jasna evidencija o nezgodama koje su nastale kao posledica oštećene ili pokradene saobraćajne signalizacije.**
- ✓ **Upravljač puta treba da vodi ličnu evidenciju o oštećenjima koja su nastala kao i znakovima koji su meta krađe/oštećenja kako bi se mogle sprovesti akcije za prevenciju takvog ponašanja.**
- ✓ **Bitno je identifikovati tip znaka i lokacije koje su na meti krađe/oštećenja.**

Uzimajući u obzir navedena ograničenja i usvojene pretpostavke izvršena je analiza koja se odnosi na:

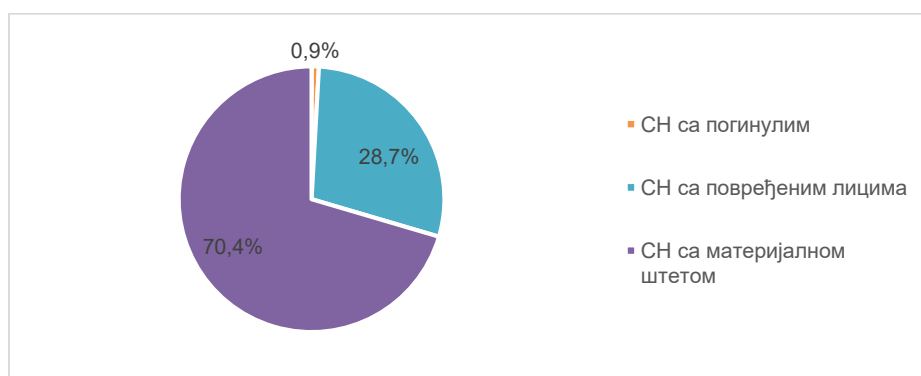
- Analizu ukupnog broja i strukture saobraćajnih nezgoda, na osnovu raspoloživih podataka za prethodnih 5 godina,
- Prostorna analizu saobraćajnih nezgoda.

U narednim tabelama i grafikonima predstavljeni su obrađeni podaci saobraćajnih nezgoda nastalih kao posledica oštećene ili pokradene saobraćajne signalizacije i opreme.

Tabela 2. Broj saobraćajnih nezgoda po godinama po vrstama

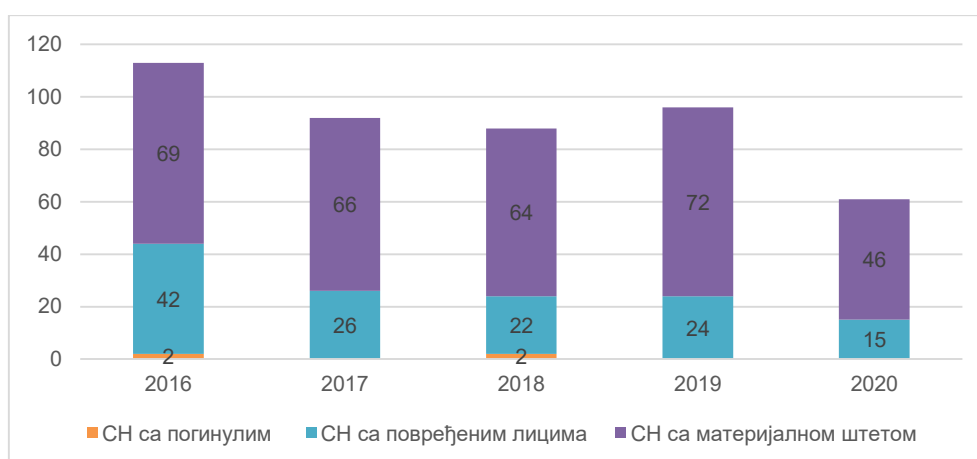
Godina	SN POG	SN POV	SN MŠ	Ukupno
2016	2	42	69	113
2017	0	26	66	92
2018	2	22	64	88
2019	0	24	72	96
2020	0	15	46	61
Ukupno	4	129	317	450

U periodu od 2016. do kraja 2020. godine na državnim putevima u Republici Srbiji dogodile su se ukupno 450 saobraćajnih nezgoda, koje za uticajni faktor nastanka imaju „Neodgovarajuća/nepostojeća ili nedovoljno uočljiva saobraćajna signalizacija i/ili oprema puta“. Navedeni uticajni faktor prepoznat je u 0,8% saobraćajnih nezgoda koje su se dogodile u analiziranom petogodišnjem periodu na državnim putevima.



Slika 3. Učešće vrsta sn u ukupnom broju saobraćajnih nezgoda koje su se dogodile u periodu od 2016. do 2020. godine

Od ukupnog broja saobraćajnih nezgoda sa uticajnim faktorom „Neodgovarajuća/nepostojeća ili nedovoljno uočljiva saobraćajna signalizacija i/ili oprema puta.“ 4 SN su za posledicu imale poginula lica. Broj saobraćajnih nezgoda ovog tipa beleži pad u poslednjih par godina što se može primetiti na narednom grafikonu.



Slika 4. Trend broj saobraćajnih nezgoda po godinama i po vrstama

Najveći broj saobraćajnih nezgoda dogodio se 2016. godine, ukupno 113 saobraćajnih nezgoda. Od 2016. godine broj saobraćajnih nezgoda sa navedenim uticajnim faktorom beleži pad do 2019. kad je broj saobraćajnih nezgoda u odnosu na 2018. godinu porastao sa 9.1%. Saobraćajne nezgode sa poginulim licima dogodile su se 2016. i 2018. godine.

Tabela 3. Tipovi saobraćajnih nezgoda

Grupa tipova saobraćajnih nezgoda	SN MŠ	SN LTP	SN TTP	SN POG	Ukupno
SN sa jednim vozilom	232	21	7		260
SN sa najmanje dva vozila - bez skretanja	38	20	4	2	64
SN sa najmanje dva vozila - skretanje ili prelazak	41	40	15	1	97
SN sa parkiranim vozilima	6	2		1	9
SN sa pešacima	0	13	7		20
Ukupno	317	96	33	4	450

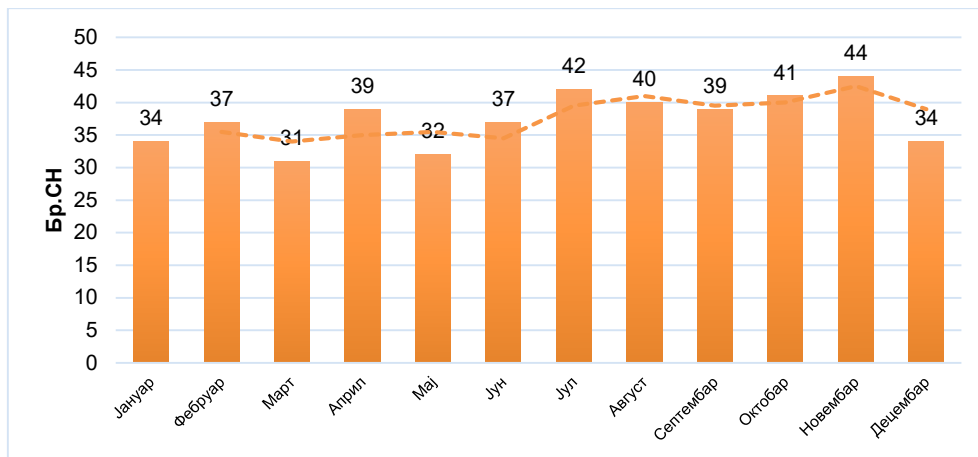
Kada se govori o tipovima saobraćajnim nezgodama, 57,8% saobraćajnih nezgoda čine nezgode sa jednim vozilom, 21,6% čine nezgode sa najmanje dva vozila skretanje ili prelazak. Saobraćajne nezgode u kojima su lica preminula su tipa SN sa najmanje dva vozila - bez skretanja, SN sa najmanje dva vozila - skretanje ili prelazak i SN sa parkiranim vozilima.

Tabela 4. Broj nastradalih lica po godinama

Godina	Br. POG	Br. TTP	Br. LTP	Ukupno
2016	2	20	62	84
2017	0	5	42	47
2018	3	8	30	41
2019	0	4	28	32
2020	0	5	28	33
УКУПНО	5	42	190	237

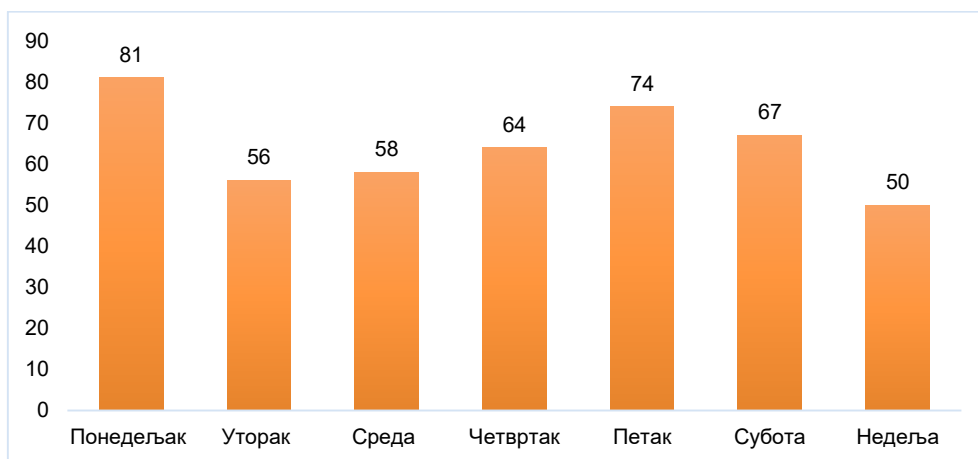
U analiziranom petogodišnjem periodu ukupno 232 lica je zadobilo lake ili teške telesne povrede, dok je 5 lica preminulo usled zadobijenih povreda.

Analizom vremenske raspodele saobraćajnih nezgoda nastalih kao posledica neodgovarajuće/nepostojeće ili nedovoljno uočljiva saobraćajna signalizacije i/ili oprema pute nisu utvrđena veće neravnomernosti. Primećeno je da se najveći broj nezgoda dogodio u dnevnim uslovima (56%) dok su se u noćnim uslovima vožnje dogodilo 40% SN. **Sve nezgode sa poginulim licima dogodile su se noću.**



Slika 5. Raspodela saobraćajnih nezgoda po mesecima

Podaci o vremenskim prilikama ukazuju na to da vremenske prilike nisu značajno uticale na nezgode budući da je u 69% nezgoda vreme bilo vedro, odnosno u 22% nezgoda vreme je bilo oblačno bez padavina.



Slika 6. Raspodela saobraćajnih nezgoda po danima u toku nedelje

U toku sedmice, najveći broj saobraćajnih nezgoda dogodio se u ponedeljak, dok je najmanji broj nezgoda ovog tipa zabeleženo u nedelju.

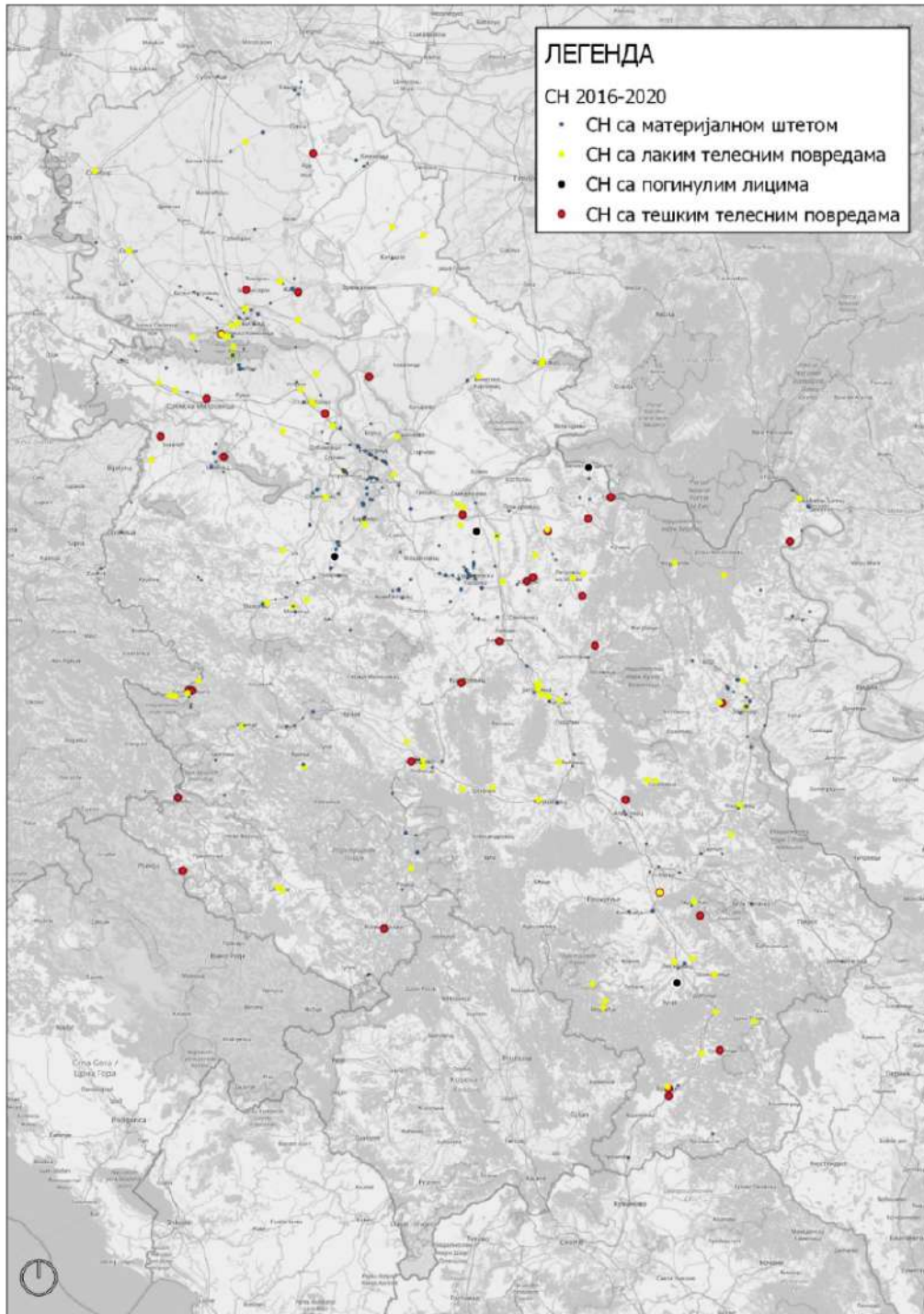
Табела 5. Број саобраћајних незгода према категорији државног пута на ком су се догодиле

Godina	IA	IB	IIA	IIB	Ukupno
2016	12	32	57	12	113
2017	22	28	31	11	92
2018	19	25	41	3	88
2019	21	27	36	12	96
2020	6	26	21	8	61
Ukupno	80	138	186	46	450

Na osnovu dostupnih podataka, utvrđeno je da se najveći broj saobraćajnih nezgoda sa uticajnim faktorom „Neodgovarajuća/nepostojeća ili nedovoljno uočljiva saobraćajna signalizacija i/ili oprema puta“ dogodilo na državnom putu IIA reda, ukupno 186 SN, dok se najmanje saobraćajnih nezgoda dogodilo se na državnom putu IIB reda, 46 saobraćajnih nezgoda. **Postojanje oštećenja i nedostataka u saobraćajnoj signalizaciji na državnim putevima IA reda može ukazivati da su na meti krađe/oštećenja saobraćajne signalizacije potencijalno znakovi većih dimenzija.**

Za potrebe izveštaja definisana je prostorna raspodela saobraćajnih nezgoda na osnovu dostupnih podataka o koordinatama saobraćajnih nezgoda.

Na mapi ispod prikazana je prostorna raspodela saobraćajnih nezgoda sa uticajnim faktorom „Neodgovarajuća/nepostojeća ili nedovoljno uočljiva saobraćajna signalizacija i/ili oprema puta“, odnosno lokacije gde su se događale saobraćajne nezgode na državnim putevima u Republici Srbiji.



Slika 7. Prostorna raspodela saobraćajnih nezgoda

Analizom prostorne raspodele saobraćajnih nezgoda, u periodu od 2016. do 2020. godine, najveća koncentracija saobraćajnih nezgoda ovog tipa uočeno je u zonama velikih regionalnih centara, Novog Sada, Beograda, Smedereva, Smederevske Palanke, Jagodine, Kraljeva, Leskovca, Vranja, Bajine Bašte i Zaječara.

Odnos nezgoda prema tome da li su se desile u naselju ili van naselja je približno pola-pola (209 SN u naselju i 241 SN van naselja). Najveći broj nezgoda (85%) dogodio se na putu, dok se u raskrsnici dogodilo 12% nezgoda. Iz navedenog se **može zaključiti da je malo verovatno da su znakovi za pravo prvenstva prolaza na meti krađe/oštećenja.**

Oštećenja ili krađa saobraćajne signalizacije i opreme takođe imaju veliki uticaj na troškove upravljača puteva, JP „Putevi Srbije“.

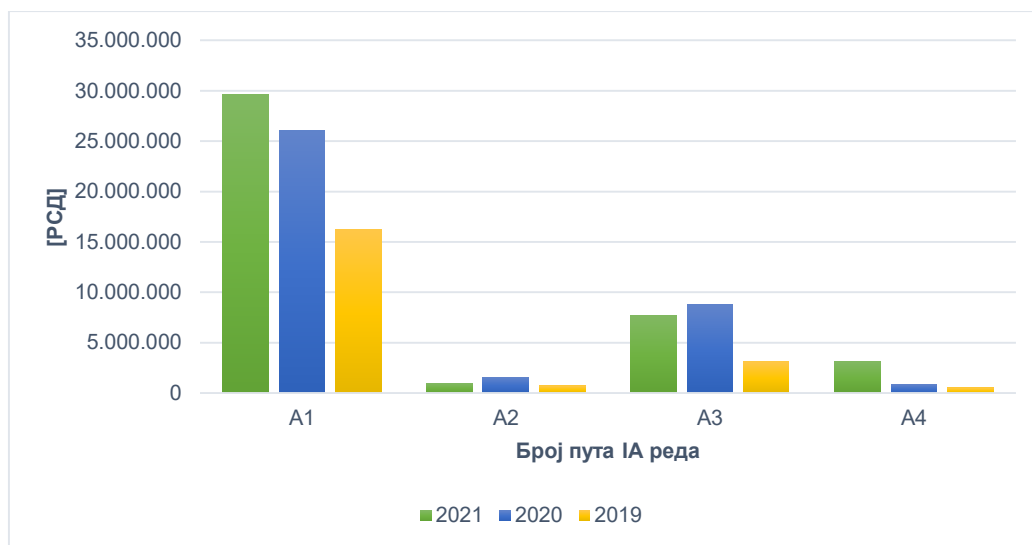
U narednoj tabeli prikazani su troškovi zamene saobraćajnih znakova nastali usled namernog oštećenja i krađe saobraćajnih znakova u periodu od 2018. do 2020. godine.

Tabela 6. Troškovi zamene saobraćajnih znakova

Godina	Br. saobr. znakova	Br. novih tabli	Ukupni troškovi [RSD]
2018	2 768	52	20.760.000,00
2019	2 725	56	17.020.306,64
2020	2 804	60	24.123.201,85

Prema tvrdnjama predstavnika Upravljača puta, najčešći razlog krađe saobraćajnih znakova je skup i lako upotrebljiv materijal od kojih su isti napravljeni.

Na narednom grafikonu prikazani su troškovi održavanja oštećene žičane ograde u periodu od 2019. do 2021. godine.



Slika 8. Troškovi održavanja oštećene žičane ograde na državnom putu IA reda

Duž državnih puteva IA reda u periodu od 2019. do 2021. godine vrednost oštećene žičane ograde iznosi oko 99.400.000 dinara, od čega 72,3% troškova zamene žičane ograde je na državnom putu IA reda broj A1. Uvidom u raspoložive podatke, može se primeniti pad troškova zamene oštećene žičane ograde u 2021. godini u odnosu na podatke iz 2019. godine.

U toku 2021. godine, 11 meseci, za održavanje saobraćajne signalizacije i putne opreme na državnim putevima IA reda potrošeno je 455.761.734,10 dinara, dok je za održavanje državnih puteva IB, IIA i IIB reda potrošeno 85.790.368,23 dinara (bez PDV-a).

Održavanje saobraćajne signalizacije podrazumeva zamenu i postavljanje saobraćajnog znaka, putokaznih tabli, postavljanje novog saobraćajnog znaka ili saobraćajni znaci koji su zamenjeni zbog oštećenja ili starosti. Održavanje putne opreme takođe podrazumeva zamenu i postavljanje, odbojne zaštitne ograde, mostovske ograde, žičane ograde.

- ✓ **Ograničenja u pogledu načina vođenja evidencije saobraćajnih nezgoda mogu dovesti do stvaranja pogrešne slike o broju nezgoda koje su nastale kao posledica pokradene ili oštećene saobraćajne signalizacije.**
- ✓ **Potrebno je voditi jasnu evidenciju o svim znakovima koju su pokradeni i oštećeni kako bi se u budućnosti sagledali trendovi i sprovele efikasne mere za prevenciju.**
- ✓ **Relativno lake posledice saobraćajnih nezgoda sa preko 70% svih nezgoda u kojima nije došlo do povreda učesnika ili gubitka života.**
- ✓ **Postojanje oštećenja i nedostataka u saobraćajnoj signalizaciji na državnim putevima IA reda može ukazivati da su na meti krađe/oštećenja saobraćajne signalizacije potencijalno znakovi većih dimenzija.**
- ✓ **Najveći broj nezgoda (85%) dogodio se na putu, dok se u raskrsnici dogodilo 12% nezgoda.**
- ✓ **Uzimajući u obzir koncentraciju nezgoda u blizini pojedinih većih naseljenih mesta može se zaključiti da su počinioci najverovatnije lokalno stanovništvo.**
- ✓ **Motiv za krađu saobraćajne signalizacije može biti vrednost sekundarnih sirovina.**

4.2 Podaci o saobraćajnom opterećenju

U okviru istraživanja je izvršena i analiza protoka saobraćaja na državnim putevima na kojim je u periodu od 2016. do 2020. godine uočen značajan broj saobraćajnih nezgoda na gore navedenu temu.

Podaci o saobraćajnom opterećenju preuzeti su sa sajta JP „Putevi Srbije“ koje u okviru svojih redovnih aktivnosti vrše prikupljanje i obradu podataka o saobraćajnom opterećenju na državnim putevima u Srbiji. Podaci su prikazani na nivou Prosečnog Godišnjeg Dnevnog Saobraćaja (PGDS) za svaki putni pravac za svaku kategoriju vozila ponaosob i ukupno.

Imajući u vidu da se protoci saobraćaja duž državnih puteva razlikuju od deonice do deonice, za potrebe kampanje, protok saobraćaja za analizirane puteve sveden je na prosečni dnevni saobraćaj po kilometru analiziranog puta. Na ovaj način uprosečena je vrednost PGDS-a na nivou celog putnog pravca kako bi se lakše sagledali odnosi protoka između putnih pravaca i učešća pojedinih kategorija vozila u toku. Rezultati brojanja za specifične deonice korišćenih za analizu su dostupni na sajtu Upravljača puta i podaci nisu prikazivani u okviru izveštaja.

Analizom prostorne raspodele saobraćajnih nezgoda koje su za uticajni faktor imale „Neodgovarajuća/nepostojeća ili nedovoljno uočljiva saobraćajna signalizacija i/ili oprema puta“, u periodu od 2016. do 2020. godine, najveći broj se dogodio u zonama velikih regionalnih centara, Novog Sada, Beograda, Smedereva, Smederevske Palanke, Jagodine, Kraljeva, Leskovca, Vranja, Bajine Bašte i Zaječara. Putevi na kojim je uočeno najviše nezgoda sa navedenim uticajnim faktorom su državni putevi IB reda, broj 12, 22 i 23, kao i putevi IIA reda broj 100, 119, 147, 158, 165 i 172.

- ✓ **Oštećenje i krađa saobraćajne signalizacije prisutna je na putevima nižeg ranga sa manjim saobraćajnim opterećenjem gde je i manja verovatnoća da će prilikom tih radnji počinitelj biti uočen.**
- ✓ **Putevi nižeg ranga (IIA reda) manje su pogođeni pandemijom korona virusa što može ukazati da se radi o pretežno lokalnim kretanjima, kao i da je zastupljenost kontrole od strane MUP-a na ovim deonicama manja. Manje prisustvo pripadnika MUP-a olakšava počiniocima krađu i oštećenje saobraćajne signalizacije.**

5. ZAKLJUČAK

Tema krađe saobraćajne signalizacije i opreme iako česta pojava na našim, a i na putevima u svetu, nije ispraćena kampanjama koje bi podigle svest ljudi o posledicama koje na izgled bezazlena zanimacija može da prouzrokuje. Kada saobraćajni znakovi nedostaju ili su oštećeni, vozači ne dobijaju potrebnu informaciju o opasnosti na koju nailaze zbog čega često donose pogrešne odluke koje utiču na njihovu bezbednost i bezbednost drugih učesnika u saobraćaju.

Kada je upitanju krađa i oštećenje saobraćajne signalizacije za sada postoje samo saznanja o događajima u pojedinim zemljama, troškovima štete i nekim izrečenim kaznama koje variraju od zemlje do zemlje. Razlog zbog kog navedena tema nije predmet kampanja u inostranstvu su često represivne mere kojih se pojedine zemlje pridržavaju a koje se odnose na navedeno.

Sprovođenje represivnih mera, koje podrazumevaju novčane kazne, čak i kazne zatvorom, u mnogom zemljama su rešile problem krađe i oštećenja saobraćajnih znakova i opreme. Kao jedan od predloga kako bi se dodatno moglo uticati na smanjenje krađe saobraćajnih znakova jeste i da se na obaveznoj nalepnici na poleđini znaka, koja mora da se nalazi na svakom znaku, dodaju posledice krađe i otkupa ukradenih znakova i opreme kao svojevrсни podsetnik onome koji bi hteo da otuđi ili ošteti saobraćajni znak.

Takođe, kao jedna do mogućih akcija sprečavanja krađe saobraćajnih znakova i opreme, mogao bi da bude i javni poziv Upravljača puta i Saobraćajne policije koji bi bio upućen otkupljivačima sekundarnih sirovina da ne otkupljuju saobraćajnu signalizaciju i opremu jer oni predstavljaju nacionalni resurs. Saradnju sa otkupljivačima sekundarnih sirovina moguće je ostvariti kroz svetovanja, akcije i javne pele kako bi se pozvali svi otkupljivači na saradnju sa upravljačem puta i saobraćajnom policijom kada do njih dođu ukradeni saobraćajni znakovi i oprema.

Kampanje koje sprovodi Naručilac sa konkretnom temom krađe i oštećenja saobraćajne signalizacije i opreme biće među prvima kako kod nas tako i u svetu.

Analiza saobraćajnih nezgoda koje su nastale usled oštećene ili pokradene saobraćajne signalizacije vršena je kroz analizu nezgoda koje za uticajni faktor imaju „Neodgovarajuća/nepostojeća ili nedovoljno uočljiva saobraćajna signalizacija i/ili oprema puta“. Usled nedostatka bolje evidencije usvojena je pretpostavka da su sve nezgode sa ovim uticajnim faktorom relevantne za analizu. Kroz analizu se došlo do sledećih zaključaka:

- Relativno lake posledice saobraćajnih nezgoda sa preko 70% svih nezgoda u kojima nije došlo do povreda učesnika ili gubitka života.
- Postojanje oštećenja i nedostataka u saobraćajnoj signalizaciji na državnim putevima IA reda može ukazivati da su na meti krađe/oštećenja saobraćajne signalizacije potencijalno znakovi većih dimenzija.
- Najveći broj nezgoda (85%) dogodio se delovima državnog puta (poddeonice bez raskrsnica), dok se u raskrsnici dogodilo 12% nezgoda.
- Uzimajući u obzir koncentraciju nezgoda u blizini pojedinih većih naseljenih mesta može se zaključiti da su počinioci najverovatnije lokalno stanovništvo.
- Motiv za krađu saobraćajne signalizacije može biti vrednost sekundarnih sirovina.
- Oštećenje i krađa saobraćajne signalizacije prisutna je na putevima nižeg ranga sa manjim saobraćajnim opterećenjem gde je i manja verovatnoća da će prilikom tih radnji počinitelj biti uočen.

S obzirom na rezultate sprovedene analize predlažu se sledeće akcije koje se mogu preduzeti u budućnosti kako bi se smanjio rizik od nastanka nezgoda usled tema koje su predmet ove analize:

- Bolja evidencija SN i oštećene/pokradene saobraćajne signalizacije prema preporukama datim u uvodnom delu zaključka.
- Ciljane kontrole od strane preduzeća zaduženog za održavanje deonice puta kojim bi se pratilo stanje saobraćajne signalizacije
- Dodatno angažovanje pripadnika MUP-a Srbije na kontroli i sankcionisanju prekršaja.
- Kampanje koje se odnose na podizanje svesti o opasnosti krađe i oštećenja saobraćajne signalizacije i opreme na putu, kao i kaznama koje počinitelj može da snosi.
- Postavljanje obaveštenja (nalepnica) na pozadinu znakova kojima se navodi visina kazne za krađu i ili oštećenja saobraćajne signalizacije.

LITERATURA

- [1] Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima, Službeni glasnik RS, br. 41/2009, 53/2010, 101/2011, 32/2013 - odluka US, 55/2014, 96/2015 - dr. zakon, 9/2016 - odluka US, 24/2018, 41/2018, 41/2018 - dr. zakon, 87/2018, 23/2019 i 128/2020 - dr. zakon.
- [2] Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima, Službeni glasnik RS, br. 41/2009, 53/2010, 101/2011, 32/2013 - odluka US, 55/2014, 96/2015 - dr. zakon, 9/2016 - odluka US, 24/2018, 41/2018, 41/2018 - dr. zakon, 87/2018, 23/2019 i 128/2020 - dr. zakon.
- [3] Krivični zakonik, Službeni glasnik RS, br. 85/2005, 88/2005 - ispr., 107/2005 - ispr., 72/2009, 111/2009, 121/2012, 104/2013, 108/2014, 94/2016 i 35/2019.S.Forward,
- [4] Tim za Implementaciju projekta podizanja svesti o bezbednosti saobraćaja (2022) - Kampanje za podizanje nivoa bezbednosti saobraćaja - Analiza i evaluacija kampanja. JP „Putevi Srbije“, Beograd.
- [5] Tim za Implementaciju projekta podizanja svesti o bezbednosti saobraćaja (2021). Izveštaj o sprovedenoj kampanji „3 Sekunde-Ceo život“, JP „Putevi Srbije“, Beograd.
- [6] Forward S, Kzemi, A. (2009). „A teoretical approach to assess road safety campaigns, Evidence from several European countries“, Belgian Road Safety Institute (BIVV - IBSR),.
- [7] A. Kzemi: „A teoretical approach to assess road safety campaigns, Evidence from several European countries“, Belgian Road Safety Institute (BIVV - IBSR), 2009.
- [8] <https://www.putevi-srbije.rs>
- [9] <https://www.putevi-srbije.rs/index.php>
- [10] <http://bgsaobračaj.rs/kampanja-manifestacija/41/saceka%D1%98-da-autobus-ode>
- [11] <https://www.abs.gov.rs/sr/o-nama/sektor-za-prevenciju-i-lokalne-samouprave/preventivne-aktivnosti/kampanje-421>
- [12] <https://www.fmcsa.dot.gov/>
- [13] <https://www.rac.co.uk/drive/advice/driving-advice/emergency-refuge-areas/>
- [14] <https://londonroadsafetycouncil.org.uk/be-seen/>.
- [15] https://web.archive.org/web/20080514080156/http://www.atimes.com/atimes/Middle_East/JB14Ak01.html
- [16] <https://www.travelers.com/resources/auto/safe-driving/how-to-handle-a-tire-blowout>
- [17] <https://roadsafety.transport.nsw.gov.au/campaigns/>
- [18] <https://mybighornbasin.com/park-county-sign-theft/>
- [19] <https://etsc.eu/emergency-corridors-coming-to-poland/>
- [20] <https://bezpieczny-przejazd.pl/en/about-campaign/about-the-campaign/>

УПОТРЕБА WEB GIS АПЛИКАТИВНИХ СОФТВЕРА У УТВРЂИВАЊУ ЗОНЕ ПОТРЕБНЕ ПРЕГЛЕДНОСТИ НА ПРУЖНИМ ПРЕЛАЗИМА

Марија Дото¹

¹ Јавно предузеће "Путеви Србије", marija.dotto@putevi-srbije.rs

др Никола Челар²

² Саобраћајни факултет, Универзитет Београд, n.celar@sf.bg.ac.rs

Дијана Видосављевић³

³ Јавно предузеће "Путеви Србије", dijana.vidosavljevic@putevi-srbije.rs

Милош Милосављевић⁴

⁴ Јавно предузеће "Путеви Србије", milos.milosavljevic@putevi-srbije.rs

Резиме: *Имплементација GIS-а незаобилазна је у свим процесима рада успостављања и развоја база података о путевима. Развој WEB GIS апликативних решења омогућава управљање подацима без трошкова куповине лиценци и обука за коришћење специјализованих софтвера. Значај учешћа просторних елемената у захтевима које пут мора да испуни са аспекта безбедности саобраћаја условљава потребу да се поред атрибутних, врше и различите просторне анализе. У ЈП "Путеви Србије" развијено је WEB GIS апликативно софтверско решење за рад са подацима из геопросторне базе података о пружним прелазима, које основне функционалности заснива управо на просторним анализама. Ове функционалности искоришћене су за утврђивање и приказ зоне потребне прегледности на пружним прелазима.*

Кључне речи: *зона потребне прегледности, мрежа државних путева, WEB GIS апликативни софтвер*

USE OF WEB GIS APPLICATION SOFTWARE IN DETERMINING OF REQUIRED VISIBILITY AT RAILWAY CROSSING

Abstract: *Implementation of a GIS is indispensable in all work processes of establishing and developing road databases. The development of WEB GIS application solutions enables data management without the cost of purchasing licenses and training of personnel to work with specialized software. The importance of spatial elements participation in the requirements that the road must meet from the aspect of traffic safety determines the need that, in addition to the attribute analyzes, various spatial analyzes have to be performed. The PE "Roads of Serbia" has developed a WEB GIS application software solution for working with data from the geospatial railway crossings database, which basic functionalities are based on spatial analyzes. These functionalities were used to enable the identification and visualization of required visibility zone on railway crossings.*

Keywords: *required visibility zone, state road network, WEB GIS application software*

1. УВОД

Поједине локације на путевима су по својој природи посебно небезбедне и као такве изазивају повећан ризик од настанка саобраћајних незгода. У те локације спадају и места на којима се пут као део друмске инфраструктуре укршта у нивоу са пругом као делом железничке инфраструктуре. Овај део саобраћајне површине служи и друмском и железничком саобраћају и због специфичности захтева спровођење посебних мера у циљу обезбеђења безбедности саобраћаја. Законодавац прописује управљачима и железничке и друмске инфраструктуре да обезбеде услове за безбедан прелазак места укрштања на инфраструктури којом управљају.

¹ Аутор задужен за кореспонденцију: marija.dotto@putevi-srbije.rs

² Аутор: n.celar@sf.bg.ac.rs

³ Аутор: dijana.vidosavljevic@putevi-srbije.rs

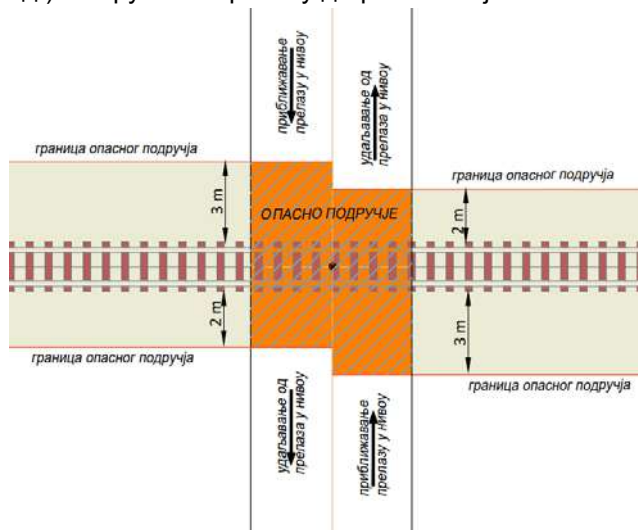
⁴ Аутор: milos.milosavljevic@putevi-srbije.rs

Укрштање железничке пруге и пута у нивоу колосека врши се на основу техничких елемената прописаних Правилником о начину укрштања железничке пруге и пута, пешачке или бицикличке стазе, месту на којем се може извести укрштање и мерама за осигурање безбедног саобраћаја („Службени гласник РС”, бр. 89/2016). Мере за осигурање безбедног саобраћаја на пружним прелазима зависе од густине саобраћаја, прегледности железничке пруге, брзине вожње на прузи и путу и од месних услова. Правилником је прописано шест нивоа обезбеђења саобраћаја на пружном прелазу. Иако су нивои обезбеђења који физички онемогућавају прелазак друмских возила преко пруге (браницима и полубраницима) најбезбеднији, скоро половина пружних прелаза није обезбеђена на наведени начин. Саобраћај се на пружном прелазу обезбеђује саобраћајним знаковима на путу и зоном потребне прегледности ако је највећа допуштена брзина на прузи до 100 km/h и уколико је обезбеђена зона прегледности како би учесници у друмском саобраћају имали несметан и непрекидан видик на железничку пругу са обе стране ради благовременог уочавања железничких возила и заустављања друмског возила.

У циљу испуњења дужности прописаних Законом⁵, и оптималног управљања системом пружних прелаза, ЈП "Путеви Србије" израдило је геопросторну базу података о пружним прелазима и апликативни софтвер за рад са подацима. Последње деценије доносе убрзани развој и промене концепта на коме се заснивају технологије прикупљања, ажурирања и коришћење података што прати и развој апликативних софтвера који омогућавају ефикасну употребу података како од стране креатора и администратора база података, тако и од крајњих корисника. Коришћење интерактивних апликативних софтвера и могућност генерисања разноврсних извештаја који су прилагођени кориснику, умногоме повећава употребну вредност података. У наставку рада приказана је функционалност апликативног софтвера за приказ и утврђивање зоне потребне прегледности на пружним прелазима.

2. ЕЛЕМЕНТИ ЗА ПРОРАЧУН ЗОНЕ ПОТРЕБНЕ ПРЕГЛЕДНОСТИ

Основни принцип на основу кога се дефинишу елементи зоне потребне прегледности на укрштању пута и пруге заснива се на обезбеђењу прегледности возачу друмског возила како би благовремено донео одлуку да ли да изврши маневар прецесања пруге или да заустави возило испред пружног прелаза. Због специфичности конфликта на укрштању пута и пруге које проистичу из технолошких карактеристика возила (разлика у маси возила друмског и железничког саобраћаја, брзина, и разлика у дужини зауставног пута, итд.) на пружном прелазу дефинисана је зона опасног подручја.



Слика 1: Опасно подручје

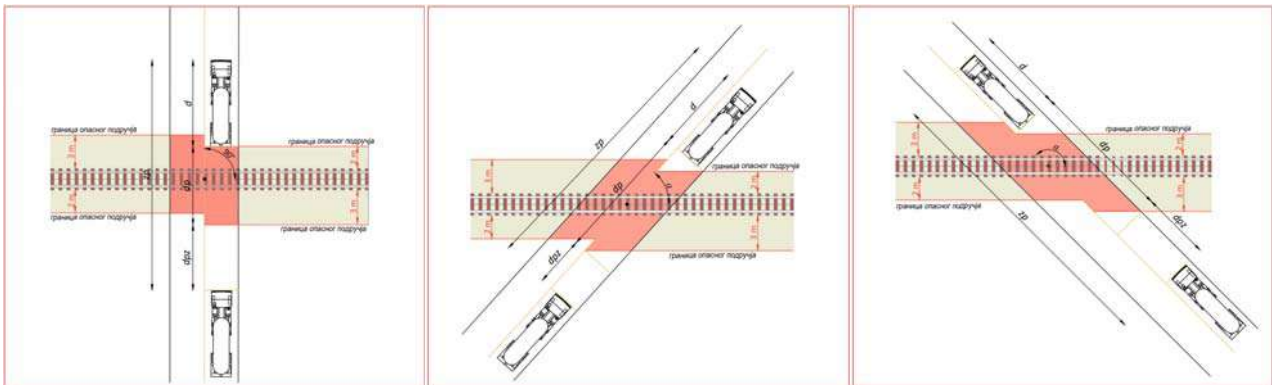
⁵ Обавеза управљача пута за формирање базе података о пружним прелазима прописана је Законом о путевима ("Службени Гласник РС", број 41/2018 и 95/2018) у делу који се односи на вођење евиденције о јавним путевима и саобраћајно-техничким подацима за путеве

Опасно подручје на пружном прелазу је део пута који се налази 3 m пре прве шине на страни приближавања друмског возила пружном прелазу у нивоу колосека и 2 m после последње шине на страни удаљавања од пружног прелаза, на којем се преклапају или додирују товарни профили друмских возила и железничких возила (Слика 1).

Границе зоне опасног подручја условљавају дужину пружног прелаза dp . Дужина прелаза (dp) рачуна се као збир дужина од границе зоне опасног подручја до првог колосека, ширине колосека ($\check{S}k$) и дужине од крајњег колосека до границе опасног подручја са друге стране пруге, мерено по оси пута. Другим речима, дужина прелаза зависи од броја колосека и угла укрштања пута (α) и пруге.

$$dp = \frac{3 + \check{S}k + 2}{\sin \alpha} (m)$$

У зависности од угла укрштања пута и пруге утврђује се зона прелаза пута преко железничке пруге (Z_p). Зона прелаза пута преко железничке пруге представља део пута, од тачке од које возач друмског возила треба да почне са кочењем да би се возило безбедно зауставило испред границе опасног подручја, до места где најдуже друмско возило задњим делом прелази зону путног прелаза и напушта границу опасног подручја на страни удаљавања од путног прелаза, и утврђује се као: $Z_p = d_{pz} + d_{dv} + d_p$ (m);



Слика 2: Зона прелаза пута и пруге при различитим угловима укрштања

У наставку ће бити приказан начин израчунавања елемената за зону потребне прегледности у **три случаја** [9] [11].

2.1. Израчунавање елемената зоне потребне прегледности на пружним прелазима на којима не постоји обавеза заустављања друмског возила приликом наилаaska на пружни прелаз и возило се креће константном највећом дозвољеном брзином дужином целог пута, од темена зоне потребне прегледности на путу до напуштања зоне опасног подручја

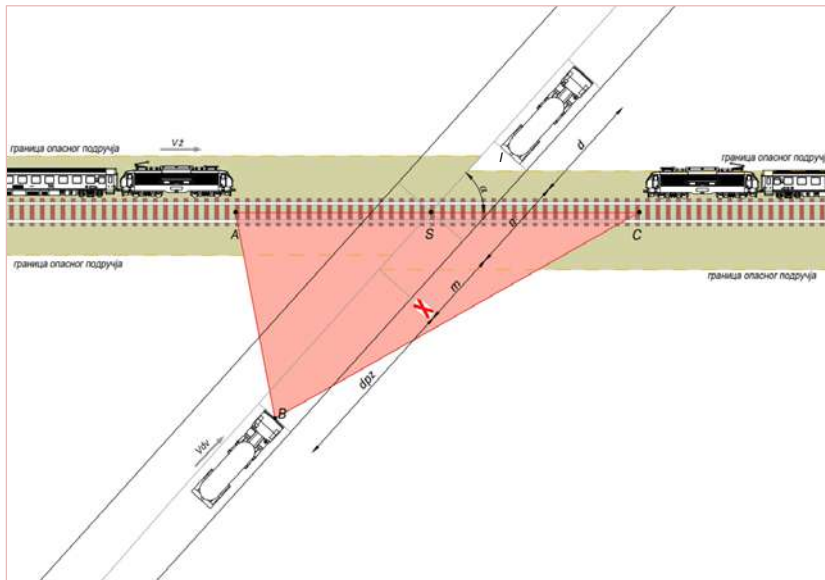
У наведеном случају потребно је да буде остварена прегледност која обезбеђује возачу друмског возила да са довољне удаљености од границе опасног подручја уочи воз, како би могао да благовремено донесе одлуку да изврши маневар пресецања, без ометања кретања воза на пруги, крећући се константном брзином, или да заустави возило испред границе опасног подручја.

Величина зоне потребне прегледности утврђује се на основу највеће допуштене брзине на железничкој пруги и времена које је потребно друмском возилу да од момента уочавања воза својим задњим делом пређе границу слободног профила железничке пруге са друге стране пружног прелаза.

Потребна прегледност одређује се према формули:

$$L_{ppp} = AS = SC = t_{pav} * \frac{V_z}{3,6} (m)$$

- L_{ppp} – дужина потребне прегледности с пута на железничку пругу (m);
 t_{pdv} – укупно време потребно да друмско возило највеће допуштене дужине крене од тачке В (тачка која се налази на дужини зауставног пута испред границе опасног подручја) и својим задњим делом пређе границу слободног профила пруге с друге стране пружног прелаза (замишљена линија / нормална на осу пута) (s);
 V_z – највећа допуштена брзина на железничкој прузи у зони пружног прелаза (km/h).



Слика 3: Елементи зоне потребне прегледности (не постоји обавеза заустављања, возило се креће константном брзином дуж зоне прелаза)

Укупно време потребно да друмско возило највеће допуштене дужине пређе преко подручја путног прелаза, крећући се константном брзином одређује се према формули:

$$t_{pdv} = \frac{d_{pz} + m + n + d}{V_{dv}} * 3,6(s)$$

- d_{pz} – дужина зауставног пута друмског возила (m);
 m - удаљеност тачке В осе железничке пруге мерена по оси пута, позиција у којој би возило требало да се заустави у случају уступања првенства у пролазу возу (m);
 n – удаљеност линије I од осе железничке пруге мерена по оси пута (m);
 d – највећа дужина друмског возила, која износи 25 (m);
 V_{dv} – ограничена брзина на путу (km/h)

У крајњем случају (када се зауставном позицијом сматра граница опасног подручја) може се у формули користити уместо збира величина $m+n$ и дужина прелаза (dp). У том случају t_{pdv} може се рачунати према формули:

$$t_{pdv} = \frac{d_{pz} + d_p + d}{V_{dv}} * 3,6(s)$$

Дужина зауставног пута друмског возила које се креће константном брзином рачуна се према формули:

$$d_{pz} = \frac{V_{dv} * t_r}{3,6} + \frac{\left(\frac{V_{dv}}{3,6}\right)^2}{2 * g * \left(f_i \pm \frac{i}{100}\right)} (m)$$

- t_r - време реакције возача (s)
 g – убрзање земљине теже (m/s²)
 f_i - коефицијент трења (-)
 i – уздужни нагиб пута (%)

Потребна прегледност одређује према формули:

$$L_{ppp} = t_{pdv} * \frac{V_z}{3,6} = \frac{\left(\frac{V_{dv} * t_r}{3,6} + \frac{\left(\frac{V_{dv}}{3,6}\right)^2}{2 * g * \left(f_i \pm \frac{i}{100}\right)} + \frac{3 + \check{S}_k + 2}{\sin \alpha} + d \right)}{V_{dv}} * V_z (m)$$

2.2. Израчунавање елемената зоне потребне прегледности на пружним прелазима на којима не постоји обавеза заустављања друмског возила приликом наиласка на пружни прелаз, и возило успорава непосредно испред наиласка на пружни прелаз како би преко пружног прелаза прешло мањом брзином.

У случају када на пружном прелазу не постоји обавеза заустављања друмског возила, и возило успорава непосредно испред наиласка на пружни прелаз како би преко пружног прелаза прешло мањом брзином потребно је да буде обезбеђена прегледност која обезбеђује возачу друмског возила да са довољне удаљености од границе опасног подручја уочи воз, како би могао да благовремено донесе одлуку да изврши маневар пресецања, без ометања кретања воза на пружи, равномерно успоравајући од највеће дозвољене брзине на путу у зони приближавања до највеће дозвољене брзине на пружном прелазу којом наставља да се креће константно док не напусти зону опасног подручја или заустави возило испред границе опасног подручја пружног прелаза.

Величина зоне потребне прегледности утврђује се на основу највеће допуштене брзине на железничкој пружи и времена које је потребно друмском возилу да од момента уочавања воза својим задњим делом пређе границу слободног профила железничке пруге са друге стране пружног прелаза.

Потребна прегледност се, као и у преходном случају одређује наредном формулом:

$$L_{ppp} = AS = SC = t_{pdv} * \frac{V_z}{3,6} (m)$$

L_{ppp} – дужина потребне прегледности с пута на железничку пругу (m);

t_{pdv} – укупно време потребно да друмско возило највеће допуштене дужине крене од тачке В (теме зоне потребне прегледности на путу, тачка која се налази на дужини зауставног пута испред границе опасног подручја) и својим задњим делом пређе границу слободног профила железничке пруге с друге стране путног прелаза (замишљена линија / нормална на осу пута) (s);

V_z – највећа допуштена брзина на железничкој пружи у зони путног прелаза (km/h).

Укупно време потребно да друмско возило највеће допуштене дужине пређе преко подручја путног прелаза, односно величина „ t_{pdv} “, у овом случају, рачуна се према формули:

$$t_{pdv} = t_{const1} + t_u + t_{const2}$$

t_{const1} - време које је друмском возилу потребно да из тачке која се налази на дужини зауставног пута испред границе опасног подручја стигне до позиције у којој почиње да успорава крећући се равномерно највећом дозвољеном брзином на путу

t_u - време које је потребно друмском возилу да из позиције у којој започиње успорено кретање стигне до границе опасног подручја крећући се равномерно успореним кретањем

t_{const2} - време које је потребно да од границе опасног подручја возило напусти зону опасног подручја крећући се равномерно највећом дозвољеном брзином преко пружног прелаза.

Време t_{const1} рачуна се према формули:

$$t_{const1} = \frac{d_{pz} - d_{pu}}{V_{dv1}} * 3,6(s)$$

d_{pz} – дужина зауставног пута друмског возила при брзини V_{dv1} (m);

d_{pu} – дужина пута успорења друмског возила (m);

V_{dv1} – ограничена брзина на путу у зони приближавања пружном прелазу (km/h);

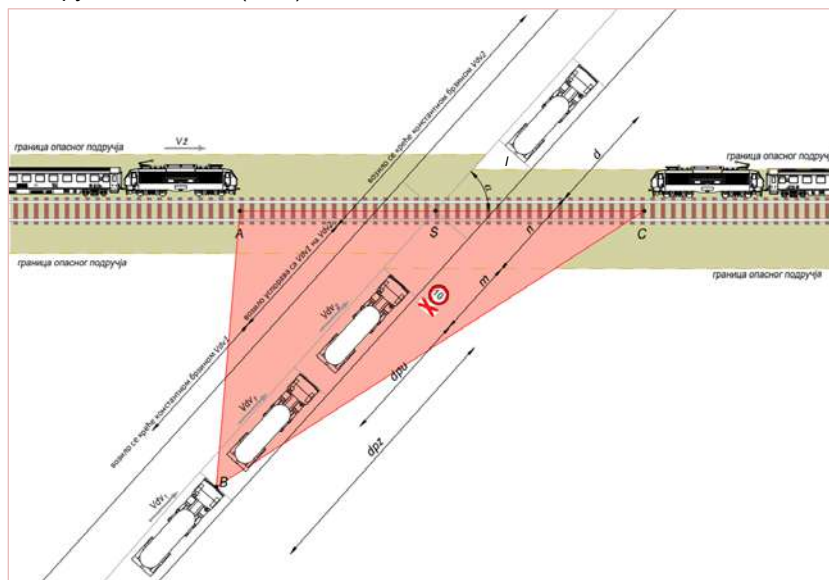
Дужина пута успорења друмског возила (d_{pu}) рачуна се према формули:

$$d_{pu} = \frac{V_{dv1}^2 - V_{dv2}^2}{2 * a * 3,6} (m)$$

V_{dv1} – ограничена брзина на путу у зони приближавања пружном прелазу (km/h);

V_{dv2} – ограничена брзина на путу на пружном прелазу (km/h);

$a = 2.5 \text{ m/s}^2$ – успорење друмског возила (m/s^2)



Слика 4: Елементи зоне потребне прегледности (не постоји обавеза заустављања, возило успорава непосредно испред пружног прелаза како би преко пружног прелаза прешло мањом брзином)

Време t_u рачуна се према формули:

$$t_u = \frac{V_{dv1} - V_{dv2}}{a * 3,6} (s)$$

Време t_{const2} рачуна се према формули:

$$t_{const2} = \frac{m + n + d}{V_{dv2}} * 3,6 (s)$$

m – удаљеност позиције од које је највећа дозвољена брзина V_{dv2} до осе железничке пруге мерена по оси пута (m);

n – удаљеност линије I од осе железничке пруге мерена по оси пута (m);

d – највећа дужина друмског возила, која износи 25 (m);

V_{dv2} – ограничена брзина на путу на пружном прелазу (km/h)

У крајњем случају (када се позиција саобраћајног знака којом је ограничена брзина кретања на пружном прелазу налази на граници опасног подручја) може се у формули користити уместо збира величина $m+n$ и дужина прелаза (d_p). У том случају t_{const2} може се рачунати према формули:

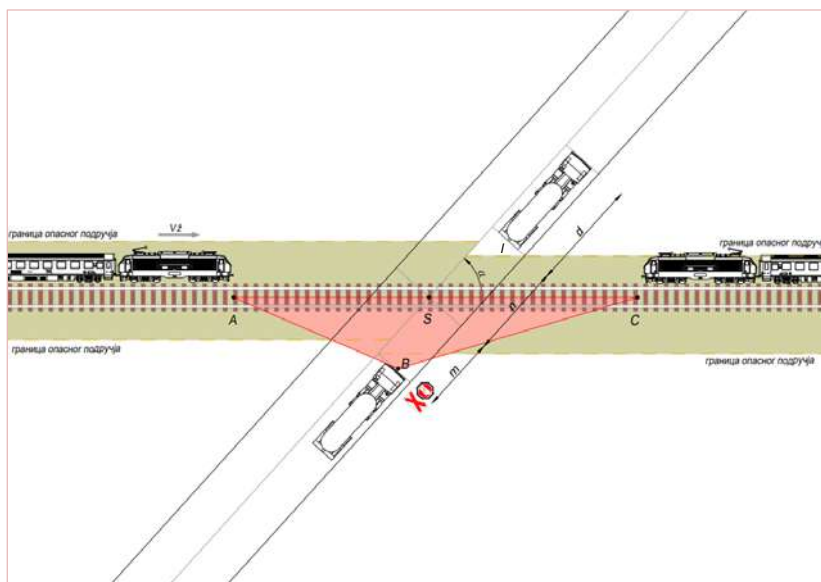
$$t_{const2} = \frac{d_p + d}{V_{dv2}} * 3,6 (s)$$

Па се потребна прегледност одређује према формули:

$$L_{ppp} = t_{pdv} * \frac{V_z}{3,6} = (t_{const1} + t_u + t_{const2}) * \frac{V_z}{3,6} (m)$$

2.3. Израчунавање елемената зоне потребне прегледности на пружним прелазима на којима постоји обавеза заустављања друмског возила приликом наилаaska на пружни прелаз.

У случају када на пружном прелазу постоји обавеза заустављања друмског возила, потребно је да буде обезбеђена прегледност која обезбеђује возачу друмског возила да са довољне удаљености од границе опасног подручја уочи воз, како би могао да благовремено донесе одлуку да изврши маневар пресецања, без ометања кретања воза на прузи, равномерно убрзавајући док не достигне брзину којом прелази пружни прелаз и наставља да се креће константно док не напусти зону опасног подручја или остане заустављено уступајући првенство пролаза возу који наилази.



Слика 5: Елементи зоне потребне прегледности (возило има обавезу заустављања приликом наилаaska на пружни прелаз)

Величина зоне потребне прегледности у случају обавезе заустављања друмског возила приликом наилаaska на пружни прелаз утврђује се на основу највеће допуштене брзине на железничкој прузи и времена које је потребно да друмско возило највеће допуштене дужине пређе пут од зауставне позиције (испред саобраћајног знака који означава место на коме мора да се заустави) док задњим делом пређе границу опасног подручја с друге стране пружног прелаз (замишљена линија I нормална на осу пута).

Потребна прегледност одређује се према формули:

$$L_{ppp} = AS = SC = t_{pdv} * \frac{V_z}{3,6} (m)$$

L_{ppp} – дужина потребне прегледности с пута на железничку пругу (m);

t_{pdv} – укупно време потребно да друмско возило највеће допуштене дужине крене од тачке В (теме зоне потребне прегледности на путу, тачка која се налази у висини позиције саобраћајног знака које означава место на коме возило мора да се заустави) и својим задњим делом пређе границу слободног профила железничке пруге с друге стране путног прелаз (замишљена линија I нормална на осу пута) (s);

V_z – највећа допуштена брзина на железничкој прузи у зони пружног прелаз (km/h).

Укупно време потребно да друмско возило највеће допуштене дужине пређе преко подручја пружног прелаз, односно величина „ t_{pdv} “, одређује се према формули:

$$t_{pdv} = t_a + t_v (s)$$

t_a – време потребно да друмско возило након покретања постигне $V_{dv} = 4$ km/h уз претпостављено равномерно убрзано кретање (s);

t_v – време војње друмског возила од постизања V_{dv} до преласка линије I задњим делом (s).

Време потребно да друмско возило након покретања постигне V_{dv} , одређује се према формули:

$$t_a = \frac{V_{dv}}{3,6 * a} (s)$$

$V_{dv} = 4 \text{ km/h}$ – брзина друмског возила на путном прелазу;

$a = 1 \text{ m/s}^2$ – убрзање друмског возила (од тренутка покретања из тачке В до тренутка постизања V_{dv}).

Време вожње друмског возила од постизања V_{dv} до преласка линије I задњим делом односно величина „ t_v ” одређује се према формули:

$$t_v = \frac{m + n + d - s}{V_{dv}} * 3,6 (s)$$

m – удаљеност саобраћајног знака који означава место на коме друмско возило мора да се заустави испред железничке пруге до осе железничке пруге мерена по оси пута (m);

n – удаљеност линије I од осе железничке пруге мерена по оси пута (m);

d – највећа дужина друмског возила, као максимална дозвољена дужина друмског возила узима се 25 (m);

s – пут који друмско возило пређе од покретања из тачке В до постизања V_{dv} (m);

V_{dv} – брзина друмског возила на месту пружног преласа, $V_{dv} = 4 \text{ km/h}$.

У крајњем случају (када се позиција саобраћајног знака који означава место на коме друмско возило мора да се заустави поклапа са границом опасног подручја) може се у формули користити уместо збира величина $m+n$ и дужина преласа (dp). Тада би „ t_v ” могло да се рачуна према формули:

$$t_v = \frac{d_p + d - s}{V_{dv}} * 3,6 (s)$$

Пут који друмско возило пређе од покретања из тачке В до постизања брзине V_{dv} рачуна се према формули:

$$s = \frac{a * t_a^2}{2} (m)$$

$a = 1 \text{ m/s}^2$ – убрзање друмског возила (од тренутка покретања из тачке В до тренутка постизања V_{dv}).

t_a – време потребно да друмско возило након покретања постигне $V_{dv} = 4 \text{ km/h}$ уз претпостављено равномерно убрзано кретање (s);

3. ПРИМЕНА АПЛИКАТИВНОГ СОФТВЕРА ЗА УТВРЂИВАЊЕ И ПРЕГЛЕД ЗОНЕ ПОТРЕБНЕ ПРЕГЛЕДНОСТИ

Израђен апликативни софтвер омогућава приказ и рад са подацима из геопросторне базе података о саобраћајној сигнализацији и опреми и пружним прелазима. Приликом рада у софтверу Корисник има могућност да врши одабир слојева који ће бити видљиви на мапи, генерише различите извештаје, филтрира податке, увози и извози елементе из базе података, врши одговарајућа мерења, итд. Прикупљање и ажурирање података на терену обавља се посебно креираном мобилном апликацијом.



Слика 6: Комуникација између WEB и мобилне апликације



Основа на коју се реферишу сви подаци из базе је референтни систем мреже државних путева Републике Србије утврђеној Уредбом о категоризацији државних путева ("Службени гласник РС", број 105/2013, 119/2013 и 93/2015 и Правилником о начину означавања и евиденцији јавних путева ("Службени гласник РС", број 84/15). На основу дефинисаног референтног система мреже државних путева креирани су геопросторни подаци који представљају саобраћајну деоницу и саобраћајни чвор. Ови подаци су основни елемент базе података за који се везују сви потребни геопросторни и алфанумерички подаци који описују пружни прелаз, везе и релације између података одређени су моделом података. Подаци се у бази ажурирају у складу са динамиком измена на нивоу територије Републике Србије и званичним објављивањем измена на веб сајту Јавног предузећа „Путеви Србије“⁶.

Слика 7: Приказ мреже државних путева

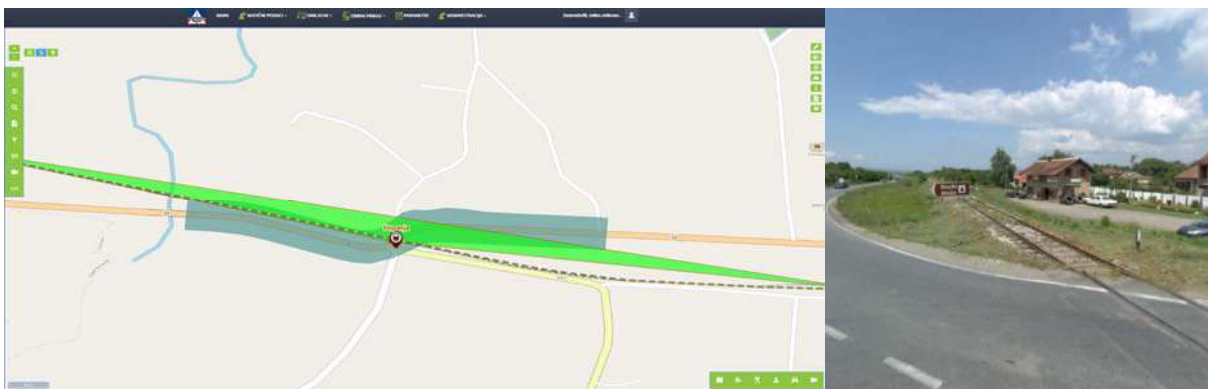
У оквиру апликације постоји група алатки које омогућавају брзу и лаку измену података о путевима, деоницама и чворовима. Како су подаци повезани адекватним релацијама све измене које настају на мрежи путева видљиве су и у осталим слојевима. Све измене које се односе на ажурирање референтног система мреже државних путева се архивирају и могу се пратити кроз време. На Сlici 8 је приказано како измена трасе државног пута утиче на промену надлежности – изменом трасе пружања државног пута IIА реда број 111 у Новом Саду је пружни прелаз у улици Руменачкој (слика лево) прешао у надлежност локалне самоуправе, док је пружни прелаз у улици Булевар Европе из надлежности локалне самоуправе прешао у надлежност управљача државних путева (на слици десно).



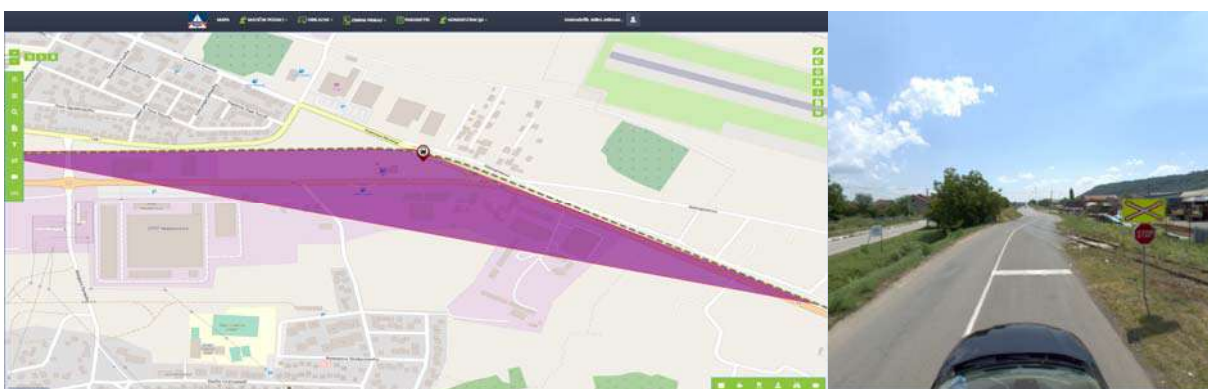
Слика 8. Промена надлежности управљања пружним прелазом изменом трасе државног пута

⁶ <https://www.putevi-srbije.rs/index.php/референтни-систем>

Једна од функционалности апликативног софтвера је и могућност уноса података о зони потребне прегледности на пружним прелазима. Израчунавање елемената зоне потребне прегледности врши се на основу претходно приказаних формула у зависности од конкретне ситуације на терену. У овом просторном алату могуће је уносом координата темена "троугла прегледности" дефинисати зону потребне прегледности. За утврђену зону потребне прегледности провера испуњености може се вршити одабиром сферне фотографије у темену "троугла" и прегледом ротирајући је за 360 степени. На овај начин могуће је уочити елементе које угрожавају прегледност (нпр. растине), као што је приказано на слици 10. Уколико на пружном прелазу није обезбеђена зона потребне прегледности корисник у "статус" уноси податак да није обезбеђена, што даље управљачу пута представља аларм да треба да отклони узроке који угрожавају прегледност а уколико то није могуће пружни прелаз обезбеди другим начином осигурања.



Слика 9. Приказ обезбеђене зоне потребне прегледности



Слика 10. Приказ необезбеђене зоне потребне прегледности

Провера испуњености се може вршити и на терену, коришћењем мобилне апликације. Могућност да се на екрану мобилног уређаја приказује зона потребне прегледности олакшава кориснику рад на терену. Корисник врши проверу прегледности постављајући се у темена "троугла прегледности" коју може видети на дисплеју андроид уређаја.

Апликативни софтвер омогућава приказ ажурираних података након верификације. На овај начин корисник може вршити преглед елемената зоне потребне прегледности за све пружне прелазе на државним путевима. Симболија овог атрибута дефинисана је на начин да су зеленом бојом приказане обезбеђене зоне потребне прегледности, док су црвеном бојом приказане локације на којима није обезбеђена зона потребне прегледности (Слике 9 и 10).

Преглед атрибута зоне потребне прегледности врши се одабиром локације на мапи након чега се појављује "прозор" у коме корисник може да бира групу атрибута коју жели да прегледа. На наредним сликама дат је приказ одабраних картица из групе (менија) „Основни подаци и Детаљи геометрије“.

Слика 11: Приказ атрибута зоне потребне прегледности - Основни подаци

Слика 12: Приказ атрибута зоне потребне прегледности - Детаљи геометрије

4. ЗАКЉУЧАК

Савремени приступ управљања системом безбедности саобраћаја не дозвољава могућност да се саобраћајне незгоде догађају случајно и захтева јасно детерминисан систем са јасно утврђеним одговорностима. Специфичност места на коме се укрштају токови друмског и железничког саобраћаја у нивоу огледа се у тежини последица саобраћајних незгода у већој мери него у учесталости појављивања ових догађаја. Управљање подацима на пружним прелазима препознато је као значајно и неопходно важним докуменатима који опредељују стратешки развој система управљања безбедношћу саобраћаја уопште. Управљач државних путева формирао је геопросторну базу података и развио WEB GiS апликативно решење пратећи развој нових технологија и најбољу светску праксу из ове области [10].

Развој WEB GiS-а омогућио је доступност мапа и њихово коришћење за различито манипулисање прикупљеним подацима. WEB GiS-а је једноставан је за употребу и доступан великом броју корисника, јер не захтева набавку засебних лиценци и омогућава приступ за више корисника са различитих локација, и са различитим нивоима ауторизација. Ова погодност посебно је битна у вођењу база података о елементима које треба приказати у простору и за које је неопходно вршити различите просторне анализе.

Употреба података о пружним прелазима из геопросторне базе налази примену у различитим врстама анализа безбедности саобраћаја на пружним прелазима. Омогућене су просторне анализе положаја пружних прелаза упоредо са просторном анализом саобраћајних незгода на пружним прелазима, израда саобраћајних студија и саобраћајних анализа и пројеката из домена безбедности саобраћаја на пружним прелазима, припрема пројектних задатака, независних оцене утицаја пута на настанак саобраћајне незгоде са погинулим лицима на пружним прелазима и активности које се односе на континуално праћење стање безбедности саобраћаја на прелазима пута преко пруге.

Методолошки приступ дефинисања зоне потребне прегледности примењен током формирања базе података о пружним прелазима издвојио је три случаја у зависности од конкретног начина регулисања саобраћаја на пружном прелазу. Прикупљањем података о начину осигурања на пружним прелазима установљено је да готово половина пружних прелаза на државним путевима у Републици Србији није обезбеђена физичким баријерама и/или светлосном сигнализацијом. На овим пружним прелазима мора бити обезбеђена зона потребне прегледности и успостављен организован систем мера за континуалну проверу истих.

Током израде базе података и израде Методологије евидентиране су неусаглашености различитих законских аката који регулишу наведену област. Неусаглашености би морале бити отклоњене уз обавезу боље комуникације свих релевантних институција.

Литература

- [1] Закон о путевима („Службени гласник РС”, бр. 41/2018 и бр. 95/2018)
- [2] Закон о безбедности у железничком саобраћају („Службени гласник РС”, бр. 41/2018)
- [3] Закон о безбедности саобраћаја на путевима („Службени гласник РС”, бр. 41/2009, 53/2010, 101/2011, 32/2013 - одлука УС, 55/2014, 96/2015 - др. закон, 9/2016 - одлука УС, 24/2018, 41/2018, 41/2018 - др. закон, 87/2018 и 23/2019, 128/2020)
- [4] Правилник о начину укрштања железничке пруге и пута, пешачке или бициклистичке стазе, месту на којем се може извести укрштање и мерама за осигурање безбедног саобраћаја („Службени гласник РС”, бр. 89/2016)
- [5] Правилник о саобраћајној сигнализацији („Службени гласник РС”, бр. 85/2017, 14/2021)
- [6] Правилник о начину означавања и евиденцији јавних путева („Службени гласник РС, бр. 41/18, 95/18, 65/2019)
- [7] Јавно предузеће "Путеви Србије", Планет Софт д.о.о., Методологија за формирање геопросторне базе података о саобраћајној сигнализацији и опреми, (2020)
- [8] Јавно предузеће "Путеви Србије", Планет Софт д.о.о., Методологија за формирање геопросторне базе података о пружним прелазима, (2020)
- [9] Verkehrssicherheit an Bahnübergängen Leitfaden zur Durchführung von Bahnübergangsschauen
- [10] Enhancing Level Crossing Safety 2019 – 2029 (2018)
- [11] Road Planning and Design Manual, Chapter 21 Railway and Cane Railway Level Crossings, 21-10 - 21-12 (2002)

EFEKTI KAMPANJE "3 SEKUNDE CEO ŽIVOT" NA INTERVAL SLEĐENJA VOZILA I BROJ I TEŽINU POSLEDICA SAOBRAĆAJNIH NEZGODA

Ljerka Ibrović¹

¹ Javno preduzeće „Putevi Srbije”, ljerka.ibrovic@putevi-srbije.rs

Marija Doto²

² Javno preduzeće „Putevi Srbije”, marija.dotto@putevi-srbije.rs

Miloš Milosavljević³

³ Javno preduzeće „Putevi Srbije”, milos.milosavljevic@putevi-srbije.rs

Rajko Branković⁴

⁴ Javno preduzeće „Putevi Srbije”, rajko.brankovic@putevi-srbije.rs

Ivana Subotić⁵

⁵ Javno preduzeće „Putevi Srbije”, ivana.subotic@putevi-srbije.rs

Nikolina Arbutina⁶

⁶ Javno preduzeće „Putevi Srbije”, nikolina.arbutina@putevi-srbije.rs

Dušica Arsenov Živanović⁷

⁷ Javno preduzeće „Putevi Srbije”, dusica.arsenov@gmail.com

Nevena Jugović⁸

⁸ Javno preduzeće „Putevi Srbije”, kabinet@putevi-srbije.rs

Rezime: Prepoznavši kao značajan udeo saobraćajnih nezgoda koje nastaju kao posledica nebezbednog intervala sleđenja vozila, JP „Putevi Srbije” je realizovalo kampanju „3 sekunde ceo život”. Osnovni cilj kampanje je smanjenje broja saobraćajnih nezgoda sa tipom sustizanja kroz edukaciju i podizanje svesti vozača o značaju bezbednog intervala sleđenja vozila od 3 sekunde. Kampanja je sprovedena kroz medijske objave, prikazivanjem poruke kampanje na portalima sa izmenljivom signalizacijom, kroz internet prezentacije i prikazivanje sadržaja na društvenim mrežama kao i u direktnom kontaktu sa vozačima deljenjem flajera. Uzimajući u obzir protok vozila, u radu su prikazani efekti sprovedene kampanje na interval sleđenja vozila kao i broj i posledice saobraćajnih nezgoda na državnim putevima IA reda (autoputevima) u Republici Srbiji.

Ključne reči: kampanja, protok vozila, interval sleđenja, saobraćajne nezgode sa tipom sustizanja

EFFECTS OF THE "3 SECONDS WHOLE LIFE" CAMPAIGN ON THE VEHICLE TIME GAP AND THE NUMBER AND WEIGHT OF THE CONSEQUENCES OF TRAFFIC ACCIDENTS

Abstract: Recognizing as a significant number of traffic accidents that occur as a result of unsafe vehicle time gap interval, PE "Roads of Serbia" accomplished the campaign "3 seconds whole life". The main goal of the campaign is to reduce the number of rear end collision through education and raising the awareness of drivers about the importance of a safe vehicle time gap interval of 3 seconds. The campaign was conducted through media announcements, displaying the campaign message on gantry with VMS, through internet presentations and displaying content on social networks, as well as in direct contact with drivers by handing out flyers. According to traffic flow, the paper presents the effects of the campaign on the vehicle time gap interval as well as the number and consequences of traffic accidents on I category state roads (highways) in the Republic of Serbia.

Keywords: campaign, traffic flow, tracking interval, rear end collision

¹ Аутор задужен за кореспонденцију: ljerka.ibrovic@putevi-srbije.rs

1. UVOD

Drumski saobraćaj je najzastupljeniji vid prevoza u Srbiji. Za razliku od drugih vidova kao što su železnički i vazdušni saobraćaj, gde je sistem bezbednosti uređen procedurama i merama zaštite uz pomoć kojih se ograničava uticaj ljudske greške na nastanak nezgoda, drumski saobraćaj se u sprečavanju nezgoda više oslanja na ponašanje učesnika u saobraćaju. Analiza uticaja faktora pokazuje izrazito dominantan uticaj faktora – čovek, preko 90%, gde ostali faktori: put, vozilo i okolina imaju manje uticaja na nastanak saobraćajnih nezgoda. S obzirom da su ljudi gotovo nenamerno skloni greškama i kršenju, ljudsko ponašanje je od posebnog interesa za većinu stručnjaka za bezbednost saobraćaja na putevima.

Zajedno sa drugim merama „ponašanja“ (npr. sprovođenje zakona, obrazovanje, obuka, i infrastruktura), kampanje za bezbednost na putevima se koriste kao sredstvo za uticanje na javnost da se ponaša bezbednije u saobraćaju. Kampanje za bezbednost na putevima se mogu definisati kao svrsishodni pokušaji da se informiše, ubedi i motiviše stanovništvo (ili podgrupa stanovništva) da promeni svoje stavove i/ili ponašanja kako bi poboljšala bezbednost na putevima, koristeći organizovanu komunikaciju koja uključuje specifične medijske kanale unutar datog vremenskog perioda [1]. Kampanje mogu imati višestruke svrhe, kao što je informisanje javnosti o novim ili malo poznatim saobraćajnim pravilima, povećanje svesti o problemu ili ubeđivanje ljudi da se uzdrže od opasnih ponašanja i usvoje bezbedno.

Sa ciljem podizanja svesti o značaju držanja odstojanja JP „Putevi Srbije“ od marta 2020. godine sprovodi edukativnu kampanju „3 sekunde ceo život“. Kampanja je sprovedena uz saglasnost resornog ministarstva i uz podršku relevantnih institucija i medija. U radu je prikazana evaluacija sprovedene kampanje da posluži i kao inspiracija za buduće kampanje za bezbednost na putevima.

2. NAČIN SPROVOĐENJA KAMPANJE

Značajan udeo saobraćajnih nezgoda sa tipom sustizanja opredelio je kao prvu temu u nizu kampanja koje upravljač državnih puteva namerava da sprovodi značaj držanja bezbednog odstojanja, odnosno intervala sleđenja vozila. Kampanja je počela u martu 2020. godine kroz medijske objave video i audio spota sa edukativnim delom, prikazivanjem poruke kampanje na portalima na autoputevima, deljenjem reklamnog materijala – flajera korisnicima puta, internet prezentacijom i postavljanjem informacija na društvenim mrežama i promocijama na medijima i na stanicama za snabdevanje gorivom na prodajnim mestima ovlašćenih distributera za elektronsku naplatu putarine.



Slika 1. Izgled lica i poleđine flajera

3. EFEKTI SPROVEDENE KAMPANJE

Za ocenu postignutih efekata Kampanje, kao i da bi se izvukle pouke iz sprovedene Kampanje za naredne kampanje u oblasti bezbednosti saobraćaja, izvršeno je merenje efekata sprovedene Kampanje na osnovu podataka sa automatskih brojača saobraćaja i analizom saobraćajnih nezgoda sa tipom sustizanja koje su se dogodile na autoputevima. Položaj automatskih brojača saobraćaja i portala u zoni oko Beograda prikazan je na Slici 2.

Kontrolni brojač saobraćaja - Kolari se nalazi na rastojanju oko 8 km posle portala u smeru prema Beogradu. Na ovaj način ostvareno je da vozači koji prolaze portal dobijaju informaciju o potrebi držanja odstojanja od vozila ispred (interval sleđenja) zatim nailaze na brojač saobraćaja nakon portala gde se, između ostalih parametara, meri i interval sleđenja vozila. Vožnjom u granicama dozvoljenih brzina vozači prelaze ovo rastojanje za manje od 4 minuta (3,7min).



Slika 2. Položaj portala i automatskih brojača saobraćaja

U nastavku su detaljno analizirani podaci o protoku saobraćaja, intervalima sleđenja vozila i saobraćajnim nezgodama sa tipom sustizanja na autoputevima u periodima pre i nakon sprovedene kampanje.

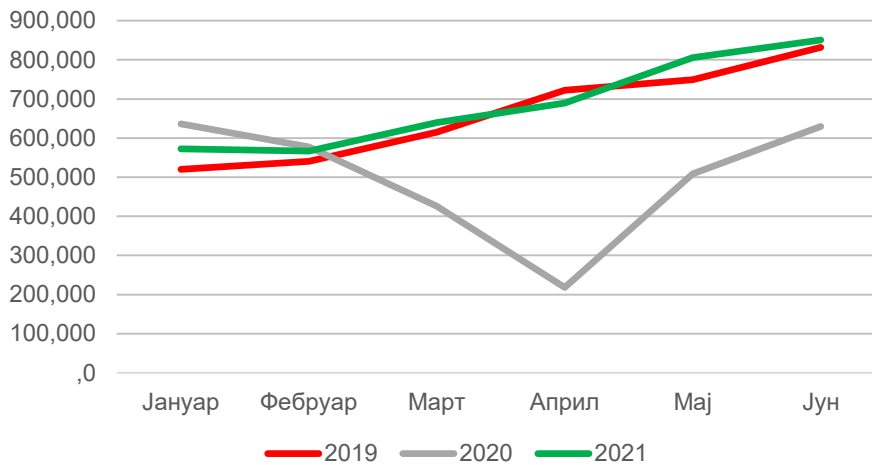
3.1. Analiza protoka vozila

Na državnim putevima u Republici Srbiji proteklih godina zabeležen je trend rasta protoka saobraćaja. Imajući u vidu zastupljenost tranzitnih kretanja, ovaj porast je izraženiji na putevima I reda, a naročito na autoputevima. Promene nastale usled pandemije izazvane Covid-19 virusom u velikoj meri su se odrazile na protok saobraćaja, a posledično i na ostale parametre koje karakterišu saobraćajni tok. U nastavku je prikazan uporedan prikaz protoka vozila za period prvih šest meseci u godini (januar – jun) za 2019, 2020 i 2021. godinu, na reprezentativnoj lokaciji na državnom putu IA reda.

Uporedna analiza protoka vozila pokazuje izraženo smanjenje protoka vozila u 2020. godini na državnim putevima IA reda za 24,7%, dok su u prvih šest meseci 2021. godine vrednosti protoka veće u odnosu na 2019. godinu, za 3,7%.

Zbog naglog smanjenja protoka saobraćaja tokom marta i aprila 2020. godine nije moguće rezultate analize smatrati merodavnim. Imajući u vidu da su vrednosti protoka saobraćaja u 2021. godini dostigle i premašile

vrednosti iz 2019. godine u daljim analizama uzet je period iz 2021. godine kao merodavan za poređenje rezultata efekata kampanje.

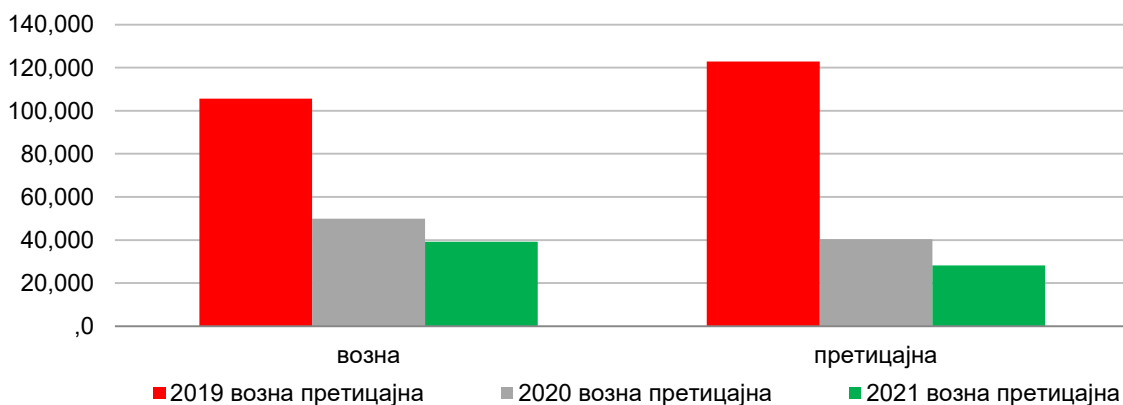


Dijagram 1. Protok saobraćaja na državnim putevima IA reda, za prvih šest meseci, po godinama

3.2. Interval sleđenja pre i posle sprovedene kampanje

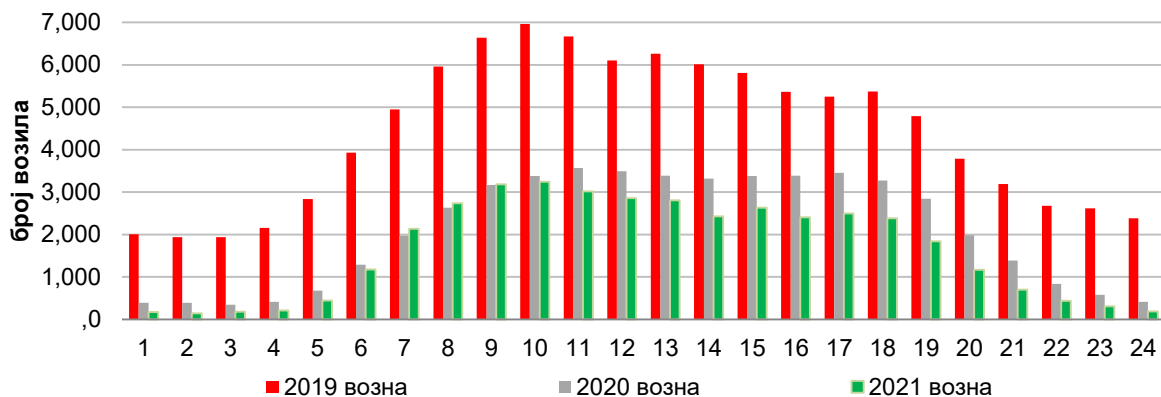
Za potrebe analize efekata sprovedene kampanje korišćeni su podaci o intervalima sleđenja sa automatskih brojača saobraćaja. Analiza intervala sleđenja vozila izvršena je u jednomesečnim periodima u septembru 2019. godine (šest meseci pre kampanje), u septembru 2020. godine (6 meseci nakon početka kampanje) i u martu 2021. godine (12 meseci nakon početka sprovođenja kampanje). Mesec septembar je izabran kao karakterističan mesec u godini kada se vrše analize saobraćajnih tokova i zato što je bilo moguće da se podaci predstavljaju za isti period pre i posle sprovođenja kampanje.

Analiza pokazuje da se broj vozila sa intervalom sleđenja manjim od 3 sekunde smanjio posle sprovođenja kampanje i u martu 2020. i u martu 2021. godine. Smanjenje broja vozila je drastičnije u preticajnoj traci, kao što se vidi na **Error! Reference source not found.2**.

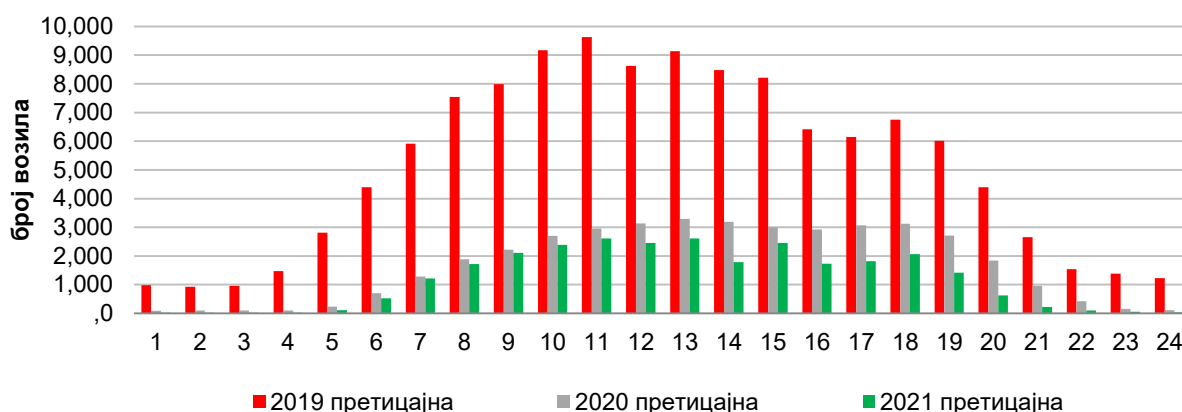


Dijagram 2. Raspodela broja vozila sa intervalom sleđenja manjim od 3 s

Posmatrano u toku dana, najviše vozila sa intervalom sleđenja manjim od 3 sekunde u posmatranim periodima registrovano je u vremenu od 8 časova do 18 časova. Ovo predstavlja i radni deo dana kada se obavlja najviše radnih kretanja. U posmatranim periodima registrovana je tendencija smanjenja broja vozila sa intervalom sleđenja manjim od 3 sekunde u 2020. i 2021. godini u odnosu na 2019. godinu, kao početnu godinu. Ako se posmatraju podaci u preticajnoj traci, ova razlika je još veća (Dijagrami 3 i 4).

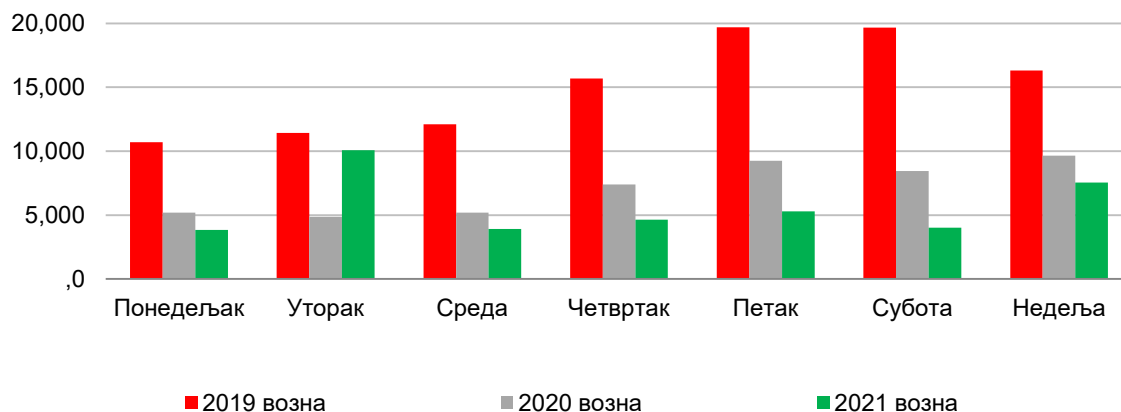


Dijagram 3. Broj vozila sa intervalom sleđenja manjim od 3 s po satima u voznoj traci

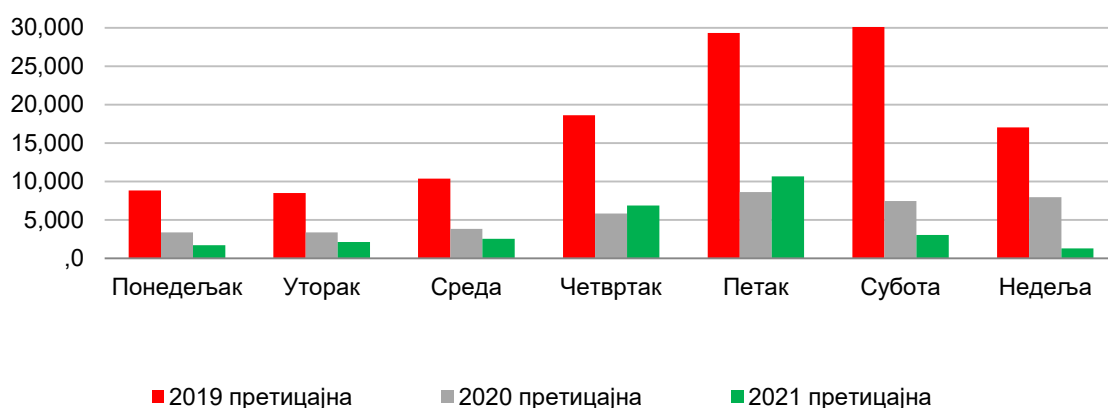


Dijagram 4. Broj vozila sa intervalom sleđenja manjim od 3 s po satima u preticajnoj traci

Ako se posmatraju dani u toku nedelje, primećeno je smanjenje udela vozila koja slede vozilo ispred sa manje od 3 sekunde (**Error! Reference source not found.5** i **Error! Reference source not found.6**). Međutim, utorkom u voznoj traci, kao i četvrtkom i petkom u preticajnoj traci beleži se porast broja vozila koja voze na rastojanju manjem od 3 sekunde u odnosu na 2020. godinu. Iako su vrednosti za ove dane po apsolutnim vrednostima niže od početnih iz 2019. godine, potrebno je dodatno analizirati dešavanja tokom ovih dana. Svim ostalim danima tokom 2020. i 2021. godine zabeležen je trend smanjenja broja vozila sa intervalom manjim od 3 sekunde. Posebno značajno je smanjenje broja vozila sa intervalom manjim od 3 sekunde tokom vikend perioda (subota i nedelja) kako u voznoj, tako i u preticajnoj traci.



Dijagram 5. Vozila sa intervalom sleđenja manjim od 3 s po danima u nedelji u voznoj traci



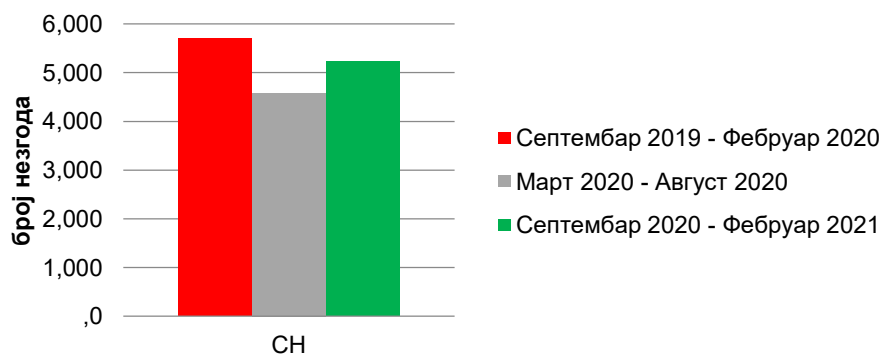
Dijagram 6. Vozila sa intervalom sleđenja manjim od 3 s po danima u nedelji u preticajnoj traci

3.3. Saobraćajne nezgode pre i posle sprovedene kampanje

U cilju ispitivanja uticaja sprovedene kampanje na broj saobraćajnih nezgoda izvršena je uporedna analiza saobraćajnih nezgoda u tri šestomesečna perioda, pre sprovođenja kampanje (septembar 2019. – februar 2020. godine), neposredno nakon (mart 2020. – avgust 2020. godine) i šest meseci nakon početka kampanje (septembar 2020. – februar 2021. godine). Izvršeno je poređenje broja i posledica nezgoda na svim državnim putevima u Republici Srbiji i onih koje su dogodile na autoputevima. Posebno su analizirane saobraćajne nezgode sa tipom sustizanja vozila (karakterističan za nepravilno držanje odstojanja vozila ispred pa predstavlja značajan pokazatelj o efektima sprovedene kampanje).

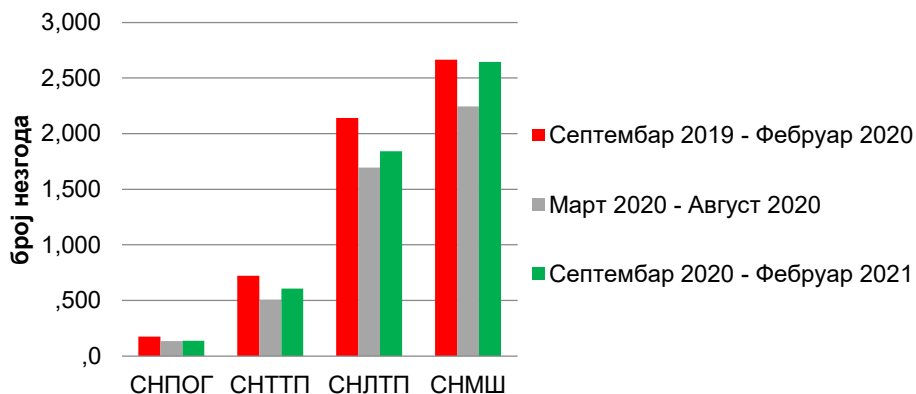
Tabela 1. Saobraćajne nezgode na državnim putevima u posmatranim šestomesečnim periodima

Ukupno		SN	SNPOG	SNTTP	SNLTP	SNMŠ
Državni putevi	Sep 2019 – Feb 2020	5702	174	723	2141	2664
Državni putevi	Mar 2020 – Avg 2020	4582	135	506	1696	2245
Državni putevi	Sep 2020 – Feb 2021	5231	136	607	1843	2645
SN Tip sustizanje		SN	SNPOG	SNTTP	SNLTP	SNMŠ
Državni putevi	Sep 2019 – Feb 2020	1039	21	72	489	457
Državni putevi	Mar 2020 – Avg 2020	780	12	45	345	378
Državni putevi	Sep 2020 – Feb 2021	884	14	63	398	409



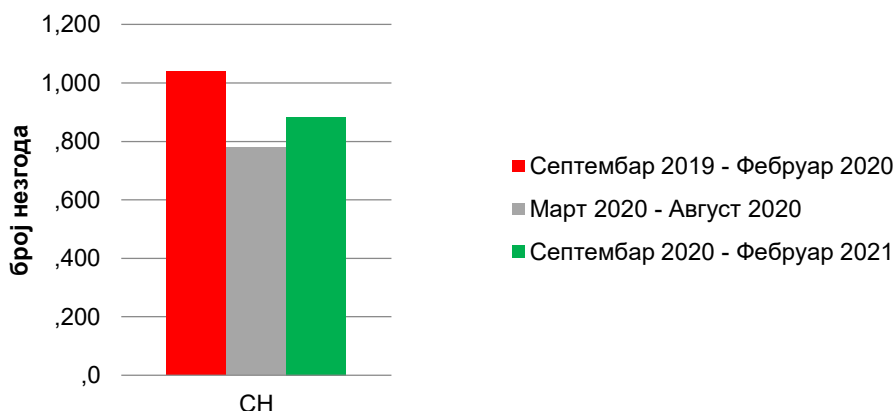
Dijagram 7. Saobraćajne nezgode na državnim putevima u posmatranim šestomesečnim periodima

Ukupan broj saobraćajnih nezgoda na državnim putevima u Republici Srbiji u periodu neposredno nakon početka kampanje u odnosu na period pre je u padu za 19,6%. U periodu šest meseci nakon početka kampanje u odnosu na period pre kampanje ukupan broj saobraćajnih nezgoda na državnim putevima je u padu za 8,3%. Procenat smanjenja saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima prati procenat smanjenja ukupnog broja nezgoda, posmatrano za period šest meseci pre pokretanja i neposredno nakon pokretanja kampanje (22,4%). Pad je još izražajniiji u periodu šest meseci nakon pokretanja kampanje, s obzirom da je pad u ukupnom broju nezgoda 8,3% a nezgoda sa poginulim licima 21,8%. Smanjen je i broj saobraćajnih nezgoda sa teškim telesnim povredama, sa lakim telesnim povredama i sa materijalnom štetom (Dijagrami 7 i 8).



Dijagram 8. Saobraćajne nezgode na državnim putevima po vrsti posledica u posmatranim šestomesečnim periodima

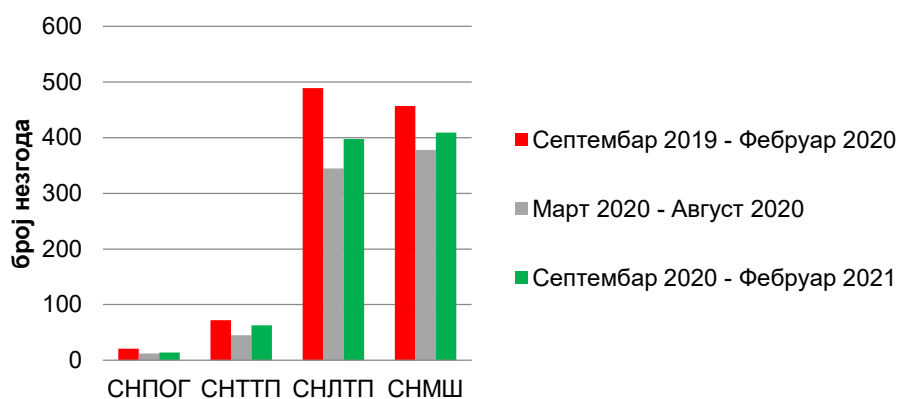
Broj saobraćajnih nezgoda sa tipom sustizanja za prvi i drugi šestomesečni period je u padu za 24,9%, a za prvi i treći je u padu za 14,9% (Dijagram 9).



Dijagram 9. Saobraćajne nezgode sa tipom sustizanja na državnim putevima u posmatranim šestomesečnim periodima

Procenat smanjenja je još očitiji kad su u pitanju saobraćajne nezgode sa poginulim licima sa tipom sustizanja, za period šest meseci pre pokretanja i neposredno nakon pokretanja kampanje (42,8%). Poređenjem perioda šest meseci pre pokretanja i šest meseci nakon pokretanja kampanje pad je još očitiji, s obzirom da je pad u ukupnom broju nezgoda 8,3% a pad nezgoda sa tipom sustizanja sa poginulim licima 33,3%. Smanjen je i broj saobraćajnih nezgoda sa teškim telesnim povredama, sa lakim telesnim povredama i sa materijalnom štetom (Dijagram 10).

Efekti kampanje "3 sekunde ceo život" na interval sleđenja vozila i broj i težinu saobraćajnih nezgoda

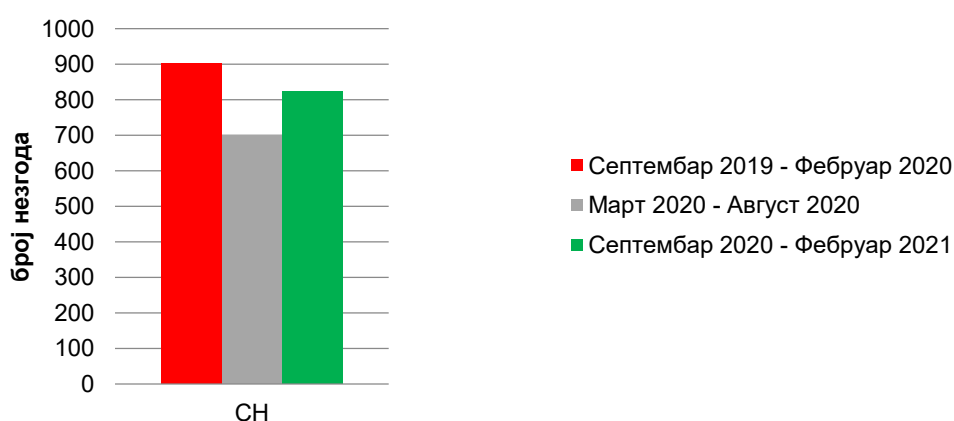


Dijagram 10. Saobraćajne nezgode sa tipom sustizanja po vrsti posledica na državnim putevima

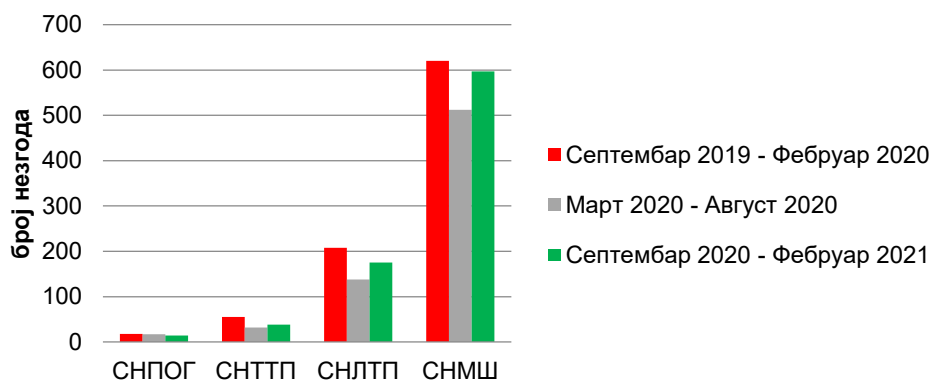
Ukupan broj saobraćajnih nezgoda na autoputevima u Republici Srbiji za period septembar 2019 – februar 2020 / mart 2020 – avgust 2020 je u padu za 22,4%. U periodu septembar 2020 – februar 2021 u odnosu na septembar 2019 – februar 2020. ukupan broj saobraćajnih nezgoda na autoputevima je u padu za 8,5%. Trend pada ukupnog broja saobraćajnih nezgoda na autoputevima prati trend ukupnog broja saobraćajnih nezgoda na državnim putevima, s tim da je smanjenje broja nezgoda na autoputevima veće u odnosu na sve državne puteve (Dijagram 11).

Tabela 2. Saobraćajne nezgode na autoputevima u posmatranim šestomesečnim periodima

Ukupno		SN	SNPOG	SNTTP	SNLTP	SNMŠ
autoputevi	Sep 2019 – Feb 2020	901	18	55	208	620
autoputevi	Mar 2020 – Avg 2020	699	17	32	138	512
autoputevi	Sep 2020 – Feb 2021	824	14	38	175	597
SN Tip sustizanje		SN	SNPOG	SNTTP	SNLTP	SNMŠ
autoputevi	Sep 2019 – Feb 2020	484	8	29	210	237
autoputevi	Mar 2020 – Avg 2020	184	3	5	65	111
autoputevi	Sep 2020 – Feb 2021	233	3	11	96	123

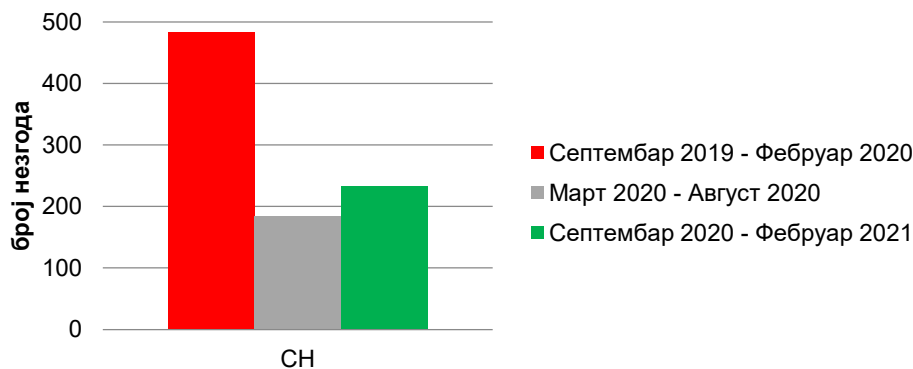


Dijagram 11. Saobraćajne nezgode na autoputevima u posmatranim šestomesečnim periodima

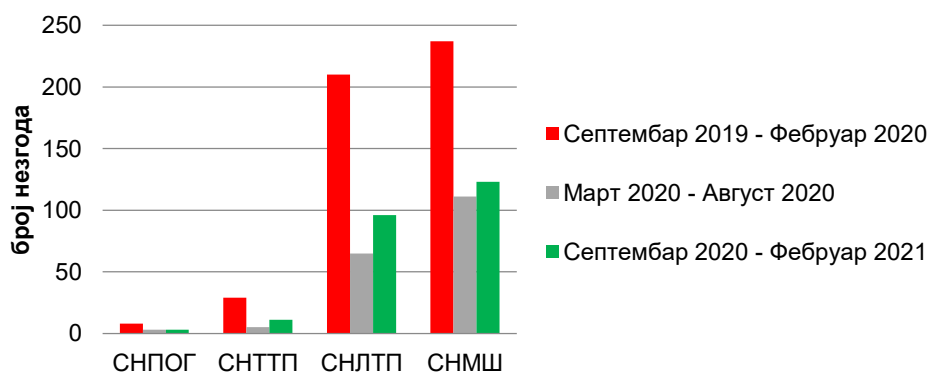


Dijagram 12. Saobraćajne nezgode po vrsti posledice na autoputevima

Smanjen je broj saobraćajnih nezgoda po svim vrstama posledice na autoputevima, najveće smanjenje je broja saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima u prvom i trećem šestomesečnom periodu 22,2% (Dijagram 12), kod nezgoda sa tipom sustizanja u prvom i drugom šestomesečnom periodu za 61,9%. Takođe, značajan je pad broja saobraćajnih nezgoda sa teškim telesnim povredama i on iznosi 41,8% za prvi i drugi, odnosno 30,9% za prvi i treći šestomesečni period (Dijagrami 13 i 14).



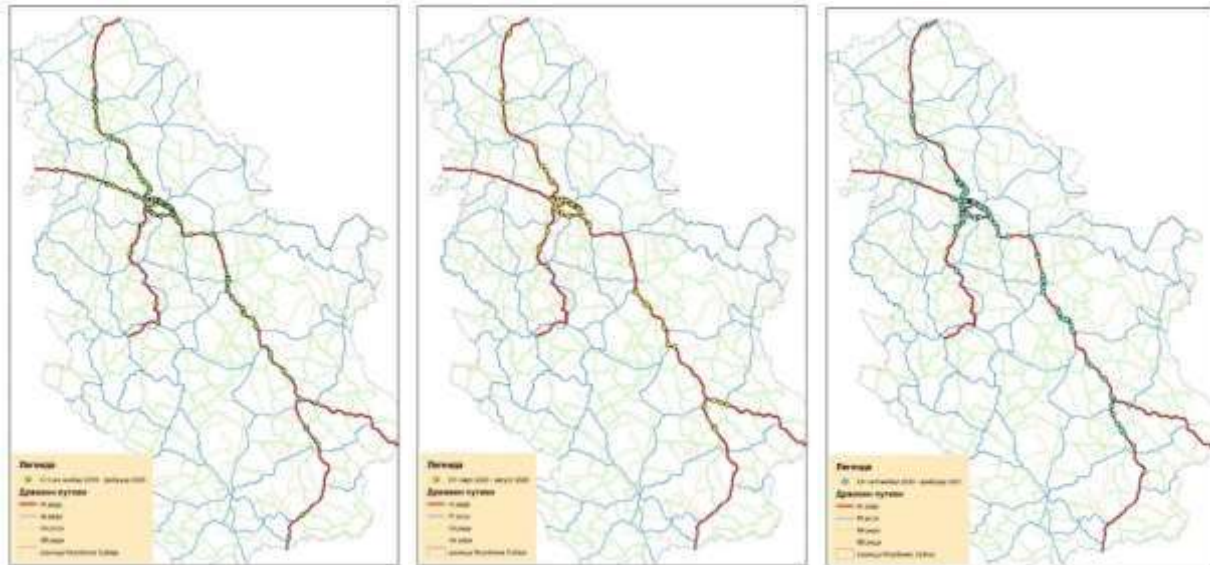
Dijagram 13. Saobraćajne nezgode sa tipom sustizanja na autoputevima



Dijagram 14. Saobraćajne nezgode sa tipom sustizanja po vrsti posledica na autoputevima

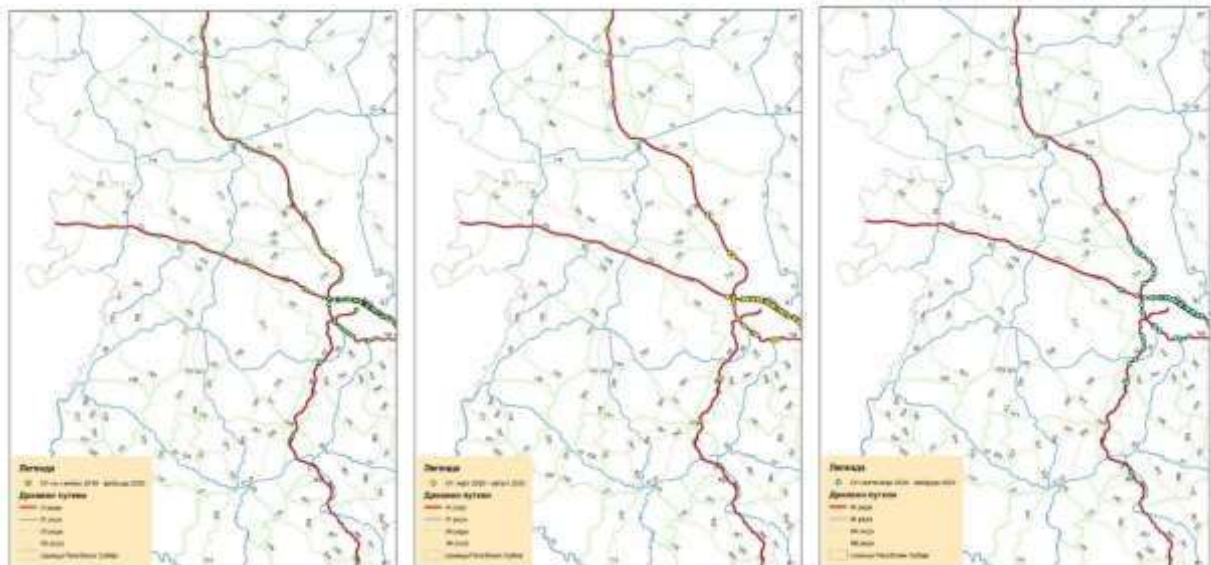
Ako se posmatra broj saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima na autoputu, u šestomesečnom periodu pre pokretanja kampanje iznosi 8, dok je u šestomesečnom periodu nakon pokretanja kampanje, kao i u okviru šestomesečnog perioda koji je počeo šest meseci nakon pokretanja zabeleženo po 3 saobraćajne nezgode. Rezultati analize ukazuju i na smanjenje broja saobraćajnih nezgoda sa teškim telesnim povredama, lakim telesnim povredama i materijalnom štetom.

Rezultati analize vremenske raspodele saobraćajnih nezgoda ukazuju na trend smanjenja broja saobraćajnih nezgoda u periodu od šest meseci neposredno nakon pokretanja kampanje i u periodu narednih šest meseci. Trend smanjenja najviše je izražen kod saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima i teškim telesnim povredama. Smanjenje broja saobraćajnih nezgoda veće je na autoputevima. Poređenje procenta smanjenja broja saobraćajnih nezgoda sa tipom sustizanja ukazuje na veće procenete smanjenja broja saobraćajnih nezgoda sa tipom sustizanja u odnosu na sve saobraćajne nezgode.



Slika 3. Saobraćajne nezgode sa sustizanjem na autoputu u tri posmatrana šestomesečna perioda

Na Slici 3 je prikazana prostorna raspodela saobraćajnih nezgoda sa tipom sustizanja na autoputevima u tri posmatrana šestomesečna perioda. Rezultati analize prostorne raspodele saobraćajnih nezgoda ukazuju na nagomilavanje saobraćajnih nezgoda na delu autoputa sa najvećim protokom saobraćaja - u blizini Beograda, koji predstavlja saobraćajno težište regionalnog značaja.



Slika 4. Saobraćajne nezgode sa tipom sustizanja na IA3 u tri šestomesečna perioda

Poređenjem broja saobraćajnih nezgoda sa tipom sustizanja u posmatranim šestomesečnim periodima zapaža se pad broja nezgoda u periodima nakon pokretanja kampanje. Prostorna raspodela ukazuje na odsustvo saobraćajnih nezgoda sa tipom sustizanja na delu autoputa od Batrovaca do Beograda, na delu puta na kojima se na portalima prikazivala poruka kampanje (Slika 4).

3. ZAKLJUČAK

Analiza efekata Kampanje za podizanje svesti vozača – interval sleđenja vozila „3 sekunde – ceo život“ pokazuje pozitivne rezultate. Značajan uticaj pandemije Covid-19 virusa na obim i strukturu tokova, posebno na mreži autoputeva tokom 2020. godine uslovio je da se u analizi poređenja vrše u odnosu na 2021. godinu kada je obim saobraćaja čak i premašio vrednosti iz 2019. godine za oko 4%.

Merenje intervala sleđenja i u preticajnoj i voznoj traci ukazuje na značajna smanjenja broja vozila sa intervalom sleđenja manjim od 3 sekunde u periodu nakon sprovedene kampanje. Značajnija su smanjenja u danima vikenda i u toku radnog perioda dana, što ukazuje na bolje efekte u periodima većeg obima saobraćaja.

Zabeležen je pad u ukupnom broju svih saobraćajnih nezgoda od 8% na svim državnim putevima u periodu šest meseci nakon pokretanja kampanje, dok je ovaj pad na autoputevima 8,5%. Saobraćajne nezgode sa tipom sustizanja su u padu u odnosu na početni period za oko 25% u periodu neposredno nakon pokretanja kampanje i za 15% u periodu šest meseci nakon pokretanja kampanje, dok je na autoputevima zabeležen pad broja saobraćajnih nezgoda sa tipom sustizanja za oko 62% u periodu neposredno nakon pokretanja kampanje i za oko 52% nakon šest meseci nakon pokretanja kampanje. Evidentno je da je broj saobraćajnih nezgoda sa tipom sustizanja na autoputevima značajno smanjen i da je premašio procentualno smanjenje na svim državnim putevima u Republici Srbiji, čak i u slučaju kada je obim saobraćajnih tokova u 2021. godini povećan u odnosu na 2019. godinu.

Analize prostornih raspodela saobraćajnih nezgoda ukazuju na značajne efekte kampanje – u šestomesečnim periodima posmatranja nakon pokretanja kampanje uočeno je odsustvo saobraćajnih nezgoda sa tipom sustizanja na delu autoputa od Batrovaca do Beograda, a to je deo puta na kome je veća učestalost portala na kojima se prikazivala poruka kampanje.

Kampanje u oblasti bezbednosti saobraćaja moraju da budu multi-institucionalno prepoznate. Neophodno je uključivanje svih subjekata, nadležnih ministarstva, udruženja građana, dok bi zastupljenost na medijima sa nacionalnom frekvencijom omogućilo većem broju korisnika da dobiju informacije o neophodnosti držanja pravilnog odstojanja. Povećanju efikasnosti doprinelo bi i prikazivanje poruke kampanje u periodu kada se očekuje smanjenje vidljivosti (usled magle i vremenskih nepogoda), kao i u zonama izvođenja radova na putevima. Takođe, kontrola i sankcionisanje prekršaja bila bi adekvatna i neizostavna podrška kampanji.

Literatura

- [1] P. Delhomme, W. De Dobbeleer, S. Forward, A. Simões (Eds.), *Manual for Designing, Implementing, and Evaluating Road Safety Communication Campaigns*, Directorate-General for Energy and Transport, European Commission, Brussels (2009)
- [2] European Commission (EC). CARE Database, *CADaS Common Accident Data Set – Reference Guide*, (2013)
- [3] Javno preduzeće "Putevi Srbije", Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Nova metodologija brojanja saobraćaja na državnim putevima u Republici Srbiji, (2012)
- [4] Javno preduzeće "Putevi Srbije". *Brojanje saobraćaja na državnim putevima Republike Srbije*. (online) available at:
<https://www.putevi-srbije.rs/index.php/sr/brojanje-saobra%C4%87aja>
(16.03.2022.)

УТИЦАЈ КОНТРОЛЕ ПРИСТУПА НА ПАРАМЕТРЕ САОБРАЋАЈНОГ ТОКА

Анђела Јоксимовић, дипл.инж.саобраћаја¹,

Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду, andjela.joksimovic98@gmail.com

Доц. др Маријо Видас, дипл.инж.саобраћаја

Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду, m.vidas@sf.bg.ac.rs

Резиме: Контрола приступа има веома значајну улогу у ефикасном и безбедном управљању саобраћајним токовима на ванградској путној мрежи и на уличној мрежи саобраћајница. Контрола приступа различито утиче на саобраћајне услове на ванградској и градској мрежи, како због самих измеритеља капацитета и нивоа услуге, тако и због другачијих особености саобраћајног процеса. Како би се достигла захтевана ефикасност у саобраћајном току, потребна је већа контрола приступа, јер повећан број приступа утиче на смањење капацитета пута. Утицаји контроле приступа на услове у саобраћајном току могу се квантификовати кроз промене основних параметара саобраћајног тока. Циљ овог рада јесте да се на реалном примеру деонице државног пута у Републици Србији прикаже како број приступа утиче на услове у саобраћајном току. Предмет овог истраживања јесте деоница државног пута IIA реда број 154 од Лештана од Бубањ Потока. Извршена је класификација приступа према њиховој намени земљишта, на комерцијалне и приватне приступе, због разлике у очекиваним саобраћајним захтевима. Основни фокус овог истраживања јесте да се утврди промена брзине кретања возила као последица маневра на приступима.

Кључне речи: приступ, брзина, ниво услуге, контрола приступа.

INFLUENCE OF ACCESS CONTROLE ON TRAFFIC FLOW PARAMETRES

Andela Joksimović, dipl.inž.saobraćaja,

The Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, andjela.joksimovic98@gmail.com

Doc. dr Marijo Vidas, dipl.inž.saobraćaja

The Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, m.vidas@sf.bg.ac.rs

Abstract: Access control has a very important role in the safe and efficient management of traffic flows both on the interurban road network and on the city street network. Access control differently affects the traffic conditions on the interurban and city network, both because of the meters of capacity and level of service, and because of different features of the traffic process. In order to achieve the required efficiency in traffic flow, greater access control is needed, as an increased number of accesses affects the reduction of road capacity. The influences of access control on traffic flow conditions can be quantified through changes in the basic parameters of traffic flow. The aim of this paper is to show on a real example the section of the state road in the Republic of Serbia how the number of accesses affects the conditions in the traffic flow. The subject of this research is the section of the state road IIA row number 154 from Leštane to Bubanj Potok. The classification of approaches according to their land use has been performed, into commercial and private approaches, due to the difference in expected traffic requirements. The main focus of this research is to determine the change in vehicle speed as a consequence of maneuvers on approaches.

Keywords: access, speed, level of service, access control.

1. УВОД

Појавом првих путева уследила је и појава првих приступа на њима. Са развојем путне мреже поред повећања мобилности становника, повећава се и доступност до парцела у околини самих путева. Свака саобраћајна деоница има двоструки, а истовремено и контрадикторни задатак: да обезбедни ефикасно саобраћајно повезивање и да омогући приступачност до локације у непосредном окружењу пута, због чега је потребно рационално уравнотежење истих (Тубић и Видас, 2014).

Појам приступа се дефинише као могућност уласка на или изласка са државног пута на суседни приватни коловоз или други државни пут (Мазе и др., 2000). Управљање приступима се може дефинисати као контрола прилазних путева и раскрсница са циљем одржавања безбедности саобраћаја на путу при условима блиским капацитету посматраног пута (Мазе и др., 2000).

¹ Аутор задужен за кореспонденцију: andjela.joksimovic98@gmail.com

Према америчким приручницима контрола приступа се објашњава као ограничење и регулисање јавни и приватних приступа на државне, односно јавне путеве, у складу са државним прописима или законима.

Контрола приступа има веома значајну улогу у безбедном и ефикасном управљању саобраћајним процесом како на ванградској путној мрежи, тако и на уличној мрежи саобраћајница.

Како би се достигла захтевана ефикасност и безбедност у саобраћајном току, потребна је већа контрола приступа, јер повећан број приступа негативно утиче, како на безбедност учесника у саобраћају, тако и на смањење капацитета пута.

Значајем и утицајем приступа на деонице двотрачних путева бави се најчешће коришћен Приручник за утврђивање капацитета и нивоа услуге HCM 2010 (Highway Capacity Manual 2010). Према HCM-у број приступа је у директној вези са класификацијом двотрачних путева, као и параметрима за одређивање нивоа услуге. Класификација ванградских путева извршена је у три класе, при чему све класе путева имају различите показатеље нивоа услуге. Путеви Класе III подразумевају двотрачне путеве у близини насељених места, док је показатељ нивоа услуге слободна брзина чија вредност директно зависи од броја приступа по јединици дужине.

Циљ овог рада јесте да се на реалном примеру деонице државног пута у Републици Србији прикаже како број приступа утиче на услове у саобраћајном току. Брзина представља један од најважнијих параметара саобраћајног тока са аспекта ефикасности и безбедности, с тим у вези основни фокус овог истраживања јесте да се утврди промена брзине кретања возила као последица маневра на приступима. Истраживање је спроведено помоћу апликације базиране на GPS-у, која мери тренутне брзине возила у интервалу од једне секунде.

2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

Амерички приручник за прорачун капацитета путева (HCM) у издању из 2000-те године је први укључио утицај приступа у процедурама за анализу капацитета и нивоа услуге двотрачних путева. У HCM-у је представљен утицај приступних тачака на брзину у слободном саобраћајном току на двотрачним путевима. Подаци о утицају приступних тачака указују на то да сваки приступ смањује брзину за 0,417 km/h.

Истраживањем у Србији, које је спроведено на деоници Липовачка шума (Велика Моштаница) – Мељак (Барајево), утврђено је да укупан број приступа на посматраној деоници износи 111. Употреба GPS уређаја за снимање промене брзине на посматраној деоници, имала је задатак генерисања података о просторној промени брзине саобраћајног тока као последице одређеног маневра на приступу. На основу добијених података у току једне вожње један маневар десног изливања на приватни приступ је имао за последицу смањење брзине саобраћајног тока на главном правцу са 62 km/h на 36 km/h. У току једне вожње где су забележена два маневра десног изливања на приватни приступ, у случају првог маневра забележен је пад брзине са 70 km/h на 41 km/h, док је у другом случају забележен пад брзине на 32 km/h. Извршена је класификација приступа на приватне и комерцијалне, при чему је утврђено да је у једном смеру у 72,78% случајева детектован маневар који је био на комерцијалном приступу, док је у супротном смеру у 61,11% случајева такође детектован маневар који је био на комерцијалном приступу (Видас, 2017).

Спроведеном анализом на 18 ванградских деоница на територији Босне и Херцеговине, доказано је да просечан број приступних тачака на датим деоницама износи 21,51. Применом методологије из HCM-а и утицајем броја приступа на слободну брзину, овај број приступних тачака смањује слободну брзину за 8,97 km/h на посматраним деоницама (Суботић и Радовић, 2020).

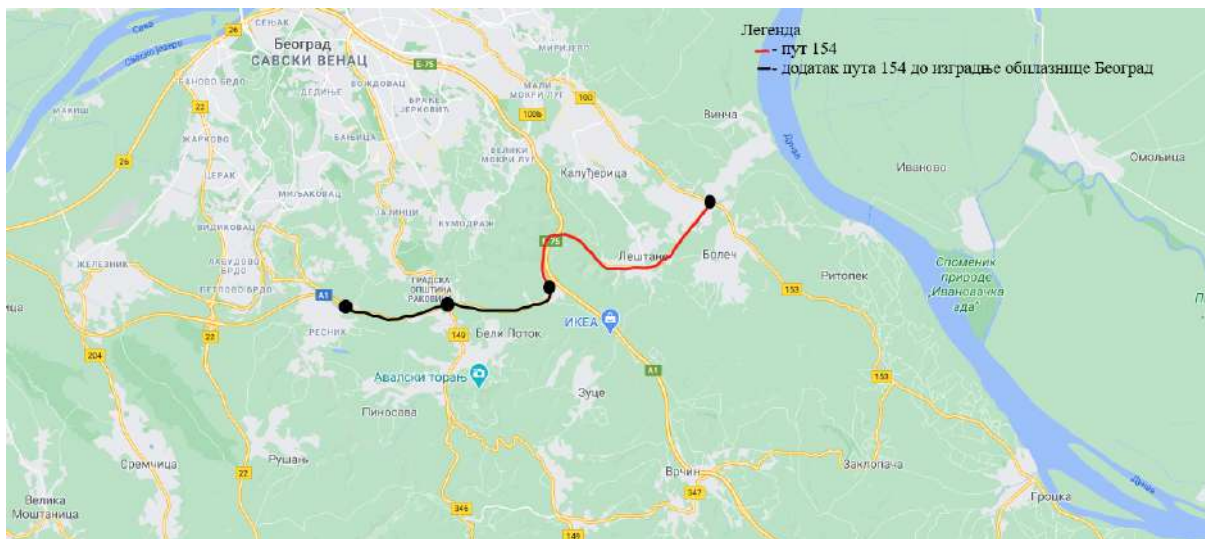
Према истраживању (Rose и др., 2000) утврђено је да контрола приступа има утицаја на време путовања возила, односно продужење времена путовања је у директној вези са повећањем броја приступа. Процентуално продужење времена путовања возила на главном правцу у зависности од броја возила која се у десном скретању укључују на пут креће се од 2,4% за минимални број возила, односно 30 и мање возила, па до 21,8% за преко 90 уливања на сат. Релативно повећање времена путовања у зависности од растојања приступа без саобраћајне сигнализације, процентуално се креће у распону од 27,3% за растојање од 30 m, па до 6,2% за прикључке на растојању од 150 m. Дакле, што је веће растојање између приступа, мање је релативно повећање времена путовања (Rose и др., 2000). Сваки нови приступ смањује капацитет путне деонице. Након реализације приступа у физичком смислу, може се уочити утицај возила која се уливају/изливају са приступа на брзину саобраћајног тока на главном правцу. Студије и истраживања су показали да је просечна експлоатациона брзина возила у вршним периодима знатно већа на путевима са добром контролом приступа, него на путевима без контроле приступа, иако су им захтеви на приближном нивоу. У САД-у, у држави Ајова, спроведена су истраживања са два сценарија: пре и после увођења контроле приступа. Према истраживању, утврђено је да се увођењем контроле приступа ниво услуге деонице у вршном периоду повећа за један ниво

услуге у случајевима када је ниво услуге био С или D. У случајевима када је ниво услуге деонице пре увођења контроле приступа био на високом нивоу (B), он се задржао на истом нивоу и са увођењем контроле приступа (Maze и др., 2000).

Истраживања, која су вршена у Републици Србији, указују да се на нивоу целе државне путне мреже густина легалних и илегалних приступа креће у распону од 2 до 4 приступа по километру дужине. У непосредној близини насељених места, густина приступа, као последица континуалне ивичне изградње, расте до вредности од 40 до 50 приступа по километру. Иницијална истраживања на 5 деоница ДП IA2 Београд - Лазаревац указала су на смањење експлоатационих брзина у распону од 25 до 45 km/h са неадекватним нивоом услуге и значајно повећаним бројем саобраћајних незгода. Локалне заједнице посебну пажњу кроз урбанистичко и саобраћајно планирање треба да посвете намени површина у непосредном окружењу пута са врло јасним циљем – заштита проточности и повећање безбедности саобраћаја (Тубић и Видас, 2014).

3. АНАЛИЗА ПОДРУЧЈА ИСТРАЖИВАЊА

Предмет овог истраживања јесте деоница државног пута IIА реда број 154 од Лештана од Бубањ Потока. Пут 154 је државни пут другог А реда који се налази у београдском региону на територији две београдске општине (општине Гроцка и општине Раковица) и он представља везу са државним путем А1 (државна граница са Мађарском (гранични прелаз Хоргош) - Нови Сад - Београд - Ниш - Врање - државна граница са Македонијом (гранични прелаз Прешево)). Почетни чвор се налази на раскрсници Смедеревског пута (153) и Кружног пута (Лештане), док се завршни чвор налази код тунела Стражевица до изградње обилазнице Београд (део пута од Бубањ Потока до тунела Стражевица представља додаток путу 154 до изградње обилазнице Београд). Пут 154 представља двотрачни пут са по једном саобраћајном траком по смеру. На слици 1 приказана је макролокација пута 154.

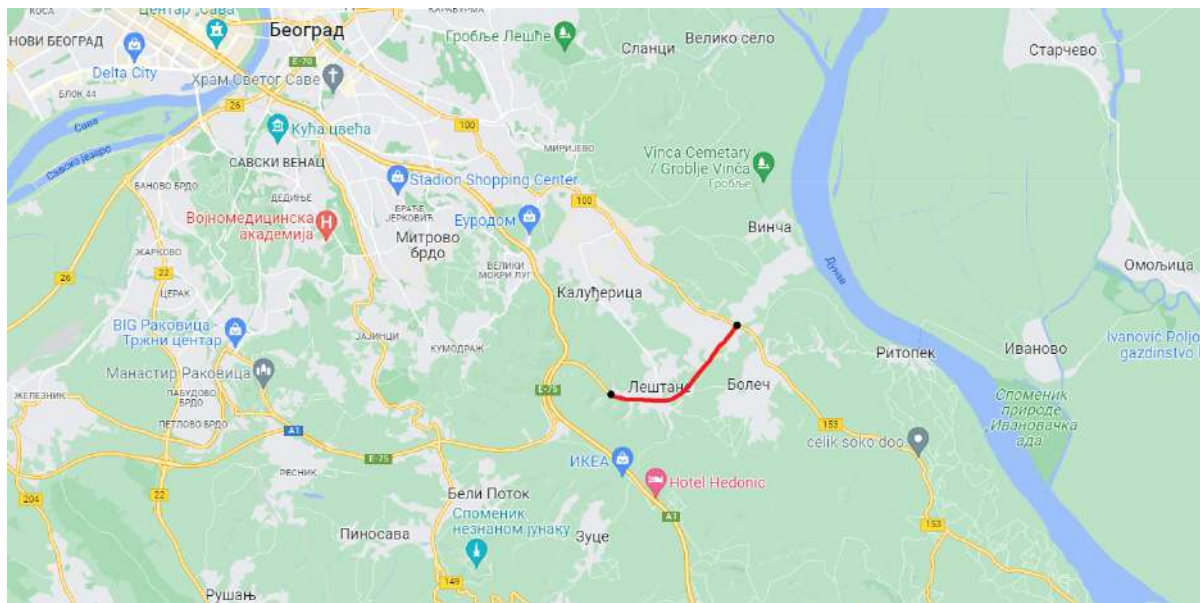


Слика 1. Макролокација пута 154
Извор: Google maps

Дужина деонице од Лештана до Бубањ Потока износи 7,5 km, при чему у овом раду није обухваћена цела дужина деонице, него првих 4 km од почетног чвора.

Значај посматране деонице огледа се у повезивању три београдске општине односно општине Гроцке, Раковице и Вождовца. Такође, посматрана деоница има локални значај за становнике који живе у насељеним местима у близини те деонице (Винча, Лештане, Болеч, Ритопек), јер сама повезаност деонице преко петље Бубањ Поток са државним путем I А реда А1 омогућава брз приступ централном делу главног града Републике Србије где се налазе најважније установе и центри атракције. Овом деоницом пролази велики број терених возила преусмерених са Смедеревског пута (број 153). Већим делом посматране деонице налази се велики број комерцијалних садржаја (производних погона, предузећа, продавница) па се може рећи да деоница пролази кроз тзв. индустријску зону.

На слици 2 приказана је макролокација деонице која је предмет даље анализе.



Слика 2. Макролокација деонице
Извор: Google maps

На посматраној деоници налази се аутоматски бројач саобраћаја који носи ознаку АБС1070. Аутоматски бројач саобраћаја се налази на 4,4 km од почетног чвора деонице.

Са аутоматског бројача саобраћаја за 2019. годину забележена је вредност ПГДС-а од 10943 воз/дан, док из публикације о бројању саобраћаја за 2020. годину забележена вредност ПГДС од 10991 воз/дан. Такође, на основу података са аутоматског бројача саобраћаја утврђено је да вредност меродавног протока у 200-том часу износи $q_m = 8,23$ % ПГДС-а.

На графику 1 приказана је дистрибуција брзина на основу података са аутоматског бројача саобраћаја 1070. На основу података са аутоматског бројача саобраћаја у смеру 1 (Лештане – Бубањ Поток) ограничење брзине износи 80 km/h, док у смеру 2 (Бубањ Поток – Лештане) ограничење брзине износи 40 km/h. Разлог оваквог ограничења брзине може бити последица локације аутоматског бројача саобраћаја. У смеру 2, аутоматски бројач саобраћаја се налази пре самог уласка у насељено место Лештане, при чему при уласку у насељено место преовлађују другачији саобраћајни услови него што је то случај ван насељеног места и самих саобраћајних услова који су заступљени пре саме локације АБС-а (без приступа дуж деонице, без средстава за успоравање саобраћаја). На основу података са АБС-а уочено је да 17,71% возача не поштује ограничење брзине у смеру 1, док у смеру 2 чак 98,31% возача не поштује постављено ограничење брзине. Висок проценат возача који не поштују ограничење брзине може се објаснити положајем аутоматског бројача саобраћаја који се налази на уласку у насељено место Лештане, као што је већ поменуто. Гледано у смеру 2 (Бубањ Поток – Лештане), због положаја аутоматског бројача саобраћаја, возачи почињу да се прилагођавају условима у саобраћају након проласка АБС-а у односу на услове пре уласка у насељено место (ограничење брзине 80 km/h, без приступа).

Највећи проценат возача (34,77%) се креће брзином која се налази у класи Б7 односно брзином од 60 до 70 km/h.

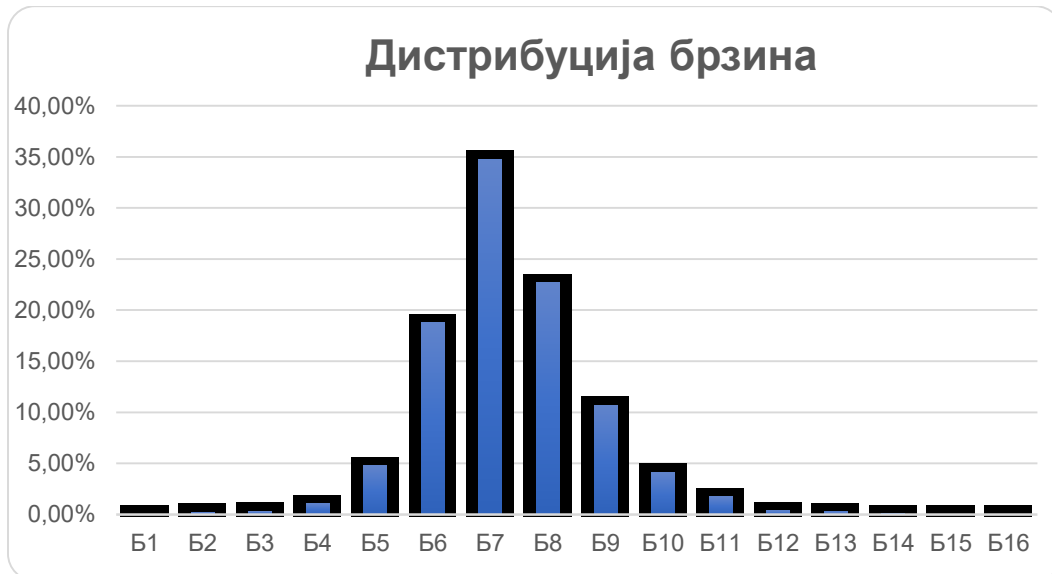


График 1. Дистрибуција брзина на АБС 1070
Извор: Путеви Србије, 2019

Анализа брзина извршена је у зони аутоматског бројача саобраћаја, односно на пресеку саобраћајнице. Подаци о брзинама возила на пресеку саобраћајнице не могу дати јасну слику о променама брзине дуж целе деонице, при томе потребно је спровести саобраћајна истраживање коришћењем савремених технологија попут GPS-а.

4. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

Како би се утврдио утицај приступа на параметре саобраћајног тока, спроведена су теренска истраживања. Обиласком деонице забележен је број приступа у оба смера. Након тока, извршена је класификација приступа према њиховој намени земљишта, на комерцијалне и приватне приступе, јер комерцијални приступи свакако генеришу много више саобраћајних захтева него неки приватни приступи као на пример појединачно домаћинство. У смеру Лештане-Бубањ Поток забележено је 104 приступа, од којих је 60 комерцијалних, а 44 приватних приступа, док је у супротноном смеру забележено 78 приступа, при чему је 44 комерцијалних, а 34 приватних приступа. У табели 1 је приказан број приступа дуж посматране деонице у оба смера.

Табела 1. Приступу дуж посматране деонице

Приступу дуж деонице	Комерцијални	Приватни	Укупно
Смер 1	60	44	104
Смер 2	44	34	78

Извор: Аутор

Према НСМ-у, утицај броја приступа исказује се кроз смањење базне слободне брзине у зависности од броја прикључака по јединици дужине. Из тог разлога посматрана деоница је подељена на четири одсека од по један километар (табела 2). На првом одсеку присутан је 41 приступ, што доводи до смањења слободне брзине возила од 25,6 km/h. Највећи број приступа је забележен на одсеку 3 и износи 65. Најмањи број приступа је забележен на другом одсеку (19 приступа) што доводи до смањења слободне брзине возила од 12,16 km/h. На одсеку 4 забележено је 57 приступа, што доводи до смањења слободне брзине од 25,6 km/h.

Табела 2. Приступу по километру дужине

Одсек	Смер 1	Смер 2	Смањење V_{SL}
1	24	17	25,6
2	10	9	12,16
3	38	27	25,6
4	32	25	25,6
Укупно	104	78	25,6

Извор: Аутор

Брзина представља један од најважнијих параметара саобраћајног тока са аспекта ефикасности и безбедности. С тим у вези спроведено је истраживање брзина на посматраној деоници. Сврха овог истраживања јесте да се утврди промена брзине кретања возила као последица маневра на приступима.

Прикупљање података је обављено помоћу апликације базиране на GPS-у која у интервалу од једне секунде снима положај возила и тренутну брзину возила. На слици 3 се може видети изглед апликација која је коришћена за потребе истраживања. Снимања су извршена у оба смера, у различитим периодима (вршним и ван вршним), од 23.03.2022. до 29.03.2022. године, при идеалним временским условима (сунчано и суво време). Обављено је 22 вожње, 11 у смеру 1 и 11 у смеру 2.



Слика 3. Приказ апликације за мерење брзине
Извор: Аутор

Возило посматрач се укључивало у саобраћајни ток око 200 m пре почетка посматране деонице, при чему се на тај начин обезбедило да се пре наиласка на зону снимања достигне брзина саобраћајног тока. Апликација која је базирана на GPS-у бележи положај и брзину возила, док се свако успорење због изливања/уливања бележило на диктафону мобилног телефона са тачним описом ситуације и временом.

5. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Основни фокус овог истраживања јесте да се утврди промена брзине кретања возила као последица маневра на приступима, при чему је истраживање усмерено на маневре десног и левог изливања из посматраног смера. На посматраној деоници присутна су средства за успоравање саобраћаја тзв. „лежећи полицајци“ (два узастопна лежећа полицајца), као и једна раскрсница која је регулисана светлосним сигнаlima али њихови утицаји на брзину саобраћајног тока неће бити разматрани. Након обраде података за сваку од снимљених вожњи (11 у смеру 1 и 11 у смеру 2) добијени су одређени резултати који су приказани у даљем раду.

Први резултат приказан је у облику графика зависности брзине и времена путовања (график 2 и 3). На графику 2 приказана је промена брзине возила у току једне вожње у смеру 1. На графику се могу видети промене брзине које су последица три маневра на приступима, док су додатне две промене брзине последица средства за успоравање саобраћаја (на графику означене стрелицама). Прва промена брзине јесте последица маневра левог изливања на комерцијални приступ, који је имао за последицу смањење брзине саобраћајног тока на главном правцу са 56 km/h на 23 km/h. Друга промена брзине јесте последица маневра десног изливања на комерцијални приступ, који је имао за последицу смањење брзине саобраћајног тока са 59 km/h на 35 km/h. Последња промена брзине као последица маневра на приступу тј. маневра десног изливања на приватни приступ за последицу има смањење брзине саобраћајног тока са 49 km/h на 31 km/h.

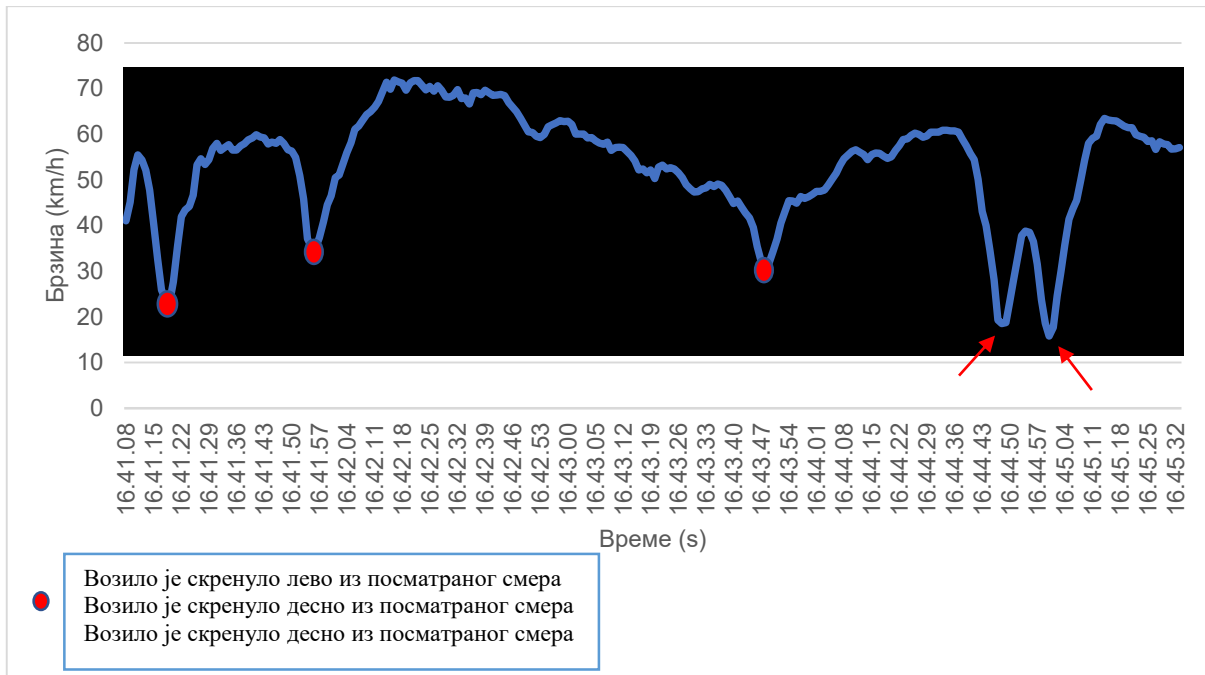


График 2. График Брзина-време путовања за вожњу у смеру 1
Извор: Аутор

На графику 3 приказана је промена брзине возила у току једне вожње у смеру 2. На графику се могу видети промене брзине које су последица три маневра на приступима. Прва промена брзине као последица маневра десног изливања на приватни приступ, има за последицу смањење брзине саобраћајног тока на главном правцу са 40 km/h на 32 km/h. За наредне две промене брзине као последице маневра левог изливања на комерцијалним приступима, у првом случају забележен је пад брзине саобраћајног тока са 63 km/h на 14 km/h, а у другом случају пад брзине саобраћајног тока на главном правцу са 54 km/h на 18 km/h.

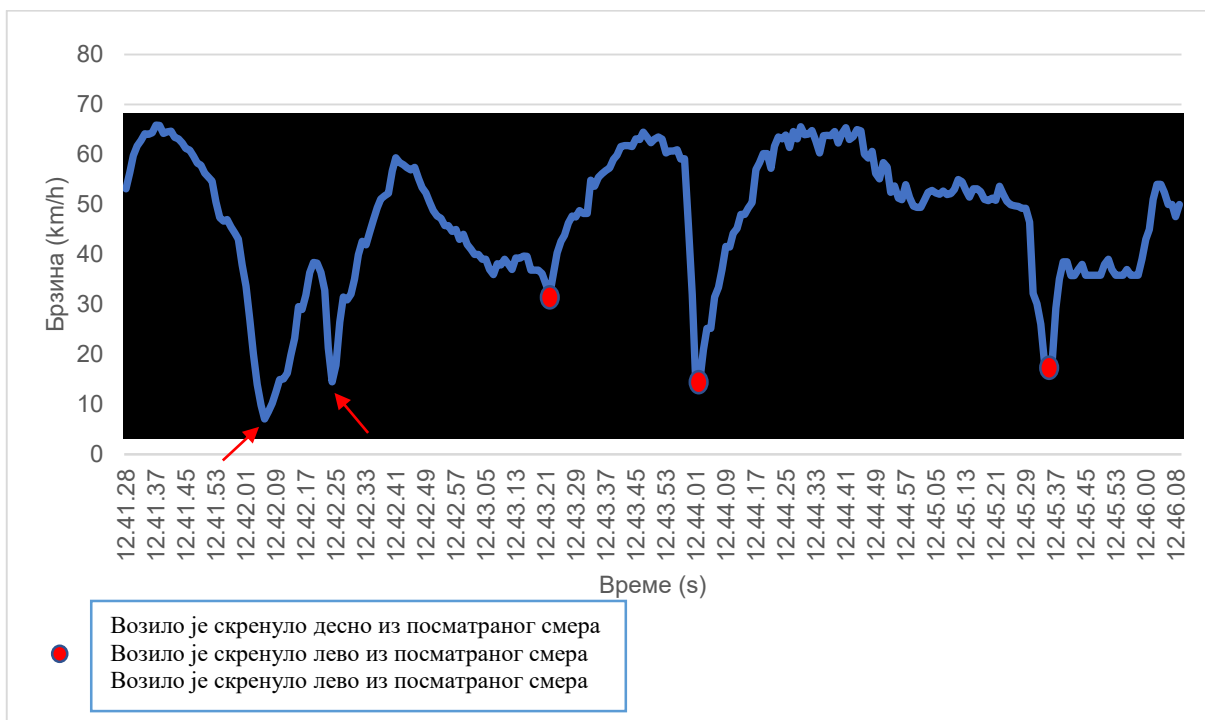


График 3. График Брзина-време путовања за вожњу у смеру 2
Извор: Аутор

У табели 3 приказан је укупан број забележених маневара на приступима дуж посматране деонице. У смеру 1 забележено је 20 маневара, од којих је 14 маневара десног изливања, а 6 маневара левог изливања. У супротном смеру, забележено је укупно 25 маневара од којих је 14 маневара десног изливања, а 11 маневара левог изливања.

Табела 3. Укупан број маневара на приступима

	Маневар десног изливања	Маневар левог изливања	Укупно
Смер 1	14	6	20
Смер 2	14	11	25

Извор: Аутор

У табелама 4 и 5 приказана је промена брзине у зависности од маневра за сваку возњу по смеру. Забележени су подаци о брзинама пре самог маневра (око 100-150 m пре маневра), као и подаци о брзинама у тренутку маневра.

У смеру 1, у случају маневра десног изливања, највећа промена брзине забележена је при возњи 8, где је дошло до пада брзине саобраћајног тока на главном правцу са 55 km/h на 21 km/h, односно смањења брзине од 34 km/h. Најмања промена брзине саобраћајног тока у случају маневра десног изливања забележена је при возњи 1, где је дошло до пада брзине са 46 km/h на 37 km/h (смањење брзине од 9 km/h). У случају маневра левог изливања, највећа промена брзине забележена је при возњи 9, где је дошло до пада брзине саобраћајног тока на главном правцу са 51 km/h на 0 km/h, односно заустављања возила. Најмања промена брзине саобраћајног тока у случају маневра левог изливања забележена је при возњи 7, где је дошло до пада брзине са 40 km/h на 28 km/h (смањење брзине од 12 km/h). На основу приказаних података може се закључити да маневар левог изливања доводи до већег смањења брзине саобраћајног тока на главном правцу, што је свакако последица тога да возачи смањују своју брзину до заустављања, јер не могу да изврше маневар ако су присутна возила из супротног смера.

Табела 4. Промена брзине у зависности од маневра у смеру 1

Број возње	Маневар десног изливања			Маневар левог изливања		
	Пре маневра	У тренутку маневра	ΔV	Пре маневра	У тренутку маневра	ΔV
1	46	37	9	-	-	-
2	49	36	13	-	-	-
3	47	35	12	42	20	22
4	45	33	12	35	0	35
5	54	42	12	-	-	-
6	47	37	10	-	-	-
7	51	26	25	40	28	12
8	55	21	34	-	-	-
9	-	-	-	51	0	51
10	50	25	25	-	-	-
11	59	35	24	56	23	33

Извор: Аутор

У смеру 2, у случају маневра десног изливања, највећа промена брзине забележена је при возњи 11, где је дошло до пада брзине саобраћајног тока на главном правцу са 46 km/h на 0 km/h, односно заустављања возила. Најмања промена брзине саобраћајног тока у случају маневра десног изливања забележена је при возњи 2, где је дошло до пада брзине са 60 km/h на 55 km/h (смањење брзине од 5 km/h). У случају маневра левог изливања, највећа промена брзине забележена је при возњи 9, где је дошло до пада брзине саобраћајног тока на главном правцу са 63 km/h на 14 km/h, тј. смањења брзине за 49 km/h. Најмања промена брзине саобраћајног тока у случају маневра левог изливања забележена је при возњи 10, где је дошло до пада брзине са 11 km/h на 0 km/h, односно заустављању возила, при чему је то био случај заустављања на раскрсници регулисаном светлосним сигнаlima. Као и у смеру 1, може се приметити да маневар левог изливања доводи до нешто већег смањења брзине саобраћајног тока на главном правцу.

Табела 5. Промена брзине у зависности од маневра у смеру 2

Број вожње	Маневар десног изливања			Маневар левог изливања		
	Пре маневра	У тренутку маневра	ΔV	Пре маневра	У тренутку маневра	ΔV
1	50	28	22	60	29	31
2	60	55	5	-	-	-
3	-	-	-	40	1	39
4	32	9	23	-	-	-
5	53	30	23	-	-	-
6	48	39	9	36	9	27
7	56	38	18	59	42	17
8	36	28	8	52	31	21
9	40	32	8	63	14	49
10	17	0	17	11	0	11
11	46	0	46	60	13	47

Извор: Аутор

У табелама 6 и 7 приказани су просечни подаци за вожње по броју забележених маневара на приступима, а то су: просечна брзина, максимална и минимална брзина, промена брзине која је последица маневра на приступима и време путовања.

Из табеле 6 се може уочити да је у највећем броју вожњи забележен само један маневар, док је четири маневра забележено само у једној вожњи. Може се уочити да су просечне брзине генерално ниске, испод 50 km/h, као и да долази до смањења брзине услед већег броја маневара на приступима. Минималне брзине су једнаке нули, што је последица заустављања у тренутку маневра, као и заустављања возила на semaфорисаној раскрсници. Максимална брзина возила која је остварена у смеру 1 износи 73 km/h у случају три маневра на приступима. Највећа промена брзине услед маневра на приступу забележена је при вожњи са четири маневра (35 km/h), док је најмања промена забележена при вожњи са једним маневром (19 km/h).

Табела 6. Просечни подаци за вожње у смеру 1

Број маневра	Број вожњи	Просечна брзина (km/h)	Vmax (km/h)	Vmin (km/h)	ΔV (km/h)	Време путовања (h)
1	5	49	72	0	19	0,08133
2	2	41	62	0	30	0,09847
3	3	46	73	0	27	0,08426
4	1	38	65	0	35	0,09444

Извор: Аутор

Из табеле 7 се може уочити да је у највећем броју вожњи забележено три маневра, док је такође четири маневра забележено у само једној вожњи. Као и у смеру 1, просечне брзине су испод 50 km/h, а такође долази до смањења брзине услед повећања броја маневара на приступима. Максимална брзина возила која је достигнута у смеру 2 износи 78 km/h у случају када је забележен један маневар на приступу. Највећа промена брзине услед маневра на приступу забележена је при вожњи са два маневра (33 km/h), док је најмања промена забележена при вожњи са четири маневра (17 km/h). Такође се може уочити, да долази до повећања времена путовања услед већег броја маневара на приступима.

Табела 7. Просечни подаци за вожње у смеру 2

Број маневра	Број вожњи	Просечна брзина (km/h)	Vmax (km/h)	Vmin (km/h)	ΔV (km/h)	Време путовања (h)
1	3	49	78	0	22	0,08306
2	3	45	68	0	33	0,08685
3	4	45	66	0	30	0,08882
4	1	38	76	0	17	0,10194

Извор: Аутор

Поређењем података са аутоматског бројача саобраћаја и података добијених истраживањем може се уочити да максималне брзине возила одсликавају податке добијене са АБС-а, али ниске просечне брзине возила показују који је утицај приступа на брзине возила.

На графицима 4 и 5 приказани су укупни бројеви маневара за сваку возњу у односу на категорију приступа (комерцијални и приватни приступ). Са оба графика, односно и за смер 1 и за смер 2 се може уочити да је у 80% случајева детектован маневар који је реализован на комерцијалном приступу. Овај податак потврђује поменути претпоставку о класификацији приступа због разлике у саобраћајним захтевима, односно да комерцијални приступи генеришу више саобраћајних захтева него приватни.

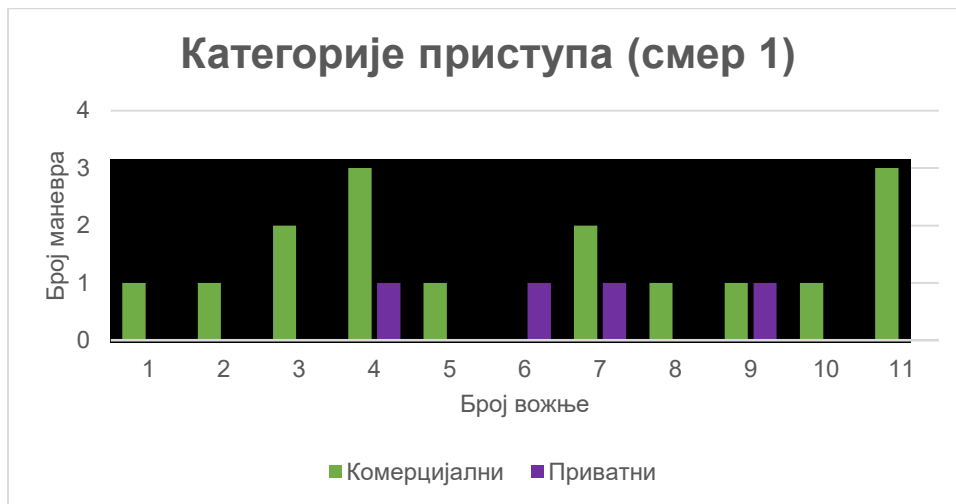


График 4. Број маневара по појединачној возњи са категоријом приступа на којем је забележен маневар у смеру 1
Извор: Аутор

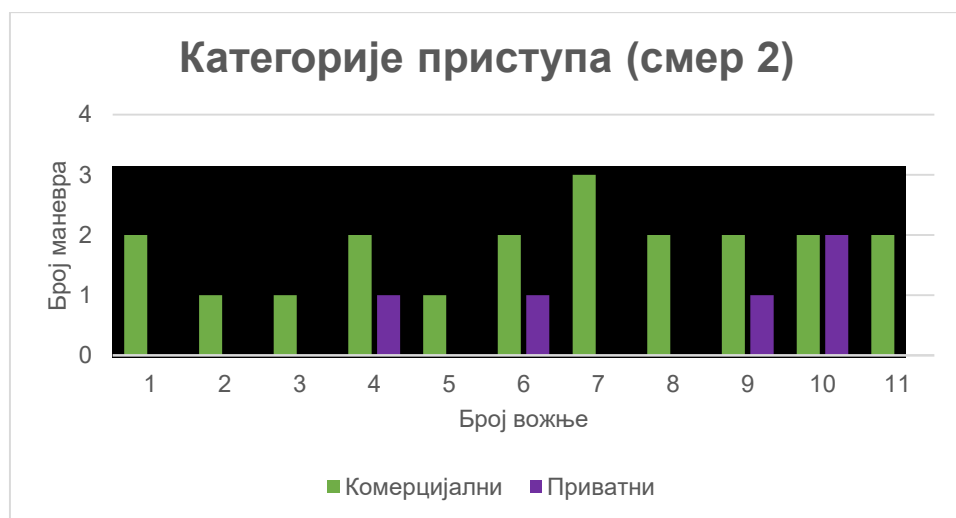


График 5. Број маневара по појединачној возњи са категоријом приступа на којем је забележен маневар у смеру 2
Извор: Аутор

6. ЗАКЉУЧАК

У раду су приказани резултати спроведеног истраживања о утицају приступа на параметре саобраћајног тока на деоници државног пута IIА реда број 154 од Лештана од Бубањ Потока.

Укупан број приступа који је забележен на деоници износи 182 приступа, од којих је 104 комерцијалних и 78 приватних приступа. Применом методологије из HCM-а прорачунато је очекивано смањење слободне брзине по одсечима у опсегу од 25,6 km/h до 12,16 km/h.

Основни фокус овог истраживања јесте да се утврди промена брзине кретања возила као последица маневара на приступима, при чему је истраживање усмерено на маневре десног и левог изливања из посматраног смера. Помоћу апликације базиране на GPS-у снимљени су подаци о променама брзине возила услед маневара на приступима дуж деонице.

Маневар десног изливања проузоровао је смањење брзине саобраћајног тока на главном правцу у распону од 5 до 46 km/h. Када је у питању маневар левог изливања, добијен је распон смањења брзина

саобраћајног тока од 11 до 51 km/h. Маневар левог изливања представља критичан маневар због чекања прихватљивог интервала слеђења у супротном смеру како би се извршио сам маневар, што често доводи до потпуног заустављања возила у смеру у коме се врши истраживање утицаја приступа на смањење брзине саобраћајног тока.

Поређењем података са АБС-а и података добијених истраживањем уочено је да максималне брзине возила одсликавају податке добијене са АБС-а, али ниске просечне брзине возила показују који је утицај приступа на брзине возила.

По питању маневра у односу на категорију приступа, у оба смера, у 80% случајева детектован маневар реализован је на комерцијалном приступу.

Спроведно истраживање указује у којој мери маневри реализовани на приступима дуж деонице могу да утичу на промену брзине саобраћајног тока на главном правцу. Неопходно је посветити посебну пажњу овој проблематици тако што је потребно спровести истраживања на терену о утицају приступа на параметре саобраћајног тока и формирати базу података о свим постојећим приступима. Податке из формиране базе података укључити у процесе планирања, пројектовања, одржавања и експлоатације путне мреже.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Тубић, В., Видас, М. (2014). Утицај контроле приступа на безбедност саобраћаја и ниво услуге путева, 9. Међународна конференција „Безбедност саобраћаја у локалној заједници“, Србија, Зајечар.
- [2] Maze, T., Plazak, D., Witmer, J., Schrock, S. (2000). Access management handbook. Center for Transport Research and Education, Iowa State University Park, Iowa.
- [3] Видас, М. (2017). Утицај контроле приступа на капацитет и ниво услуге двотрачних путева, Докторска дисертација, Саобраћајни факултет, Београд.
- [4] Радовић Д., Суботић М., (2020). Утицај приступних тачака на услове кретања возила у саобраћајном току. Пут и саобраћај.
- [5] Rose, D., Gluck, J., Demosthenes, P., Koeperke, B., Levinson, H., & Armour, R. (2000). Review of SDDOT's Highway Access Control Process. South Dakota Department of Transportation, Office of Research.
- [6] National Research Council. (2010) Highway Capacity Manual 2010, Transportation Research Board, Washington D.C. USA
- [7] Јавно предузеће „Путеви Србије“, Бројање саобраћаја, доступно на: <https://www.putevi-srbije.rs/>

АНАЛИЗА УТИЦАЈА КРИЗЕ ИЗАЗВАНЕ КОВИДОМ-19 НА ПРОМЕНЕ САОБРАЋАЈНИХ ТОКОВА НА ПУТНОЈ МРЕЖИ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ

Милица Стојићевић, дипл.инж.саобр.¹,

Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду, mstojicevic31@gmail.com

Проф. др Владан Тубић, дипл.инж.саобр.

Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду, vladan@sf.bg.ac.rs

Резиме: Пандемија ковида-19 брзо је условила значајне промене у функционисању друштва у целом свету. Иако је у питању здравствена криза, њене последице су далекосежније пошто она прераста у економску, а потенцијално и у политичку и друштвену кризу, са великом стохастиком у погледу трајања и „интензитета“. Показатељи саобраћајне тражње су у функцији и реално одсликавају све политичке, економске и друштвене нестабилности кроз које држава тј. регион пролази. Циљ рада је да анализира утицај актуелне пандемије на токове на путној мрежи Републике Србије, кроз анализу промена саобраћајних токова од 2019. до 2021. године. С обзиром на карактеристике мреже различитог функционалног нивоа, односно ради идентификовања промена с обзиром на доминантан карактер саобраћајних токова, извршен је избор меродавних деоница за категорије путева: са доминантно даљинским кретањима, типично ванградски путеви, са доминантно локалним кретањима, путеви са доминантно туристичким кретањима и градске саобраћајнице. Промене саобраћајног тока су анализирани на основу података са аутоматских бројача саобраћаја (АБС). Закључак ове анализе је значајан за процену будуће саобраћајне потражње, с обзиром да је пандемија још увек актуелна и да постоји неизвесност у вези са будућим кретањем пандемије. Поред тога, резултат ове анализе има за циљ да одговори и на питања која се односе на то да ли постоје изгледи да се саобраћајна тражња врати на ниво који је забележен пре проглашења пандемије, као и то да ли је пандемија условила неке карактеристичне промене (рад на даљину и друге промене у начину живота) које и даље имају утицај на путни саобраћај.

Кључне речи: саобраћајни ток, путна мрежа, пандемија ковида 19, карактер токова.

THE ANALYSIS OF THE IMPACT OF THE CRISIS CAUSED COVID-19 ON CHANGE IN TRAFFIC FLOWS ON THE ROAD NETWORK OF THE REPUBLIC OF SERBIA

Milica Stojicević, dipl.inž.saobr.,

The Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, mstojicevic31@gmail.com

Prof.dr Vladan Tubić, dipl.inž.saobr.

The Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, vladan@sf.bg.ac.rs

Abstract: The COVID-19 global pandemic quickly caused significant changes in the functioning of society around the world. Although it is a health crisis, its consequences are far-reaching as it escalates into an economic and potentially a political and social crisis, with great stochasticity in terms of duration and "intensity". The indicators of traffic demand are in function, and thus realistically reflect all the political, economic and social instabilities through which the state, ie. region passes. The aim of this paper is to analyze the impact of the current pandemic on the flows on the road network of the Republic of Serbia, through the analysis of changes in the characteristics of traffic demand in the period from 2019 to 2021. Considering the specifics of the network of different functional levels, ie. to identify changes in the characteristics of traffic demand with regard to the dominant character of traffic flows, the relevant sections for the following road categories were selected: roads with predominantly long-distance movement, typically interurban roads, roads with predominantly local movement, roads with predominantly tourist movement and city roads. Changes in traffic flow were analyzed based on data from automatic traffic counter (ATC). The conclusion of this analysis is important for estimating future traffic demand, given that the pandemic is still ongoing and that there is uncertainty about the future course of coronavirus infection. In addition, the result of this analysis aims to answer questions related to whether there is a prospect of traffic demand returning to the level observed before the declaration of the pandemic, as well as whether the pandemic has caused some characteristic changes (work remote and other lifestyle changes) which still have an impact on traffic on the road network.

Keywords: traffic flow, road network, COVID-19 pandemic, nature of flows.

¹ Аутор задужен за кореспонденцију: mstojicevic31@gmail.com

1. УВОД

Пандемија ковида 19 брзо је условила значајне промене у функционисању друштва у целом свету. Ова глобална криза јавног здравља је започела крајем 2019. године, појавом инфекција тешким акутним респираторним синдромом вирус корона 2 (SARS-CoV-2), док је тренутно преко 225 држава [1], тј. више од 87,64% [2] територије света захваћено овом болешћу. Стога је Светска здравствена организација (СЗО) већ у јануару 2020. године, болест изазвану корона вирусом (COVID-19) прогласила глобалном здравственом ванредном ситуацијом [3], док је 11. марта 2020. године званично прогласила глобалну пандемију COVID-19 [4], чиме је ниво здравствене опасности подигнут на највиши ниво. Иако је појава болести COVID-19 првенствено изазвала здравствену кризу, неминовно је да су њене последице далекосежније. Мада не постоји начин да се процени колика ће тачно бити економска штета глобалне пандемије корона вируса (COVID-19), постоји слагање економиста да ће пандемија имати озбиљне негативне утицаје на глобалну економију. Ране процене су предвиђале да, уколико вирус постане глобална пандемија током 2020. године, већина великих економија ће изгубити најмање 2,9% свог бруто домаћег производа (БДП), док је ова прогноза у другом излагању преиначена на губитак БДП-а од 3,4% [5]. Процењује се и да је током 2020. године глобална трговина опала за 5,3% као и то да ће велике напредне економије, које чине 60% глобалне економске активности, пословати испод свог потенцијалног нивоа производње до најмање 2024. године [6]. Евидентно је да ова тзв. „светска здравствена криза“ прераста у економску, а потенцијално и у политичку и друштвену кризу. Рецесија узрокована ефектима пандемије на развој економије је по природи окарактерисана као глобалнија од оне која је настала током глобалне финансијске кризе 2009-2010 [6]. Исто тако, ова криза се може дефинисати као криза без преседана, јер за разлику од досадашњих криза за које је био познат узрок, тренутна криза је нешто неочекивано и непознато. С обзиром да постоји неизвесност у вези са будућим кретањем заразе корона вирусом, кризу карактерише велика стохастика у погледу трајања и „интензитета“.

Економске (и друге) последице пандемије корона вируса такође су осетљиве и у читавом саобраћајном сектору. Након прве године пандемије COVID-а 19, оцене су да је већ евидентно да је на економском нивоу саобраћајни сектор тј. транспортна индустрија била највише погођена [7]. Процењено је да је сектор цивилног ваздухопловства међу најтеже погођеним секторима, с обзиром да је светском нивоу број превезених путника редовним путничким ваздушним саобраћајем смањен за око 60% током 2020. године у поређењу са нивоима из 2019. године, док је током 2021. године та цифра процењена на -49% [8]. Поморски сектор се у великој мери показао отпорним на COVID 19 – већина лука је успела да остане отворена за теретне операције, услед чега је поморски сектор у великој мери наставио да функционише широм света [7]. Негативан утицај COVID-а 19 у железничком сектору на глобалном нивоу, према проценама UIC-а², огледа се у смањењу прихода од превоза путника у 2020. години до 30%, односно од превоза терета за 10%, у поређењу са 2019. годином [9].

Друмски саобраћај представља окосницу транспортног система многих држава, са значајном улогом у друштвеном и економском функционисању друштва. У прилог томе говори и изражен удео друмског сектора у транспорту путника и робе, као и константан раст степена моторизације. Саобраћајни токови на мрежи путева обезбеђују реализацију потребе људи и робе за кретањем. Саобраћајни захтеви на путној мрежи представљају динамичну компоненту саобраћајног система, која дефинише одговарајуће критеријуме које пут, као елемент понуде, својим техничко-експлоатационим карактеристикама треба да испуни. За прогнозу будућих захтева у примени су одговарајући модели за прогнозу будућег стања. Реалне величине достигнутих и перспективних токова представљају најзначајније показатеље тражње у планирању оптималног одржавања и побољшања постојеће путне мреже, као и у планирању изградње нових путева [10]. У наведеном поступку усклађивања понуде и тражње тј. изналагања рационалног решења, до изражаја долази примена процедуре вредновања. Међутим, са појавом неповољних политичких, економских и друштвених нестабилности кроз које држава тј. регион пролази, долази и до непредвиђених промена у саобраћајним токовима на путној мрежи. Ипак, законитости ових промена није једноставно уочити па је и сам поступак прогнозе будућих токова отежан.

2. Преглед литературе

Саобраћајни токови на путној мрежи Републике Србије у досадашњем периоду су у потпуности су одражавали нагле промене спољних и унутрашњих услова [11]. Изразито турбулентан политички и

² Међународна железничка унија (*International Union of Railways*).

економски период (узрокован санкцијама, несташицом горива, инфлацијом, економским падом итд.) у периоду до 2000. године, резултовао је падом просечног достигнутог ПГДС-а³ на примарној мрежи државних путева од 22,45% у односу на 1990. годину. Након периода стабилизације, 2003. године забележено је достизање токова базне, тј. 1990. године, а затим и раст до 2008. године када следи постепен пад због Светске економске кризе до 2012. године, након чега наступа период стабилизације и благог раста [12].

Надлежне организације бројних држава бавиле су се проценом првобитног утицаја пандемије на токове на мрежи, кроз анализу прикупљених података о саобраћајној потражњи у периоду појаве COVID-а 19 тј. периоду трајања различитих ограничења које је са собом носило проглашење стања пандемије. Општина Калгари, Алберта (Канада), је праћењем трендова мобилности корисника на месечном нивоу закључила да је обим моторизованог саобраћаја током прве две недеље COVID-а 19 износио 46% од уобичајног протока⁴ док је 25. маја 2020. године дошло до достизања обима саобраћаја који износи 74% од уобичајног протока, као и то да је број путничких аутомобила смањен у већој мери од броја теретних возила [13]. У области залива Сан Франциско и округа Лос Анђелеса уочено је да након 16. марта 2020. (тј. током последње две недеље марта), као последица ступања на снагу одређених ограничења, долази до смањења остварених воз/км на дневном нивоу на ауто-путевима и то за око 30% (радним данима) односно 40% (викендом) [14]. Macioszek, E. & Kurek, A. су за одабране раскрснице у Гљивицама (Пољска) анализирали дневне, недељне и годишње неравномерности саобраћајног тока током 2019. и 2020. године. Резултати истраживања говоре да је смањење обима друмског саобраћаја током пандемије COVID-19 на раскрсницама значајно и да се креће у распону од -9,68% до -23,05%. Исто тако, дошло је и до померања вршних периода на раскрсницама, и то јутарњег са 06:00-07:00 (06:00-08:00) на 05:00-06:00 (04:00-06:00) и поподневног са 14:00-17:00 на 13:00-16:00 часова. Један од закључка истраживања је да је потребно истражити нове моделе потражње, који ће бити способни да разумеју промене околности (повећање рада код куће, одржавање састанака и учења на даљину) [15].

Асоцијација влада Марикопа⁵ (US) покушала је да, свакодневним праћењем података о времену путовања, квантификује утицај рада на даљину и останка код куће на саобраћај на мрежи. Кашњење (мерено у часовима-возила) се дефише као прекомерно време путовања за сва возила када је просечна брзина током датог сата за најмање 20 mph нижа од брзине слободног тока, док се дневно кашњење рачуна као збир сатних кашњења. Према подацима о времену путовања прикупљеним од стране аналитичке компаније INRIX наводи се да је, због смањења обима саобраћаја, просечна брзина у периоду од априла 2020. до марта 2021. на ауто-путевима повећана за око 7% (током јутарњег и поподневног вршног периода) у односу на исти период 2019-2020. године. За магистралне саобраћајнице брзине су порасле у просеку за 8% током јутарњег вршног периода, односно за 9% током вечерњих вршних часова. Брзине на ауто-путевима нису се приметно мењале од треће недеље марта до краја августа 2020. године, а затим су због повећања обима саобраћаја почеле да опадају [16].

Закључци анализе оствареног обима саобраћаја на раскрсницама на територији општине Лавленд (Колорадо, US) за период од 10. марта до 5. априла 2019. и тог истог периода 2020. године јесу да не постоје изгледи да је обим саобраћаја почео да се враћа на прошлогодишње вредности, али да се тренд стабилизовао и да постоје изгледи да су се прошлогодишњи обрасци кретања одржали, само на нижем нивоу у односу на 2019. године [17]. Scott Parr, Brian Wolshon et al. су покушали да кроз анализу података о обиму саобраћаја на путевима Флориде (US) дефинишу промене у понашању људи, условљене ограничењем активности и одржавањем социјалне дистанце током пандемије COVID-19. Истраживање је показало да је укупан обим саобраћаја у целој држави, у периоду од 1. до 22. марта 2020. године, опао за 47,5% у односу на исти период 2019. Осим тога, уочене су значајне разлике у тренутку започињања и интензитета смањења саобраћаја између путева који пролазе кроз рурална и урбана подручја и између ауто-путева и артерија/магистралних путева. Пад обима саобраћаја на путевима кроз урбана подручја широм државе је био значајан и уследио је неколико

³ ПГДС (просечни годишњи дневни саобраћај) је основни податак који произилази из активности прикупљања информација о интензитету и структури саобраћајних токова и добија се тако што се укупан проток возила за годину дана на једној деоници пута подели са бројем дана у тој години.

⁴ Проток реализован 02. марта 2020. године.

⁵ Удружење влада Марикопа (MAG) је Савет влада (COG) који служи као агенција за регионално планирање за метрополитанско подручје Феникса (америчка држава Аризона). Представља регионалну агенцију која спроводи планирање и доноси политичке одлуке у бројним кључним областима. Укључује 27 градова и насеља, 3 домородачке нације, округ Марикопа, делове округа Пинал и Министарство саобраћаја Аризоне.

дана пре пада обима саобраћаја на путевима кроз рурална подручја. Анализа тренутка започињања и интензитета смањења саобраћаја на ауто-путевима и артеријама указала је на то да су људи смањили даљинска кретања (попут радних кретања), али да су још недељу дана након тога наставили да реализују локална кретања [18].

Може се претпоставити да је актуелна пандемија имала различит утицај на различите кориснике, односно на ниво коришћења различитих категорија путева. Студија која се бавила емпиријским истраживањем ефеката ситуације са корона вирусом на мобилност становника руралних подручја⁶ је утврдила да 62,6% испитаника није мењало навике у вези са мобилношћу током трајања периода законских ограничења, затим да скоро трећина свих планираних путовања није реализована, као и да је дошло до промене у видовној расподели тј. смањења броја кретања аутомобилом и аутобусом и повећању кретања бициклом, док је удео пешачких кретања остао непромењен [19].

Анализа дугорочнијих ефеката COVID-19 кризе на токове на мрежи је дата од стране Асоцијације влада Марикопа (Аризона, US), при чему се наводи да се подаци првенствено односе на ауто-путеве и магистралне саобраћајнице у округу Марикопа. Наводи се да је најмањи број возила на регионалним путевима забележен током друге недеље априла 2020. године и да је износио 63% од уобичајног обима. Под „нормалним“ обимом саобраћаја (100%) посматран је просечан дневни саобраћај (радним данима) остварен током прве недеље марта 2020. Током треће недеље јуна 2020. број возила је достигао 87% од нормалног обима саобраћаја. Током јула 2020. обим је пао испод 80% и постепено се вратио на нормалне услове након марта 2021. године [16]. Студија која се бавила квантификацијом утицаја COVID-а 19 на саобраћај на ауто-путу у провинцији Јунан (Кина) утврдила је да је у самом јеку пандемије обим путничких и теретних возила опао за 59,67% и 68,19% (респективно), док је обим аутобуса (међуградских) опао за од -59,8% до -98,6% (у зависности од региона). Такође је утврђено да је у регионима са већим БДП-ом забележен и већи утицај пандемије на пад саобраћајне потражње. У почетној фази опоравка, стопа раста обима ПА је била 2,1%, да би у наредној фази износила 15,6% за ПА и 12,9% за теретна возила. Ипак, закључено је да остварени путнички и тонски километри (pkm и tkm) у 2020. години нису достигли ниво из 2019. године [20]. На основу прелиминарног извештаја америчке организације Federal Highway Administration (FHWA), број остварених путовања (возила-миља) на свим путевима и улицама је у децембару 2021. године у просеку већи за +11,2% у односу на децембар 2020. године [21].

Овакве анализе трендова саобраћајне потражње појединих региона односно држава дају само ширу слику о утицају пандемије на саобраћајну потражњу, док ће сваки регион односно држава имати своје законитости у промени саобраћајне потражње, узроковане пандемијом COVID-а 19.

3. Предмет истраживања

Предмет истраживања у овом раду је анализа нивоа поремећаја у саобраћајној потражњи на путној мрежи Републике Србије услед пандемије COVID-а 19, са детаљнијом анализом следећих ефеката пандемије на токове:

1. Процена првобитног утицаја пандемије, када се очекује и највећи пад саобраћајне потражње, услед различитих ограничења која је са собом носило проглашење пандемије тј. ванредног стања;
2. Анализа дугорочнијих ефеката кризе на токове на мрежи, посматрајући период 2019-2021. године;
3. Постизање одговора на питање да ли постоје изгледи да се саобраћајна тражња врати на ниво који је забележен пре проглашења пандемије;
4. Процена да ли је смањење потражње другачије између различитих категорија путева и различитих категорија возила;
5. Постизање одговора на питање да ли је пандемија условила неке карактеристичне промене (рад на даљину и друге промене у начину живота) које и даље имају утицај на путни саобраћај.

Непостојање искуства са сличним ранијим утицајима представља отежавајући фактор, па се наведени утицај може сматрати атипичним – јединственим у модерној историји. На бази остварених просечних годишњих стопа раста ПГДС-а у посматраном периоду стичу се базни елементи за објективније прогнозирање перспективних саобраћајних токова. Стога, закључак ове анализе је

⁶ Округ Алтмаркреис Салзведел – налази се на самом северу немачке савезне државе Саксонија-Анхалт.

значајан за процену будуће саобраћајне потражње, с обзиром да је пандемија још увек актуелна и да постоји неизвесност у вези са будућим кретањем пандемије, као и за планирање и суочавање са сличним будућим догађајима.

4. Метод истраживања и подаци

У процесу истраживања посматрана је целокупна путна мрежа Републике Србије а ради идентификовања промена карактеристика саобраћајне потражње, на основу услова у саобраћајном току, доминантних карактера саобраћајних токова и временских неравномерности саобраћајног оптерећења, дефинисане су следеће класе путева које су посебно разматране:

- путеви са доминантно даљинским кретањима;
- типично ванградски путеви;
- путеви са доминантно локалним кретањима;
- путеви са доминантно (туристичким) кретањима и
- градске саобраћајнице.

Избор деоница по карактеру саобраћајних токова извршен је на основу резултата истраживања која се наведена у радовима [11], [12] и [22].

Управљач државним путевима на територији Републике Србије - ЈП „Путеви Србије“ је задужено за бројање саобраћаја на државним путевима⁷. За обраду, анализе и презентацију података о бројању саобраћаја се користе методе које су у складу са званичном методологијом бројања саобраћаја. Анализа саобраћајних токова на предметним деоницама извршена је на основу јавно доступних података о просечном годишњем дневном саобраћају на јавним путевима I и II реда у Републици Србији [23].

Подаци о саобраћају из 2019. године могу се посматрати као „нормалне“ вредности, тј. вредности на које утицај није имала актуелна криза. Година 2020. се може дефинисати као година у којој је криза изразила свој утицај у већој мери, што је условљено драстичним мерама које је држава предузела – карантин и полицијски часови, ограничења у саобраћајном сектору и др., док се за 2021. годину може сматрати да, са аспекта саобраћајне потражње на друмској мрежи, представља период благог опоравка.

5. Резултати истраживања

5.1. Промене величине ПГДС-а по категоријама мреже путева РС у периоду од 2019. до 2021. године

На основу података о саобраћајном оптерећењу путева у табели 1 су за одабране репрезентативне деонице различитих категорија путева дати подаци о величинама ПГДС-а по годинама, у периоду од 2019. до 2021. године. Укупно је анализирано 18 деоница, које представљају најбоље репрезенте сваке од наведених класа путева према карактеру токова. За класу типично сезонских путева изабрано је пет репрезентативних деоница, за класу типично ванградских путева је то четири, док је за даљинске путеве, путеве са доминантно локалним кретањима и за градске саобраћајнице изабрано по три репрезентативне деонице. Тиме је обухваћено укупно 249 km путне мреже РС.

Табела 1. ПГДС-а на репрезентативним деоницама за период од 2019. до 2021. године

Назив деонице	Дужина (км)	П Г Д С (воз/дан)		
		2019.	2020.	2021.
Путеви са доминантно даљинским кретањима				
Суботица југ – Жедник	11,1	10 309	7 003	11 508
Батровци – Адашевци	6,6	8 134	4 311	6 077
Баточина – Јагодина	21,9	22 924	16 111	19 329
Типично ванградски путеви				
С. Каменица – Ириг (Крушедол)	14,9	9 098	7 396	7 036
Јарак – Граница АПВ (Шабац)	20,8	9 023	7 692	9 032
Мрчајевци – Краљево	19,9	7 057	6 995	8 579
Матарушка Бања – Ушће	39,1	6 586	5 978	7 079

⁷ Закон о путевима, члан 9. став 2. тачка 10 и члан 10. став 1.

Назив деонице	Дужина (км)	П Г Д С (воз/дан)		
		2019.	2020.	2021.
Путеви са доминантно локалним кретањима				
Липовачка шума – Мељак	3,1	17 368	12 347	13 275
Лазаревац (Ибарски пут) – Ћелије	6,0	17 133	11 902	12 701
Влашко поље – Младеновац	6,0	14 913	13 835	15 422
Путеви са доминантно туристичким кретањима				
Бела земља – Сушица	7,0	9 873	9 048	13 447
Мијоска – граница СРБ/ЦГ	30,2	3 239	2 155	3 435
Мерошина – Дољевац	10,6	11 540	7 193	16 883
Рибариће – Брегови	12,6	2 463	1 892	2 979
Брус – Брзеће	17,5	1 489	1 540	1 654
Градске саобраћајнице				
Петља Остружница – Умка	7,2	17 435	13 404	14 485
Петља Панчево – гр.АПВ (Панчево)	3,0	14 689	14 202	14 575
Краљево (Береновац) – Мат. Бања	11,2	16 631	15 955	18 342

Извор: (ЈП „Путеви Србије“)

На основу величина ПГДС-а на одабраним деоницама које су дате у табели 1, израчунате су просечне годишње стопе раста ПГДС-а и исте изложене у табели 2.

Пад ПГДС-а узрокован ковид кризом на предметним деоницама са доминантним **даљинским кретањима** је значајан и креће се годишњим стопама пада од -32% до -47%. Током 2021. следи одређени раст саобраћаја на свим деоницама, годишњим стопама раста од 20% до 64%. Међутим, на само једној деоници (Суботица југ – Жедник) ПГДС у 2021. години прелази ниво из 2019. године и то за око 12%. На остале две деонице са доминантним даљинским кретањима (Батровци – Адашевци и Баточина – Јагодина) током 2021. није дошло до враћања саобраћајних токова на нивое пре пандемије.

Пад ПГДС-а у 2020. години на деоницама које се дефинишу као **типично ванградске** се може окарактерисати као незнатан (-0,90%, деоница Мрчајевци – Краљево) до умерен којег дефинишу годишње стопе пада од -9,23% до -18,71%. На једној деоници (С. Каменица – Ириг, Крушедол) је пад ПГДС-а забележен и током 2020. године (-4,86%), док је на осталим деоницама током 2020. године уследио благи раст обима саобраћаја, годишњим стопама раста између 17% и 23%. Као резултат тога, у 2021. години је на три од четири посматране деонице дошло до реализације саобраћајних токова који су већи у односу на препандемијски период.

Код деоница са доминантно **локалним кретањима** током 2020. године долази до пада саобраћаја годишњим стопама од -7,23% до -30,53%. На деоницама је током 2021. године забележен благи опоравак тј. раст ПГДС, годишњим стопама раста које се крећу од 6,71% до 11,47%. Резултат интензивног пада протока током 2020. године на две посматране деонице и благог раста ПГДС-а током 2021. године јесте да на тим деоницама током 2021. године није дошло до достизања нивоа саобраћајних захтева реализованих 2019. године. На једној деоници је током 2021. достигнут ПГДС који је за око 3,41% већи у односу на вредност из 2019. године.

Код деонице путева са **доминантно (туристичким) кретањима** уочене су јасне законитости у промени ПГДС-а. Наиме, једино код ове категорије путева, на једној деоници (Брус – Брзеће) је уочен раст ПГДС-а и током 2020. године, годишњом стопом раста која износи 3,43%. На осталим деоницама је у 2020. забележен пад ПГДС-а, годишњим стопама од -8,36% до -37,67%. На деоници на којој није било пада ПГДС-а у 2020. години, раст се наставља и током 2021. године (+7,37%), што резултира да ПГДС у 2021. години буде за око 11% већи у односу на 2019. годину. Раст ПГДС-а у 2021. години је такође забележен и на свим осталим деоницама ове категорије путева, при чему су годишње стопе раста износиле од +57,46 до чак +134,71%. Стога, у 2021. години је ПГДС на свим овим деоницама превазишао нивое из 2019. године, при чему је та вредност била већа за од 6% до 46%.

На две од три посматраних **градских саобраћајница** је током 2020. године уследио блажи пад ПГДС-а, годишњим стопама од -3,32% и -4,06%. На преосталој деоници је пад ПГДС-а био изражајнији (-23,12%). Током 2021. године долази до раста саобраћаја на свим деоницама, годишњим стопама раста од 2,63% до 14,96%. При томе, на једној деоници је током 2021. достигнут ПГДС који је за око 10% већи од ПГДС-а из 2019. године, на једној деоници су вредности из ова два периода приближне, док је на једној деоници није достигнута вредност ПГДС-а из препандемијског периода.

Табела 2. Годишње стопе раста ПГДС-а (%) на репрезентативним деоницама за период од 2019. до 2021. године

Путеви са доминантно даљинским кретањима				
Назив деонице	Стопе расте (%)		ПГДС ₂₀₂₁ > ПГДС ₂₀₁₉	
	2019/2020	2020/2021	да (%)	не
Суботица југ – Жедник	-32,07	64,33	да (+16,33)	–
Батровци – Адашевци	-47,00	40,97	–	не
Баточина – Јагодина	-29,72	19,97	–	не
Типично ванградски путеви				
Назив деонице	Стопе расте (%)		ПГДС ₂₀₂₁ > ПГДС ₂₀₁₉	
	2019/2020	2020/2021	да (%)	не
С. Каменица – Ириг (Крушедол)	-18,71	-4,86	–	не
Јарак – Граница АПВ (Шабац)	-14,75	17,42	да (+0,10)	–
Мрчајевци – Краљево	-0,88	22,65	да (+21,57)	–
Матарушка Бања – Ушће	-9,23	18,41	да (+7,48)	–
Путеви са доминантно локалним кретањима				
Назив деонице	Стопе расте (%)		ПГДС ₂₀₂₁ > ПГДС ₂₀₁₉	
	2019/2020	2020/2021	да (%)	не
Липовачка шума – Мељак	-28,91	7,51	–	Не
Лазаревац (Ибарски пут) – Ђелије	-30,53	6,71	–	не
Влашко поље – Младеновац	-7,23	11,47	да (+3,41)	–
Путеви са доминантно туристичким кретањима				
Назив деонице	Стопе расте (%)		ПГДС ₂₀₂₁ > ПГДС ₂₀₁₉	
	2019/2020	2020/2021	да (%)	не (%)
Бела земља – Сушица	-8,36	48,62	да (+36,20)	–
Мијоска – граница СРБ/ЦГ	-33,47	59,41	да (+6,06)	–
Мерошина – Дољевац	-37,67	134,71	да (+46,30)	–
Рибариће – Брегови	-23,18	57,46	да (+20,96)	–
Брус – Брзеће	3,43	7,37	да (+11,05)	–
Градске саобраћајнице				
Назив деонице	Стопе расте (%)		ПГДС ₂₀₂₁ > ПГДС ₂₀₁₉	
	2019/2020	2020/2021	да (%)	не (%)
Петља Остружница – Умка	-23,12	8,07	–	Не
Петља Панчево – гр.АПВ (Панчево)	-3,32	2,63	–	Не
Краљево (Береновац) – Мат. Бања	-4,06	14,96	да (+10,29)	–

5.2. Промене по категоријама возила на репрезентативним деоницама мреже путева Републике Србије у периоду од 2019. до 2021. године

Бројачи саобраћаја са индуктивном технологијом, поред података о протоку, врше и класификацију возила на 6 различитих категорија возила. На основу протока различитих категорија возила на одабраним деоница за 2019. и 2020. годину, израчунате су просечне годишње стопе раста посебно дефинисаних категорија возила (табела 3). За оцену разлике у промени саобраћаја између различитих категорија возила поматране су три групе возила. Прве две групе су репрезенти путничких - индивидуалних кретања, односно токова на мрежи и чине их категорија возила путнички аутомобила (ПА) и аутобус (БУС). Трећа група возила представља токове кретања терета на мрежи и обухвата све категорије теретних возила (ЛТ, СТ и ТТ)⁸ и категорију ауто-воз (АВ).

Уопштено гледано, као последица кризе узроковане пандемијом корона вируса, на свим предметним деоницама **даљинских путева** је дошло до приметног пада нивоа саобраћаја категорије ПА, годишњим стопама од око -40% до -55%. На деоницама које се налазе у близини административних граница државе, категорија БУС је достигла пад (граница са Хрватском) и блажи раст (граница са Мађарском), док је на деоници Баточина – Јагодина присутан интензиван раст годишње стопе раста категорије БУС (+43,05%, уз напомену да база вредност⁹ велика). На овим деоницама није дошло до пада категорија теретних возила, односно криза није угрозила токове кретања терета на деоницама даљинских путева, а забележени раст се креће од 1,20% до 27,82%.

Код деоница категорије **типично ванградских путева**, криза је имала интензиван и највећи утицај на пад учешћа категорије БУС (од -39% до -49%), односно на смањења међуградских путовања овим

⁸ Лако, средње и тешко теретно возило.

⁹ Број забележених аутобуса на овој деоници током 2019. године.

видом превоза. Може се претпоставити да су разлози тога бројни и очигледни, попут тога да је вирус утицао на промену перцепције корисника о коришћењу овог вида превоза (смањени транспортни захтеви), затим да су сврхе даљинских путовања изгубиле своју првобитну форму (попут учења, лечења, куповине и остало, јер током кризе је на већини факултета и школа важило тзв. учење на даљину, затим већина здравствених-централних установа је било у ковид режиму итд.), као и ступање на снагу мере привремене забране обављања јавног превоза путника за време ванредног стања у Републици Србији. Пад годишњих стопа раста категорије ПА је био благ до умерен, док код категорије теретних возила нису забележене интензивне промене, тј. вредности годишњих стопа се крећу од -4% до +5%. И код деоница путева са доминантно **локалним кретањима** криза је највећи утицај имала на пад учешћа категорије БУС (од -13,62% до -39,70%). Такође, на свим овим деоницама је уочен и израженији пад годишњих стопа раста ПА, од -8,48% до -31,88%, а на две деонице је дошло и до приметног пада годишњих стопа раста¹⁰ категорије теретних возила.

На већини деоница путева које карактеришу **доминантно туристичка кретања**, забележен је значајан пад категорије ПА и још израженији пад категорије БУС (годишњим стопама које се крећу од -33,3% до -68,4%). Код категорије теретних возила нису уочене интензивне промене. Дакле, може се истаћи да је криза имала изузетан утицај на смањење путничких токова на овим деоницама, док су се токови терета реализовали са мањим променама у обиму кретања.

Код деоница путева на којима се услови класификују као услови на **градским саобраћајницама**, израженији је пад годишње стопе раста категорије БУС (од -8,57% до -42,52%). За пад годишње стопе категорије ПА се може рећи да је релативно благ до умерен (од -3,54% до -21,24%), док за категорије теретних возила на једној деоници важи интензиван пад, док је на осталим деоницама уследио блажи пад или блажи раст.

Табела 3. Годишње стопе раста (%) саобраћаја (2019/2020) по категоријама возила

Путеви са доминантно даљинским кретањима				
Назив деонице	Годишње стопе раста 2019/2020 (%)			
	ПА	БУС	ТВ	Укупно
Суботица југ – Жедник	-42,64	18,67	27,82	-32,07
Батровци – Адашевци	-55,38	-21,33	1,20	-47,00
Баточина – Јагодина	-39,61	43,05	11,00	-29,72
Типично ванградски путеви				
Назив деонице	Годишње стопе раста 2019/2020 (%)			
	ПА	БУС	ТВ	Укупно
С. Каменица – Ириг (Крушедол)	-20,32	-49,43	-4,09	-18,71
Јарак – Граница АПВ (Шабац)	-16,82	-40,74	-1,84	-14,75
Мрчајеви – Краљево	-1,20	-39,05	3,77	-0,88
Матарушка Бања – Ушће	-10,09	-48,48	4,70	-9,23
Путеви са доминантно локалним кретањима				
Назив деонице	Годишње стопе раста 2019/2020 (%)			
	ПА	БУС	ТВ	Укупно
Липовачка шума – Мељак	-28,26	-37,78	-32,02	-28,91
Лазаревац (Ибарски пут) – Ћелије	-29,48	-39,70	-36,02	-30,53
Влашко поље – Младеновац	-8,48	-13,62	12,80	-7,23
Путеви са доминантно туристичким кретањима				
Назив деонице	Годишње стопе раста 2019/2020 (%)			
	ПА	БУС	ТВ	Укупно
Бела земља – Сушица	-8,13	-36,49	-5,67	-8,36
Мијоска – граница СРБ/ЦГ	-37,11	-68,42	-0,82	-33,47
Мерошина – Дољевац	-44,86	14,18	-4,88	-37,67
Рибариће – Брегови	-24,40	-62,89	1,69	-23,18
Брус – Брзеће	3,53	-33,33	6,35	3,43
Градске саобраћајнице				
Назив деонице	Годишње стопе раста 2019/2020 (%)			
	ПА	БУС	ТВ	Укупно
Петља Остружница – Умка	-21,24	-19,31	-43,16	-23,12
Петља Панчево – гр.АПВ (Панчево)	-3,54	-8,57	-1,19	-3,32
Краљево (Береновац) – Мат. Бања	-4,09	-42,52	4,00	-4,06

¹⁰ Уз напомену да је базна вредност, тј. број теретних возила у 2019. години на овој деоници, висока вредност.

6. ЗАКЉУЧАК

Предмет истраживања у овом раду је анализа нивоа поремећаја у саобраћајној потражњи на путној мрежи Републике Србије услед пандемије COVID-а 19, са детаљнијом анализом ефеката како на укупан ПГДС, тако и на појединачне категорије возила .

У истраживању је посматрана целокупна путна мрежа Републике Србије, а ради идентификовања промена карактеристика саобраћајне потражње на основу доминантног карактера саобраћајних токова дефинисане су следеће класе путева које су посебно разматране: путеви са доминантно даљинским кретањима, типично ванградски путеви, путеви са доминантно локалним кретањима, путеви са доминантно (туристичким) кретањима и градске саобраћајнице.

На основу резултата истраживања промена саобраћајних захтева изазваних пандемијом COVID-а 19 могу се систематизовати следећи генерални закључци:

- Саобраћајни токови су показали изузетну осетљивост на сва ограничења изазвана пандемијом;
- Интензитет промена је у значајној корелацији са доминантним карактером токова на појединим деоницама путне мреже;
- Пад ПГДС-а узрокован ковид кризом у 2020. години, на деоницама са доминантним **даљинским кретањима** је значајан и креће се годишњим стопама пада од -32% до -47%. У 2021. години, генерално, на овом делу мреже није достигнут ниво из 2019.године;
- Пад ПГДС-а узрокован ковид кризом у 2020. години, на деоницама које се дефинишу као **типично ванградске** се може охарактерисати као незнатан (-0,90%) до умерен, којег дефинишу годишње стопе пада од -9,23% до -18,71%. У 2021. години на овом делу мреже на три од четири посматране деонице дошло је до реализације саобраћајних токова који су већи у односу на препандемијски период;
- Код деоница са доминантно **локалним кретањима** током 2020. године долази до пада саобраћаја годишњим стопама од -7,23% до -30,53%. Резултат интензивног пада протока током 2020. године и благог раста ПГДС-а током 2021. године је да на тим деоницама током 2021. године није дошло до достизања нивоа саобраћајних захтева реализованих 2019. године;
- Код деоница путева са **доминантно (туристичким) кретањима** уочене су јасне законитости у промени ПГДС-а. Наиме, једино код ове категорије путева, на једној деоници (Брус – Брзеће) је уочен раст ПГДС-а и током 2020. године, годишњом стопом раста која износи 3,43%. На осталим деоницама је у 2020. забележен пад ПГДС-а, годишњим стопама од -8,36% до -37,67%. Раст ПГДС-а у 2021. години такође је забележен и на свим деоницама ове категорије путева, тако да је у 2021. години је ПГДС на свим овим деоницама превазишао нивое из 2019. године, при чему је та вредност већа за од 6% до 46%;
- На **градским саобраћајницама** је током 2020. године уследио блажи пад ПГДС-а, годишњим стопама од -3,32% до -23,12%. Током 2021. године долази до раста саобраћаја на свим деоницама, годишњим стопама раста од 2,63% до 14,96%, при чему је приближно достигнут ниво ПГДС-а из 2019.године;
- На свим деоницама **даљинских путева** није дошло до пада категорија теретних возила, односно криза није угрозила токове кретања терета на њима, а забележен је и умерени раст;
- Код деоница категорије **типично ванградских путева и путева са доминантно локалним кретањима**, криза је имала интензиван и највећи утицај на пад учешћа категорије БУС (од -13% до -49%), што сугерише да је појава пандемије довела до смањења међуградских путовања овим видом превоза;
- Код деоница путева са доминантно **локалним кретањима** уочен је и израженији пад годишњих стопа раста ПА, од -8,48% до -31,88%;
- На већини деоница које карактеришу **доминантно туристичка кретања**, забележен је израженији пад категорије БУС (годишњим стопама које се крећу од -33,3% до -68,42%);
- Код деоница путева на којима се услови класификују као **градске саобраћајнице** најизраженији је пад годишње стопе раста категорије БУС, а за пад годишње стопе категорије ПА се може рећи да је релативно благ до умерен.

Будућа истраживања треба наставити са много већим обухватом деоница, као и квалитативном анализом промена у радним и нерадним данима.

Будући период ће захтевати да се при анализи и дефинисању вредности стопа раста саобраћаја по годинама пажљиво прати стање економских индикатора током кризе изазване пандемијом корона вируса (попут националног дохода, моторизације, туризма и др.) као и целокупна епидемиолошка ситуација, али исто тако и сва остала друштвено-политичка збивања. Значајно је истаћи још и да ковид кризу, поред многобројних негативних утицаја, није карактерисала несташица горива. Међутим, тренутна збивања сугеришу да постоји могућност да државе, из још незавршене ковид кризе, улазе у другу глобалну кризу. Стога, опоравак са свих аспеката (па и враћања токова на мрежи) може бити, у одређеној мери, угрожен. Ово је посебно значајно јер је сам почетак тзв. Украјинске кризе довео до бројних превирања у вези са снабдевањем и ценама енергената на тржишту, а будући утицај целокупне кризе на глобалну економију се може оценити као изузетно неизванстан.

Литература

- [1] Worldometers.info [The Real Time Statistics Project]: Dover, Delaware, U.S.A. (on-line) available at: <https://www.worldometers.info/coronavirus/#countries> (05.03.2022)
- [2] Ullah, R., Rana, M.S., Qadir, M., Usman, M. and Ahmed, N., 2021. Coronavirus Pandemic: a major public health crisis for the developed and developing world. *The Journal of Infection in Developing Countries* 15(03): 366-369.
- [3] Bill Chappell. (2020). COVID-19: COVID-19 Is Now Officially a Pandemic, WHO Says. National Public Radio. (on-line) available at: <https://www.npr.org/sections/goatsandsoda/2020/03/11/814474930/COVID-19-COVID-19-is-now-officiallya-pandemic-who-says> (06.03.2022)
- [4] WHO Regional Office for Europe.(2020). WHO announces COVID-19 outbreak a pandemic. (on-line) available at: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/health-emergencies/coronavirus-covid-19/news/news/2020/3/who-announces-covid-19-outbreak-a-pandemic#> (07.03.2022)
- [5] Szmigiera, M., Statista [statistics database on the Internet]. Impact of the coronavirus pandemic on the global economy - Statistics & Facts. [updated 2022 Feb 21; cited 2022 March 07]. (on-line) available from: <https://www.statista.com/topics/6139/covid-19-impact-on-the-global-economy/#dossierKeyfigures>
- [6] Congressional Research Service (CRS). (2021). Global Economic Effects of COVID-19. (on-line) available at: <https://fas.org/sgp/crs/row/R46270.pdf> (07.03.2022)
- [7] Arab Trade Union, International Transport Workers' Federation & Danish trade union. (2020). Impact of the Covid 19 on the Transport Industry. (on-line) available at: https://www.ituc-csi.org/IMG/pdf/impact_of_covid-19_on_transportation.pdf (07.03.2022)
- [8] International Civil Aviation Organization (ICAO). (2022). Effects of Novel Coronavirus (COVID-19) on Civil Aviation: Economic Impact Analysis. (on-line) available at: https://www.icao.int/sustainability/Documents/COVID-19/ICAO_Coronavirus_Econ_Impact.pdf (07.03.2022)
- [9] The UIC Communications Department. 2020. A series of potential measures published by the International Union of Railways MANAGEMENT OF COVID-19. (on-line) available at: https://uic.org/IMG/pdf/economic_impact_v2.pdf (08.03.2022)
- [10] Albreht, I. and Kuzović, L.T. (2004). Величине и просечне стопе раста PGDS-a (просечан годишњи дневни саобраћај) на мрежи магистралних путева у Republici Србији (centralno područje i AP Vojvodina) од 2000 до 2003. *Tehnika - Saobraćaj*, 51(3), 223-229.

- [11] Tubić, V., Maletin, M. (2005). General analysis of transportation demand and supply on primary state rural roads network in the Republic of Serbia, *International Journal Transport & Logistics*, No. 09: 36-51,. UDC. 625.71:625.11
- [12] Tubić, V., Vidas, M., Stepanović, N. (2018). Karakteristike saobraćajnih tokova i uslovi saobraćaja na državnoj putnoj mreži Republike Srbije. *Put i saobraćaj*. LXIV, 5-12.
- [13] City of Calgary. 2020. Transportation System Monitoring During COVID-19 Pandemic. (on-line) available at:
https://www.ite.org/ITEORG/assets/File/covid-19/MobilityTrendsDuringCOVID19_May31.pdf
(09.03.2022)
- [14] Institute of Transportation Engineers. COVID-19 Traffic Volume Trends - San Francisco Bay Area, CA. (on-line) available at:
https://www.ite.org/ITEORG/assets/File/covid-19/3_%20San%20Francisco.docx
(09.03.2022)
- [15] Macioszek, E. and Kurek, A. 2021. *Extracting road traffic volume in the city before and during COVID-19 through video remote sensing. Remote Sensing*. 13(12), p.2329.
- [16] Maricopa Association of Governments (MAG). (2020). COVID-19's Impact on Regional Traffic. (on-line) available at:
<https://azmag.gov/Newsroom/MAG-News/covid-19s-effect-on-regional-traffic>
(09.03.2022)
- [17] Institute of Transportation Engineers. COVID-19 Traffic Volume Trends - Loveland, CO. (on-line) available at:
https://www.ite.org/ITEORG/assets/File/covid-19/2_%20Loveland%20CO.pdf
(10.03.2022)
- [18] Parr, S., Wolshon, B., Renne, J., Murray-Tuite, P. and Kim, K., 2020. Traffic impacts of the COVID-19 pandemic: statewide analysis of social separation and activity restriction. *Natural hazards review*, 21(3): p.04020025.
- [19] König, A. and Dreßler, A., 2021. A mixed-methods analysis of mobility behavior changes in the COVID-19 era in a rural case study. *European Transport Research Review*, 13(1): 1-13.
- [20] Li, Q., Bai, Q., Hu, A., Yu, Z., & Yan, S. (2022). How Does COVID-19 Affect Traffic on Highway Network: Evidence from Yunnan Province, China. *Journal of Advanced Transportation*, 2022.
- [21] U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, Federal Highway Administration. Traffic Volume Trends December 2021. (online) available at:
https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/travel_monitoring/21dectvt/index.cfm
(05.05.2022)
- [22] Petković, M. (2018). Analiza merodavnih saobraćajnih protoka u postupcima kreiranja projektnih rešenja puteva. Master rad. Beograd: Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu.
- [23] Brojanje saobraćaja na putnoj mreži Republike Srbije (2019 - 2021). JP „Putevi Srbije“, Beograd.

PRAVILA ZAŠTITE OD POŽARA ZA NAPLATNE STANICE – STUDIJA SLUČAJA NAPLATNA STANICA STARA PAZOVA

Nenad Dobrić ¹, Mladen Marković ²

¹JP Putevi Srbije, email: nenad.dobric@putevi-srbije.rs

²JP Putevi Srbije, email: mladen.markovic@putevi-srbije.rs

Rezime: Pravilima zaštite od požara uređuje se organizacija procesa koji umanjuju rizike od požara, sprečavanja širenja požara, bezbedne evakuacije ljudi i imovine. Pravilima zaštite od požara uređuje se i način osposobljavanja zaposlenih za sprovođenje zaštite od požara i obaveze lica osposobljenih za obavljanje poslova zaštite od požara i drugih zaposlenih. Zaštitu od požara JP „Putevi Srbije“ definiše u zavisnosti od karakteristike objekata i tehnološko radnih procesa, sa konkretnim opasnostima od izbijanja požara na osnovu specifičnosti u okviru preduzeća čija je osnovna delatnost upravljanje državnim putevima i vršenje naplate putarine. Posebnu pažnju sa aspekta zaštite od požara JP „Putevi Srbije“ poklanjaju naplatnim stanicama, čija organizacija i proces obavljanja poslova je uslovljen ispunjenjem odredaba Zakona o putevima kojima je propisano da je JP „Putevi Srbije“ kao upravljač javnim putevima dužno da organizuje naplatu putarine tako da se obezbedi protok vozila bez neophodnog zastoja. U slučaju izbijanja požara u kome su ugroženi životi ljudi i imovina, požar ima negativan uticaj i na životnu sredinu. U radu su prikazana Pravila zaštite od požara sa studijom slučaja požara nastalog 2019. godine na naplatnoj stanici „Stara Pazova“, sa analizom uticaja požara na životnu sredinu.

Ključne reči: Zaštita od požara, bezbednost i zdravlje na radu, naplatne stanice, životna sredina.

RULES OF FIRE PROTECTION FOR COLLECTION STATIONS - CASE STUDY COLLECTION STATION STARA PAZOVA

Abstract: Fire Protection Rules regulate processes that reduce the risk of fire, prevent the spread of fire, safe evacuation of people and properties. Fire Protection Rules also regulate the manner of training employees for the implementation of fire protection activities and the obligations of persons qualified to perform fire protection activities and all other employees. PE "Roads of Serbia" defines fire protection activities depending on the characteristics of facilities and technology of the work processes, with particular fire hazards based on company's main activity: management of state roads and toll collection. PE "Roads of Serbia" pays special attention to fire protection on toll stations. Organization of toll collection process is defined by the Law on Roads that specifies PE "Roads of Serbia" as a public road manager that organizes toll collection and ensures the flow of vehicles without necessary delays. Fire outbreak that endangers lives of people and properties also has a negative impact on the environment. The study presents Fire Protection Rules and case study of fire outbreak occurred in 2019. on toll station „Stara Pazova“, with an analysis of the environmental impact.

Key words: Fire protection, safety and health at work, toll stations, environment.

1. UVOD

“Još od nastanka ljudskog roda pa sve do danas, vatra je čoveku bila veran i dobar sluga, ali opak i zao gospodar”[1]. Današnji stepen razvoja ljudskog društva zahteva svestrano organizovanu akciju u pravcu suprotstavljanja povećanoj opasnosti od požara, koju nam razvoj neminovno uslovljava. Opšti razvoj tehnike i tehnologije, uvođenje novih tehnoloških procesa vezanih za sve veću primenu zapaljivih materijala, korišćenje novih materijala za izradu objekata, upotreba novih vrsta goriva, koncentracija materijalnih dobara na maloj površini, neizbežno nosi sa sobom povećanu opasnost kako od nastajanja požara, tako i od njihovih posledica. „Požar je proces nekontrolisanog sagorevanja kojim se ugrožavaju život i zdravlje ljudi, materijalna dobra i životna sredina”[5]. Imajući u vidu da posledice požara u znatnoj meri utiču i na ekonomsko stanje ljudske zajednice, zaštititi od požara treba dati važan tretman kako bi društvo izgradilo jasan stav od čega treba početi i u kom pravcu treba menjati postojeće stanje u skladu sa principom šire društvene samozaštite. Ovo je osnovni preduslov za uspešno sprovođenje preventivnih zaštitnih mera od požara, na tehnički mogućem i ekonomski opravdanom nivou, što bi sigurno uticalo i na smanjenje posledica od požara. Preventivna zaštita od požara je nužna potreba svake ljudske zajednice, pogotovo one koja ulaže velike napore u cilju ostvarivanja ustavom zagarantovanih prava članova te zajednice na bezbedne uslove rada i života u kojima neće biti ugrožen njihov fizički i moralni integritet. Zbog toga se preventivnom delovanju,

Nenad Dobrić, JP Putevi Srbije, email: nenad.dobric@putevi-srbije.rs

preduzimanju i primeni mera za zaštitu od požara posvećuje poseban značaj. Prevencija zaštite od požara obezbeđuje se planiranjem i sprovođenjem preventivnih mera i radnji tako da se što efikasnije spreči izbijanje požara, a da se u slučaju izbijanja požara rizik po život i zdravlje ljudi i ugrožavanje materijalnih dobara kao i ugrožavanje životne sredine svede na najmanju moguću meru i požar ograniči na samom mestu izbijanja. Požari mogu izazvati ljudske žrtve i ogromne materijalne štete koje su gotovo jednake elementarnoj katastrofi na određenom prostoru. U slučaju izbijanja požara u kome su ugroženi životi ljudi i imovina, požar ima negativan uticaj na životnu sredinu. Štetni uticaji na životnu sredinu mogu se registrovati monitoringom kvaliteta vazduha, vode i zemljišta. Za svaku od navedenih oblasti, postoje odgovarajući Pravilnici kojima su definisane granične vrednosti štetnih parametara kao i načini i rokovi merenja štetnih parametara. Zaštita od požara obuhvata skup mera i radnji za planiranje, finansiranje, organizovanje, sprovođenje i kontrolu mera i radnji zaštite od požara, za sprečavanje izbijanja i širenja požara, otkrivanje i gašenje požara, spasavanje ljudi i imovine, zaštitu životne sredine, utvrđivanje i otklanjanje uzroka požara, kao i za pružanje pomoći kod otklanjanja posledica prouzrokovanih požarom. Zaštita od požara ostvaruje se [4]:

- 1) Organizovanjem i pripremanjem subjekata zaštite od požara za sprovođenje zaštite od požara
- 2) Obezbeđivanjem uslova za sprovođenje zaštite od požara
- 3) Preduzimanjem mera i radnji za zaštitu i spasavanje ljudi, materijalnih dobara i životne sredine prilikom izbijanja požara
- 4) Nadzorom nad primenom mera zaštite od požara

Zakon o zaštiti od požara vrši kategorizaciju privrednih i drugih subjekata na koje se njegove odredbe odnose prema ugroženosti od požara i u zavisnosti od ugroženosti od požara propisuje određene obaveze za pravna lica i druge subjekte. Postoje tri osnovne kategorije prema ugroženosti od požara i koje su definisane na sledeći način: 1) sa visokim rizikom od izbijanja požara – prva kategorija ugroženosti od požara, 2) sa povećanim rizikom od izbijanja požara – druga kategorija ugroženosti od požara i 3) sa izvesnim rizikom od izbijanja požara – treća kategorija ugroženosti od požara. Kategorizaciju objekta vrši Ministarstvo unutrašnjih poslova koje donosi rešenje o kategorizaciji i na osnovu kategorije objekta određene su obaveze.

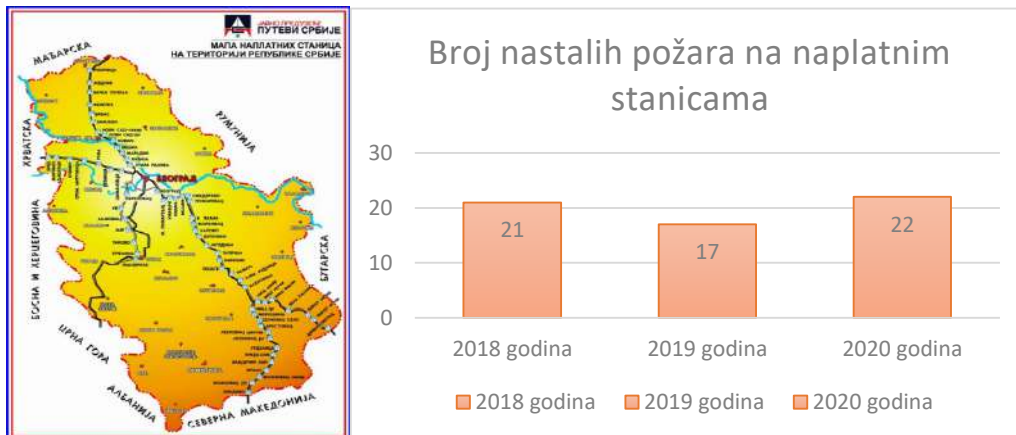
Zaštitu od požara JP „Putevi Srbije“ definiše u zavisnosti od karakteristike objekata i tehnološko radnih procesa, sa konkretnim opasnostima od izbijanja požara na osnovu specifičnosti u okviru preduzeća čija je osnovna delatnost upravljanje državnim putevima i vršenje naplate putarine. Posebnu pažnju JP „Putevi Srbije“ poklanjaju zaštiti od požara na naplatnim stanicama, čija je organizacija i proces obavljanja poslova uslovljen ispunjenjem odredaba Zakona o putevima [11]. Poslovi zaštite od požara organizovani su u okviru Odeljenja za bezbednost i zdravlje na radu, zaštitu od požara i spasavanje na radu u cilju obezbeđivanja bezbednih i zdravih uslova rada i zaštite materijalnih dobara.

U tom cilju utvrđuju se i sprovode preventivne aktivnosti koje se odnose na primenu savremenih tehničkih, ergonomskih, zdravstvenih, obrazovnih, socijalnih, organizacionih mera i sredstava za otklanjanje i/ili smanjenje rizika od nastanka povreda zaposlenih. Na svim lokacijama i u svim poslovnim objektima Odeljenje sprovodi preventivne i periodične preglede i ispitivanje uslova radne okoline i opreme za rad i učestvuje pri izboru lične zaštitne opreme za radna mesta na kojima je predviđena. Na nivou celog JP „Putevi Srbije“, Odeljenje sprovodi obuke zaposlenih iz oblasti bezbednosti i zdravlja na radu i zaštite od požara, koje imaju za cilj da svi zaposleni budu upoznati sa opasnostima koje mogu dovesti do povrede ili požara na radnim mestima, merama zaštite na radnim mestima, upotrebom sredstava i opreme za ličnu zaštitu zaposlenih kao i sredstvima za gašenje požara, postupkom u slučaju povrede na radu ili u slučaju nastanka požara, kao i sa odgovornošću zbog ne pridržavanja propisanih mera zaštite. Navedene aktivnosti doprinose poboljšanju bezbednosti i zdravlja na radu, kao i adekvatne zaštite od požara uz poštovanje neophodnih procedura za bezbedan rad na radnim mestima ne samo na naplatnim stanicama, nego i na svim lokacijama na kojima se obavljaju poslovi iz delokruga rada JP „Putevi Srbije“. Procesi rada Odeljenja definisani su i opisani procedurama u skladu sa zahtevima standarda ISO 45001:2018, na osnovu kojih se prate i mere realizovani učinci bezbednosti i zdravlja na radu [12].

2. MATERIJAL I METOD RADA

2.1. Pravila zaštite od požara za naplatne stanice

Javno preduzeće „Putevi Srbije“ raspolaže sa više od 100 objekata koji su rasprostranjeni širom Srbije, a najveći broj objekata (65) su naplatne stanice koje pripadaju trećoj kategoriji ugroženosti od požara. Treća kategorija podrazumeva obavezno organizovanje i sprovođenje preventivnih mera zaštite od požara sa potrebnim brojem lica stručno osposobljenih za sprovođenje mera zaštite od požara i obezbedi adekvatnu opremu i uređaje za gašenje požara. Broj nastalih požara na naplatnim stanicama za vremenski period 2018-2020 godine prikazan je na slici:



Slika: Mapa naplatnih stanica na teritoriji Republike Srbije
Izvor: JP "Putevi Srbije"

Pravila zaštite od požara u skladu sa Zakonom o zaštiti od požara, a u cilju unapređenja zaštite od požara unutar korisničkog prostora JP "Putevi Srbije" obuhvataju:

1. Organizaciju tehnoloških procesa na način da rizik od izbijanja i širenja požara bude otklonjen, a da u slučaju njegovog izbijanja bude obezbeđena bezbedna evakuacija ljudi i imovine i sprečeno njegovo širenje.
2. Zaštitu od požara u zavisnosti od namene objekta sa potrebnim brojem lica osposobljenih za obavljanje poslova zaštite od požara;
3. Plan evakuacije i uputstva za postupanje u slučaju požara;
4. Način osposobljavanja zaposlenih za sprovođenje zaštite od požara;
5. Prava, obaveze i odgovornosti zaposlenih za sprovođenje preventivnih mera zaštite od požara;
6. Proračun maksimalnog broja ljudi koji se mogu bezbedno evakuisati iz objekta.

Na naplatnim stanicama obavlja se naplata putarine, kontrola i administrativna delatnost. Organizacija i proces obavljanja poslova na naplatnim stanicama uslovljen je ispunjavanjem odredaba Zakona o putevima kojima je propisano da je JP „Putevi Srbije“, kao upravljač javnim putevima dužno da organizuje naplatu putarine tako da se obezbedi protok vozila bez neophodnog zastoja. Za uspešno izvršavanje poslova i zadataka na zaštiti ljudstva i imovine od požara, kao i njegovo gašenje, Pravilima zaštite od požara u skladu sa rešenjem nadležnog organa propisuju se minimalna sredstva i oprema za zaštitu od požara. Na osnovu procene ugroženosti objekata, sa stanovišta zaštite od požara, odnosno fizičko-hemijskih osobina materijala koji se koriste, na naplatnim stanicama mogući su požari: Požari klase „A“ su požari čvrstih materijala sa stvaranjem žara pri sagorevanju (drvo, papir, tekstil,...), Požari klase „B“ su požari zapaljivih tečnosti (benzin i dizel) i Požari klase „C“ su požari zapaljivih gasova (gas u rezervoarima vozila). Požari na električnim instalacijama (razvodnim električnim ormarima i drugim električnim uređajima) nisu tretirani kao posebna klasa požara, već se prilikom isključenja električne energije svrstavaju se u druge pripadajuće kategorije požara. Na naplatnim stanicama mogući su požari na vozilu učesnika u saobraćaju, požari u kancelarijskom prostoru, na električnim instalacijama i požar u agregatskim prostorijama.

Od zapaljivih materija u korisničkom prostoru, na naplatnim stanicama nalazi se drvo, papir, tekstil i plastika. Na osnovu očekivanih klasa požara, predviđena su odgovarajuća sredstva za gašenje požara i to: Mobilni uređaji za početno gašenje požara, odnosno protivpožarni aparati tipa S (prah), CO₂ (ugljiendioksid) i Fe36 (ekogas). Na naplatnim stanicama veće površine su instalirani i sistemi za dojavu požara. Ispravna sredstva i oprema za gašenje požara postavljaju se na označenim, vidnim i pristupačnim mestima. Broj aparata za početno gašenje požara određuje se na osnovu ugroženosti od požara i površine naplatne stanice. Redovni pregled ispravnosti prenosnih aparata za početno gašenje požara i hidranata, obavlja se dva puta u toku godine, odnosno na svakih 6 meseci od strane akreditovanog privrednog društva.

2.2. Plan evakuacije i uputstva za postupanje u slučaju požara na naplatnim stanicama

Plan evakuacije i uputstva za postupanje u slučaju požara donose se kako bi se u slučaju izbijanja požara izvršila bezbedna evakuacija ljudi i imovine i sprečilo širenje požara. Planom evakuacije utvrđuje se organizacija, postupci i mere za osiguravanje brzog i efikasnog načina evakuacije i spašavanja ugroženih lica i imovine iz prostora korišćenjem planiranih evakuacijskih puteva i izlaza. Evakuacija obuhvata organizovani način napuštanja prostorije pre nego što nastupi ugrožavanje života i zdravlja ljudi. To je ustvari udaljšavanje osoba u slučaju opasnosti od ugroženog do bezbednog mesta. Bezbedno mesto je mesto udaljšeno najmanje 5 m od izlaza iz objekta. Svaka evakuacija se sastoji iz četiri osnovne faze: I od polaznog mesta do prvog izlaza, II od prvog izlaza do etažnog izlaza, III od etažnog izlaza do krajnjeg izlaza i IV od krajnjeg izlaza do bezbednog mesta [3]. Obavezan element svih Pravila zaštite od požara je i proračun vremena potrebnog za evakuaciju iz objekta, od najudaljšenije tačke u objektu do krajnjeg izlaza, odnosno bezbednog mesta. Proračun se vrši na osnovu standardizovanih parametara za evakuaciju, uzimajući u obzir karakteristike objekta, (kvadraturu i spratnost), kao i maksimalan broj ljudi koji se mogu zateći u isto vreme u objektu. Po izvršenom proračunu vremena potrebnog za evakuaciju donosi se zaključak u kome se navodi da li su zadovoljšeni svi uslovi za bezbednu evakuaciju. Krajnji cilj nosioca evakuacije je da bezbedno sprovedu posetioce i zaposlene kroz koridore za evakuaciju do bezbednog mesta (zborna mesto). U požarom ugroženom objektu, uvek se prednost daje spasavanju ljudi, međutim, kad god je to moguće, vrši se spasavanje materijalnih dobara i zaštita životne okoline.

Pravilima zaštite od požara propisuje se procedura – postupak u slučaju izbijanja požara. Otkrivanje i dojavu požara i uopšte poremećaja na objektu, opremi i instalacijama, koji bi mogli izazvati opasnost po život i zdravlje osoba i imovinu, vrše svi zaposleni kao i radnici obezbeđenja. Najbliži zaposleni su dužni da pristupe lokalizaciji požara priručnim sredstvima i protivpožarnim aparatima i to pre svega na adekvatan način bez opasnosti po sebe kao i prisutna lica u neposrednoj okolini. Ako je požar kasno uočen i ne može se ugaziti priručnim sredstvima i protivpožarnim aparatima, odmah se upućuje poziv teritorijalnoj vatrogasnoj jedinici, organima MUP-a i licu zaduženom za sprovođenje mera zaštite od požara u preduzeću. Do dolaska vatrogasne jedinice, Poslovođa smene na naplatnoj stanici, kao rukovodilac evakuacije organizuje ljudstvo prema unapred napravljenom Planu, izdaje zadatke i rukovodi akcijom gašenja, spasavanja i iznošenjem materijalnih dobara iz požarom zahvaćenog objekta. Po dolasku teritorijalne vatrogasne jedinice na mesto događaja svi zatečeni i pridošli zaposleni stavljaju se na raspolaganje komandiru vatrogasne jedinice, koji preuzima dalje mere gašenja i spasavanja i izvršavaju njegova naređenja. U slučaju izbijanja požara većih razmera, elementarnih nepogoda, eksplozija, kojima se mogu ugroziti ljudski životi, materijalna dobra, ili životna okolina, svi zaposleni su dužni da rade na spasavanju unesrećenih i imovine, bez obzira na radno vreme, radno mesto i kvalifikaciju.



Slika: Plan evakuacije naplatne stanice "Stara Pazova" – kabina broj 8
 Izvor: JP "Putevi Srbije"

2.3. Način osposobljavanja zaposlenih za sprovođenje zaštite od požara

Osnovna obuka iz oblasti zaštite od požara za zaposlene u JP „Putevi Srbije“, vrši se na osnovu Programa osnovne obuke iz oblasti zaštite od požara koji na predlog odgovornog lica za sprovođenje mera zaštite od požara donosi direktor preduzeća, a po pribavljenoj saglasnosti inspeksijskih organa, Sektora za vanredne situacije Ministarstva unutrašnjih poslova. Sadržajem Programa osnovne obuke obezbeđuje se sticanje neophodnih teorijskih i praktičnih znanja o merama zaštite od požara, opštim i specifičnim, vezanim za pojedine poslove i zadatke u procesu rada, a posebno o pravima, dužnostima i odgovornostima radnika u sprovođenju zaštite od požara, načinu rukovanja prenosnim aparatima za početno gašenje požara, opremom i sredstvima za gašenje požara, o postupku u slučaju evakuacije, izbijanja požara i dr. Osnovna obuka iz oblasti zaštite od požara organizuje se za sve zaposlene odmah po stupanju na rad, a najkasnije u roku od 30 dana od dana stupanja na rad. Po završenoj osnovnoj obuci obavezno se sprovodi postupak provere znanja i osposobljenosti zaposlenih u JP „Putevi Srbije“. Provera znanja i osposobljenosti vrši se putem testova, usmenim ispitivanjem i proverom praktične obučenosti. O proveru znanja iz oblasti zaštite od požara sačinjava se zapisnik i vodi odgovarajuća evidencija. Radnik koji ne zadovolji na proveru znanja dužan je da naknadno, a najkasnije od 15-30 dana od izvršene provere znanja, ponovo polaže test. Provera znanja zaposlenih vrši se jednom u tri godine.

U toku 2018. godine, u JP „Putevi Srbije“, donet je novi program obuke zaposlenih i sprovedena je obuka po novom modelu za sve zaposlene, koja je podigla svest zaposlenih iz ove oblasti. Obuka je obuhvatala teorijski deo - predavanje sa prezentacijom, praktično pokazivanje načina upotrebe protivpožarnih aparata koji se koriste u preduzeću i provere znanja zaposlenih putem popunjavanja testova. Obuku su sproveli zaposleni u Odeljenju za bezbednost i zdravlje na radu, zaštitu od požara i spasavanje na radu, posebno stručno osposobljeni za rad na poslovima zaštite od požara. Izabrane teme koje su prezentovane tokom obuke su: Obaveze društva u oblasti zaštite od požara; osnovi gorenja, uzroci nastajanja požara i gašenje požara; savremeni tehnički sistemi za otkrivanje i gašenje požara i specifičnosti JP „Putevi Srbije“ kao preduzeća i njegovih objekata. Značaj ove vrste obuke bio je izuzetan jer je svim zaposlenima omogućeno sticanje znanja i ovladavanje praktičnim veštinama upotrebe protivpožarnih aparata koje im obezbeđuje da na ispravan i pravovremen način reaguju u neželjenim situacijama, kako u poslovnom, tako i u privatnom okruženju.



Slika: Obuka zaposlenih na naplatnoj stanici iz oblasti zaštite od požara
Izvor: JP "Putevi Srbije"

2.4. Analiza uticaja požara nastalih na naplatnim stanicama na životnu sredinu

U slučaju izbijanja požara, vazduhom se širi oblak dima koji u sebi sadrži razna manje ili više toksična jedinjenja (SO_x, CO, NO_x, čađ, pepeo i dr.) koji su produkti sagorevanja. Nivo koncentracije zagađujućih materija u dimnom oblaku zavisi od vremenskih uslova. Pri neutralnim i nestabilnim vremenskim prilikama najveća koncentracija zagađujućih materija će biti pri površini u relativnoj blizini zapaljenog objekta. Ukoliko su vremenski uslovi bez vetra, prenošenje polutanata dalje od mesta nastanka je sporo, kao i smanjenje njihove koncentracije kao posledica mešanja sa vazduhom. U slučaju da je vreme vetrovito, od intenziteta i smera duvanja vetra, zavisice smer prenosa polutanata i njihova raspodela u lokalnom i globalnom prostoru, a brzina smanjenja njihove koncentracije biće veća. Čestice iz oblaka dima se vremenom akumuliraju i padaju na okolno zemljište. Na ovaj način došlo bi do izvesnog zagađenja zemljišta, a samim tim i površinskih i podzemnih voda. Uticaj ovako nastalog zagađenja je dugotrajan. Najčešći uzroci nastajanja požara na naplatnim stanicama su požari na vozilu učesnika u saobraćaju koji nastaje zbog neispravnosti vozila (požar u motornom delu, neispravne elektro instalacije, guma na kamionu, autobusu). U istraživanju Truchot et al. 2018. su analizirali procenat emisije toksičnih gasova u slučaju požara na vozilu, prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1. Emisije toksičnih gasova u slučaju požara na vozilu

Emitovani gasovi	procenat emisije gasova % (srednje vrednosti)
kiseli gasovi	
Hlorovodonik	0,35%
Fluorovodonik	0,1%
Cijanovodonična kiselina (HCN)	0,03%
oksidi ugljenika i azota	
Ugljen dioksid	94,94%
Ugljen-monoksid	2,12%
Azot-oxid	0,13%
Azot-dioksid	0,09%
Sumpor-dioksid	0,13%
ukupni ugljovodonici	0,41%

Izvor: (Truchot et al. 2018)

Pored uticaja na životnu sredinu, zagađujuće materije nastale požarom deluju štetno i na ljudski organizam, a posebno na respiratorni trakt. Ugljen monoksid je veoma opasni polutant vazduha lokalne atmosfere, sa posebno opasnim dejstvom na ljude i životinje. Dužim boravkom u zagađenoj atmosferi moguća je pojava nekih sistemskih oboljenja, alergija, astme, trovanja i dr. Kod ljudi neposredno prisutnih na mestu udesa može doći do ozbiljnih povreda zbog mehaničkih ozleđivanja, opekotina većih površina kože i težeg stepena, gušenja usled udisanja otrovnih gasova i kontakta sa elektroprovodnicima, koje se mogu završiti i smrtnim ishodom. Ovakvo akcidentalno zagađenje je rizično za ljude koji rade u neposrednoj blizini.

Nenad Dobrić, JP Putevi Srbije, email: nenad.dobric@putevi-srbije.rs

3. REZULTATI

3.1. Požar na naplatnoj stanici „Stara Pazova“

Naplatna stanica „Stara Pazova“ se nalazi na državnom putu I-A reda broj 1 (E-75), na deonici Beograd – Novi Sad. Naplatna stanica „Stara Pazova“ je prizemna, montažnog tipa gradnje. Sastoji se od 8 kabina i 9 kolovoznih traka i koristi se za naplatu putarine iz jednog i distribuciju kartica iz drugog pravca. Naplata putarine vrši se neprekidno od 00:00 do 24:00 časa.



Slika: Situacija naplatne stanice „Stara Pazova“
Izvor: JP „Putevi Srbije“

Naplatne kabine su postavljene na betonsko ostrvo koje je uzdignuto u odnosu na površinu kolovoza. Kabine su tipske, površine oko 6 m², u kojima svoj rad obavlja jedan do dva inkasanta. Kabine su izrađene od aluminijumskih duplih ploča koje su između napunjene izolacionim (toplotnim i zvučnim) materijalom. Sve naplatne kabine su obezbeđene aparatima za početno gašenje požara tipa „S“. Pored naplatne rampe nalazi se upravna zgrada naplatne stanice „Stara Pazova“ površine 240m² sa parking prostorom. Pravilima zaštite od požara propisano je da je maksimalni broj zaposlenih koji se mogu naći u jednom momentu na NS „Stara Pazova“ 25.



Slika: naplatna stanica „Stara Pazova“
Izvor: JP „Putevi Srbije“

Dana 24.04.2019. godine, oko 20:00 na naplatnoj stanici „Stara Pazova“ nastao je požar na vozilu učesnika u saobraćaju koji se zbog jakog vetra koji je duvao vrlo brzo proširio i na kabine za naplatu. Požar je nastao kada se vozilo zaustavilo u naplatnom kanalu pri naplati putarine. Zaposlena – inkasant koja je radila u kabini primetila je dim koji je izlazio ispod haube vozila i odmah obavestila učesnika u saobraćaju da napusti vozilo. Čim je učesnik u saobraćaju napustio vozilo nastao je požar koji je zahvatio motorni prostor i kabinu vozila. Zaposlena koja je radila u kabini iznela je dnevni pazar i lične stvari, izašla iz kabine na bezbedno mesto i odmah obavestila poslovođu smene o nastalom požaru. Poslovođa smene sa naplatne stanice i dežurni službenik obezbeđenja pristupili su gašenju požara, dok je drugi zaposleni koji je video da je požar na vozilu u razbuktaloj fazi i da se proširio na kabine za naplatu putarine, pozvao dežurnu vatrogasnu jedinicu. Zaposleni iz drugih kabina su se organizovali i prineli protivpožarne aparate koji su bili raspoređeni u kabinama i u upravnoj zgradi. Zaposleni koji su pristupili gašenju požara su tom prilikom aktivirali sve protivpožarne aparate (S6 - 5 kom, S9 - 2 kom, S50 - 1 kom, Co2-5 - 2 kom, Co2-10 - 1 kom) koji su bili raspoređeni na naplatnoj stanici. Poslovođa smene je naložio kolegama da zatvore dve trake za naplatu i vozila koja pristižu prebace na druge kanale za prolaz vozila radi bezbednosti učesnika u saobraćaju. Zaposleni su požar gasili do dolaska vatrogasne jedinice koja je stigla posle 14 minuta od prijema poziva i tom prilikom uspeali su da lokalizuju požar, odnosno da ga drže pod kontrolom, kako se ne bi proširio i na nadstrešnicu i da zahvatio i druge kabine za naplatu. Nakon intervencije vatrogasne jedinice požar je u potpunosti ugašen. Rezultat nastalog požara na naplatnoj stanici „Stara Pazova“ je izgorelo vozilo učesnika u saobraćaju i oštećene dve kabine za naplatu putarine.



Slika: izgorelo vozilo učesnika u saobraćaju i oštećene dve kabine na naplatnoj stanici „Stara Pazova“
Izvor: Nenad Dobrić

Na lice mesta po saznanju o nastalom požaru izašli su odgovorna lica za sprovođenje mera zaštite od požara, kao i dežurni inspektor Sektora za vanredne situacije Ministarstva unutrašnjih poslova koji je izvršio uviđaj. Naplatna stanica je u toku iste večeri obezbeđena ispravnim protivpožarnim aparatima iz magacina, dok su utrošeni poslani na servis. Inspektor Sektora za vanredne situacije Ministarstva unutrašnjih je dao preporuku licima zaduženim za sprovođenje mera zaštite od požara da protivpožarne aparate starije od 20 godina zamene novim, kao i da aparate koji su raspoređeni na naplatnoj stanici, a nisu pod stalnim pritiskom, zamene automatskim koji su pod stalnim pritiskom. Protivpožarni aparati koji su pod stalnim pritiskom su u svakom trenutku spremni za aktivaciju, odnosno jednostavniji su i praktičniji za rukovanje pošto nemaju odloženo dejstvo. U planu rada za 2019. godinu Odeljenja za bezbednost i zdravlje na radu i zaštitu od požara je već bila predviđena zamena protivpožarnih aparata koji su stariji od 20 godina novim, koji su pod stalnim pritiskom, što je do kraja 2019. godine i urađeno, kako na naplatnoj stanici „Stara Pazova“, tako i na ostalim naplatnim stanicama u Srbiji. U toku 2020. godine u svim objektima JP „Putevi Srbije“ svi protivpožarni aparati stariji od 15 godina koji nisu bili automatski, odnosno pod stalnim pritiskom, zamenjeni su novim. Takođe svi stari protivpožarni aparati u službenim vozilima zamenjeni su aparatima od 2kg praha, koji su pod stalnim pritiskom. Konstatovano je da su na naplatnoj stanici „Stara Pazova“ preduzete sve preventivne mere zaštite od požara i da je značajna bila pravovremena reakcija zaposlenih koji su prošli osnovnu obuku iz oblasti zaštite od požara.

3.2. Monitoring životne sredine

Program praćenja stanja životne sredine – monitoring, definisan je kao obaveza Zakonom o zaštiti životne sredine [6], a njegovo sprovođenje vrši se u skladu sa važećom zakonskom regulativom iz ove oblasti. Pod monitoringom se podrazumeva sistemsko merenje, ispitivanje i ocena parametara stanja životne sredine koja obuhvata praćenje prirodnih faktora i promene stanja. Sistemom monitoringa životne sredine mogu se preduprediti veće posledice, a na bazi rezultata monitoringa preduzimaju se dodatne organizacione ili investicione mere. Preporuka je da za analiziranu studiju slučaja - Požar na naplatnoj stanici „Stara Pazova“ zadatak monitoringa životne sredine bude praćenje kvaliteta vazduha, kvaliteta vode i promene parametara zemljišta.

Monitoring vazduha - Zahtevi kvaliteta vazduha prema Uredbi o uslovima za monitoring i zahtevima kvaliteta vazduha [7] su: granične vrednosti nivoa zagađujućih materija u vazduhu; gornje i donje granice ocenjivanja nivoa zagađujućih materija u vazduhu; granice tolerancije i tolerantne vrednosti; koncentracije opasne po zdravlje ljudi i koncentracije o kojima se izveštava javnost; kritični nivoi zagađujućih materija u vazduhu; ciljne vrednosti i (nacionalni) dugoročni ciljevi zagađujućih materija u vazduhu; rokovi za postizanje graničnih i/ili ciljnih vrednosti, u slučajevima kada su one prekoračene u skladu sa Zakonom. Prema Zakonu o zaštiti vazduha [8] praćenje kvaliteta vazduha može se obavljati i namenski indikativnim merenjima, na osnovu akta nadležnog organa za poslove zaštite životne sredine kada je potrebno utvrditi stepen zagađenosti vazduha na određenom prostoru koji nije obuhvaćen mrežom monitoringa kvaliteta vazduha. U skladu sa Zakonom o zaštiti životne sredine a prema članu 72., operater je dužan da prati indikatore emisija, odnosno indikatore uticaja svojih aktivnosti na životnu sredinu i indikatore efikasnosti primenjenih mera prevencije nastanka ili smanjenja nivoa zagađenja.

Monitoring kvaliteta vode - neophodan je u cilju preventive i zaštite životne sredine. Uredbom o graničnim vrednostima prioriternih i prioriternih hazardnih supstanci koje zagađuju vode i rokovima za njihovo dostizanje [9] definisane su supstance i njihove dozvoljene srednje i maksimalne koncentracije koje se ne smeju prekoračiti da se ne bi dugoročno ili kratkoročno ugrozili standardi kvaliteta životne sredine za vode a time i zdravlje ljudi.

Monitoring zemljišta - Kontrolu narušenih hemijskih i bioloških svojstava zemljišta, potrebno je sprovesti u slučajevima nakon eventualnog akcidentnih situacija. Prema Uredbi o graničnim vrednostima zagađujućih, štetnih i opasnih materija u zemljištu [10], definisana je granična vrednost zagađujućih, štetnih i opasnih materija koje ukazuju na kontaminaciju tzv. remedijacione vrednosti. Prvo se utvrđuje “nulto stanje” monitoringa, odnosno mere se parametri, pre početka rada nekog objekta.

3.3. Plan sanacije

Preporuka je izrada Plana sanacije kako za studiju slučaja naplatnu stanicu „Stara Pazova“ tako i za druge sadašnje i buduće naplatne stanice. Mere za otklanjanje posledica imaju za cilj praćenje nakon akcidentne situacije, obnavljanje i sanacije radne i životne sredine, vraćanje u prvobitno stanje objekata, postrojenja i instalacija, kao i uklanjanje opasnosti od eventualnog ponovnog nastanka akcidentnih situacija. Mere obuhvataju: izradu Plana sanacije i izradu izveštaja o akcidentnom slučaju. Zavisno od vrste akcidentnih situacija, obima posledica i mogućih specifičnosti Plan sanacije se izrađuje nakon udesa, ali obavezno mora da sadrži:

- ciljeve i obim sanacije,
- snage i sredstva koje je potrebno angažovati pri sanaciji,
- program monitoringa radne i životne sredine nakon akcidentne situacije,
- troškove sanacije i način obaveštavanja javnosti.

Sanaciju sprovode osposobljene jedinice (vatrogasna i interventna), pojedini stručnjaci i specijalisti, kao i svi ostali zaposleni na nivou svojih znanja i mogućnosti. Pri otklanjanju posledica požara u prioriternu mere i aktivnosti spadaju: medicinski tretman povređenih, raščišćavanje požarom uništenih objekata, opreme i instalacije, saniranje mesta udesa, praćenje nakon akcidentne situacije i otklanjanje moguće opasnosti od ponovnog požara.

4. ZAKLJUČCI

Opasnost od nastanka požara na naplatnim stanicama, koju nameće konstantno povećanje broja vozila koji se kreću autoputevima i materijalne štete koje tom prilikom nastaju, nameću potrebu kompleksnijeg sagledavanja ovog problema i preduzimanje što efikasnijih mera preventivne zaštite i suzbijanja, odnosno onemogućavanja težih posledica.

Osnov efikasne zaštite od požara je prevencija – normativna, organizaciona i tehnička. Donošenje normativnih dokumenata, kao što su Pravila zaštite od požara, osnovni je preduslov za uspešno sprovođenje preventivnih mera zaštite od požara u JP „Putevi Srbije“. U javnom preduzeću „Putevi Srbije“ posebna pažnja se posvećuje obukama zaposlenih iz oblasti zaštite od požara kao najvažniju meru prevencije. Obuke su prilagođene radnim procesima i radnom okruženju zaposlenih, gde se akcenat stavlja na zaposlene na naplatnim stanicama i u tunelsko operativnim centrima. Obuke iz oblasti zaštite od požara su imale za cilj da svi zaposleni budu upoznati sa opasnostima koje mogu dovesti do požara i pravilnom reagovanju upotrebom sredstava i uređaja za gašenje požara. Takođe, veće ulaganje u preventivu bi trebalo da bude prioritet u narednom periodu, obzirom da se jedan dinar uložen u preventivu vraća sedmostruko ukoliko do štete ne dođe. JP „Putevi Srbije“, iz godine u godinu radi na unapređuju i modernizaciji postojeće opreme i protivpožarnih uređaja. U prethodne četiri godine zamenjeno je više od 700 protivpožarnih aparata novim, koji su sada automatski, odnosno praktičniji za aktivaciju. Pored mnogih napora nadležnih u JP „Putevi Srbije“ da ovu oblast podignu na jedan viši nivo, neophodan je još detaljniji pristup ovoj problematici jer bi zaštita od požara, pored bezbednosti i zdravlja na radu trebala da bude jedan od prioriteta svakom preduzeću.

Štetni uticaji na životnu sredinu mogu se registrovati kroz monitoring životne sredine. Za svaku od navedenih oblasti, postoje odgovarajući Pravilnici kojima su definisane granične vrednosti štetnih parametara kao i načini i rokovi merenja štetnih parametara. U radu je data preporuka monitoringa životne sredine za analiziranu studiju slučaja - požar na naplatnoj stanici „Stara Pazova“ da bude praćenje kvaliteta vazduha, kvaliteta vode i promene parametara zemljišta. Takođe, dat je okvir izrade Plana sanacije kako za studiju slučaja naplatnu stanicu „Stara Pazova“ tako i za druge sadašnje i buduće naplatne stanice.

Mnogo je primera sa naplatnih stanica, gde su zaposleni primenili znanje koje su stekli na obuci i pravovremenom reakcijom ugasili ili lokalizovali požar koji najčešće nastaje na vozilu učesnika u saobraćaju. Može se zaključiti da je studija slučaja - požar na naplatnoj stanici „Stara Pazova“ jedan od dobrih primera odgovornog i pravovremenog reagovanja zaposlenih koji su prošli obuku iz oblasti zaštite od požara, kao i da veliki značaj imaju procedure definisane Pravilima zaštite od požara u kriznim situacijama.

4. LITERATURA:

1. Erić B. Milan, Protivpožarna i preventivno-tehnička zaštita, inženjersko-tehnički priručnik, Prozor, Čačak 2003.
2. Jakovljević V., Civilna zaštita u Republici Srbiji, Fakultet bezbednosti, Beograd 2011.
3. Bujandrić. V., Bujandrić N. Požar, gašenje i protivpožarna tehnika, Beograd, 1995.
4. B. Truchot, F. Fouillen, S. Collet. An experimental evaluation of the toxic gas emission in case of vehicle fires. 7. International Symposium on Tunnel Safety and Security (ISTSS), Mar 2016, Montreal, Canada.
5. Zakon o zaštiti od požara („Sl. glasnik RS“, br. 111/2009; 20/2015; 87/2018 i 87/2018-dr.zakoni).
6. Zakon o zaštiti životne sredine ("Sl. glasnik RS", br. 135/2004, 36/2009, 36/2009 - dr. zakon, 72/2009 - dr. zakon, 43/2011 - odluka US, 14/2016, 76/2018, 95/2018 - dr. zakon i 95/2018 - dr. zakon)
7. Uredba o uslovima za monitoring i zahtevima kvaliteta vazduha ("Službeni glasnik RS" br. 11/2010, 75/10 i 63/13)
8. Zakon o zaštiti vazduha ("Sl. glasnik RS", br. 36/2009, 10/2013 i 26/2021 - dr. zakon)
9. Uredba o graničnim vrednostima prioriternih i prioriternih hazardnih supstanci koje zagađuju vode i rokovima za njihovo dostizanje ("Sl. glasnik RS", br. 24/2014)
10. Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih, štetnih i opasnih materija u zemljištu ("Sl. glasnik RS", br. 30/2018 i 64/2019)
11. Pravila zaštite od požara – naplatna stanica „Stara Pazova“
12. Web sajt JP „Putevi Srbije“ – www.putevi-srbije.rs

OSNOVNI SIGURNOSNI NEDOSTACI CESTOVNE MREŽE U BiH I ZEMLJAMA JUGOISTOČNE EUROPE - PROBLEM PRISTUPA SIGURNOSTI

Boris Čutura¹, Ivan Lovrić², Tomislav Bojić³

¹ Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, boriscutura@gmail.com

² Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, ivan.lovric40@gmail.com

³ Federalno ministarstvo prometa i komunikacija, Bosna i Hercegovina, Tomislav.Bojic@fmpik.gov.ba

Rezime: U Bosni i Hercegovini i zemljama Jugoistočne Europe broj i težina prometnih nesreća su nepovoljniji od prosjeka razvijenih država. Može se reći da je ovo primarno rezultat nedovoljne razvijenosti cestovne mreže, loše i neusklađene lokalne regulative koja se primjenjuje u svim fazama (upravljanje, planiranje, projektiranje, građenje i održavanje).

U ovom radu istaknuti su osnovni nedostaci sigurnosti vodeći se EU regulativom 2008/96/EC i EU 2019/1936 i problemi njihove primjene kao što je prvenstveno funkcija ceste.

Mnoge značajne i opterećene dionice magistralnih/državnih cesta pored toga što prolaze kroz gradove imaju i veliku uzdužnu izgrađenost, gdje daljinski (tranzitni) promet nema alternativu. Takve dionice u naselju je potrebno tretirati posebno na način koji podrazumijeva kontrolu brzine, odgovarajućeg poprečnog presjeka kako bi se održala razina sigurnosti ugroženih korisnika što nije slučaj u praksi.

Na izvangradskim dionicama cesta kao glavni problem se ističe neuvažavanje realnih uvjeta odvijanja prometa, kao mjerodavna se uzima računaska, a ne operativna brzina. S druge strane razvijene države uvode nove pristupe u cestama kao što su self-explaining i error-forgiving.

Ključne reči: Sigurnost ceste, ugroženi korisnici, poprečni presjek, brzina, pravilnici za projektiranje, upravljanje mrežom cesta.

BASIC SAFETY DEFICIENCIES OF THE ROAD NETWORK IN BOSNIA AND HERZEGOVINA AND OTHER COUNTRIES OF SOUTH-EASTERN EUROPE - THE PROBLEM OF THE SAFETY APPROACH

Boris Čutura¹, Ivan Lovrić², Tomislav Bojić³

¹ Faculty of Civil Engineering, University of Mostar, boriscutura@gmail.com

² Faculty of Civil Engineering, University of Mostar, ivan.lovric40@gmail.com

³ Federal Ministry of Transport and Communications, Bosnia and Herzegovina, Tomislav.Bojic@fmpik.gov.ba

Abstract: In Bosnia and Herzegovina and other countries of South-eastern Europe, the number of fatal traffic accidents is much higher than the average in developed countries. This is primarily the result of insufficient development of the road network as well as poor and non-harmonized local regulations that are applied at stages of planning, design, construction, management, and maintenance.

In this paper, the main safety problems that are emphasized in European safety directives 2008/96/EC and EU2019/1936 are shown, like functional road classification (sections) into an urban and rural areas.

Many important and high-volume road sections in addition to passing through cities, also pass through linear settlements where long-distance (transit) traffic has no alternative. These sections in the settlements need to be treated in a special way that includes speed control and appropriate cross-section in order to maintain the safety level of vulnerable users, which is not the case in practice.

The main problem of rural road sections is the discrepancy between real and design traffic conditions where the design speed is applied instead of the operating speed.

On the other hand, developed countries introduced new approaches such as self-explaining and error-forgiving roads.

Keywords: Road safety, vulnerable users, cross section, speed, design rules, network management.

¹ Boris Čutura: boriscutura@gmail.com

1. UVOD

Prema statističkim podacima, u Bosni i Hercegovini (BiH) kao i zemljama Jugoistočne Europe, broj prometnih nesreća i onih s najtežim posljedicama je mnogo veći od prosjeka razvijenih država. Također, broj stradalih pješaka je veći u nerazvijenim nego u razvijenim državama.

Razloga je nekoliko, a glavni su nerazvijenost cestovne mreže te loša i neusklađena lokalna regulativa koja se primjenjuje u svim fazama (upravljanje, planiranje, projektiranje, građenje i održavanje).

Primjena provjere sigurnosti u BiH je tek u začetima kroz inspekciju postojećih cesta (RSI) i reviziju (RSA) samo pojedinih dionica, najčešće autoceste, a osim u Srbiji, nije puno bolja situacija niti u okruženju. Ako i postoje regulative i načelno prihvaćanje pristupa sigurnosti, u praksi je slabo primijenjeno.

Poslije EU direktive 2008/96/EC [1] koja nije u praksi našla veliku primjenu, EU je izmijenila i dopunila postojeću direktivu s EU direktivom 2019/1936 [2].

U Federaciji Bosne i Hercegovine u fazi je realizacije projekt kontrole cestovne sigurnosti KCS (RSI – Road safety Inspection) na dijelu dionica magistralnih cesta koje su procijenjene kao najrizičnije, gdje su spomenuti problemi uočeni na samom terenu.

2. OSNOVNI PROBLEMI SIGURNOSTI NA MREŽI CESTA

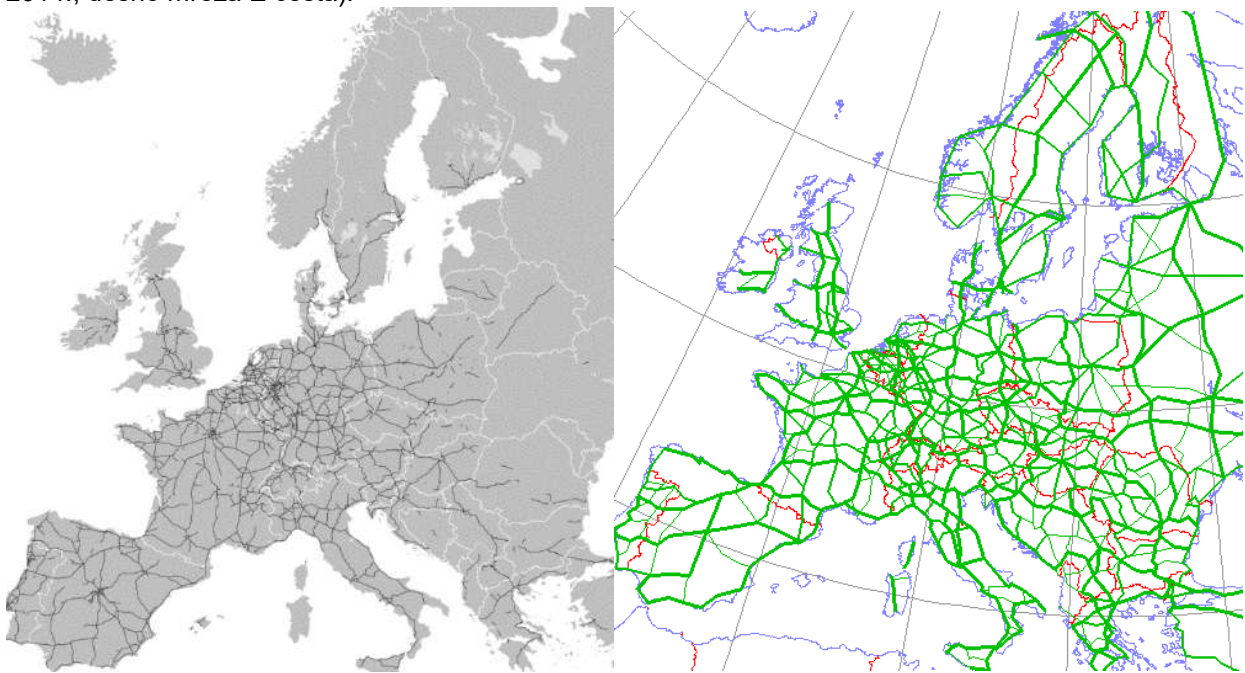
U uvodu su spomenuti glavni razlozi većeg broja teških prometnih nesreća u BiH i nerazvijenim državama od onih u razvijenim. U nastavku je kroz nekoliko bitnih točaka detaljnije obrazložen ovaj problem kroz pojedine faktore koje treba unaprijediti kako bi se poboljšala sigurnost. Mogu se podijeliti u dvije skupine: problem infrastrukture i problem regulative i sustavnosti pristupa.

2.1. Problem infrastrukture

Problem infrastrukture se očituje kroz nekoliko bitnih faktora kao što su (indirektno, ali značajno utječu) nerazvijenost cestovne mreže i nepovezivanje s drugim vidovima transporta (multimodalni transport), kao i upravljanje postojećom mrežom i planiranje nove infrastrukture.

2.1.1. Nerazvijenost cestovne mreže i drugih vidova transporta

Nerazvijenost cestovne mreže, a pogotovo cesta višeg ranga (autocesta i brzih cesta) značajno utječe na odvijanje prometa jer značajan tranzitni i teretni promet prolazi kroz gradove i naselja. Također je nerazvijena i željeznica koja omogućuje rasterećenje cestovne mreže primarno od teretnog prometa. Slika 1 prikazuje očiti primjer nerazvijenosti mreže autocesta u Jugoistočnoj Europi (lijevo - aproksimativna izgrađenost autocesta u 2014., desno mreža E cesta).



Slika 1. Prikaz izgrađenosti mreže autocesta u Europi (lijevo) i definiranih E cesta (desno)

Izvor: https://www.wikiwand.com/en/International_E-road_network

Može se primijetiti da je gustoća mreže europskih koridora manja u zemljama regije u usporedbi sa razvijenim državama, a samim tim je jasno da je stanje i izgrađenost cesta i pruga nižeg ranga, ako povučemo istu paralelu, još u većem nesrazmjeru. U zemljama regije primarna ulaganja su trenutno u mrežu europskih koridora koji prolaze kroz navedene države i za koje Europska Unija izdvaja značajna novčana sredstva kako bi pomogla podizanju sigurnosti i kvalitete putovanja na mreži europskih koridora.

2.1.2. Nedefinirana funkcija ceste i drugi nedostaci

Prethodno je spomenut problem nerazvijenosti mreže što dodatno daje na važnosti mreži ostalih cesta, pogotovo magistralnih cesta koje zbog nedostatka autocesta i brzih cesta jesu najznačajnije u mreži. Navedeni problem je prepoznala i izmijenjena EU direktiva koja je propisala da se RSI radi i na mreži cesta koje su po rangu ispod ranga autocesta (ili na mreži glavnih cesta) za razliku od direktive 2008/96/EC koja je propisivala obvezu samo za autoceste i europske koridore.

Mnoge značajne i opterećene dionice magistralnih/državnih imaju veliku uzdužnu izgrađenost s direktnim pojedinačnim pristupima (slika 2) i u većini slučajeva prolaze kroz gradove (slika 3) gdje daljinski (tranzitni) promet nema alternativu.

Kao osnovni problem može se istaknuti funkcija ceste koja nije poštivana jer u funkcionalnom smislu temeljno je razlikovati izvangradske i gradske dionice ceste, što je prva točka direktive 2008/96/EC [1].



Slika 2. Poprečni profil magistralne ceste u naselju

Dionice u naselju je potrebno tretirati na način koji podrazumijeva kontrolu brzine i odgovarajućeg poprečnog presjeka kako bi se održala razina sigurnosti ugroženih korisnika što nije slučaj u praksi (slika 2). Kontrola brzine je problematična jer elementi ceste često omogućuju prevelike brzine (poprečni profil, prvenstveno širina voznih traka).

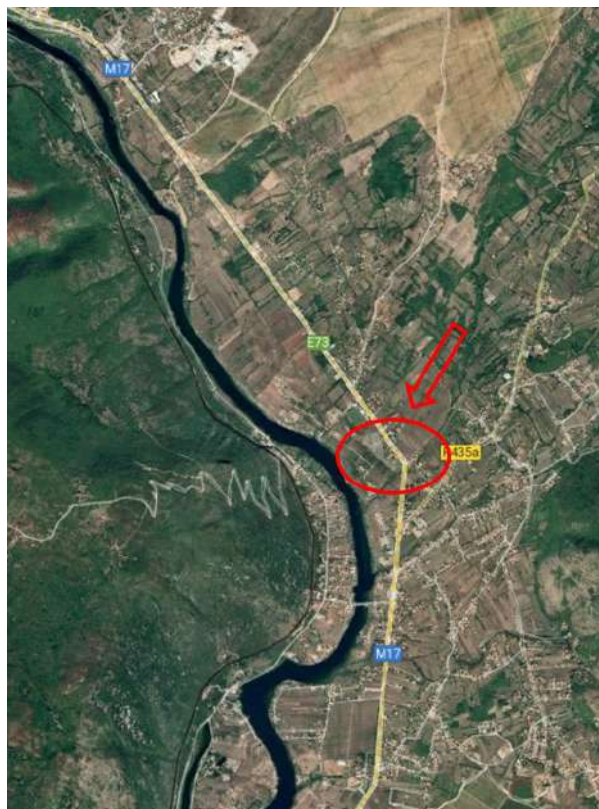
Sama kontrola brzine znakovima o ograničenju brzine nije dovoljna da vozača koji prolazi navedenom dionicom „natjera“ da smanji brzinu kretanja ako su mu svi elementi trase pri prolasku kroz naselje identični elementima koji su vladali i na izvangradskej dionici. Potrebno je vozača „natjerati“ da smanji brzinu kretanja kroz naseljeno mjesto promjenom poprečnog presjeka ceste u dijelu dionice koji prolazi kroz naseljeno mjesto. To je moguće uraditi ili izgradnjom pješačkih i biciklističkih staza na račun dijela širine ceste kao i samim suženjem voznih traka (iscrtavanjem širih rubnih traka) čime će se samo vizualno smanjiti poprečni presjek ceste da odgovara širini kolnika za smanjenu brzinu. Iznimno dobar primjer iz europskih zemalja predstavljaju „kapije“ ili kružni tokovi na ulascima u naseljena područja. Za početak ih je moguće zamijeniti iscrtavanjem na kolniku sa pratećom horizontalnom i vertikalnom signalizacijom i vibrirajućim trakama kako bi vozače pripremili da se u budućnosti mogu planirati i prave „kapije“ na ulascima u naseljena mjesta.

Iznimno je bitna promjena svijesti u nadležnim institucijama, od upravitelja ceste do zakonodavca o tome da magistralna/državna cesta mijenja funkciju prolaskom kroz naselja. Iako predstavlja glavnu poveznicu većih gradova i centara i osnovne uloge mobilnosti, ako prolazi kroz naseljeno mjesto postaje ulica u naselju i nužno je da svi njeni elementi odgovaraju ograničenju brzine.



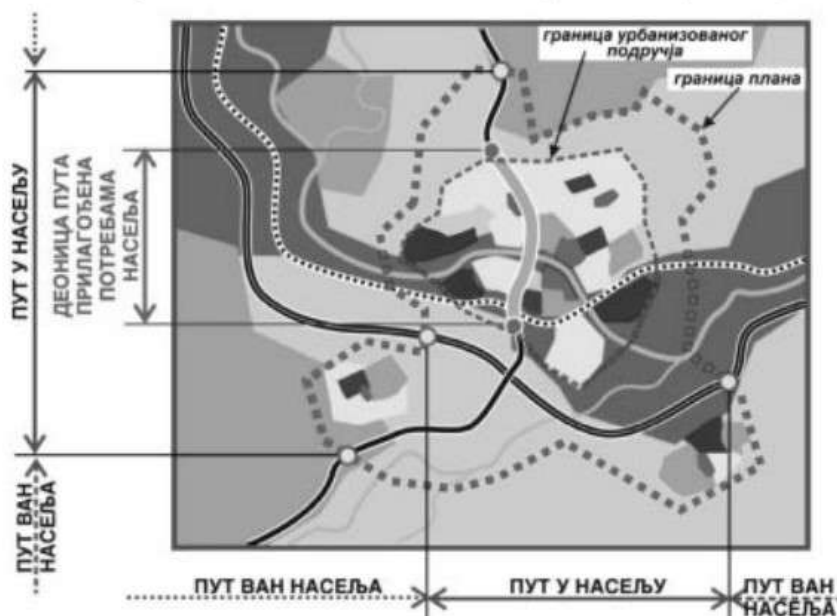
Slika 3. *Primjer magistralne ceste M17 (europskog koridora E73 kroz Mostar)*

Na dionicama izvan naselja problem je nekonzistentnost geometrije, a jedan od uzroka je i starija gradnja jer je većina dionica iz 70-ih i 80-ih godina građena za tadašnje uvjete malih opterećenja i brzina. Ta nekonzistentnost geometrije dovodi do nekonzistentnosti brzine (slika 4).



Slika 4. *Primjer nekonzistentne geometrije magistralne ceste M17 (europski koridor E73) i položaj crne točke*

Na slici 5 prikazan je osnovni princip vođenja kada izvangradska cesta prolazi kroz urbano područje. Osnovni princip je ceste višeg funkcionalnog ranga ne voditi uopće kroz urbana područja. Ukoliko je to ipak slučaj onda je dionicama koje prolaze kroz gradska područja potrebno jasno definirati njihov početak i kraj jer one poprimaju dodatnu funkciju. U prvom redu pojavljuje se širi raspon sudionika u prometu (pješaci, biciklisti, javni gradski prijevoz, rasvjeta) gdje je potrebno uraditi njihovo razdvajanje (segregaciju) što se postiže odgovarajućim poprečnim presjekom i optimalnim rasporedom raskrižja. Kad je u pitanju smanjenje brzine također su potrebne intervencije koje će „natjerati“ vozače da smanje brzinu.



Slika 5. Vrste dionica izvangradske ceste u urbanom području [5]

Kad je u pitanju gradska ulična mreža važno je također funkcionalno razlikovati primarnu i lokalnu mrežu. Planerski i projektni pristup je u potpunosti različit i s aspekta sigurnosti ugroženih sudionika u prometu. U razvijenijim zemljama na lokalnoj mreži cesta je rješenje primjene zone 30 km/h. One funkcioniraju na način da se pješacima da apsolutni prioritet, a da bi se to postiglo potrebno je brzinu vozila smanjiti ispod 30 km/h. Zbog narušene funkcionalne klasifikacije u gradovima, nerazdvajanja ugroženih korisnika na primarnoj gradskoj mreži, također je nužno primijeniti mjere za zonu brzine 30 km/h. Kao što je već navedeno nije dovoljno samo ograničenje brzine prometnim znakom već su potrebne dodatne građevinske i prometne intervencije u horizontalnoj i vertikalnoj geometriji (diskontinuiteti) i u poprečnom presjeku (integracija različitih sudionika na istoj površini) koje će vozače „prisiliti“ na smanjenje brzine.

2.2. Problem regulative

Zbog loše i nepotpune postojeće regulative, rekonstruirane i nove ceste se također ne rade u skladu s principima sigurnosti prometa. Sama izmjena regulative zahtijeva da su svi u lancu od pripreme propisa do donošenja istih dovoljno educirani da prepoznaju prednosti novih alata koji su propisani EU direktivama. Uzimajući u obzir podijeljenu ustavnu nadležnost nad infrastrukturom u BiH iznimno je teško sve nadležne institucije uključiti i educirati o svim benefitima koje donose primjene alata iz EU direktiva na mreži cesta. Pitanje sigurnosti prometa na cestama nažalost nije visoko na ljestvici prioriteta zakonodavca unatoč pokazateljima da se samo na prometnim nezgodama gubi od 2.5 – 5.0 % BDP-a na godišnjoj razini.

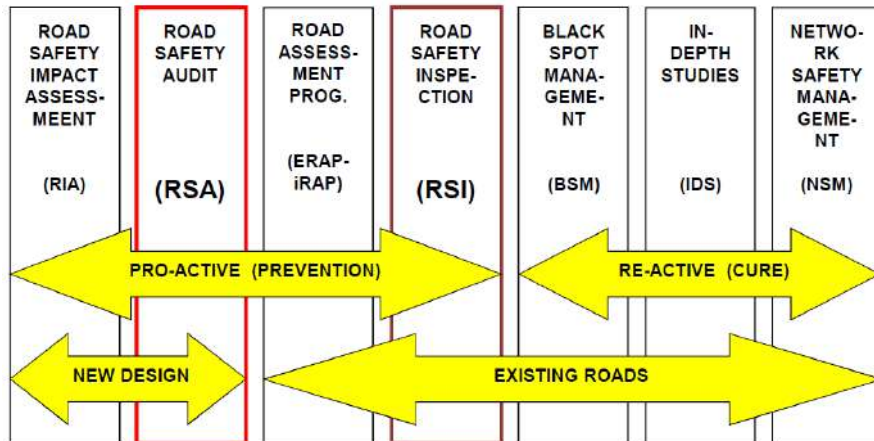
2.1.1. Standardi zastarjeli u pogledu sigurnosti

Kao što se na postojećim izvangradskim dionicama cesta kao glavni problem istaklo neuvažavanje realnih uvjeta odvijanja prometa, i u samoj fazi izrade projekata ne uzima se u obzir. Kao mjerodavna se uzima računaska brzina, nedovoljno tretiranje operativne brzine, još uvijek u postojećim standardima (BiH pravilnik iz 2007 [3]), izuzev pravilnika u Srbiji iz 2011. godine [4] koji je uvažio temeljne principe sigurnosti. Oni uključuju i nove pristupe svim fazama od planiranja preko projektiranja, izgradnje pa sve do faza eksploatacije cesta vodeći se postulatima kao što su self-explaining i error-forgiving roads. Ako pogledamo odnos uloženih finansijskih sredstava po pojedinim fazama od planiranja do same izgradnje novih prometnica sasvim je jasno da se minimalna finansijska sredstva ulažu u fazama planiranja i projektiranja u odnosu na samu izgradnju. Planiranje i projektiranje sukladno EU direktivama, iako je samo mali postotak skuplje, donosi ogromne benefite kasnije u eksploataciji novih cesta budući da će otkloniti nedostatke s aspekta sigurnosti prometa (RIA i RSA) koje neće biti potrebno naknadno otklanjati na već izgrađenim dionicama sa skupim dugoročnim mjerama iz RSI-a. Tako projektirane ceste će pridonijeti i smanjenju prometnih nezgoda s teškim posljedicama.

2.1.2. Nisu uključene sve faze provjere sigurnosti

U provjeru sigurnosti u Federaciji BiH uključene su većinom reaktivne faze provjere sigurnosti prometa, studija crnih točaka (BSM – Black spot management) i nekim dijelom upravljanje mrežom (NSM – Network safety management) te proaktivna faza program procjene rizika (iRAP – Road assessment Program) [5].

One najbitnije proaktivne faze kao studija procjene rizika (RIA – Road Safety Impact Assessment), revizija sigurnosti (RSA – Road Safety Audit) i kontrola cestovne sigurnosti (RSI – Road Safety Inspection) gotovo da se ne rade (izuzev ranije spomenutih slučajeva), kao niti dubinske analize (IDS – In-depth studies) kao bitna reaktivna faza.



Slika 6. SEETO Road Safety Inspection Manual (Revised Version 2016) [3]

U primjenu ulazi izmjena i dopuna EU direktive EU 2019/136 [2] koja podrazumijeva da su temeljni principi iz direktive EU 2008/96/EC [1] usvojeni, što nije slučaj (spomenuto na ranijim primjerima funkcije ceste i poprečnog profila), pa i to komplicira pristup. Većina europskih zemalja je do sada problem prepoznavanja i razdvajanja dionica ceste koje prolaze kroz naseljena mjesta što su implementirali kroz svoje standarde, pravilnike i ostalu zakonsku regulativu kao i kroz primjenu na svojim cestama u prethodnom periodu. Zbog navedenog su prilikom izmjena i dopuna direktive pomjerali fokus sa funkcije ceste na ranjive sudionike u prometu. Nažalost za zemlje koje nisu implementirale direktivu EU 2008/96/EC nedostatak funkcije predstavlja nedostatak s aspekta promjene gledišta na cestu kao gradsku/izvangradsku neovisno o njenoj kategoriji.

2.3. Nespремnost i neuključенost svih sudionika sustava za unapređenje

Kao možda i veći problem od ranije spomenutih vezanih za infrastrukturu i regulativu, može se istaći nespремnost društva u cjelini. Da bi se stvorio sustav sigurnosti prometa na cestama kakav je u vodećim svjetskim zemljama potrebno je krenuti od nadležnih institucija koje upravljaju cestama i donose zakonske regulative. Zatim edukacije u školama, autoškolama, policiji te kompletno mijenjanje svijesti o sigurnosti prometa. Radi se o procesu koji je dugoročan i koji zahtijeva kontinuirani rad svih sudionika u upravljanju sigurnošću prometa kao i svih sudionika u prometu.

3. ZAKLJUČAK

Nije moguće u kratkom roku značajno unaprijediti prometnu infrastrukturu, ali je moguć značajan napredak provodeći nekoliko koraka:

- Uključivanje svih institucija u unapređenje sigurnosti;
- Pобољšanje zakonskih uvjeta i tehničke regulative;
- Uvođenje faza provjere sigurnosti kao obveznih i poželjnih;
- Edukacija svih razina, direktnih sudionika u izradi i realizaciji projekata;
- Provođenje kampanja za pobољšanje sigurnosti.

Može se na kraju zaključiti da je nužno izgraditi sistem upravljanja sigurnosti i još bitnije konkretna primjena u praksi, kako bi se dosegli zadovoljavajući standardi sigurnosti prometa.

Literatura

- [1] Direktiva 2008/96/EZ1936 europskog parlamenta i vijeća od 19. 11. 2008. o upravljanju sigurnošću cestovne infrastructure, (on-line) dostupno na linku:
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0096&from=EN>
- [2] Direktiva (EU) 2019/1936 europskog parlamenta i vijeća od 23. 10. 2019. o izmjeni Direktive 2008/96/EZ o upravljanju sigurnošću cestovne infrastructure, (on-line) dostupno na linku:
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L1936&from=EN>
- [3] Službeni glasnik Bosne i Hercegovine 13/2007: Pravilnik o temeljnim uvjetima koje javne ceste, njihovi elementi i objekti na njima moraju ispunjavati s aspekta sigurnosti prometa, Sarajevo/Banja Luka 2007.
- [4] Službeni glasnik Republike Srbije 50/2011: Pravilnik o uslovima koje sa aspekta bezbednosti saobraćaja moraju da ispunjavaju putni objekti i drugi elementi javnog puta, Beograd 2011.
- [5] Road Safety Inspection Manual, South East Europe Transport Observatory (SEETO), EC/SEETO, 2009. i revidirana u verziji 2016.

ZNAČAJ MULTIMODALNOSTI U SAOBRAĆAJNO-EKONOMSKOM VREDNOVANJU SAOBRAĆAJNE INFRASTRUKTURE

mr Franc Šoba, univ. dipl. inž. tehnol. saob.

Abstract: Članak prikazuje slučaj sveobuhvatnog saobraćajno-ekonomskog vrednovanja projekta saobraćajne infrastrukture uz uzimanje u obzir svih vrsta saobraćaja. Svaki projekat saobraćajne infrastrukture utiče na sve modalitete saobraćaja, zato pri saobraćajno-ekonomskom vrednovanju treba uzeti u obzir multimodalnost. Prikazan je slučaj investicije u projekat nadogradnje železničke infrastrukture između dva grada, gde se zbog uskog grla na železnici deo tereta i putnika prevozi putem. Doduše, postojeća putna infrastruktura izvan saobraćajnih špiceva ima još uvek dovoljan kapacitet, ali su u špicevima saobraćajne prilike na putu na granici kapaciteta. Projekat nadogradnje železničke pruge će povećati njen kapacitet i otkloniti usko grlo. Kod železničke pruge će se povećati propusna i prevozna moć, što znači da će biti moguće po njoj prevesti više putničkih i teretnih vozova. Za potrebe putničkog saobraćaja biće uveden red vožnje sa taktom, što će uticati na tzv. "modal split" u putničkom saobraćaju. Kod prevoza tereta će se deo tereta sa puta preseliti na železnicu, što će uticati na bolje saobraćajne prilike na putu, a istovremeno će se smanjiti ukupni troškovi prevoza. Saobraćajni i ekonomski efekti projekta nadogradnje železničke infrastrukture vrednovani su na multimodalni način jednim modelom. U članku su prikazani rezultati kao saobraćajni i ekonomski pokazatelji za postojeću i planiranu saobraćajnu mrežu, posle izvođenja projekta nadogradnje železničke pruge.

Keywords: saobraćaj, multimodalnost, saobraćajno-ekonomsko vrednovanje, drumski saobraćaj, železnički saobraćaj, troškovi korisnika u drumskom i železničkom saobraćaju, eksterni troškovi u saobraćaju

IMPORTANCE OF MULTI-MODALITY IN THE TRAFFIC AND ECONOMIC EVALUATION OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE

Franc Šoba, Bsc (Traffic Engineering)

Abstract: The paper presents an example of a comprehensive traffic and economic evaluation of a transport infrastructure project, considering all types of traffic. Every transport infrastructure project has an impact on all modalities of transport, which is why multi-modality must be considered in the traffic and economic evaluation. An example is shown of investment in a project of upgrading the railway infrastructure between two cities where, due to a bottleneck on the railway, part of the cargo and passengers are transported by road. The existing road infrastructure still has sufficient capacity outside traffic peaks, while being at the limit of capacity in peak traffic conditions. The railway upgrade project will increase its capacity and eliminate the bottleneck. Throughput and transport capacity of the railway will be increased, which means that it will be able to carry more passenger and freight trains. A tact timetable will be introduced for the needs of passenger traffic, which will affect the "modal split" in passenger traffic. In freight transport, part of the freight will be moved from the road to the railway, which will improve the road traffic conditions, while reducing total transport costs. The traffic and economic effects of the railway infrastructure upgrade project are evaluated in a multi-modal way with one model. The article presents the results as traffic and economic indicators for the existing and planned transport network, after the implementation of the railway upgrade project.

Keywords: transport, multi-modality, traffic and economic evaluation, road transport, rail transport, costs of users in road and rail transport, external costs in transport

1. UVOD

Svrha članka je prikazati model saobraćajno-ekonomskog vrednovanja projekata saobraćajne infrastrukture. Po pravilu investicija u drumsku ili železničku mrežu utiče na raspodelu saobraćajnih tokova, što se može analizirati izradom savremenih makroskopskih multimodalnih saobraćajnih modela. Rezultat saobraćajnih tokova su saobraćajni podaci za određenu saobraćajnu mrežu, koji predstavljaju osnov za izradu saobraćajno-ekonomskog vrednovanja određenog projekta. Predmet analize je pojednostavljen prikaz saobraćajnog koridora, kojim se pružaju autoput i elektrifikovana železnička pruga sa dva koloseka. Dužina autoputa i železnice je jednaka i iznosi 50 kilometara.

Cilj je prikaz saobraćajnih podataka za put i železnicu za sadašnju saobraćajnu mrežu bez investicije i za planiranu saobraćajnu mrežu sa investicijom za 2030. i 2050. godinu. Saobraćajni podaci su preuzeti iz makroskopskog multimodalnog saobraćajnog modela za šire područje Slovenije (studija REGIO-LUR, PNZ, 2018) sa prilagođavanjima za potrebe saobraćajno-ekonomskog vrednovanja. Prilikom analize saobraćajnih efekata planirane mere u pogledu modernizacije i nadogradnje železničke pruge praćeni su sledeći ciljevi:

- Obim saobraćaja na putu i železnici za obe saobraćajne mreže (bez i sa mere).

- Kalkulacija ukupnih troškova korisnika (neposrednih i eksternih) odvojeno za put i željeznicu za obe saobraćajne mreže.
- Kalkulacija pokazatelja neto sadašnja vrednost i interna stopa prinosa.

Svrha je prikaz celokupnog postupka saobraćajno-ekonomskog vrednovanja uz uzimanje u obzir svih tehničkih, saobraćajno-tehnoloških i ekonomskih sadržaja, kao i njihova međusobna zavisnost.

2. MODEL SAOBRAĆAJNO-EKONOMSKOG VREDNOVANJA MERA SAOBRAĆAJNE INFRASTRUKTURE

2.1. Polazišta i područje modela

Područje obrade predstavlja deonica autoputa u dužini od 50 kilometara i paralelni tok 50-kilometarske željezničke pruge na jezgrenoju mreži Mediteranskog koridora između Jadranskog mora i Ljubljane. Saobraćajna mreža je za potrebe modela pojednostavljena i unifikovana u dve saobraćajne deonice, deonica 1 predstavlja autoput i deonica 2 predstavlja željezničku prugu. Na deonici 1 (autoput) nisu predviđene bilo kakve mere, a na deonici 2 (željeznica) predviđena je mera nadogradnje i modernizacije željezničke pruge. Svrha mere je povećanje kapaciteta željezničke pruge sa sadašnjih 200 vozova na dan na 330 vozova na dan. Brzina putničkih i teretnih vozova ostaće jednaka i iznosi 100 km/h za putničke i 80 km/h za teretne vozove.

Osnovne karakteristike saobraćajne mreže i polazišta za pojednostavljenje modela:

- Autoput: dužina 50 km, brzina 130 km/h za putnička i 80 km/h za teretna vozila; procenjen kapacitet na otprilike 70.000 vozila/dan u jedinici PLDP (Prosečni godišnji dnevni saobraćaj, nap. prev.)
- Željeznička pruga: dva koloseka, elektrifikovana, kapacitet ograničen na 200 vozova, od toga 80 putničkih i 120 teretnih vozova na dan; brzina putničkih vozova 100 km/h, brzina teretnih vozova 80 km/h
- Saobraćajne mreže:
 - Varijanta 1 – postojeća saobraćajna mreža bez investicije
 - Varijanta 2 – planirana saobraćajna mreža sa investicijom
- Obim saobraćaja:
 - Autoput: u 2030. godini biće ukupno 80.300 vozila/dan, udeo teških teretnih vozila je 10%; prognoza za 2050. predviđa ukupno 102.000 vozila/dan, udeo teških teretnih vozila biće 12%.
 - Željeznica: u 2030. godini bi mogla da preveze 27,5 miliona neto tona tereta, ali je zbog ograničenja kapaciteta prevoznog kapacitet ograničen na 24,5 miliona tona. Preostali teret u iznosu od 2,1 miliona tona biće prevezen autoputem. Prognoza obima tereta za 2050. godinu procenjena je na 36,3 miliona neto tona.
- Saobraćajne prilike: željeznička pruga predstavlja usko grlo (čvorište Ljubljana), kapacitet je ograničen na 200 vozova. Paralelni autoput je u saobraćajnim špicovima na ivici kapaciteta (u 2020. godini do 67.000 vozila/dan). Bez uklanjanja uskog grla (željeznica) povećanje teretnog saobraćaja u narednim godinama iz luke dovešće do preopterećenja na drumskoj i željezničkoj infrastrukturi.
- Mera: modernizacija i nadogradnja željezničke pruge sa ciljem povećanja kapaciteta na 330 vozova dnevno. Planirana mera obezbediće dovoljno veliki kapacitet za prevoz tereta i za uvođenje saobraćaja na željeznici u taktovima zbog poboljšanja ponude u prevozu putnika. Na osnovu rezultata makroskopskog multimodalnog saobraćajnog modela je utvrđeno da bi uvođenje saobraćaja na željeznici u taktovima dovelo do povećanja obima putnika u javnom saobraćaju (preseljenje sa autoputa).
- Troškovi investicije za planiranu meru procenjeni su na 700 miliona evra.

2.2. Saobraćajni podaci

Obim saobraćajnih podataka za postojeću (v1) i planiranu saobraćajnu mrežu (v2) za 2030. i 2050. godinu je za drumski saobraćaj prikazan u tabeli 1, a u tabeli 2 za željeznički saobraćaj.

Tabela 1. Saobraćajni podaci za drumski saobraćaj

varijanta	godina	putnička vozila	autobusi	laka teretna	teška teretna	ukupno
v1	2030	64.417	305	7.530	8.096	80.348
v1	2050	78.601	372	10.142	12.921	102.036
v2	2030	58.433	305	7.530	7.714	73.982
v2	2050	71.656	372	10.142	10.931	93.101

Source: (obradio autor)

Tabela 2. Saobraćajni podaci za železnički saobraćaj

varijanta	godina	putnički vozovi	teretni vozovi	vozovi ukupno	broj putnika	teret (mil. neto tona)
v1	2030	80	120	200	2.867	25,4
v1	2050	80	120	200	3.340	25,4
v2	2030	120	130	250	11.245	27,5
v2	2050	120	171	291	13.535	36,3

Source: (studija REGIO-LUR, obradio autor)

Na sadašnjoj saobraćajnoj mreži (varijanta 1) u 2030. godini na autoputu ima ukupno 80.348 vozila/dan u jedinici prosečni godišnji dnevni saobraćaj (PLDP). U slučaju varijante 2 bi se obim saobraćaja na autoputu smanjio, što je posledica mere na povećanju kapaciteta železničkog saobraćaja. Tako bi u 2030. godini na autoputu bilo 73.982 vozila/dan. U 2030. godini bi se broj putničkih vozila smanjio za 5.984 vozila/dan, a obim teškog teretnog saobraćaja bi se smanjio za 383 vozila/dan. Preraspodela saobraćaja je rezultat multimodalnog saobraćajnog modela po studiji REGIO-LUR (PNZ, 2018) i prilagođena je za korišćenje u modelu vrednovanja.

2.3. Ulazni podaci i metodologija vrednovanja

2.3.1 Drumski saobraćaj

Za izračunavanje neposrednih i posrednih troškova korisnika u drumskom saobraćaju korišćena je metodologija i programski paket OPCOST sa nivoom cena novembar 2021., koji je propisan za Sloveniju od strane Ministarstva infrastrukture (MzI). Kreator programa za MzI je preduzeće Omega consult d. o. o. U metodologiji izračunavanja troškova korisnika u drumskom saobraćaju (neposrednih i posrednih) obuhvaćene su sledeće kategorije troškova:

- Neposredni troškovi korisnika: troškovi potrošnje, vremenski troškovi, režijski troškovi.
- Posredni (eksterni troškovi) korisnika: vazduh, klimatske promene, emisije, buka.
- Troškovi održavanja drumske infrastrukture.
- Troškovi saobraćajnih nezgoda.

Neposredni troškovi korisnika u drumskom saobraćaju zavise od:

- tehničkih karakteristika puteva i
- prosečnih radnih brzina vozila, koje se menjaju s obzirom na vrstu puta, tehničke karakteristike puteva i obim i strukturu saobraćaja na putu.

2.3.2. Železnički saobraćaj

Za izračunavanje troškova korisnika u železničkom saobraćaju za obe varijante saobraćajne mreže izračunati su sledeći troškovi:

- Operativni troškovi vozova (osnova 102,48 EUR/h rada voza).
- Utrošena energija (osnova 0,023 kWh/ntkm).
- Trošak energije – teret (0,00115 EUR/ntkm).
- Vremenski troškovi – teret (0,20 EUR/ntkm).
- Vremenski troškovi – putnici (5,5 EUR/ntkm).
- Eksterni troškovi – teret (0,0069312 EUR/ntkm).

2.4. Izračunavanje troškova korisnika

Rezultati izračunavanja troškova korisnika za drumski saobraćaj za 2030. i 2050. godinu dati su u tabeli 3 za obe saobraćajne mreže po vrstama troškova. Rezultati izračunavanja troškova korisnika u železničkom saobraćaju za isti period i obe saobraćajne mreže dati su u tabeli 4.

Tabela 3. Rezultati izračunavanja troškova korisnika za drumski saobraćaj (EUR)

varijanta	godina	potrošnja	režijski	vremenski	vazduh	klimatske promene	emisije	buka	nezgode	troškovi UKUPNO
v1	2030	265.505.159	268.738.077	114.865.189	25.068.848	36.000.035	13.218.625	504.218	11.239.223	735.139.375
v1	2050	357.919.360	355.013.904	191.004.735	29.313.696	47.516.416	17.783.274	732.310	11.239.223	1.010.522.917
v2	2030	250.207.629	246.224.036	103.817.995	23.295.540	34.207.745	12.298.677	475.432	11.239.223	681.766.278
v2	2050	321.915.657	317.857.069	154.487.183	26.813.298	42.985.647	15.950.826	642.006	11.239.223	891.890.908

Tabela 4. Rezultati izračunavanja troškova korisnika za železnički saobraćaj (EUR)

varijanta	godina	operativni troškovi vozova	potrošnja energije	vremenski troškovi teret	eksterni troškovi	vremenski troškovi putnici	troškovi UKUPNO
v1	2030	4.157.684	1.460.500	3.175.000	8.802.624	2.602.050	20.197.858
v1	2050	4.157.684	1.460.500	3.175.000	8.802.624	3.460.050	21.057.908
v2	2030	5.065.957	1.581.250	3.437.500	9.530.400	10.204.425	29.821.562
v2	2050	6.037.751	2.087.250	4.537.500	12.580.128	12.283.425	37.528.104

Ukupni troškovi korisnika u drumskom saobraćaju od 2030. do 2050. godine se kod varijante 1 povećavaju za 37%, a kod varijante 2 za 31%. U železničkom saobraćaju se ukupni troškovi korisnika od 2030. do 2050. godine kod varijante 1 povećavaju samo za 4%, a kod varijante 2 za 26%. Razlog za malo povećanje ukupnih troškova korisnika u železničkom saobraćaju kod varijante 1 je zasićenost pruge (jednak broj vozova, donekle se povećava samo broj prevezenih putnika).

2.5. Izračunavanje koristi korisnika

Razlika između troškova korisnika na postojećoj saobraćajnoj mreži (varijanta 1) i troškova korisnika na planiranoj saobraćajnoj mreži (varijanta 2) su koristi korisnika. U tabeli 5 su prikazane koristi za drumski saobraćaj, a u tabeli 6 za železnički saobraćaj za 2030. i 2050. godinu. U tabeli 7 su prikazane koristi za drumski i železnički saobraćaj ukupno odvojeno za neposredne i posredne (eksterne) koristi korisnika.

Tabela 5. Koristi korisnika u drumskom saobraćaju (EUR)

godina	potrošnja	režijski	vremenski	vazduh	klimatske promene	emisije	buka	nezgode	troškovi UKUPNO
2030	15.297.530	22.514.041	11.047.194	1.773.308	1.792.290	919.949	28.786	0	53.373.097
2050	36.003.704	37.156.835	36.517.551	2.500.397	4.530.769	1.832.448	90.304	0	118.632.008



Grafikon 1. Koristi korisnika u drumskom saobraćaju po strukturi za 2030. godinu
Source: (obradio autor).

Najveće koristi donose uštede u režijskim troškovima (42%), zatim uštede u potrošnji (29%) i uštede vremena (21%), koje zajedno čine neposredne koristi korisnika (ukupno 92% svih koristi). Posredne koristi odn. eksterne koristi predstavljaju 8% svih koristi u drumskom saobraćaju u 2030. godini.

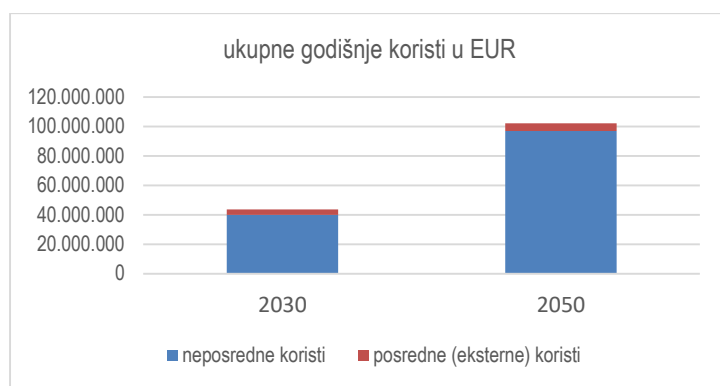
Tabela 6. Koristi korisnika u železničkom saobraćaju (EUR)

godina	operativni troškovi vozova	potrošnja energije	vremenski troškovi teret	eksterni troškovi	vremenski troškovi putnici	troškovi UKUPNO
2030	-908.273	-120.750	-262.500	-727.776	-7.602.375	-9.623.704
2050	-1.880.066	-626.750	-1.362.500	-3.777.504	-8.823.375	-16.470.195

Tabela 7. Ukupne koristi korisnika u EUR

godina	neposredne koristi	posredne (eksterne) koristi	koristi UKUPNO
2030	39.964.866	3.786.556	43.751.423
2050	96.985.399	5.176.414	102.161.813

Zbog preusmeravanja saobraćaja sa druma na železnicu, u železničkom saobraćaju na mreži sa merom (varijanta 2) dolazi do povećanja ukupnih troškova korisnika, što stvara negativne koristi. U 2030. godini bi dodatan obim saobraćaja na železnici kod varijante 2 doveo do 9,6 miliona evra dodatnih troškova u poređenju sa varijantom 1. Preraspodela saobraćaja sa autoputa na železnicu utiče na znatno manje ukupne troškove na autoputu, što u ukupnom ekonomskom vrednovanju donosi u 2030. godini ukupno 43,7 miliona evra koristi.



Grafikon 2. Ukupne godišnje koristi za 2030. i 2050. godinu
Source: (obradio autor).

2.5. Izračunavanje ekonomskih pokazatelja

Efikasnost projekata investicija u saobraćajnu infrastrukturu utvrđuje se ekonomskim kriterijumima. Upotrebljen je metod analize troškova i koristi, koji je najkorišćeniji metod u vrednovanju infrastrukturnih investicija. Analiza troškova i koristi (engl. Cost Benefit Analysis–CBA) je metod, kojim se vrednuje što više troškova i koristi projekta u novčanim jedinicama (monetarizacija troškova i koristi). Kod tog metoda pored se troškovi postojećeg stanja sa troškovima varijantnog rešenja, dakle troškovi varijante "bez investicije" (varijanta 1) sa troškovima varijante "sa investicijom" (varijanta 2). Troškovi varijante "sa investicijom" sadrže i troškove investicije varijante. Rezultat analize troškova i koristi je izračunavanje pokazatelja profitabilnosti, pre svega ekonomske neto sadašnje vrednosti (eNSV) i ekonomske interne stope prinosa (eNSV).

U okviru ekonomske analize utvrđuje se profitabilnost projekta sa aspekta nacionalnih koristi, koji uz efekte unutar saobraćajnog sistema u obzir uzima i eksterne troškove. Investicija je ekonomski opravdana ako pokazuje pozitivnu ekonomsku neto sadašnju vrednost i ekonomsku internu stopu prinosa, koja je jednaka ili veća od diskontne stope (5%).

Na osnovu opisanih elemenata izračunati su ekonomski pokazatelji opravdanosti projekta: ekonomska interna stopa prinosa projekta – ISDe i ekonomska neto sadašnja vrednost projekta – NSVe, koje pri diskontnoj stopi od 5% iznose:

- Ekonomska interna stopa prinosa ISDe = 5,8%
- Ekonomska neto sadašnja vrednost NSVe = 57,1 mil. EUR

Projekat donosi i efekte, koji u okviru vrednovanja nisu bili vrednosno uzeti u obzir. U pitanju je pre svega povećanje stepena nivoa bezbednosti i uređenosti železničkog saobraćaja, uštede na održavanju javne železničke infrastrukture, veća prohodnost saobraćaja i poboljšanje stepena tehničke opremljenosti javne železničke infrastrukture.

3. ZAKLJUČCI

Model ekonomskog vrednovanja projekta saobraćajne infrastrukture prikazuje ukupne ekonomske efekte korisnika drumske i železničke infrastrukture. Izvođenje mere na železničkoj infrastrukturu po pravilu ima uticaj na celokupnu saobraćajnu infrastrukturu. Prikazani model vrednovanja obuhvata pojednostavljeni prikaz deonice saobraćajnog koridora u dužini od 50 kilometara, gde se paralelno pružaju železnička pruga i autoput. Usko grlo predstavlja železnička pruga pre svega zbog ograničenja na čvorištu. Planirano uvođenje saobraćaja u taktovima i povećanje obima tereta u jezgrenom koridoru TEN-T mreže zahteva modernizaciju i nadogradnju železničke pruge. Na osnovu izrađenog makroskopskog multimodalnog saobraćajnog modela za Sloveniju utvrđeno je da bi osavremenjena železnička pruga sa uvedenim saobraćajem u taktu za putničke vozove mogla privući dodatni saobraćaj putnika i tereta. Raspodela putničkog i teretnog saobraćaja između puta i železnice pokazuje da investicija u modernizaciju i osavremenjavanje železnice ima velik uticaj na raspodelu saobraćajnih tokova.

Za obe saobraćajne mreže (sadašnju i planiranu) izračunati su neposredni i posredni (eksterni) troškovi korisnika puteva i železnice za period 2030.–2050. Autoput je u saobraćajnim špicovima već 2030. godine na ivici svog kapaciteta, a postojeća železnička pruga će u 2030. godini biti preopterećena po pitanju kapaciteta. Svrha analize je utvrditi da li je investicija u meru modernizacije i nadogradnje železničke pruge ekonomski opravdana. Izračunavanje troškova korisnika (neposrednih i eksternih) izvršeno je odvojeno za drumsku i

železničku infrastrukturu. Za drumsku infrastrukturu upotrebljena je metodologija i program OPCOST, koji je u Sloveniji preporučen od strane MzI. Za železničku infrastrukturu su troškovi korisnika izračunati po preporukama Guide for Cost-Benefit Analysis of Investment Projects i na osnovu ostalih ulaznih podataka i polazišta.

Posle sprovođenja mera na železnici se deo putnika i tereta seli na železnicu, što rasterećuje postojeći paralelni autoput. Na železnici se ukupni troškovi povećavaju, pre svega na račun većeg obima putničkih i teretnih vozova koji prevoze dodatne putnike i teret. Na autoputu se posle sprovođenja mera na železnici saobraćajna opterećenja donekle smanjuju, što dovodi do nižih neposrednih i eksternih troškova korisnika. Izračunavanje ukupnih koristi mere modernizacije i nadogradnje železničke pruge pokazuje da ukupne koristi u 2030. godini iznose 43,7 miliona EUR a u 2050. godini 102,1 miliona EUR. Pokazatelji ekonomske opravdanosti pokazuju da je investicija u modernizaciju i nadogradnju železničke pruge ekonomski opravdana. Ekonomska interna stopa prinosa je 5,8%, dok je ekonomska neto sadašnja vrednost pri diskontnoj stopi od 5% pozitivna i iznosi 57,1 miliona evra.

Na osnovu pojednostavljenog modela vrednovanja možemo da zaključimo da se prilikom vrednovanja projekata saobraćajne infrastrukture preporučuje proučiti i analizirati uticaje na putničke i robne tokove pomoću savremenih multimodalnih saobraćajnih modela, čiji rezultati predstavljaju osnovu za saobraćajna i ekonomska vrednovanja određenih mera odn. projekata. Otklanjanje uskog grla na železnici može imati uticaj na raspodelu saobraćajnih tokova na širem području, što se pokazuje i u razmatranom slučaju. Zbog preraspodele saobraćaja sa autoputa na železnicu većinu koristi donosi rasterećeni autoput, jer njegovi korisnici imaju bolje saobraćajne uslove. Ukupna količina putnika i tereta je u razmatranom koridoru jednaka, samo njena raspodela između puta i železnice je različita. Koristi korisnika nastaju, jer putnici i teret na železnici imaju niže troškove nego na autoputu, a istovremeno se donekle smanjuju i troškovi korisnika autoputeva.

Reference

- [1] Šoba, F. 2016. *Uticaj savremene saobraćajne infrastrukture u Sloveniji na globalni logistički lanac*. magistarski rad, Univerzitet u Ljubljani, Fakultet za pomorstvo i saobraćaj.
- [2] Guide for Cost-Benefit Analysis of Investment Projects, Economic Appraisal Tool for Cohesion Policy 2014–2020, 2014.
- [3] van Essen et al. 2019. Handbook on the external costs of transport.
- [4] Highway Capacity Manual 2010.
- [5] Program mreže 2022. SŽ-Infrastruktura. 2022.
- [6] Programski paket OPCOST. 2021. Republika Slovenija, Ministarstvo infrastrukture & Omegaconsult.
- [7] Programski paket OPCOST verzija 17.1:
<https://portal.drsc.si/OPCOST/Program/prijava.jsp>
(31. 3. 2022.)

PROVIDING TRAFFIC FLOW DATA ON NATIONAL ROADS IN SLOVENIA

Marko Čelan, Aleš Petek

DRI upravljanje investicij, marko.celan@dri.si, ales.petek@dri.si

Abstract: *Accurate traffic flow data on roads is key information for the transport system users and operators. This article discusses the approach to providing traffic flow data from the road network in the Republic of Slovenia. The data obtained and the traffic forecast are based on a combination of the classic 4-phase macroscopic transport model (MTM) and the dynamic simulation transport model (DSTM). The MTM provides the anticipated traffic volume using modes of transport for each hour in the day for eight defined typical days. The DSTM uses real-time traffic flow data obtained from automatic traffic counters and floating car data, while enabling the consideration of emergencies in the road network. Taking into account the anticipated traffic volume and current conditions, the DSTM enables real-time insight into the traffic conditions on state roads and major local roads across Slovenia and calculates a forecast of the anticipated traffic conditions up to one hour ahead. Traffic volume data and average traffic flow speed in the road network is stored in a data warehouse at five-minute intervals. The data collected in this way can be directly used when planning measures related to road infrastructure (e.g. drafting spatial planning, design, and investment documentation), planning sustainable mobility measures (e.g. providing more public passenger transport options), and managing and controlling traffic (e.g. administrative restrictions, alternative routes in emergencies or during planned events in the road network).*

Keywords: traffic flows, real-time data, macroscopic transport model, dynamic simulation transport model

PRUŽANJE PODATAKA O TOKOVIMA SAOBRAĆAJA NA DRŽAVNIM PUTEVIMA U SLOVENIJI

Marko Čelan, Aleš Petek

DRI upravljanje investicij, marko.celan@dri.si, ales.petek@dri.si

Sažetak: *Tačni podaci o tokovima saobraćaja na putevima su ključna informacija za korisnike i upravljače transportnog sistema. Ovaj članak govori o tome na koji način se pristupa pružanju podataka o tokovima saobraćaja sa putne mreže u Republici Sloveniji. Dobijeni podaci i prognoza saobraćaja su zasnovani na kombinaciji klasičnog 4-faznog makroskopskog modela transporta (MMT) i dinamičkog simulacionog modela transporta (DSMT). MMT predstavlja očekivani obim saobraćaja koristeći vidove transporta za svaki sat u danu tokom osam definisanih tipičnih dana. DSMT koristi podatke o tokovima saobraćaja u realnom vremenu koje pružaju automatski brojači saobraćaja i lokacione podatke o kretanju vozila, dok istovremeno omogućava da se u obzir uzmu hitni slučajevi na putnoj mreži. Uzimajući u obzir očekivani obim saobraćaja i trenutne uslove, DSMT omogućava uvid u stanje saobraćaja na državnim i glavnim lokalnim putevima u Sloveniji u realnom vremenu i izračunava prognozu očekivanih uslova saobraćaja do sat vremena unapred. Podaci o obimu saobraćaja i prosečna brzina tokova saobraćaja na putnoj mreži pohranjuju se u skladištu podataka u intervalima od pet minuta. Podaci koji se prikupe na ovaj način mogu se direktno koristiti prilikom planiranja mera, vezanih za putnu infrastrukturu (npr. izrada prostorno-planske, projektne i investicione dokumentacije), planiranja mera održive mobilnosti (npr. osiguravanje većeg broja opcija javnog prevoza putnika) i upravljanja i kontrole saobraćaja (npr. administrativna ograničenja, alternativni putevi u hitnim slučajevima ili tokom planiranih događaja na putnoj mreži).*

Ključne reči: tokovi saobraćaja, podaci u realnom vremenu, makroskopski model transporta, dinamički simulacioni model transporta

1. INTRODUCTION

Providing traffic information is the basis for the further planning and ongoing management of transport infrastructure and traffic flows. In order for reliable data to be shared, systems must be able to provide an accurate and probable estimate regarding traffic flows considering all possible traffic conditions and circumstances. Although IT systems have been developed and upgraded at a high rate in recent years, the unpredictability of traffic conditions causes a deviation between the forecast of traffic flows and the actual situation. Regardless of the deviation, the IT systems for obtaining, storing, and analysing traffic flow data are essential for planning measures in transport systems and for the ongoing management of transport systems.

With the purpose of providing a single transport management system at a national level, the National Traffic Management Centre (hereinafter: NCUP) has been established in Slovenia. The basic purpose of the NCUP is to provide appropriate traffic control and management, by way of which the set goals will be attainable:

- to enable access to and exchange of real-time traffic data for transport system users and operators and provide traffic forecasts;
- to reduce the response time between the occurrence of an incident and its publication in a national point of access to traffic data. The traffic speed will mainly depend on the quality of the input mass movement data of vehicles, which needs to be constantly compared and re-calculated on an ongoing basis while considering both anticipated (maintenance works) and unanticipated events (accidents, poor weather conditions);
- to ensure confidence in the credibility of published data and information and have control over the service chain of providing traffic information to the end user;
- to provide transport system efficiency analyses to transport system owners and operators;
- to improve traffic safety by actively involving all stakeholders;
- to reduce travel times;
- to reduce energy consumption and the carbon footprint.

In order to achieve the above goals, the NCUP is developing an IT system for providing and exchanging data, which will be able to provide real-time information on the current traffic conditions for the entire traffic network (speed, level of services, traffic flow density) and future traffic forecasts. The key elements of the system for providing information are the macroscopic transport model, real-time vehicle movement data, and data on incidents in the traffic network. DSTM and a data warehouse where all data from the various modules of the NCUP's comprehensive system are stored. Elements of the NCUP's IT system are mutually complementary. The results of individual elements serve as input data for the other elements of the NCUP's IT system.



Figure 1. *The transport model architecture at the National Traffic Management Centre*

2. TRANSPORT MODELS

With the purpose of improving the efficiency of the entire traffic system in Slovenia, a four-phase macroscopic transport model for hourly traffic and a dynamic simulation transport model have been developed for the needs of managing and controlling traffic at a national level. The transport model for hourly traffic is the basis for developing the dynamic simulation model. The matrices for individual hours in a day, the number of vehicles in a section, and the traffic network from the macroscopic transport model serve as the input data for the dynamic simulation model. The dynamic simulation transport model provides real-time traffic information and serves as a traffic control tool. On the basis of the simulation of the actual traffic conditions (number of vehicles, traffic flow speed), the dynamic simulation transport model proposes travel routes in the event of any restriction in the transport network. On the basis of the results of the macroscopic transport model, the actual traffic flow data (traffic flow counters, vehicle tracking devices), and the actual condition of the traffic network (restrictions, roadblocks, accidents), the dynamic simulation transport model simulates the traffic conditions for:

- the current condition,
- the future condition (up to one hour ahead) considering the current traffic conditions, and
- different traffic scenarios to assist decisions regarding traffic management in the event of planned events or emergencies.

2.1. Macroscopic transport model

The macroscopic transport model consists of four phases: generation, distribution, modal split, and assignment. The area in question was divided into 993 traffic zones as a basis for the four-step model, of which 964 traffic zones were in Slovenia and 29 were outside of Slovenia. When determining the traffic zones, natural obstacles, administrative spatial unit borders, railway lines, and major roads were taken into account. Urban areas were divided into smaller zones to resemble rural areas. The traffic network consists of the entire railway network in Slovenia, state roads, and major local roads. Administrative restrictions and road capacity were defined for the entire road network, while the course of major (preference) roads and traffic light cycles were defined for intersections. The entire public passenger transport network and the implementation of transport within the public passenger transport network were also specifically defined.

2.1.1. Input data for the macroscopic transport model

In order to generate the macroscopic transport model, the data from the traffic network for the entire state road network (AC, HC, GC, R, RT), and for major municipal and urban area roads were used. In total, 20,000 km of roads, the railway network, and the public passenger transport network have been included in the model. The model includes the railway network in Slovenia with a total length of 1,070 km, which accounts for almost 90% of all railway lines in this area. The remaining 10% of the lines have not been taken into account in the model, as no public transport takes place on them. The model also used the entire public passenger transport network in Slovenia and the schedules of all the subsystems of said network (rail transport, intercity coach transport, and city transport). The trips generated in the model are based on the socio-economic data for individual traffic zones. The data collected for each zone contains information regarding the population and places of work in various industries. The spatial distribution of the population and its structure helped to determine the number of trips, the origin or destination of which is a person's home. Together with the data concerning places of work and the surface areas used for various activities, the model also included all other trips.

The macroscopic transport model used the data obtained from a survey performed in 2016 as the original data on people's travel habits. The respondents were asked to list all trips that they had made the previous day. In addition to socio-economic data, data concerning the purpose of travel, the time of the start and end of a trip, the mode of transport used, and the length of a particular trip was also collected for each respondent. The survey analysis showed that the four main purposes for travel (work, leisure, other, shopping) each account for approximately 20% of trips made respectively and, together, they account for 85% of all trips made. 79% of trips are performed using a personal vehicle, whereby this proportion is relatively similar throughout the individual hours of the day. Out of all purposes, travelling for business is the purpose for which the proportion of trips using personal vehicles is, at 96%, the highest, and this is immediately followed by travelling to/from work at 84%. The highest proportion of the use of public transport is for travelling to school, and the largest proportion of walking is for leisure. Despite what is generally thought, driving for work purposes does not

account for the majority of daily traffic in Slovenia, and its relative proportion is expected to decrease even further in the future due to the anticipated increase in other travel purposes. An average Slovenian performs 2.8 trips per day. The number of trips per person differs between regions and ranges from 2.5 to 3.1 trips per person.

The choice of a mode of transport is categorised within the model in accordance with the purpose of travel. The proportions of using individual modes of transport change depending on the purpose, as shown in the diagram below (Figure 2).

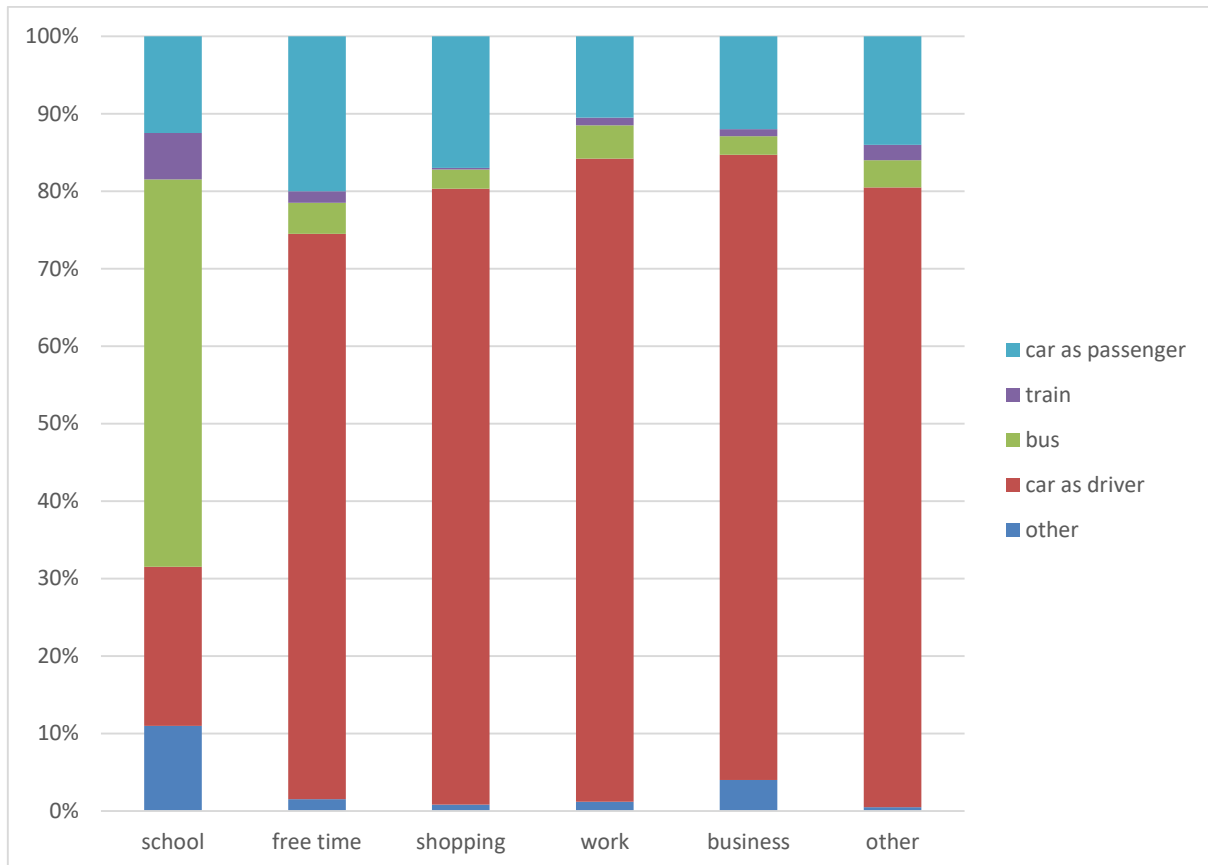


Figure 2. *Choice of the mode of transport in accordance with the purpose for travel*

In order to calibrate the model and determine the applicable periods in traffic, all of the data was collected from automatic traffic counter locations. In total, more than 700 road sections are monitored using automatic traffic counters in the Slovenian road network. When analysing the counters, major seasonal fluctuations in traffic volume have been found, especially in motorway sections. The maximum recorded values have not been recorded in the same month for all of the counters. An analysis of average daily traffic by weeks has also been conducted. Two different trends can be noticed with the counters in question. Some counter locations have their peak traffic volume in the last few weeks of August and in early September, which reflects the strong impact of tourist traffic flows. At other counter locations, two peaks are reached, specifically at the end of May and in October. It can be estimated for these counter locations that the impact of daily migrations prevails.

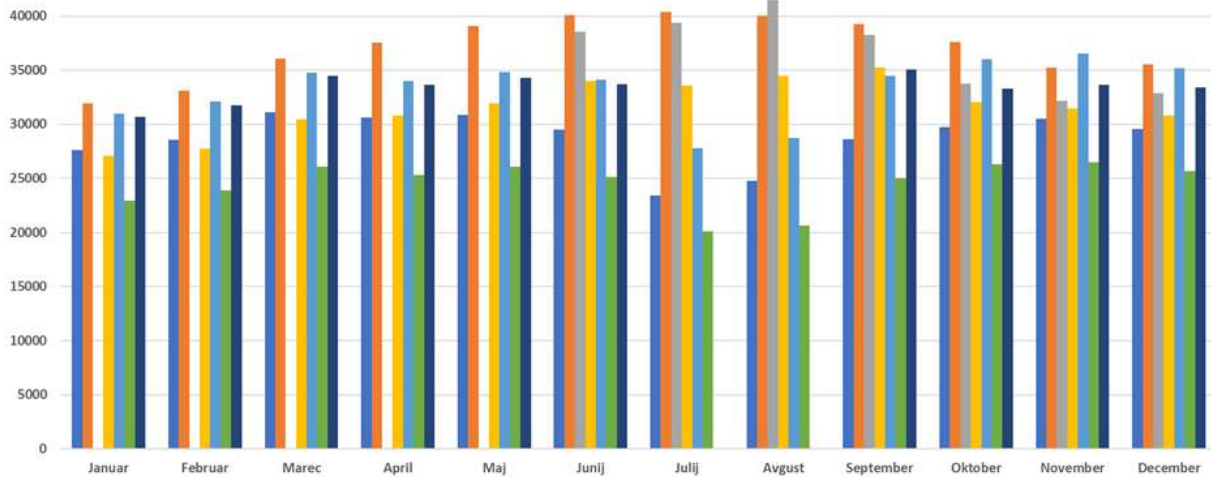


Figure 3. Average daily traffic on selected road sections in the Republic of Slovenia

2.1.2 The results of the macroscopic transport model

The first step in devising the basic demand model is to determine the characteristics of the traffic network. A calculation of skim matrices is carried out within the model. These matrices are mainly intended for calculating travel times and distances between the zones of the transport model. Skim matrices are calculated for each mode of transport separately. For public passenger transport, merely the line network is not sufficient for calculating skim matrices, so data regarding timetables has also been entered into the model. The calculation of skim matrices for public transport differs from the other modes of transport because the performed calculation of travel times is mainly carried out on the basis of timetables. The obtained travel times presents the average travel time throughout the day, and it depends on the timetable frequency, options for changing connections, and the distance of the traffic zone from the stop.

When calculating the EVA trip generation, socio-economic data and the results of a travel habit survey were used. The data was separated for each individual traffic zone. In accordance with the EVA method, limits regarding the maximum number of calculated trips or balance according to production and attraction is determined. A particular demand model structure is determined for every type of travel (private, business, freight, bus transport). In this step, the number of productions and attractions is calculated regardless of the mode of transport. The calculation of the generation of travel is carried out separately, in accordance with the following demand segments:

- private traffic (on foot, by bicycle, car, public transport)
- business traffic (on foot, by bicycle, car, public transport)
- freight transport, heavy vehicles up to 3.5 tonnes
- freight transport, heavy vehicles over 3.5 tonnes
- bus transport

The number of trips is calculated for each demand segment separately. On the basis of the survey or other sources, the generation factor is calculated, which determines the linear correlation between the number of trips and some selected zone characteristic (population structure, places of work, sales areas). The calculation of the number of trips for the passenger travel segment is as follows:

$$T_i = \sum$$

T_i – number of trips from zone i
 S – selected zone characteristic
 g – generation factor
 k – purpose for travel

The distribution of travel is calculated in two steps in accordance with the EVA methodology, while the selection of the mode of transport is also carried out at the same time. In the EVA weighting step, the probability of travel between two zones is determined depending on the distribution of travel time according to the individual modes of transport. This way, travel probability matrices are calculated, which then serve as the input data in the subsequent travel distribution calculation steps. In the distribution and modal choice step, travel probability matrices are used. The travel productions and attractions calculated in the travel generation step are read at the same time. The modal choice according to the purpose for travel is initially determined based on the data on mobile habits obtained from the survey, and it changes according to origin-destination (OD) pairs depending on what is offered in the traffic network or by the public passenger transport. In order to analyse the goods transport flows, the traffic matrix with the annual net tonne freight volume between zones has been calculated indirectly by using the matrices for road and rail transport.

The area subject to the study in the transport model is limited to Slovenia; however, due to the transit and origin-destination transport, external traffic is also taken into account. 29 external traffic zones have been defined on the border with Slovenia. These are the places of origin for external traffic coming to Slovenia. Traffic flows with a destination or origin outside of the area subject to the research have been modelled. External traffic is categorised into personal vehicles, light lorries, heavy lorries, and coaches/buses.

On the basis of the calculated travel distribution, network assignment according to particular modes of transport is carried out. Network assignment is separated into two parts (private and public traffic). In private traffic, the network assignment is carried out for the road network using four modes of transport (car, light lorry, heavy lorry, bus/coach). This method seeks to find a balance in travel times when selecting various routes, whereby the combination of impact factors (travel time, distance, toll) in sections is taken into account.

For cars and light lorries, the choice of route can be impacted by travel time and distance, whereby the time has a significantly greater effect. Toll does not have an effect on these two types of vehicles because they are included into the toll sticker (vignette) system, the costs of which are covered on an annual basis by most drivers, so they do not affect the daily choice of route. With heavy lorries and buses/coaches, the amount of the toll in particular sections is also taken into account in addition to time and distance.

The traffic volume (the number of vehicles per time unit) in the traffic network are also key results of the macroscopic transport model. The macroscopic transport model for a particular road section provides results related to traffic volume depending on the structure of vehicles and travel speed as well as times per section depending on the mode of transport. The data for each road network section are available by hour or by day in the period during the school year and out of season. There are 192 different hourly values for each individual section; these values show the traffic condition in a particular time period (i.e. the hourly interval for 4 typical days in the season and 4 typical days out of season).

The macroscopic transport model provides the following content, data, and results:

- traffic volume per road section for each hour of the day on all eight typical days. The survey regarding travel habits, socio-economic data, and the orientation of traffic are taken into account.
- traffic volume for the road network according to modes of transport (personal vehicle, bus/coach, bicycle, on foot, freight vehicle up to 3.5 tonnes, and freight vehicle over 3.5 tonnes) using the unit:
 - average annual daily traffic,
 - average daily traffic out of season (January–June, September–December), from Monday to Friday,
 - average daily traffic out of season (January–June, September–December), for Friday,
 - average daily traffic out of season (January–June, September–December), for Saturday,
 - average daily traffic out of season (January–June, September–December), for Sunday,
 - average daily traffic in season (July), from Monday to Friday,
 - average daily traffic in season (July), for Friday,
 - average daily traffic in season (July), for Saturday,
 - average daily traffic in season (July), for Sunday.

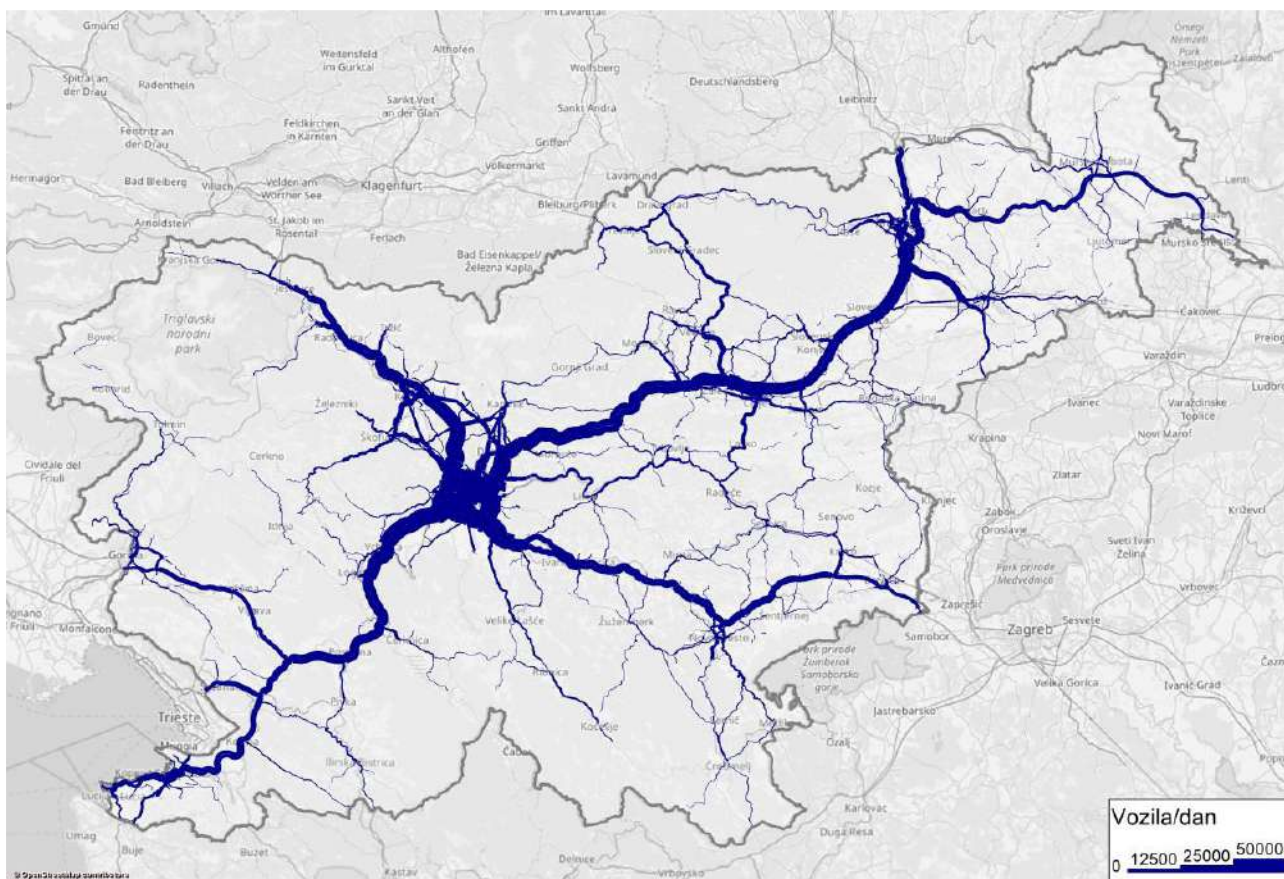


Figure 4. Depiction of the road network load in the Republic of Slovenia

2.1. Dynamic simulation transport model

The operation of the dynamic simulation transport model is based on the ‘PTV Optima’ programme package. The dynamic simulation transport model is intended for simulating real-time traffic flow data and forecasting traffic flow data up to one hour ahead. In the existing version of the dynamic simulation transport model, the data regarding traffic volume and travel times in accordance with network sections for particular time frames are automatically used as input data. The data from automatic traffic counters and floating car data are also used as input data for the dynamic simulation transport model. The dynamic simulation transport model also makes it possible for other data affecting traffic flow to be taken into consideration, i.e. weather information, information on emergencies, information on changes in a traffic network characteristic (change in administrative speed, change in road capacity, ban for goods vehicles, etc.).

2.1.1. Input data for the dynamic simulation transport model

The dynamic simulation transport model for simulating traffic flow data uses traffic network characteristics, static data or the results of the macroscopic transport model, floating car data, and data regarding the type of vehicle, speed, and number of vehicles counted by automatic traffic counters. The data is real-time data obtained from traffic counters at 5-minute intervals and it provides data on speed and traffic volume depending on vehicle structure for approximately 700 road sections (mostly motorways and trunk roads). The data from the macroscopic transport model provides input data regarding traffic volume, vehicle structure, and traffic flow speed for all road network sections. FCD data depends on the proportion of vehicles for which speed and vehicle type data is collected. The FCD data analysis is presented below.

FCD data analysis

In the period from 2 March to 9 March 2020, 43 million location records, speed, and vehicle type were obtained, with just over 36 million records taken within one week (Monday–Sunday). The average number of records on weekdays (Monday–Friday) was 6.78 million, while 1.74 million records were taken on Saturday and 662,073 records on Sunday. The number of records on a weekday was very similar on all days from Monday to Friday, with the highest number on Monday and Friday, approximately 20,000 more than on other weekdays. On the

basis of the road network and the records of FCD data, map-matching was carried out for FCD locations in the road network. All data for locations that were more than 70 m away from the closest road section were removed from further processing. These were mostly records for vehicles in car parks, in loading/unloading locations, and in a road network that was not included in the road network subject to the processing. Therefore, the total amount of unique processed data regarding locations in the entire transport model network was just over 33 million records, which accounts for 22.4% fewer than the actually recorded locations. The percentage difference between the actually recorded data and the useful data that was used in accordance with the foreseen methodology was similar on all days in question. In the area of Slovenia, 30.7 million location records were processed for an 8-day period, i.e. just under 26 million records within one week (Monday–Friday) for locations that are up to 70 m away from the closest road section. On average, from 20,000 to 25,000 different route identifications were recorded on weekdays, about 7000 on Saturdays and just over 3000 route identifications on Sundays. A route is defined as a trip within one day, with stops shorter than 40 minutes. If a stop exceeds 40 minutes, a new route is allocated to the same vehicle or a new unique route identification record.

In total, FCD records include 38 different vehicle types. The highest proportion of FCD records are various goods vehicle types (lorries, trailer vehicles, refrigerated lorries, etc.). Most of the vehicles for which FCD data was collected were heavy lorries and personal vehicles. Together, these account for about 73% of all vehicles. The proportion of FCD data on the motorway is quite different, as almost half of all of the recorded data comes from heavy goods vehicles. Taking into account other goods vehicles, this proportion in the motorway network is about 70%. The proportion of buses/coaches in the entire network is almost 5%, whereby this proportion is only 0.7% in the motorway network. In most cases, these are not tourist coach rides, but rides within the public passenger transport system. Data concerning such rides can be misleading when it is used to show or correct the traffic flow speed, especially near bus stops.

The number of identified routes for FCD records on the road network sections in question is 1.315 million per weekday on average. The total traffic volume in all network sections is approximately 119 million vehicles. The proportion of vehicles based on FCD records in the entire network compared to loads is, therefore, 1.1%. The proportion of FCD records in individual motorway sections is from 2 to 5%.

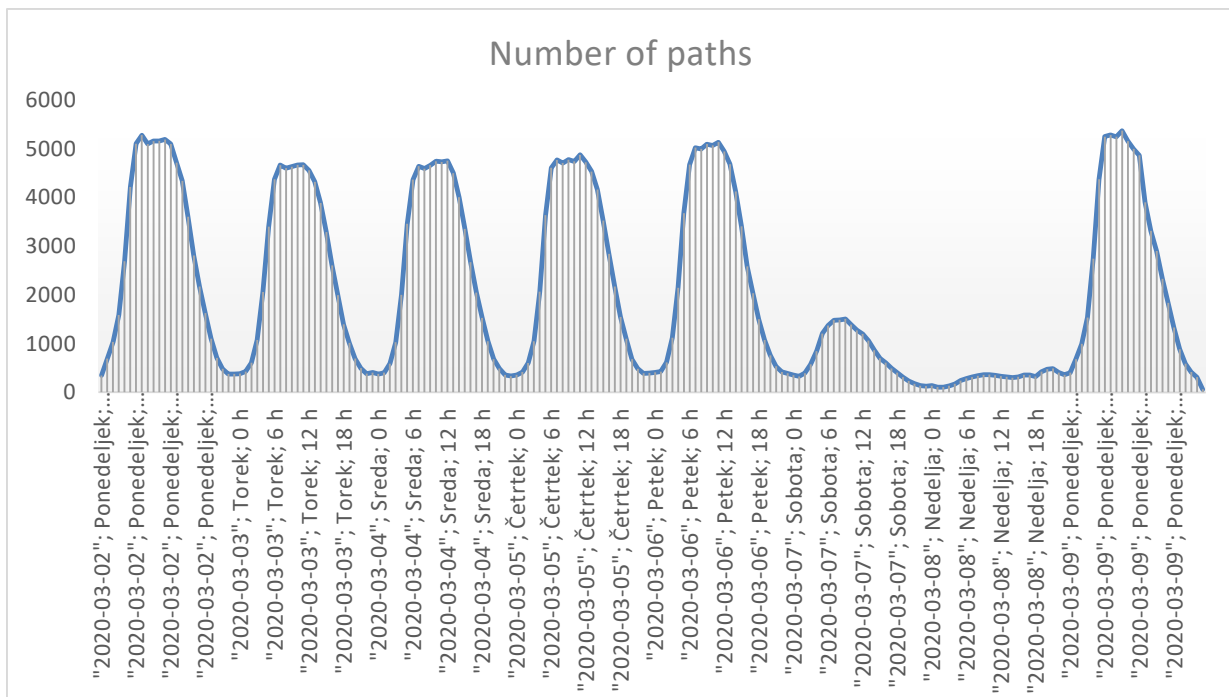


Figure 5. *The number of FCD vehicle paths*

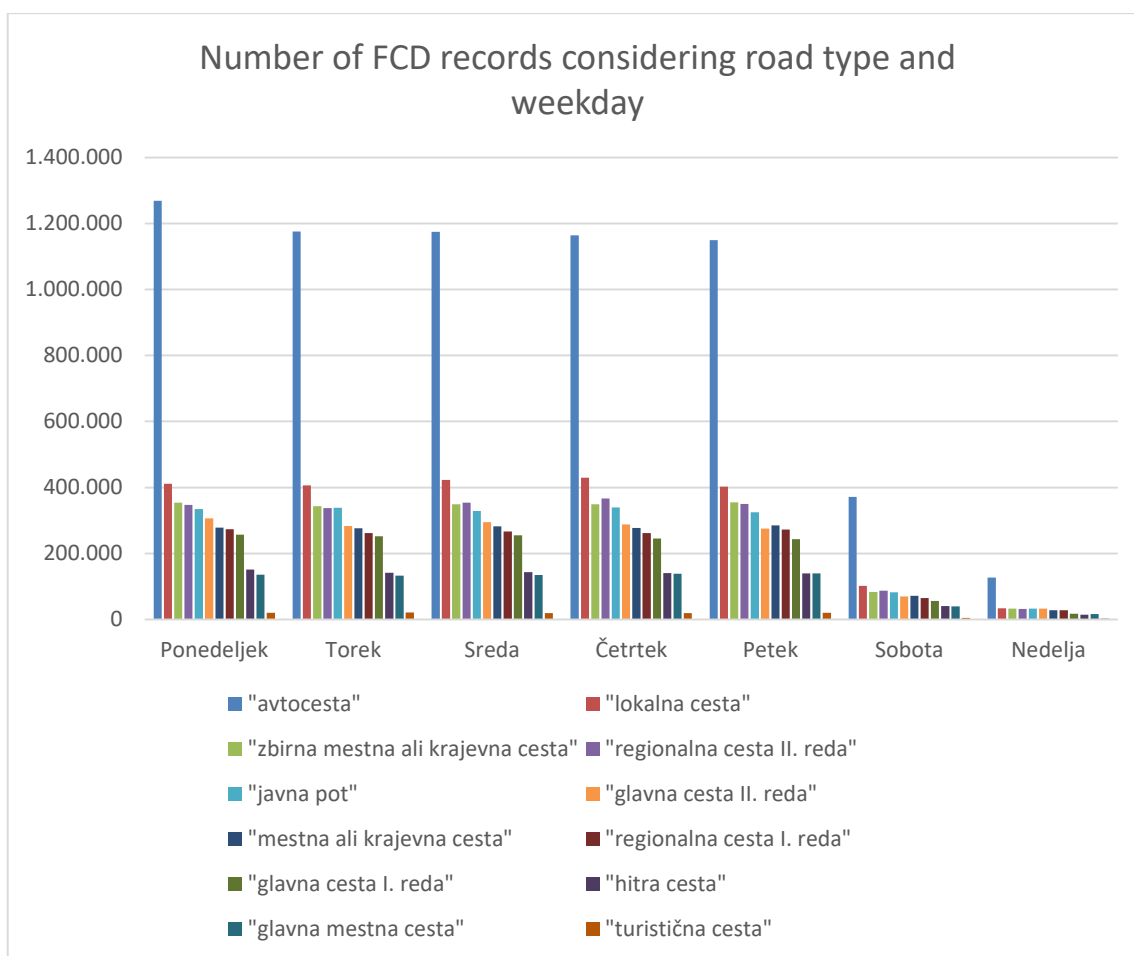


Figure 6. Number of FCD records considering road type according to Slovenian categorization and weekday

2.1.2 The results of the dynamic simulation transport model

The dynamic simulation transport model enables real-time insight into the traffic conditions on state roads and major local roads across Slovenia and calculates a forecast of the anticipated traffic conditions up to one hour ahead. The model consists of almost 480,000 road sections with a length of about 100 metres, combined into nearly 120,000 simulation road sections that have been previously defined in the macroscopic transport model. The traffic forecast calculation, including the current traffic conditions, is carried out every five minutes for all traffic sections. The dynamic simulation transport model can be used to devise scenarios pertaining to current traffic conditions, mainly using the changes in road network characteristics, such as road capacity, roadblocks, and the short-term forecast (up to one hour ahead) of traffic conditions in the event of emergencies. The dynamic simulation transport model provides data on traffic volume and average traffic flow speed in the road network for each hour on every day of the year. The data collected in this way can be useful for planning traffic infrastructure, maintaining infrastructure, and managing traffic in real time in the event of emergencies and congestion.

In the period from 23 September to 29 September 2020 (one week), the results of the dynamic simulation transport model were analysed. The analysis compared data regarding administrative road section limits with a simulated speed from the dynamic simulation transport model for 101,415 road sections. It has been found that, in some cases, there is quite a difference between the administrative speed limit and the simulated speed, and road sections where speeds are unrealistically low have also been identified.

The reasons for the deviations between the administrative speed and the simulated speed were the following:

- the administrative speed limits on road sections are incorrect,
- the length of road sections is too small,
- the road sections end in intersections with traffic lights.
- FCD data are collected from parked vehicles or buses within the public passenger transport network. Most of the FCD data (approx. 70%) comes from goods vehicles with a lower average speed compared to the total traffic flow speed.

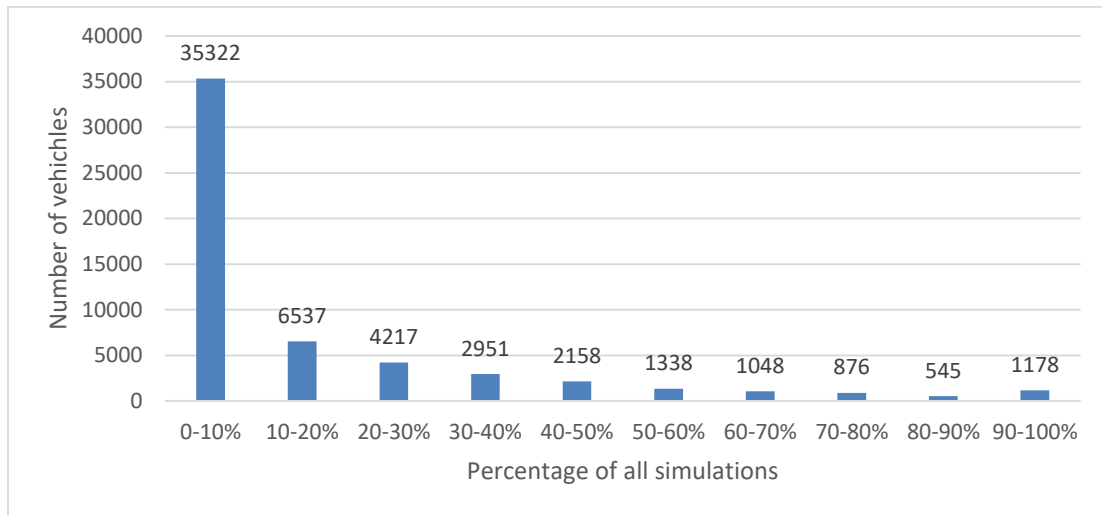


Figure 7. The number of sections and proportion of simulations in which the simulated speed was lower than 50% of the administrative speed limit in the period 23–29 Sept 2020

When comparing traffic volume for the entire network and the forecast for 15 minutes, 30 minutes, 45 minutes, and 60 minutes ahead, there were deviations between the forecast and the actual traffic volume, particularly during peak hours. The traffic volume of the forecast were higher than the actual volumes, which was mostly typical for motorway sections. It was found that the key reason for this was the impact of FCD data due to the high proportion of goods vehicles, which have a significantly lower speed than personal vehicles in free flow.

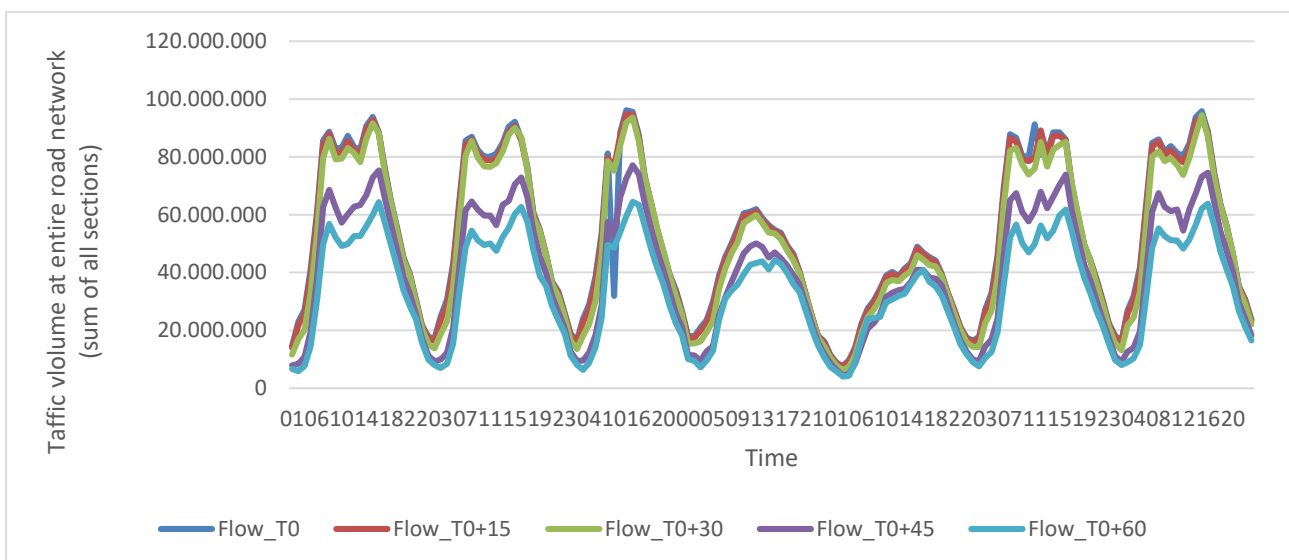


Figure 8. Comparison of measured and simulated traffic volume data on the roads in the Republic of Slovenia

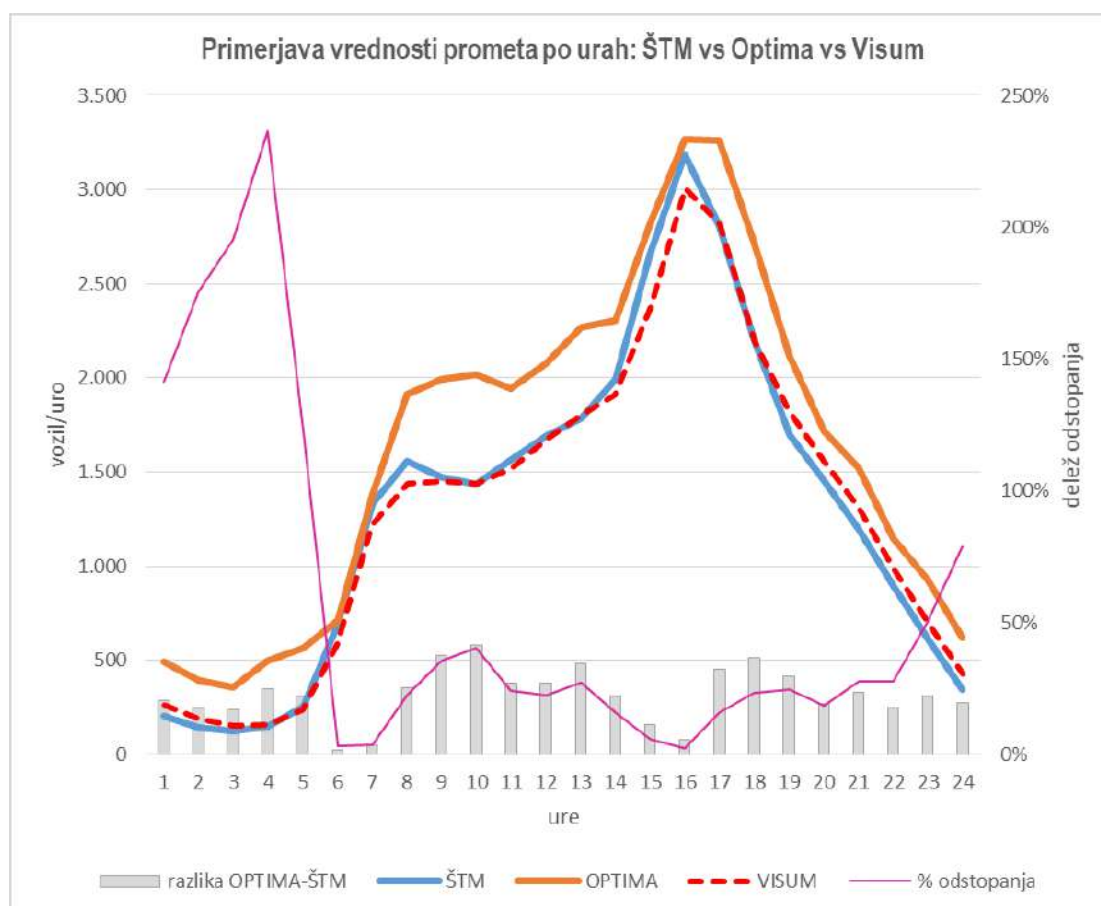


Figure 9. Comparison of hourly traffic volume data for the road section: motorway – counter location 830 Pšata Motorway

3. CONCLUSION

The IT systems for providing information regarding traffic flows were initially developed gradually without any mutual coordination and harmonisation of data records. Based on various approaches for developing individual systems, we now encounter heterogeneous data with no direct interconnection. In order to ensure comprehensive traffic management, it is of key importance to have a single data collection point and to ensure data interconnectivity. The National Traffic Management Centre in Slovenia has begun collecting various traffic data. Data from the macroscopic transport model, FCD data, and the data from traffic counters are the input data for the dynamic simulation transport model, which, by taking into account this input data, provides real-time information regarding the current conditions in the traffic network and enables a short-term traffic forecast of up to one hour ahead. This data is stored in a data warehouse at 5-minute intervals. The use of such data holds great potential for performing analyses and determining the needs for developing the traffic system. On the basis of such data, the users of the traffic network can be given information on the current traffic conditions which enables a rational choice of route. The data is also useful to traffic managers, who can impact the actual traffic conditions by changing traffic regimes (setting traffic light cycles, limiting speeds, recommending alternative routes). The data also has special meaning and useful value when planning traffic infrastructure and managing traffic in the future.

Despite the useful data from NCUP systems, there is still great potential for progress in the future. In order to perform key activities for a system upgrade, the following is necessary:

- ensuring a single digital traffic network map and updating road network section attributes on a regular basis,
- automatically including information on events occurring on roads,
- defining alternative routes in the event of congestion (at least on state roads),
- providing additional real-time data as input data to the dynamic simulation transport model (weather, data from vehicles, data from cameras, data from toll systems),

- coordinating the implementation of roadblocks between various subsystems (state roads, local roads, railway, public passenger transport),
- updating the macroscopic transport model using the already collected data in the data warehouse,
- updating the microscopic transport model on an ongoing basis.

Acknowledgements

The data and methodologies provided in this article are available on the basis of development and the results provided by the National Traffic Management Centre, which operates within the Ministry of Infrastructure of the Republic of Slovenia.

References

- [1] Herenda, D; Krevs, L; Jovanović, G, 2021, The National Traffic Management Centre purpose and role: Slovenian national access point (nap), ISEP 20–21, 8–16.
- [2] PNZ svetovanje projektiranje d.o.o., Appia d.o.o., PTV Austria Planung Transport Verkehr GmbH (2018), Izdelava makroskopskega prometnega modela in vzpostavitev dinamičnega simulacijskega prometnega modela za nacionalni center za upravljanje prometa, faza 1: Izdelava makroskopskega 4- stopenjskega prometnega modela za urni promet.
- [3] Petek, A; Čelan, M; Šoba, F, 2020, Poročilo o validaciji Dinamičnega simulacijskega prometnega modela v okviru javnega razpisa »Izdelava makroskopskega prometnega modela in vzpostavitev dinamičnega prometnega modela za Nacionalni center za upravljanje prometa.
- [4] Zegeye, G., et al., 'Development of a Travel Time prediction algorithm for InfoRio', InfoRio project report, 2009.
- [5] Nacionalna točka dostopa NAP, available at: <https://www.nap.si/sl/about> (20 March 2022).
- [6] Manage your entire traffic network in real time with PTV Optima, available at: <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-optima/> (20 March 2022).
- [7] PTV Group, PTV Visum 2021 Manual, available at: <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-visum/> (20 March 2022).

TACKLING CHALLENGES OF THE DIGITAL TRANSFORMATION TOWARDS BECOMING A SMART AND CONNECTED CITY

Christina Ghione^{*1}, Itir Coskun², Daniel Lenczowski³

¹ SWARCO Italy, ²SWARCO Solution Center, ³SWARCO Solution Center

Abstract

Having a large share of the global energy consumption as well as greenhouse gas emissions, continuous shift from rural to urban areas and accelerating climate change increases the pressure the cities are facing around the globe. Transportation systems being the backbone of cities has a significant role in addressing these challenges. However, each city considering their various components, have different challenges and therefore require different solutions. The city of Paris is a good example for this as it shows a great determination to combat these challenges acknowledging the need for comprehensive and future-oriented changes in the traffic management system. In this paper, based on the Paris example, how a future proof mobility management platform with a modular structure is effective to develop tailor made solutions is discussed. Furthermore, such modular structure gives cities the possibility to scale up their traffic management system according to the changing mobility needs due to technological developments or big events such as Olympic Games. Lastly, it is also explained how the modularity of the system helps solving critical challenges not only in large cities but also small and medium sized cities.

Keywords:

Traffic Management, Mobility Management, Digitalization, Climate Change

1. Introduction

Globally, cities are responsible for more than 60% of the greenhouse gas emissions while occupying total of less than 2% land area on Earth [1]. On one hand, rapid urbanization results in an increasing number of inhabitants in and expansion of cities, on the other hand, climate crisis, cities are under great pressure to develop efficient and sustainable mobility solutions.

Over the past years, Paris became prominent with its proactive and ambitious steps towards becoming a sustainable and greener city. In 2007 the city adopted its first Climate Action Plan determined to reduce its greenhouse gas emissions through a comprehensive set of measures. Being one of the first municipal authorities to adopt such a plan, in 2018, Paris adopted its 2nd Climate Action Plan with revised targets towards a carbon-neutral and resilient city. According to the 2nd Climate Action Plan, by 2050, the city of Paris aims to reduce local emissions by 100% which includes the emissions from the transport in the center [2]. In order to achieve its targets, the French capital has introduced multiple measures that aim to lead to drastic changes in the mobility of their citizens. Cutting down the number of lanes for car traffic along famous Champs-Élysées while improving the infrastructure for pedestrians and cyclists is only one of the many projects on the agenda of the city of Paris to combat air pollution and climate crisis. Giving public spaces back to pedestrians by restricting or completely freeing them from car traffic, the city is aiming to enrich its public realm and improve the quality of life of Parisians. Acknowledging the necessity of change, the city of Paris is encouraging a shift from personal car ownership towards shared and active mobility. Taking into account the Olympic Summer Games planned to take place in Paris in 2024, the city has undertaken transformations in several fields including the modernization of the traffic management in Paris. For this project, SWARCO is selected to provide the city with its new urban mobility management suite “MyCity”. The modular structure of MyCity is tailored to the needs and priorities of the city of Paris in order to tackle its challenges in a comprehensive and yet detailed way. This approach, based on a consolidated off-the-shelf product, MyCity, will guarantee to the city of Paris state-of-art performances and continuous updates during the lifetime of the system. Moreover, the core system includes a number of functionalities, additional to those initially required by the city, that can be enabled, if needed, then deployable with minimum costs and effort exploiting the platform modules. One of which being

¹ Christina Ghione, cristina.ghione@swarco.com

² Itir Coskun, itir.coskun@swarco.com

³ Daniel Lenczowski, daniel.lenczowski@swarco.com

the Connected Cooperative and Automated Mobility applications which take advantage of the newest technologies. Improving road safety and traffic system performance by taking traffic management into the next level. Thanks to its modularity, the platform is ready for the C-ITS applications and can be easily updated to adopt new technologies and challenges that arise.

In the following section, the high-level architecture of MyCity is presented. It is then followed by Section 3, which explains how MyCity addresses the challenges of the city of Paris. Section 4 presents the foreseen future evolutions in terms of traffic management with respect to big events such as the Olympic Summer Games in 2024 and explains how MyCity is planning to address these challenges. Finally, the Conclusions Section closes the paper.

2. Solution High-Level Architecture

The Mobility Management Platform “MyCity” is an operating environment that contains different functions that form Solutions which can be enabled via a single standardized user interface. The Platform utilizes cutting-edge technologies such as servers in the cloud to resolving connectivity and data exchange amongst programs with given institutions and/or across institutions and mobility domains.

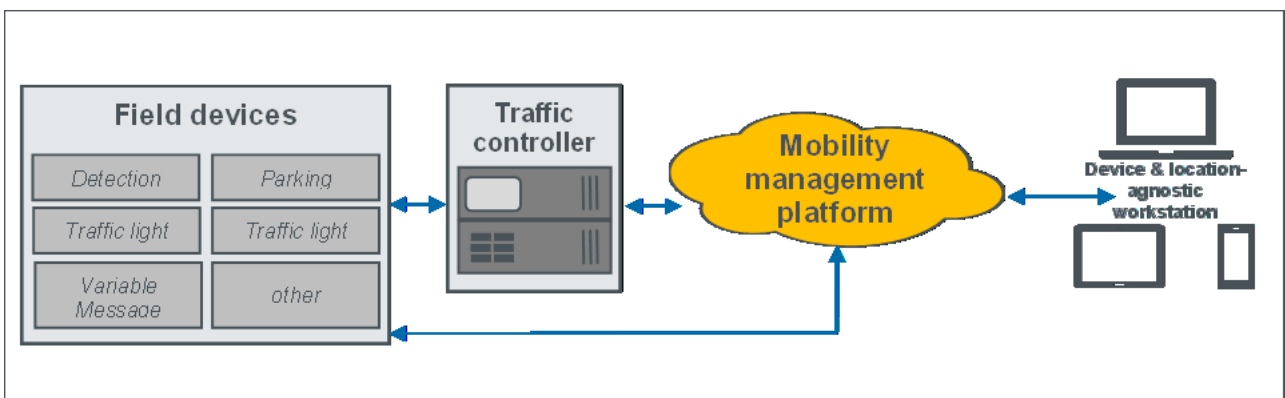


Figure 1. *Generic high-level system architecture*

MyCity is developed based on a modular structure that allows adjustment to the needs of each specific region in order to address the challenges of ever-changing mobility behaviour. Figure 2 presents the high-level functional architecture from which the modular structure can be seen. Furthermore, each solution represented here are composed of a combination of features. A feature describes a software function that is designed for particular purpose. The solutions can be adjusted by defining the needed features as well, which further supports the flexibility of the platform. Figure 3 visualizes the structure of solutions and features on a high-level technical architecture. It shows an example of the MyCity TMS solution and the multiple features that it consists of.

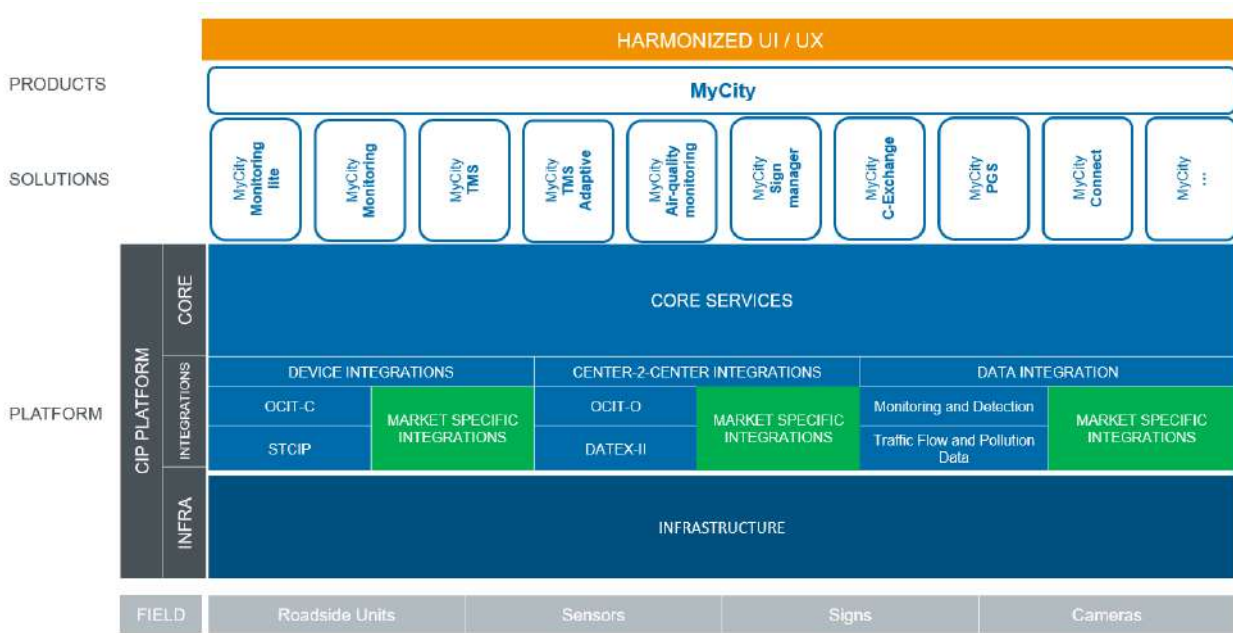


Figure 2. High level technical architecture of MyCity

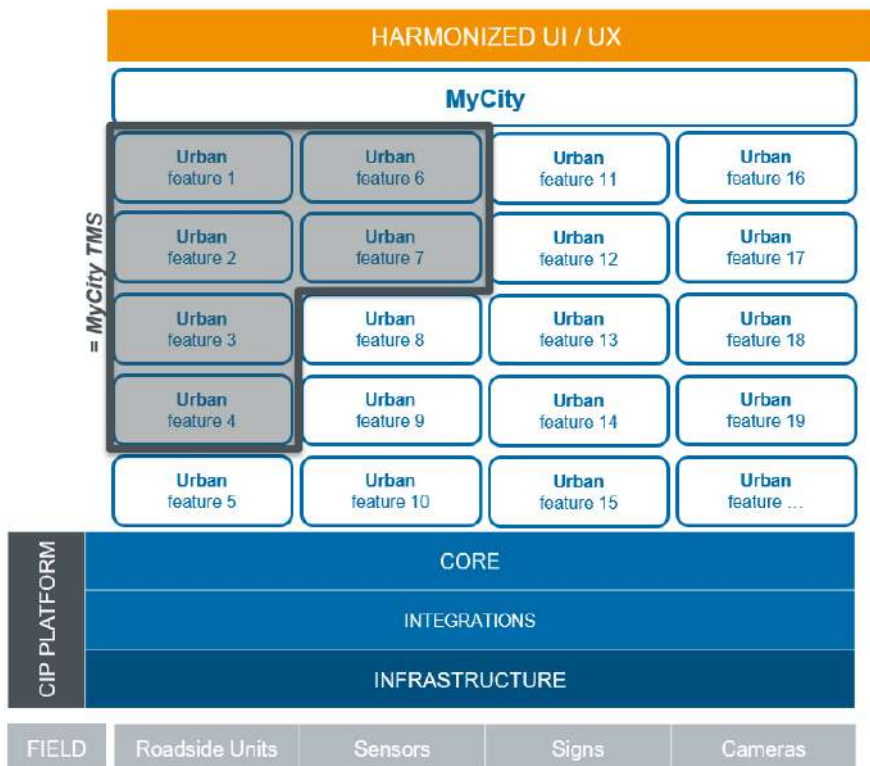


Figure 3. Solutions and features (high-level technical architecture)

3. Tackling Challenges

As each city has a different geographical condition, culture, as well as citizen profile, their needs are also different from each other. The city of Paris is facing the challenge of ever-growing mobility demand while being determined to accelerate the ecological transition of the city. Answering the mobility needs while maintaining a certain level of life quality and reducing the carbon footprint demands smarter and more efficient use of space which is often limited in urban areas. For this reason, Paris aims to encourage alternative modes of transport while improving the overall traffic flow within the city through integrating multiple solutions that are offered by MyCity.

In Figure 4, four core modules that are acquired by the city of Paris and the features clustered under each module are visualized. In small and medium sized cities, the 4 above-mentioned modules are likely to be

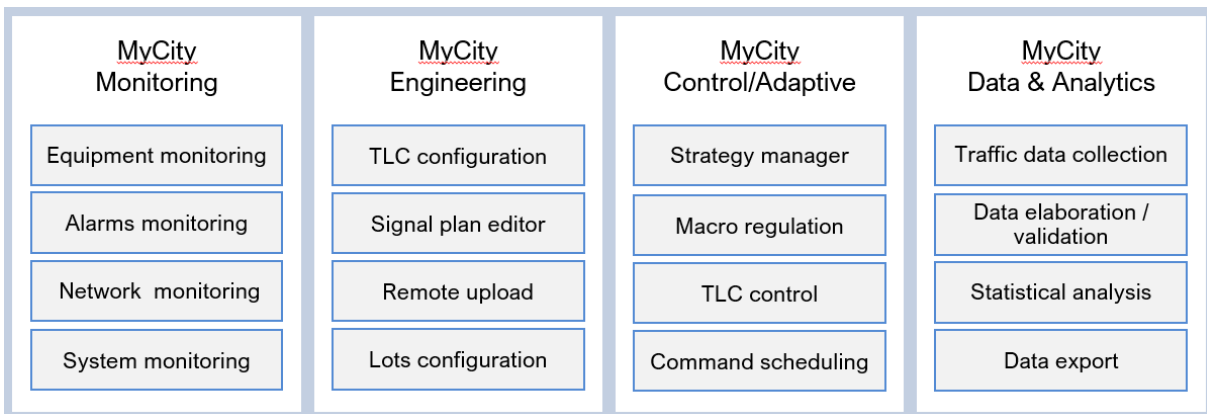


Figure 4. MyCity modules acquired by Paris Traffic Management

implemented first as they tackle the most common traffic management challenges. Along with these core features, together with the city of Paris, 10 more optional features are defined such as micro-mobility integration, emergency vehicle priority and integration of connected vehicles to respond the specific needs of the city.

For an effective management of traffic, it is important to have a tool with multiple functionalities that complement each other and provide a holistic approach to the traffic network. Table 1 shows 7 specific mobility challenges of Paris and how the new mobility platform aims to solve these challenges through the selected modules and features.

Table 1. Challenges of Paris and the offered corresponding solutions

Challenges:	Solutions:
1. Little flexibility for new technology evolution (high costs for introducing new functionalities)	1. Off-the-shelf product, modern architecture, constant updated releases and Agile approach to customizations
2. Local standards for centre to roadside communications limits the availability of HW components alternatives	2. Implementation of DIASER standard for centre to roadside communications
3. “Green Transformation” of the city is setting new requirements to the traffic management	3. Solution embeds functionalities for micro-mobility that can be enabled

4. Next large events will disrupt the mobility in the city road network	4. The included “Strategy Manager” function allow for special traffic management scenarios for events management
5. Tram priority on main corridors need to be provided	5. Tram priority will be tailored for the city needs and optionally used for emergency vehicles as well
6. Breakdown of the system performances needs to be avoided	6. High Availability system setup has been designed and deployed
7. Data and system access must not be exposed to hacking	7. Security by design is in the foundations of the MyCity platform

4. Future Evolutions

Large events hosted by cities usually bring numerous benefits. However, such events change the dynamics of everyday mobility within the city and puts pressure on the existing network. In 2024, Paris will host the Summer Olympic Games which requires great adjustments in the mobility management of the city. More than half a million people are expected to visit Paris during this period including athletes and spectators which will create a significant increase in the mobility demand. Providing a smooth traffic flow within the city both for the citizens and those visiting for the Olympic games is crucial.

MyCity modular structure provides the flexibility to enhance the core functionalities according to the changing needs. Within the framework of the agreement with Paris, 10 further optional functionalities are defined. These functionalities are future oriented and are defined by considering the evolution in the field of mobility as well as the upcoming Olympic Games. The list of the optional functionalities is described in Table 2.

Table 2. Optional features defined for Paris

1. Micro-mobility support	5. Interface to traveller information	9. Decision support
2. Connected vehicle support	6. Protocol uniformity	10. Strategy manager
3. Automated vehicle support	7. Data fusion	
4. Emergency vehicles priority	8. Interface to external systems	

Features 2, 4, 5 and 10 are especially important to support the city officials during the Olympic Games. The solutions benefit from the synergies of centralized urban mobility management software and the latest developments in the field of Connected, Cooperative and Automated Mobility. CCAM underlying technologies and standards used to connect vehicles with the infrastructure (V2I) originated in the automotive industry and aimed at improving road safety, journey comfort and traffic efficiency. However, with the same standards, several functions and different tasks in traffic control can be implemented and improved, bringing benefits to traffic managers and road users.

System openness is assured in a way that the decisive elements, such as message formats or interfaces, are built upon well-defined and open industry standards. Messages being used in the system logic:

- **SPaTEM/MAPEM:** (ETSI TS 103 301): „Signal Phase and Timing Extended Message” can include both the current signalling status and its forecast. By reference to the standardized description of the intersection topology (MAPEM), it becomes clear for which signal group or driving relation the signalling is valid. MAPEM displays lanes and stop lines by means of coordinate dots. Like all messages, SPaTEM/MAPEM can either be sent locally (useful for applications that require low latency, accurate and safe signalling information) or transmitted via Internet (useful for the dissemination of forecasts for certain applications, e.g., the waiting time at a signal-controlled intersection).
- **CAM:** The "Cooperative Awareness Message" (ETSI EN 302 637-2) describes the position, speed and direction of a vehicle. The message is regularly emitted from vehicles between 1 to 10 Hz.
- **DENM:** "Decentralized Environmental Notification Message" (ETSI EN 302 637-3) describes the coding of hazard warnings.
- **IVIM:** "In-Vehicle Information" (ISO 19321) regulates the coding of traffic signs, including, for example, dynamic speed limit signage.
- **SREM / SSEM:** "Signal Request Extended Message" – responsible for priority request, "Signal Status Extended Message", providing feedback about the priority request status (ETSI TS 103 301)

MyCity supports the interpretation and processing of incoming standard messages (CAM and DENM). It uses these incoming messages in the data fusion algorithm to develop "Floating Vehicle Data" (FCD), improving the quality and extent of the data collected through sensors. Real-time information from cars is used as input for operational traffic management and planning (vehicle trajectories and events). Better determination of traffic speed improves the management of the traffic flow. Supported statistics examples; stops (per lane; before/after stop line), waiting- and travel times, origin-destination (turn relations), speed/travel time, on various lanes or ramps simultaneously, congestion/disappearing of a traffic jam. Two-way communication allows the reception of DENM based vehicle warnings for traffic manager reaction at the same time allows to provide warnings (both DENM and IVIM) directly and on-the-spot to vehicles. The system is closing this way the control loop between the traffic management system and road user, but also creates an opportunity to use a new, dispersed detection source.

SPaTEM and MAPEM-based information on the current and future signal phases of a traffic light system can be communicated to the various road user groups. MyCity tools are used to create and update the content of the MAPEM messages for each intersection as well as generate accurate providing an updated estimate of the next switching times of the traffic light. The messages are necessary to describe the logical connection of each group of signals with the movements of vehicles through the intersection. The module includes a performance self-monitoring function to oversee the quality of the information and forecasts generated, ensuring compliance with requirements to qualify the information as appropriate for driver services. By advising the drivers to adapt to a specific speed for the green light it contributes to the reduction of emissions and fuel consumption. Car drivers have reduced red-light-violation motivation and drive without the need to rush for green. Cyclists can adapt driving speed and avoid the need to stop, relaxing at red – and being prepared for the green in time. All together lead to a reduction of severity and number of collisions by bringing convenience to road users and improving overall traffic flow by increasing throughput.

Emergency vehicle priority aims to improve the response time (e.g. fire brigades). The mechanism is much different from the one used for the traffic light priority for trams and buses. It uses different "weights" for each predefined type of vehicles groups helping to resolve conflicts and better reflect city policy goals. SREM message emitted by special rights vehicles triggers the formation of an emergency corridor. Depending on the position and speed of the vehicle, the system calculates the time of arrival at the traffic light and prepares the change of traffic plan. First to cause a minimum disturbance to the traffic flow, but also have a right time margin to clear up the intersection. Meaning preparing a particular program at signal-controlled intersections and then in the right moment switching the traffic light to green in the travel direction of the rescue vehicle. From the

traffic management system, feedback is provided in form of an SSEM message to the mobile application. That way the driver knows if it is safe to enter the intersection without other vehicles or pedestrians crossing his way. As soon as the vehicle passes through the intersection the system helps to return to the normal state of operation.

MyCity serves as a secure data broker between field devices and those of local systems and service providers. Boosting cooperation of local authorities and the private sector and enhancing both local and national innovative initiatives. It assures a secure, yet open way to exchange data and help improve safety, traffic flow, reduce congestion and prepare the city for digitalization.

5. Conclusion

This paper is developed based on the SWARCO's contractual agreement with the city of Paris and the analysis and preparation process prior to the agreement, considering the most recent developments and challenges in the mobility field.

Assessments carried out proved the necessity of the deployment of a modular urban mobility management platform. It is understood that the ability to flexibly scale the traffic management system to include a larger number of software modules with or without field devices, enables the city to be future-ready. The possibility to combine different features and modules within the mobility management platform gives the city the ability to address its current, planned and not yet foreseen challenges in an agile and proactive way. The same modular structure does not only prove to be suitable for large-scale deployment but also for small and medium-sized cities. Moreover, the flexibility that comes with this architecture also allows each decision-maker to put together a tailor-made solution that responds to the specific needs of each city.

References

1. United Nations. (n.d.). Cities and Pollution. available at: <https://www.un.org/en/climatechange/climate-solutions/cities-pollution#:~:text=Cities%20are%20major%20contributors%20to,cent%20of%20the%20Earth's%20surface,> [accessed 27 January 2022],
2. City of Paris. (2018). Paris Climate Action Plan: Towards a carbon neutral city and 100% renewable energies, available at: <https://cdn.paris.fr/paris/2019/07/24/1a706797eac9982aec6b767c56449240.pdf> [accessed 28 January 2022],
3. ETSI. (n.d.). TS 103 301: "Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Facilities layer protocols and communication requirements for infrastructure services". (n.d.), available at: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103300_103399/103301/01.03.01_60/ts_103301v010301p.pdf [accessed 1 February 2022],
4. ETSI. (n.d.). EN 302 637-2: "Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service", available at: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263702/01.03.00_20/en_30263702v010300a.pdf [accessed 1 February 2022],
5. ETSI. (n.d.). EN 302 637-3: "Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service", available at: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263703/01.03.01_60/en_30263703v010301p.pdf [accessed 1 February 2022]

KRUŽNA EKONOMIJA U OBLASTI SAOBRAĆAJNICA

Jelena Stošić

Arup, Kneginje Zorke 77, Beograd (Vračar), Srbija, email – jelena.stosic@arup.com

Aleksandar Bajović

Arup, Kneginje Zorke 77, Beograd (Vračar), Srbija, email – aleksandar.bajovic@arup.com

Rezime: *Potrošnja i upotreba prirodnih resursa uglavnom prati linearni pristup. Materijali se nabavljaju, koriste i konačno podlažu kao otpad. Ovaj metod predstavlja veliki izazov kada je životna sredina u pitanju, posebno u obliku iscrpljivanja resursa, zagađenja i emisije gasova sa efektom staklene bašte, koji su, takođe, veoma važni izazovi za društveno-ekonomski razvoj. Iz tog razloga, koncept kružne ekonomije je razvijen i primenjuje se u različitim oblastima. Evropska komisija je usvojila „Novi Akcioni Plan za kružnu ekonomiju“, objavljen 11. marta 2020. godine, nastavljajući ambiciju ka dostizanju ciljeva kružne ekonomije u Evropi. Cilj rada je opisati i razmotriti ključne izazove sa kojima se suočava primena koncepta kružne ekonomije u sektoru drumskog saobraćaja. Prvo se objašnjava koncept kružne ekonomije. Zatim je predstavljen Evropski paket kružne ekonomije, a izabrani su aspekti kružne ekonomije u sektoru saobraćaja. Raspravlja se o trenutnim i planiranim akcijama u sektoru saobraćaja u smislu njihove tačnosti i efikasnosti za postizanje principa kružne ekonomije.*

Ključne reči: *Kružna ekonomija, Sektor saobraćaja.*

CIRCULAR ECONOMY IN ROAD SECTOR

Jelena Stošić

Arup, Kneginje Zorke 77, Beograd (Vračar), Srbija, email – jelena.stosic@arup.com

Aleksandar Bajović

Arup, Kneginje Zorke 77, Beograd (Vračar), Srbija, email – aleksandar.bajovic@arup.com

Abstract: *Consumption and use of natural resources generally follow a linear approach. Materials are procured, used and finally disposed of as waste. This method presents a great challenge when it comes to the environment, especially in the form of depletion of resources, pollution and greenhouse gas emissions, which are also very important challenges for socio-economic development. For this reason, the concept of circular economy has been developed and is being applied in various fields. The European Commission has adopted "A New Circular Economy Action Plan", published on March 11, 2020, continuing the ambition of achieving the goals of the circular economy in Europe. The aim of the paper is to describe and discuss the key challenges facing the implementation of the circular economy concept in the road transport sector. The concept of circular economy is first explained. The European Circular Economy Package was then presented and aspects of the circular economy in the transport sector were selected. Current and planned actions in the transport sector are discussed in terms of their accuracy and efficiency in achieving a circular economy principle.*

Keywords: *Circular economy, Road sector.*

1. UVOD

Nedostatak sirovina predstavlja glavni izazov u 21. veku. Ne samo iz ekoloških razloga, već i iz ekonomskih i strateških razloga. Aktuelni model proizvodnje, takozvani linearni, zasnovan je na transformaciji resursa u gotove proizvode i njihovo odlaganje (pretvaranje u otpad) nakon upotrebe. Relativno laka dostupnost i niska cena prirodnih resursa omogućili su opstajanje ovakvog pristupa. Danas, usled već dostignutih nivoa iskorišćenosti prirodnih resursa i nivoa zagađenosti planete, primetno je da je primena ovakvog pristupa vremenski ograničena, i sa praktičnog i sa ekonomskog aspekta. Koncept kružne ekonomije ima za cilj da sačuva i održi upotrebnu vrednost proizvoda, komponenti i materijala u svakom trenutku. Na taj način se zadržava ekonomska vrednost i smanjuje negativan uticaj na životnu sredinu.

Konceptom kružne ekonomije se pretpostavlja da su materijali deo zatvorenog sistema gde nema kreiranja otpada. Posmatrano u primenjenom smislu kružna ekonomija podrazumeva sledeće principe:

- upotrebu resursa u proizvodnji roba ili usluga na način koji maksimalno produžava trajanje vrednosti proizvoda ili usluge,
- smanjenje količine otpadnog materijala u procesu proizvodnje i upotrebe, onog koji ni na koji način ne može ponovo biti upotrebljen,
- maksimalno povećanje iskorišćenosti resursa gde se na kraju upotrebno ciklusa proizvod ili usluga opet vraćaju u proizvodni proces kako bi se, kroz ponovno iskorišćenje, istim dodalo na vrednosti.

Kako na globalnom, tako i na evropskom nivou raste pritisak sa pozicije političkog i društvenog aspekta da se smanji upotreba osnovnih materijala (resursa) i da se spreči prekomerno stvaranje otpada. Evropska komisija je 11. marta 2020. godine usvojila „Novi Akcioni Plan za kružnu ekonomiju“ [12], predstavljajući skup akcija usmerenih na osiguranje daljeg napretka na putu tranzicije ka kružnoj ekonomiji.

Industrija izgradnje puteva poznata je po velikom korišćenju energetskih resursa i materijala. Projektovano doba trajanja asfaltnih kolovoznih konstrukcija treba, po pravilu, da iznosi 20 godina. U određenim slučajevima navedeno razdoblje može biti i kraće, s tim da ne sme biti kraće od 5 godina. Projektovani životni vek cementno-betonskih kolovoznih konstrukcija treba, po pravilu, da iznosi 20 godina. U određenim slučajevima navedeno razdoblje može da bude kraće (najmanje 10 godina) a i duže (do 30 godina). Pored toga, eksploatacioni vek mosta, odnosno vremenski period tokom koga most ima garantovanu sigurnost i zadovoljavajuću upotrebljivost, zavisi od lokacije, intenziteta i vrste saobraćaja kao i drugih parametra. Životni vek mostova je 80 – 120 godina, ali pojedini delovi konstrukcije betonskih mostova dostižu vrhunac upotrebnog ciklusa u periodu od 30 do 50 godina.

Trajnost ovih konstrukcija opada tokom vremena kao posledica osobina koje ima sama konstrukcija, vrste i intenziteta saobraćaja i kao rezultat niza očekivanih i stohastičkih pojava u toku eksploatacije. Radovima na redovnom održavanju, pojačanom održavanju i rehabilitaciji, u zavisnosti od obima ulaganja i karaktera zahvata, može se povećati pouzdanost i produžiti vreme korišćenja ovih konstrukcija.

Radovi na redovnom održavanju uključuju, između ostalog, mestimično popravljavanje oštećene kolovozne konstrukcije i ostalih elemenata puta i putne opreme. Kod rekonstrukcije puta, pored ostalog, uklanjaju se oštećeni asfaltni ili betonski slojevi, vrši se zamena betonskih ivičnjaka i elemenata za odvodnjavanje, zamena oštećene ograde, a u izuzetnim slučajevima, ukoliko je došlo do značajnog oštećenja, uklanjaju se i čitavi slojevi nasipa (trup puta) i zamenjuju novim. Ovim se produžava životni vek konstrukcije. Međutim, ovi radovi u praksi podrazumevaju uvođenje novih materijala koji će zadovoljiti tehničke karakteristike, a uklonjeni materijal se tretira kao otpad i odlaže, a praksa pokazuje da se retko ponovo koristi.

Postavlja se pitanje kako projektovati i realizovati infrastrukturni projekat u sistemu kružne ekonomije i učiniti ga održivim za više životnih ciklusa? Dakle, cilj je pronalaženje mogućnosti za istraživanje i predvideti put kojim se treba kretati ka primeni koncepta kružne ekonomije u izgradnji putne infrastrukture.

2. KONCEPT KRUŽNE EKONOMIJE

Izraz "kružna ekonomija" je povezan sa nizom značenja i asocijacija različitih autora, ali ono što im je zajedničko uglavnom je koncept cikličkog zatvorenog sistema [22]. Ellen MacArthur Foundation (EMF), međunarodna istraživačka grupa koja je opšte priznata kao autoritativni izvor za kružne koncepte definiše kružnu ekonomiju kao "ekonomski i industrijski sistem koji je rekonstruktivni i regenerativni po dizajnu, a koji ima za cilj da proizvodi, komponente i materijali u svakom trenutku budu maksimalno korisni i vredni ..." [10]. Prema EMF-u, u idealnom slučaju se koriste samo obnovljivi materijali koji se baziraju na biološkoj osnovi i izbegava se upotreba opasnih materijala i proizvoda. Ako se materijal ne može obnoviti, životni ciklus krajnjeg proizvoda treba zatvoriti kroz duži period upotrebe krajnjeg proizvoda i maksimalnim povećanjem stope recikliranja svakog materijala, bilo u istom proizvodnom ciklusu ili van njega. Sve ovo trebalo bi rezultirati smanjenjem, a u idealnom slučaju potpunim ukidanjem potražnje resursa iz prirode [10].

Manje složenu definiciju dala je Evropska komisija koja je kružnu ekonomiju definisala kao ekonomiju „gde se vrednost proizvoda, materijala i resursa održava u privredi što je duže moguće, a stvaranje otpada se svodi na minimum. Korišćenje resursa i stvaranje otpada svedeno je na minimum, a kada proizvod dostigne kraj svog životnog veka, ponovo se koristi za stvaranje dodatne vrednosti.“ [11].

Pojam "kružnost" u ekonomskim procesima proizvodnje i potrošnje lansiran je u prošloj deceniji kao poslednja faza u evolucijskoj raspravi o održivosti. Od kraja prošlog veka dominantna razmišljanja u diskursu održivosti postaju pojmovi poput „ljudi-planeta-profit“, „kolevka do kolevke“, „stvaranje više vrednosti“ i „odgovorno preduzetništvo“. Ova shvatanja bila su vođena nalazima da su društveno-ekonomski i ekološki interesi potcenjeni i oštećeni trenutnim ekonomskim modelom kojim dominira kratkoročna dobit. Alternativne tehnologije, poput koncepta „kolevka do kolevke“ i zatvaranja kruga, prevladale su kada su ekonomske analize pokazale ogromne prednosti kružnog upravljanja resursima. Kako se ta ekonomska korist može vrlo dobro podudarati sa stvaranjem društvene i ekološke vrednosti, koncept kružne ekonomije prihvaćen je kao vrlo atraktivan i kao novi održivi ekonomski princip.

Za razliku od trenutne ekonomije, koja se u velikoj meri zasniva na principu „uzmi-napravi-odbaci“ (linearna ekonomija), tačka fokusa u kružnoj ekonomiji je redukovanje nepotrebnog uništavanja resursa. To podrazumeva mnogo više od smanjenja otpada reciklažom (Slika 1). Takav pristup ističe sledeće:

- smanjenje potrošnje sirovina,
- proizvod je dizajniran na takav način da se može lako rastaviti i ponovo upotrebiti nakon korišćenja (Eko dizajn),
- produžavanje životnog veka proizvoda održavanjem i popravkom i upotrebom komponenti koje su pogodne za reciklažu,
- povraćajem sirovina iz tokova otpada.

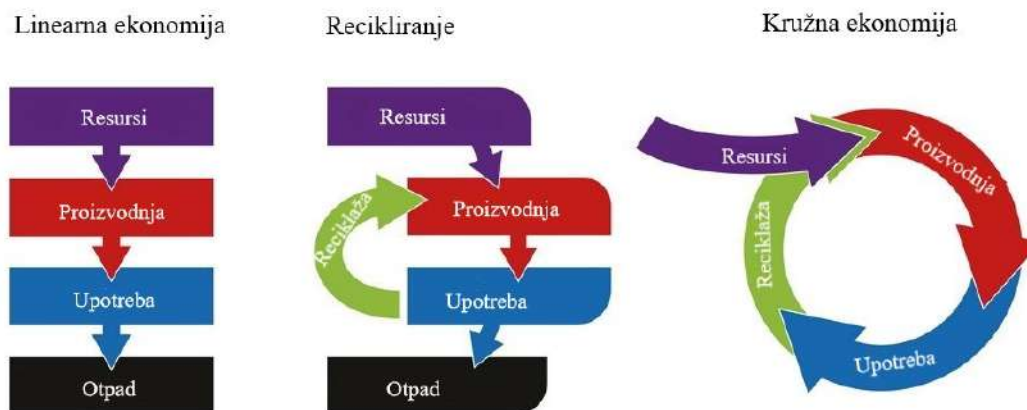
Koncept kružne ekonomije ima za cilj stvaranje ekonomske vrednosti (povećava se ekonomska vrednost materijala ili proizvoda), stvaranje društvene vrednosti (smanjenje društvenih vrednosti kroz ceo sistem, kao što je sprečavanje nezdravih uslova rada prilikom vađenja sirovih materijala i ponovne upotrebe, svodi se na minimum) kao i stvaranje vrednosti u pogledu zaštite životne sredine (očuvanje prirodnih resursa).

U literaturi o kružnoj ekonomiji pravi se razlika između različitih gradacija ili strategija za „kružnost“. Ovo započinje sa „odbacivanje i preispitivanje“ i završava sa „povraćajem energije“ [24]. Ove različite gradacije ili opcije za smanjenje upotrebe resursa su navedene na sledeći način:

1. Odbijanje i preispitivanje. Ova strategija se odnosi na odbacivanje određenih proizvoda (odbijanje) ili intenzivnije korišćenje istih, deljenjem ili davanjem više funkcija istom proizvodu (preispitivanje).
2. Smanjiti. Smanjivanje se odnosi se na efikasniju proizvodnju i efikasnije korišćenje proizvoda.
3. Ponovna upotreba. Životni vek proizvoda može se produžiti ponovnom upotrebom.
4. Popravak i obnova. Ova strategija se takođe odnosi na produženje veka proizvoda, ali u ovom slučaju popravkom ili ponovnom upotrebom određenih delova (obnavljanjem), kao i prilagođavanjem novim standardima.
5. Recikliranje. Ova strategija se odnosi na obradu i ponovnu upotrebu resursa (recikliranje). Ovo uključuje obradu i odvajanje ostataka - otpadnih delova i njihovu ponovnu upotrebu.
6. Oporavak. Strategija oporavka odnosi se na vraćanje energije iz određenih materijala ili obnavljanje energije.

Gradacije „kružnosti“ takođe jasno pokazuju da je „povraćaj energije“ konačna opcija za povraćaj vrednosti iz resursa. Oporavak energije zapravo „završava“ ciklus upotrebe resursa degradacijom i raspadanjem materijala na toplotu, emisije i pepeo. U trenutnoj ekonomiji recikliranje - prerada i ponovna upotreba materijala je proces koji degradira i materijale, jer primenjeni sistem recikliranja nije u stanju da stvori visokokvalitetne sekundarne resurse iz svih tokova otpada. Ono po čemu se metod reciklaže razlikuje od koncepta kružne ekonomije je u tome što recikliranje i dalje uključuje ulaz sirovina i stvaranje otpada (ostataka), dok su u konceptu kružne ekonomije petlje zatvorene.

OD LINEARNE DO KRUŽNE EKONOMIJE



Slika 1. Razlika između linearne ekonomije, recikliranja i kružne ekonomije

Source (Izvor): [Internet](#)

Štaviše, dok je u prva dva modela potrošnja energije dominantno povezana sa spoljnom proizvodnjom i širokom upotrebom oskudnih sirovina (nafta i gasa), model kružne ekonomije prihvata proizvodnju i upotrebu obnovljivih izvora energije kao jedan od konstitutivnih principa.

3. AKCIONI PLAN EU ZA KRUŽNU EKONOMIJU

U martu 2019. godine, Evropska komisija je u Izveštaju o sprovođenju Akcionog plana za kružnu ekonomiju izvestila o realizaciji i napretku ključnih inicijativa svog Akcionog plana iz 2015. godine [11]. Tri godine nakon usvajanja plan je u potpunosti ispunjen sa izvršenih 54 akcija.

Evropska komisija je 11. marta 2020. godine usvojila „Novi Akcioni Plan za kružnu ekonomiju“ [12], u kom su predstavljeni ciljevi koje Evropa treba da ispuni i nastavi put tranzicije ka kružnoj ekonomiji. Plan predstavlja skup međusobno povezanih inicijativa za uspostavljanje snažnog i koherentnog okvira politike proizvoda koji u prvi plan stavlja proizvode, usluge i poslovne modele ujedno transformišući obrasce potrošnje tako da se ne stvara otpad.

Ključne akcije predstavljene u novom Akcionom planu za kružnu ekonomiju su sledeće:

- Održivi proizvodi postaju norma,
- Snažna podrška potrošačima,
- Usredsređivanje na sektore koji koriste najviše resursa, i
- Smanjenje otpada.

Ovim akcionim planom predstavljen je program orijentisan ka budućnosti za postizanje čistije i konkurentnije Evrope u saradnji sa ekonomskim subjektima, potrošačima, građanima i organizacijama. Cilj je ubrzati promene koje zahteva Evropski Zeleni Dogovor (European Green Deal), istovremeno radeći na akcijama u kružnoj ekonomiji koje se primenjuju od 2015 godine. Primenom ovog plana osiguraće se da se regulatorni okvir pojednostavi i prilagodi održivoj budućnosti, odnosno da nove mogućnosti tranzicije budu maksimalne, uz minimiziranje opterećenja za ljude i preduzeća. Novi plan se fokusira na dizajn i proizvodnju za kružnu ekonomiju, sa ciljem da se obezbedi da se korišćeni resursi čuvaju u ekonomiji Evropske Unije što je duže moguće.

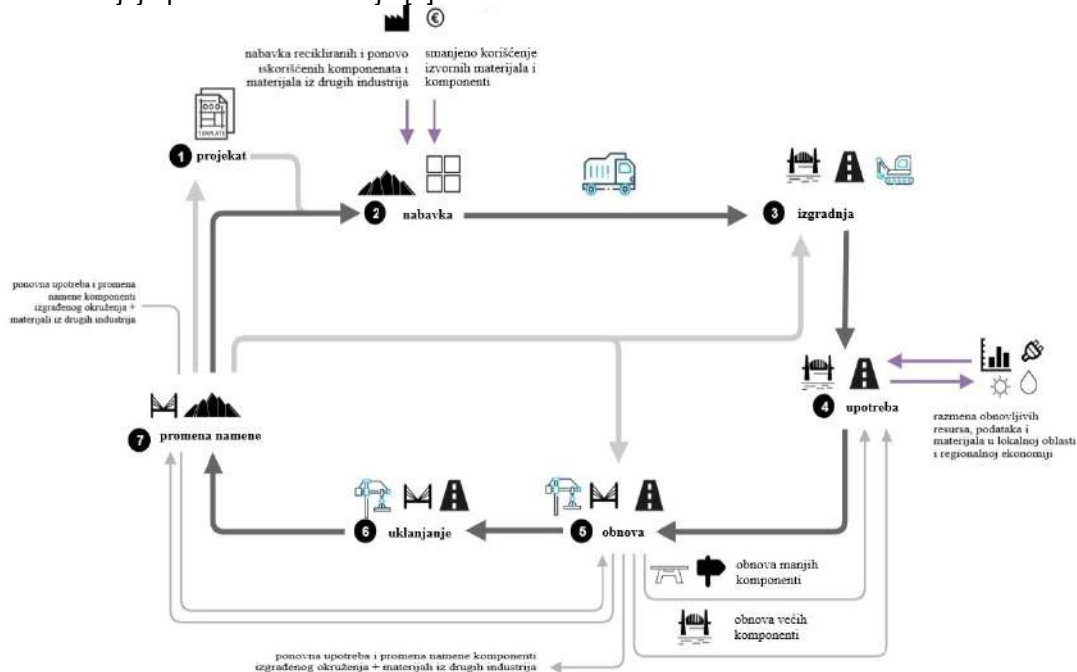
4. PRINCIPI KRUŽNE EKONOMIJE U PUTNOJ INFRASTRUKTURI

Kako je već prethodno objašnjeno, centralno mesto u konceptu kružne ekonomije zauzima ciklični protok materijala kroz naredne životne cikluse proizvoda. Životni ciklusi se prate i dovode do evolucije koja se može

nastaviti u nedogled u kružnoj ekonomiji (zatvorena petlja). Karakteristike životnog ciklusa pretežno su određene u fazi projektovanja. Stoga bi u ovoj fazi trebalo razmotriti i utvrditi različite strategije kružnosti [24]. U ovoj fazi treba uzeti u obzir sve faze u trenutnom životnom ciklusu, ali i sledeće životne cikluse. Uvidom u već uvedenu praksu u okviru putnih uprava raznih zemalja, pre svega Evrope, konstatuje se da se njihova strategija i praksa, pre svega zasniva na primeni racionalnih rešenja, koja se zasnivaju na:

- Funkcionalnoj klasifikaciji putne infrastrukture,
- Saobraćajnom opterećenju i prognozi,
- Klimatskim uslovima, sa posebnim osvrtom na globalne promene,
- Geotehničkim uslovima, sa posebnim osvrtom na mere poboljšanja tla i recikliranje građevinskih materijala,
- Zaštiti životne sredine,
- Društveno - ekonomskim uticajima,
- Principima kružne ekonomije.

Kako je navedeno u publikaciji (Arup, 2016), životni ciklus građevinskog (u ovom slučaju putnog) projekta može se podeliti u nekoliko sledećih faza: planiranje, projektovanje, nabavka, izgradnja, upotreba i održavanje, i faza rastavljanja komponenti i uklanjanja. Projektovanje uključuje razvijanje kohezivnog sistema komponenti koje zajedno obavljaju predviđenu funkciju [1].



Slika 2. Šematski prikaz principa kružne ekonomije u putnoj infrastrukturi

Source (Izvor): Arup

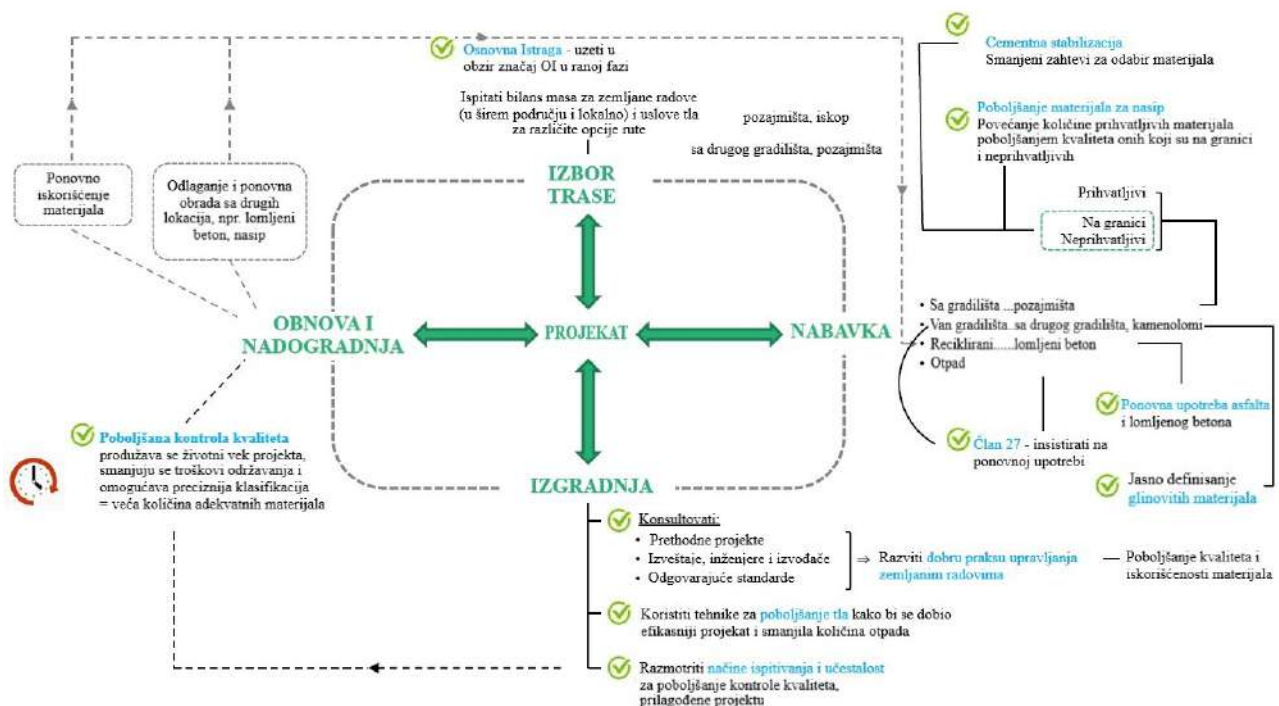
4.1. Faza planiranja

Šta je tačno životni ciklus putnog sistema? Životni vek građevinskih objekata uzima se da je od 50 do 100 godina. Međutim, većina puteva se rekonstruiše svakih 25 do 30 godina. Instalacije za upravljanje saobraćajem imaju uobičajeni vek od 10 do 20 godina. Dakle, različiti delovi sistema imaju različito tehničko odnosno ekonomsko trajanje. Suština koncepta kružnog projektovanja je da se sistem putne infrastrukture razdvoji na bitne funkcionalne komponente (module) i da se svaka komponenta projektuje posebno, u skladu sa njenim životnim vekom i, pritom, održi koherentnost Sistema [25, 23]. Bitno je da se projekat ne zasniva na unapred postavljenom zahtevu za linearnim životnim vekom (npr. 100 godina za beton), već na stvarnom (ekonomskom) životnom veku komponenti kao dela niza životnih ciklusa [5]. Ekonomski životni vek je, međutim, neizvestan i snažno povezan sa dinamičkim okruženjem putnog sistema. Stoga sistem mora biti prilagodljiv unutrašnjim i spoljašnjim uticajima, zadržavajući svoju funkciju. Modularni dizajn (projekat) čini sistem prilagodljivijim jer se moduli mogu rastaviti, promeniti ili zameniti tokom životnog ciklusa [17, 18].

4.2. Faza projektovanja

Kada se raspravlja o kružnoj ekonomiji najveća pažnja obraća se na tokove materijala i recikliranja materijala koji čine ove tokove [3]. U procesu recikliranja originalni materijali se ponovo koriste u narednom ili drugom životnom ciklusu. Više autora ističe da je recikliranje značajan deo održive prakse već duži niz godina i od suštinskog je značaja za kružnu ekonomiju [21, 26]. Uostalom, što više materijala može da se vrati u proizvodni proces, to je manja verovatnoća da se situacija zatvori za sledeći životni ciklus. U konceptu kružnog dizajna nije neophodno da se svaka sirovina ponovo koristi za potpuno istu upotrebu, sve dok dugoročno ostane u okviru ekonomskog sistema.

Projekat putnog sistema uvek treba sagledati u fizičkom i društvenom kontekstu i iskoristiti maksimalno dato stanje. Upotreba lokalno dostupnog materijala (npr. zemljanog i građevinskog materijala) smanjuje transport i potrošnju energije.



Slika 3. Šematski prikaz principa kružne ekonomije u izboru materijala za gradnju

Source (Izvor): Arup

4.3 Faza nabavke

Projektovanje po principu male upotrebe materijala takođe može dovesti do stvaranja manje količine otpada i smanjenog uticaja na životnu sredinu. Pored toga, maksimalnim korišćenjem recikliranih sirovina kao resursa potrebno je manje osnovnih sirovina.

Takođe, bitno za rukovanje materijalima je dostupnost podataka o istim i godinama nakon što su prvobitno korišćeni. Povezivanje podataka sa materijalima i tokovima materijala osigurava optimizaciju projekta životnog ciklusa i mogu se povezati naredni životni ciklusi. Primer za to je takozvani „pasoš za materijale“ [2]. „Pasoš za materijale“ daje projektantu sadašnjeg i narednog životnog ciklusa informacije o sastavu materijala koji su korišćeni u projektu, njegovom poreklu, snabdevanju i uslovima u životnoj sredini. Ideja je omogućiti informacijama da putuju uz sam proizvod kroz vreme. Međutim, pored toga što je razvoj ovakvog modela još uvek u povoju, najveći izazov predstavlja kako prikupljati i čuvati informacije na način da se osigura njihova dostupnost i da se mogu korisno upotrebiti 50 do 100 godina kasnije.

4.4 Faza izgradnje

Trenutna praksa pokazuje da se gotovo ne uzima u obzir mogućnost da se upotrebljeni materijali kasnije ponovo koriste za izgradnju negde drugde ili u sledećem životnom ciklusu. Više autora [2, 6, 8] ističe značaj

mešanja što manje sirovina prilikom izgradnje što bi olakšalo rastavljanje komponenti i njihovu reciklažu i dalje korišćenje. Upravo mešanje materijala otežava kasniju reciklažu. Stoga treba staviti veliki fokus na pravilnoj upotrebi materijala za dobijanje krajnjeg proizvoda.

Prema Bossink and Brouwers (1996), oko 1-10% građevinskog materijala, mereno težinom kupljenog materijala, napušta gradilište kao otpad iz privremenih građevina [4]. Štaviše, proces izgradnje je odgovoran za veliku potrošnju energije za transport, upotrebu mašina i tako dalje.

4.5 Faza upotrebe i održavanja

Popravlak i obnova se smatraju delom održavanja. Međutim, u fazi eksploatacije puta troši se energija za održavanje. Naročito upravljanje saobraćajem i posebne konstrukcije poput tunela ili mostova predstavljaju značajne potrošače energije. Iz perspektive kružne ekonomije, projekat bi trebalo da bude takav da da ove aktivnosti troše što je manje energije, na primer korišćenjem energetski efikasnih tehnologija [9, 22].

U konceptu kružne ekonomije važno je da se vrednost materijala i komponenti održi. Na kraju jednog životnog ciklusa, oni se mogu ponovo koristiti za naredne životne cikluse ili za alternativne životne cikluse. Amortizacija bi trebalo da bude minimalna u kružnoj ekonomiji jer različiti korišćeni materijali i komponente predstavljaju resurse budućnosti. Stoga je bitno tokom upotrebne faze smanjiti gubitak vrednosti održavanjem puta u što boljem stanju.

4.6 Faza rastavljanja komponenti i ponovne upotrebe

Na kraju životnog veka jedne konstrukcije bitno je da ona može da se rastavi u potpunosti kako bi bilo moguće ponovo upotrebiti prethodno korišćene materijale i komponente. Prema literaturi, najvažnije je definisati principe projekta za reciklažu i projekta za rastavljanje komponenti. Da bi zaista bilo moguće ponovno iskorišćenje u što većem procentu važno je uzeti u obzir primenu materijala, komponenti ili modula u narednom odnosno drugom životnom ciklusu. Ta upotreba može biti direktna ili uz adaptaciju. Kao što je pomenuto u delu 4.4, što manje mešanje sirovina olakšava mogućnost njihove ponovne upotrebe. Na primer, drobljeni kamen određene granulacije koji se koristi za izgradnju slojeva nasipa, nakon uklanjanja se, uz eventualnu adaptaciju, može ponovo iskoristiti na istom ili drugom projektu. Recikliranje asfaltnih slojeva je nešto što je već prihvaćeno kao praksa u mnogim zemljama uključujući i Srbiju gde se ovako dobijeni materijali mogu koristiti na istom ili nekom drugom putnom pravcu. Ovde se može napomenuti i da izgradnja novih putnih pravaca često obuhvata i izgradnju privremenih objekata kao što su privremeni prelazi, potporne konstrukcije ili izmeštanja postojećih putnih pravaca. Takođe, određeni betonski delovi mosta (Slika 4) se mogu u celini rastaviti i kao takvi ponovo upotrebiti na drugoj lokaciji. Ovde se ponavlja značaj planiranja i projektovanja kako bi se princip kružne ekonomije što efikasnije primenio u izgradnji putne infrastrukture.

Pored ovoga, neophodno je istaći nužnost izrade projekta za reciklažu kako bi se osiguralo da ponuda ostataka iz jednog životnog ciklusa zadovoljava potražnju u budućim životnim ciklusima. Usklađivanje ponude i potražnje u životnom ciklusu i tokom različitih životnih ciklusa u osnovi je u pristupu zatvorenog kruga kružne ekonomije [7, 16].

4. PRIMER PRIMENE PRINCIPA KRUŽNE EKONOMIJE NA PROJEKTIMA U PRAKSI

Još 2016. godine Van Hattum & Blankevoort upustili su se u izradu projekta vijadukta autoputa po principima kružne ekonomije. Cilj je bio da se vijadukt izgradi do 2018. godine u sklopu projekta N18, novog autoputa dužine 23 kilometra u istočnom delu Holandije. Projektom timu pružili su podršku stručnjaci iz nekoliko kompanija i projekat je snažno podržan od strane Rijkswaterstaat - Direkcije za infrastrukturu i vode [19].

Principi projekta zasnivali su se na višestrukoj upotrebi resursa i funkcija samog produkta, optimalnoj upotrebi resursa po funkciji, maksimalnoj upotrebi „zdravih“ sirovina i eliminaciji „nezdravih“ sirovina, razdvajanju životnih ciklusa kako bi se omogućilo maksimalno iskorišćenje resursa u narednim životnim ciklusima, uvođenju „pasoša za materijale“ i projektu za demontažu i ponovnu montažu. Tokom procesa projektovanja, fokus je bio na modularnom sastavu vijadukta, posebno ploče, jer se činilo da je taj deo bilo najbolje prilagoditi raspoloživim saznanjima [19].

Usled vremenskog rizika, kako bi se ispoštovali rokovi, projekat nije izveden u okviru projekta autoputa N18. Međutim, ideja nije napuštena. Prvi vijadukt po principima kružne ekonomije izgrađen je u Kampenu, Holandija u saradnji Van Hattum & Blankevoort, Consolis Spanbeton (proizvođač prefabrikovanih betonskih

elemenata) i Rijkswaterstaat - Direkcije za infrastrukturu i vode. Vijadukt je zvanično otvoren u januaru 2019. Vijadukt je raspona 20 metara, širine 7,5 metara, i sastoji se od 40 betonskih elemenata [14,15].



Slika 4. Betonski elementi vijadukta projektovanog i izvedenog u skladu sa principima kružne ekonomije mogu se ponovo koristiti u celini na drugoj lokaciji. Na taj način se izbegavaju rasipanje i nepotrebna upotreba novih sirovina. Svi betonski elementi su istih dimenzija, odnosno 2,5x1,5x1 m [14,15,20]. Betonski elementi su spojeni i pomoću kablova provučenih kroz njih napregnuti u uzdužnom pravcu kako bi se dobili kontinuirani nosači. Na ovaj način elementi se pretvaraju u nosače za raspone od 15 do 25 metara [20].

Source (Izvor): Arup

Usklađenost sa principima kružne ekonomije:

- Modularnost: Jedinstvenost dizajna je ta što se elementi mogu rastaviti, premestiti i ponovo upotrebiti za izgradnju potpuno novog vijadukta. Kako za izgradnju novog mosta neće biti potrebni novi elementi, sledeći most imaće vrlo mali otisak CO₂.
- Praćenje: Ponašanje vijadukta prati se preko visoko osetljivih senzora ugrađenih u elemente. Pored toga, svi elementi su opremljeni RFID (Radio Frequency Identification) čipovima koji uvek čuvaju sve specifikacije elemenata na digitalnom nivou i takođe uključuju hronološku dokumentaciju mogućih primena elementa. Ova baza podataka sadrži dovoljno detalja kako bi projektantima u budućnosti bile dostupne informacije o korišćenim materijalima i kako se mogu iskoristiti [14].
- Ponovna upotreba: Najbolji simbol održive građevinske prakse je izgradnja uz pomoć montažnih elemenata. Ovakva praksa posebno odgovara kružnom izazovu i pruža mogućnost demontaže i ponovne izgradnje, bez stvaranja otpada.

U praksi, životni vek mostova (vijadukata) je između 30 i 50 godina, nakon čega bivaju rekonstruisani ili potpuno srušeni i pretvoreni u otpad. Uz pomoć ovakvog modela gradnje, elementi su konstruisani tako da traju 200 godina, što omogućava da se koriste i do pet puta u toku svog životnog veka.

Naučene lekcije:

- Projekat je uglavnom usmeren na ponovnu upotrebu u budućnosti, a ne na ponovnu upotrebu materijala koji su već u prometu. To znači da će se smanjenje CO₂ uglavnom desiti u budućnosti, kada se delovi vijadukta ponovo koriste. Kao rezultat toga, značaj za zaštitu životne sredine je veći nego kod izgradnje vijadukta na klasičan način. U ovom momentu nije moguće napraviti proračun troškova koji se tiču ovog aspekta, a na taj način da se uzme u obzir više ciklusa.
- Primena principa projektovanja i izgradnje vijadukata u skladu sa principima kružne ekonomije u velikoj meri zahteva promenu propisa. Na primer, trenutni propisi zahtevaju postavljanje nezamenljivih (trajnih) spojnika, što je nije u skladu sa principima kružne ekonomije.
- Na kraju, vijadukt izgrađen na ovaj način treba „prodati“ odnosno osigurati njegovu dalju upotrebu. Ovo zahteva dalju analizu opravdanosti za predloženi projekat u smislu ukupnih troškova vlasništva tokom celog životnog ciklusa projekta. Stoga je potrebno dalje istražiti finansijske konstrukcije [23].

4. ZAKLJUČAK

Osvrt na literaturu o projektovanju putne infrastrukture dovodi nas do toga da su principi kružne ekonomije slabo zastupljeni izuzev sporadično kada se govori o geotehnici ili recikliranom asfaltu.

Pored toga, na pomenutom primeru vidi se da je trenutni fokus na tehničkim principima projektovanja, dok je osvrt na ekonomske i društvene aspekte mali. Pored toga, osnovni principi na kojima se zasniva kružna ekonomija, smanjenje CO₂ i smanjenje potrošnje energije kako u izgradnji tako i u radu, tretiraju se odvojeno. Bilo bi dobro ove elemente integrisati u jedinstveni princip i sagledavati ih kao celinu.

Modularni dizajn je nadolazeći princip u projektovanju putne infrastrukture. Sama ideja „zatvorene petlje“ predlaže ponovnu upotrebu modula u narednom ili paralelnom životnom ciklusu. Projektom bi trebalo osigurati pomenutu ponovnu upotrebu, na primer uvođenjem neke vrste sporazuma o ponovnoj upotrebi ili vlasništvu nad resursima.

Očekivano je da produžavanje veka proizvoda i smanjenje upotrebe prirodnih resursa, kao i upravljanje otpadom u cilju smanjenja istog, budu jedan od fokusa u narednom periodu. Regulativa Evropske unije se uveliko okreće principima kružne ekonomije, pa se kao jedna od glavnih tema nameće upravljanje otpadom, tj. resursima. Kako Republika Srbija kao strateški cilj ima priključenje Evropskoj uniji, pa kroz pregovaračko Poglavlje 27 - Životna sredina, mora raditi na usklađivanju zakonske regulative i obezbeđivanju implementacije iste. Kako bi se uspešno implementirali gore pomenuti principi, potrebno je aktivno raditi na kreiranju sistema projektovanja od najranije faze kroz sve nivoe, podizanju svesti i znanja o primeni principa kružne ekonomije, kao i posledica i gubitaka resursa i finansija koje eventualno zanemarivanje ovih tema može doneti.

Sa ovim vezi ovde je navedeno 10 principa kružne ekonomije kojih bi se trebalo pridržavati:

1. Putne uprave u Srbiji da razmišljaju drugačije o potrebnim resursima - bilo da su to veliki infrastrukturni projekti, projekti održavanja i rehabilitacija ili bilo koje druge aktivnosti koje sprovode
2. Težiti projektima koji pospešuju dugotrajnosti putne imovine, jednostavnosti pregleda i održavanja, kao i fleksibilnost upotrebe, kako bi se omogućila buduća nadogradnja kao alternativa zameni;
3. Poboljšati efikasnost korišćenja naših resursa, uključujući prirodne resurse, kapital i ljude. Tražiti mogućnosti za „dizajniranje otpada“ i povećanje efikasnosti putne infrastrukture. Koristiti podatke o stanju mreže da bi se poboljšali režimi održavanja;
4. Projektovati sredstava i komponente sa ciljem lakšeg ponovnog korišćenja ili recikliranja na kraju korisnog veka, smanjenje unakrsne kontaminacije materijala i izbegavanje, gde god je to moguće, elemenata opasnih za zdravlje ljudi ili negativnog uticaja na životnu sredinu;
5. Ispitati mogućnosti za obezbeđivanje informacija krajnjim korisnicima (vozačima) putem usluga a ne građenjem dodatne infrastrukture. Na primer, isporuka putnih informacija direktno do vozača i vozila bez građenja novih VMS (Variable Message Signs) portala;
6. Povećati upotrebu inovativnih pristupa kao što su izrada modularnih i prefabrikovanih elemenata i 3D štampanje;
7. Doprinostiti jačanju lokalnih ekosistema i regeneraciji biosfere. Povećati korišćenje obnovljive energije na putnoj mreži;
8. Proširiti saradnju sa dobavljačima, akademskom zajednicom i drugim zainteresovanim stranama kako bi poboljšali pristup principima kružne ekonomije;
9. Koristiti odgovorno materijale koji odgovaraju definisanim etičkim i ekološkim standardima; i
10. Podsticati raznolikost u izboru dobavljača, partnera i metoda kako bi se kreiralo okruženje za inovativna rešenja.

Literatura

- [1] Arup (2016). *The Circular Economy in the Built Environment*: Publication Arup, London.
- [2] Bakker, C., Den Hollander, M., Van Hinte, E. & Zijlstra, Y. (2014). *Products that last: Product design for circular business models*: University of Delft, Delft.
- [3] Bocken, N., De Pauw, I., Bakker, C. & Van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy, *Journal of Industrial & Production Engineering*, 33, 308-320.
- [4] Bossink, B., & Brouwers, H. (1996). Construction waste: quantification and source evaluation. *Journal of construction engineering and management*, 122(1), 55-60.
- [5] Braungart, M., McDonough, W. & Bollinger, A. (2007). Cradle to cradle design: Creating healthy emissions-A strategy for eco- effective product and system design. *Journal of Cleaner Production*, 15(13–14): 1337-1348.
- [6] Carpenter, A., Jambeck, J., Gardner, K. & Weitz, K. (2013). Life cycle assessment of end-of-life management options for construction and demolition debris, *Journal of Industrial Ecology*, 17, 396-406.
- [7] Chertow, M. (2007). Uncovering industrial symbiosis, *Journal of Industrial Ecology*, 11(1), 11-30.
- [8] Densley Tingley, D. & Davison, B. (2011). Design for deconstruction and material reuse. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 164, 195-204.
- [9] Dzhusupova, R., Cobben, J., & Kling, W. (2012). Zero energy tunnel: Renewable energy generation and reduction of energy consumption, 47th International Universities Power Engineering Conference (UPEC).
- [10] Ellen, M.F. *Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition; Report 1*; Ellen MacArthur Foundation: Cowes, UK, 2013.
- [11] EU (2015). *Closing the Loop - an EU Action Plan for the Circular Economy*, European Commission, Brussels.
- [12] EU (2020) *A new Circular Economy Action Plan - For a cleaner and more competitive Europe*, European Commission, Brussels.
- [13] European Commission (2014). *Report on Critical Raw Materials for the EU: Report of the ad hoc Working Group on Defining Critical Raw Materials*; European Commission, Brussels.
- [14] First circular viaduct in the Netherlands, Consolis, (on-line), available at: <https://www.consolis.com/first-circular-viaduct-in-the-netherlands/>
- [15] First circular viaduct opened, De Ingenieur, (on-line) available at: <https://www.deingenieur.nl/artikel/first-circular-viaduct-opened>
- [16] Ghisellini, P., Cialani, C. & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems, *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32. 18
- [17] Geldermans, R. & Jacobson, L. (2015). *Materialen & Circulair Bouwen (Materials and Circular Construction): Vervolgonderzoek Pieken in de Delta project REAP+*.
- [18] Geldermans, R. (2016). Design for change and circularity— Accommodating circular material and product flows in construction, *Energy Procedia*, 96, 301–311.
- [19] Leendertse W., Hendriksena J., Kerkhofsa S., (2018). Introducing the circular economy in road infrastructure development. Challenges and dilemmas in designing circular roads., *Proceedings of 7th Transport Research Arena TRA 2018*, 2018, Vienna, Austria.
- [20] Mould for concrete elements for first circular viaduct, Hendriks precon, (on-line), available at: <https://www.hendriks-precon.com/news/mould-for-concrete-elements-for-first-circular-viaduct/>
- [21] Murray, A., Skene, K. & Haynes, K. (2017). The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context, *Journal of Business Ethics*, 140 (2017), 369–380.
- [22] Peeling, J., Wayman, M., Mocanu, I., Nitsche, P., Rands, J., & Potter, J. (2016). Energy efficient tunnel solutions, *Transportation Research Procedia*, 14, 1472-1481.
- [23] PIANO, Dutch Public Procurement Expertise Centre (2019). *Rijkswaterstaat experiments with circular viaduct*, 5.
- [24] Royal Haskoning DHV (2016). *Onderzoek naar de risico's bij het toepassen van niet circulaire materialen (Research into the risks of using non-circular materials)*, research report Rijkswaterstaat.
- [25] Stahel, W. (2010). *The performance economy*: Palgrave MacMillan, London.
- [26] Webster, K. (2013). What might we say about a circular economy? Some temptations to avoid if possible, *World Futures*, 69 (7–8), 542–554.

ANALIZA MOGUĆIH UŠTEDA EMISIJE CO_{2e} PRIMENOM GEOSINTETIKE

Marija Bakrač

¹ Geoestetika d.o.o., mbakrac@geoestetika.rs

Fabiana Leite-Gembus

² HUESKER Synthetic GmbH

Rezime: Neizbežno povećanje srednje temperature na Zemlji potrebno je ograničiti na 1.5-2°C kako bi se očuvao svet i način života na njoj, približno onakav kakvim ga danas znamo. Srbija se na doprinos ovom cilju obavezala i Pariskim sporazumom. Prema raspoloživim analizama nekoliko je načina da se ovaj cilj ostvari, ali svi uključuju radikalne promene i masivne uštede u emisiji CO_{2e} u ključnim sektorima kao što su industrija, transport, energetika i poljoprivreda. Uz sve to potrebno je i moguće do 2025. postići ukupnu uštedu od 15% smanjenjem potrošnje u svakom segmentu života i prelaskom na, gde god je moguće, zelenija rešenja. Cilj ovog rada je da pokaže red veličine mogućih ušteda u emisiji CO_{2e} upotrebom geosintetike kao zamene konvencionalnim načinima gradnje prilikom rehabilitacija asfalta i prilikom gradnje potpornih zidova od armirane zemlje.

Ključne reči: geosintetika, CO_{2e}, Pariski sporazum, održivost

ANALYSES OF POSSIBLE SAVINGS IN CO_{2e} EMISSIONS USING GEOSYNTHETICS

Marija Bakrač

¹ Geoestetika d.o.o.

Fabiana Leite-Gembus

² HUESKER Synthetic GmbH

Abstract: It is necessary to limit inevitable increase of average Earth temperature at 1.5-2°C in order to maintain the World and the way of life as we know it today. Serbia accepted an obligation to contribute to this goal by signing Paris Agreement. According available analyses there are several ways to reach this goal, each considering radical changes and massive savings in emission of CO_{2e} in key sectors such as industry, transportation, power and agriculture. In addition to this, it is needed and possible to reach total savings of 15% by decreasing consumption in every life segment and by going for greener solutions wherever is possible. The aim of this paper is to show possible range of savings in CO_{2e} emissions using geosynthetic solutions as substitution to conventional construction practice in asphalt rehabilitations and by construction of geosynthetic supporting walls.

Keywords: geosynthetic, CO_{2e}, Paris Agreement, sustainability

1. UVOD

Dobra vest je da tehnički postoji način da ograničimo povećanje temperature na Zemlji na 1.5°C. Loša vest je da to zahteva ogromne promene u svakom aspektu života, i to ne nečijeg života nego svakog od nas pojedinačno i svih nas zajedno.

1.5°C je povećanje srednje globalne temperature vazduha iznad kopna i mora u odnosu na predindustrijski nivo (1850.-1900.) izazvano samo dejstvom čoveka.

2017. smo već dostigli povećanje temperature za 1°C, a svake decenije temperatura se prema sadašnjem trendu povećava za 0.2°C.

Od 2000. porast emisije CO₂ je 10x veći nego u prethodnih 800.000 godina.

IPCC - International Panel on Climate Change je definisao kumulativnu rezervu (budžet) količine CO_{2e} koju imamo na raspolaganju do prekoračenja granice zagrevanja od 1.5°C, i ovaj budžet je 1.01.2018. iznosio 570Gt. Ako nastavimo dosadašnjim tempom očekivano je da bankrotiramo 2031.

2. POJMOVI

Na globalno otopljanje utiče emisija takozvanih gasova staklene bašte, a osim ugljen dioksida (CO₂) koga ima najviše, veliki je i uticaj npr. metana (CO₄), azot suboksida (N₂O) i drugih gasova. Potencijal globalnog zagrevanja (GWP) svakog gasa je mera njegove sposobnosti da zadrži toplotu u atmosferi i utiče na životnu sredinu. I ovaj pojam definisan je od strane "International Panel on Climate Change (IPCC)" naučnog tela osnovanog od UN. Ekvivalentni ugljen dioksid CO_{2e} predstavlja kumulativno učešće svih ovih gasova u

zavisnosti od jačine njihovog uticaja odnosno GWP faktora. Npr. uticaj 1g CO₄ ekvivalentan je uticaju 25g CO₂, dok 1g N₂O utiče kao 298g CO₂ jer CO₂ ima GWP=1, CO₄ ima GWP=25, a N₂O ima GWP=298. Emisija CO_{2e} računa se po principu kompletnog životnog veka proizvoda (cripple to grave), počev od dobijanja sirovine pa do odlaganja proizvoda na deponiju ili njegovog uništenja, odnosno do momenta kada emisija CO_{2e} vezana za taj proizvod ili delatnost ne prestane.

3. UTICAJ ARMIRANJA ASFALTA NA SMANJENJE EMISIJE CO_{2e}

3.1. Mehanizam delovanja i očekivani efekti

Ugradnja geomreža u cilju odlaganja pojave reflektovanih pukotina iz postojećih asfaltnih slojeva u novi sloj asfalta primenjuje se već više decenija u svetu, a (verovali ili ne) već skoro dve decenije i kod nas.

Prilikom održavanja putne mreže, standardni način podrazumeva struganje ispućalog asfalta u debljini 4-5cm, prskanje bitumenskom emulzijom i nanošenje novog sloja asfalta iste debljine. Ovaj proces potrebno je ponavljati, u proseku na 4 do 5 godina, obzirom da je očekivana propagacija pukotina 1cm godišnje.

Ukoliko se na kontaktu starog i novog sloja asfalta ugradi sloj geomreže ona će prihvatiti deo napona zatezanja, distribuirati ih na veću površinu i time smanjiti brzinu napredovanja pukotine u novi sloj asfalta. Ukoliko posmatramo geomreže od poliestera PET, njihova primena dala je odlične rezultate iz više razloga. PET ima sličan koeficijent termičkog širenja kao bitumen tako da sloj geomreže ugrađen između dva asfaltna sloja ne izaziva dodatne napone na kontaktu sa njima. Kako bi prionljivost svih slojeva u ovom "sendviču" bila što bolja, a time njihovo sadejstvo homogenije, idealno je da PET geomreža ima na sebi premaz sa visokim procentom bitumena. Sasvim je razumljivo da se za bitumen ništa ne lepi bolje od bitumena. De Bondt (De Bondt 1999.) je u svojim istraživanjima uveo pojam "krutosti spoja" ili "bond stiffness" koju je odredjivao testovima čupanja geomreže iz kernova i za koju je dokazao da ima odlučujući uticaj na rezultate koji se ugradnjom geomreže postižu.

Najveću vrednost "krutosti veze" u njegovim istraživanjima imala je HaTelit C 40/17 geomreža.

Iskustva sa ugradnjom ove geomreže za armiranje asfalta, kao i laboratorijska ispitivanja na njom armiranim uzorcima, dokazala su da je očekivano produženje trajanja novog asfaltnog sloja 3-4 puta veće u odnosu na isti sloj bez mreže (Montestruque et al. 2004.).

Za potrebe ove analize i poredjenje emisije CO_{2e} kod klasičnog načina rehabilitacije asfaltnih zastora i rehabilitacije uz primenu HaTelit C 40/17 geomreže usvojicemo 3 kao nižu vrednost faktora produženja veka trajanja.

3.2. SISTEM I VARIJANTNA REŠENJA

U cilju analize posmatračemo, u vremenskom periodu od 12 godina, 1m² površine asfaltnog zastora na kome se prema klasičnom načinu rehabilitacije, vrši struganje 4cm postojećeg oštećenog sloja asfalta, nanosi bitumenska emulzija 60% u količini od 350g/m² i ugrađuje 4cm novog asfaltnog sloja.

Rehabilitacija uz primenu HaTelit C 40/17 geomreže, ili još bolje HaTelit C eco geomreže, podrazumeva isti vremenski period, takodje uklanjanje struganjem 4cm starog sloja asfalta, nanošenje 60% bitumenske emulzije u količini od 1200g/m², polaganje geomreže, a zatim ugradnju novih 4 cm asfalta.

HaTelit C eco je prva geomreža za armiranje asfalta (i prva geomreža uopšte) proizvedena od vlakana od 100% reciklirane sirovine nastale reciklažom PET ambalaže (flaša). PET reciklirana vlakna imaju dokazano isti kvalitet kao i do sada korišćena nerekiclrirana PET vlakna. Upotrebom reciklirane sirovine emisija CO_{2e} smanjuje se za dodatnih 4.3kg/kg materijala, dok se istovremeno smanjuje količina PET ambalaže za odlaganje.

3.3. USVOJENI PARAMETRI

Prilikom obračuna emisije CO_{2e} korišćeni su podaci iz različitih izvora, a obračunske vrednosti su uzete tako da su navedene uštede i manje nego što bi realno mogle biti. Smatramo da su za cilj ovog rada, tj. procenu i poredjenje emisije CO_{2e} kod standardnog načina rehabilitacije asfaltnih zastora i njihove rehabilitacije uz primenu PET geomreža za odlaganje reflektovanih pukotina, usvojene vrednosti dovoljno tačne.

Za emisiju CO_{2e} asfalta i bitumena korišćeni su podaci iz "A BSRIA GUIDE, The Inventory of Carbon and Energy (ICE)" publikovanog za Univerzitet Bath.

Podaci o emisiji CO_{2e} za geomreže preuzeti su iz "Environmental Product Declaration Fortrac T" dok su podaci o emisijama CO_{2e} za različite operacije poput struganja, nanošenja bitumenske emulzije ili asfaltiranja preuzeti iz vrlo detaljne studije "Life Cycle Assessment of Road, A Pilot Study for Inventory Analysis for the Swedish National Road Administration by Håkan Stripple". Studija je razmatrala više različitih metoda, a za potrebe ovog rada podaci su preuzeti za varijantu "vruć asfalt, upotreba mehanizacije na dizel gorivo" kao najslabiju našim uslovima. Sve ulazne vrednosti date su u Tabeli 1.

Tabela 1. Ulazne vrednosti emisije CO₂e

ulazni podaci - radovi					
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e	CO ₂ e
	(g)	(g)	(g)	(g)	(kg/m ²)
struganje asfalta	1.60E+06	1.01E+00	3.25E+01	1.61E+06	0.124
nanošenje bitumske emulzije	1.61E+05	2.50E-02	1.40E-01	1.61E+05	0.013
transport asfalta (30km)	5.00E+06	9.45E+00	1.01E+02	5.03E+06	0.386
finišer	6.10E+05	3.90E-01	1.24E+01	6.14E+05	0.047
valjak	8.20E+05	5.20E-01	1.66E+01	8.25E+05	0.063
Napomena: ukupna površina puta za obračun bila je 13.000m ² .					
Izvor: Life Cycle Assessment of Road, A Pilot Study for Inventory Analysis for the Swedish National Road Administration by Håkan Stripplé					
ulazni podaci-materijali					
				kg CO ₂ e/kg	kg CO ₂ e/m ²
mreza za asfalt HaTelit C 40/17					2.36
mreza za asfalt HaTelit Eco					1.07
asfalt				0.076	7.6
bitumska emulzija 60%, potrošnja 350g/m ²				0.55	0.116
bitumska emulzija 60%, potrošnja 1200g/m ²					0.396
transport mreže 1600km	62g/t/km	(tabela 10, dok. Guidelines for Measuring and Managing CO ₂ Emission from Freight Transport Operations)			0.03*
*55.000 m ² geomreže/kam.					

3.3. REZULTATI

Očigledno je da najveći uticaj na emisiju CO₂e ima asfaltni sloj te se samo smanjenjem broja rehabilitacija u posmatranom periodu značajno smanjuju negativni uticaji na životnu sredinu. Posmatrano za period od 12 godina, ukoliko se rehabilitacija asfaltnog zastora vrši na standardni način, emisija CO₂e po 1 m² kolovozne površine je ~25 kg, dok se za isti period uz upotrebu PET geomreže ova količina smanjuje na svega ~11 kg. U Srbiji je planirana rehabilitacija 5000 km putne mreže tokom naredne 3 godine. Od ovih 5000 km predviđena je rehabilitacija 283 km autoputeva, 2054 km magistralnih puteva, 2350 km regionalnih i 92.5 km lokalnih puteva. Iako autori, ovu informaciju iz medija nisu uspeli da pronadju na sajtu ministarstva, za slikovitiji prikaz mogućeg značaja uštede ona će sasvim dobro poslužiti. Ovo daje, u proseku, na godišnjem nivou, 11.870.000 m² asfaltnih zastora pod rehabilitacijama. Kada navedenu uštedu CO₂e od ~14 kg/m² sagledamo u odnosu na godišnju površinu predviđenu za rehabilitaciju, uz pretpostavku na strani sigurnosti, da se neće raditi struganje dublje od 4cm, dolazimo do cifre od min 166.200 tona godišnje. Ovoliku godišnju uštedu mogli bi da napravimo samo ako bi svaki od ~2.000.000 registrovanih putničkih automobila u zemlji prelazio 670km manje.

Tabela 2. Emisija CO₂e po varijantama

održavanje puta (vruća asfaltna mešavina, d=4cm, period 12 god.)						
				standardni postupak	armiranje asfalta	
				CO ₂ e (kg/m ²)	CO ₂ e (kg/m ²)	
struganje asfalta				0.124	0.124	
nanošenje bitumenske emulzije				0.013	0.013	
transport asfalta (30km)				0.386	0.386	
ugradnja asfalta				0.047	0.047	
kompaktiranje				0.063	0.063	
asfalt				7.6	7.6	
bitumenska emulzija 60% (350g/m ²)				0.116	/	
bitumenska emulzija 60% (1200g/m ²)				/	0.396	
HaTelit C 40/17 geomreža za asfalt				/	2.36	
HaTelit C eco					1.07	
transport geomreže (1600km)					0.03	
				8.349	HaTelit C	11.019
					HaTelit C eco	9.729
br. rehabilitacija				3	1	
				25.047 kg/m ²	11.019 kg/m ²	
				CO ₂ e (t)		CO ₂ e (t)
po godišnjoj površini za rehabilitaciju (11.870.000,00 m ²)				~297000		~130800
godišnja ušteda CO ₂ e u tonama:				166200	Godišnja ušteda od manje predjenih 670 km/ automobilu *	

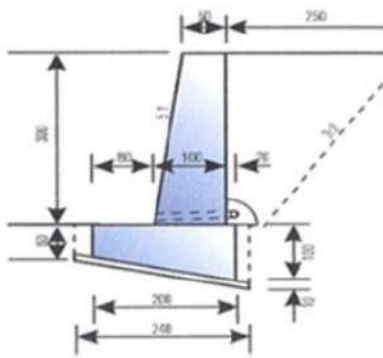
* broj registrovanih putničkih automobila u Srbiji 2018. bio je 1.999.753.

Pozitivni uticaji veće upotrebe geomreža za armiranje asfalta ne završavaju se na smanjenju emisije CO₂e. Ekonomske uštede bi bile takodje velike jer bi se u 12-ogodišnjem periodu utrošila samo 4 umesto 12 cm asfalta, uz eliminisanje svih aktivnosti potrebnih za cele dve rehabilitacije. Svakako ne treba zaboraviti ni istovremeno eliminisanje zastoja u saobraćaju.

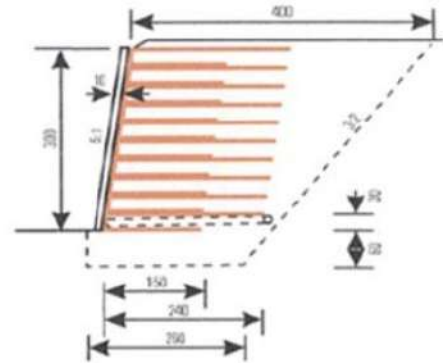
4. POTPORNE KONSTRUKCIJE OD AZ I SMANJENJE EMISIJE CO₂e

Prilikom gradnje puteva relativno se često javlja potreba za gradnjom armirano betonskih potpornih zidova različite visine.

U cilju analize mogućeg smanjenja negativnih dejstava na životnu sredinu i doprinosa održivosti gradnjom uz upotrebu geosintetike, Švajcarski federalni tehnološki institut (Swiss Federal Institute of Technology) i ESU Services Ltd. uradili su više studija za račun Evropskog udruženja proizvođača geosintetike EAGM. Jedna od ovih studija bavila se poredjenjem uticaja na životnu sredinu AB potpornog zida visine 3m i potpornog zida od armirane zemlje iste visine. Na slici 1 prikazani su poprečni preseki obe varijante.



Retaining concrete wall reinforced with steel (strength class B300)



Soil wall reinforced with geosynthetics (LTDS 14 kN/m)

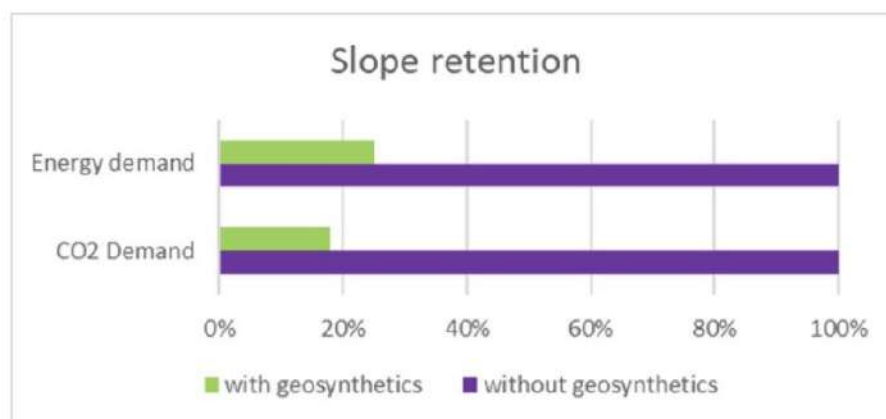
Slika 1 – Poprečni presezi (Izvor: EAGM, LCA Study 4)

Armiranobetonski potporni zid radjen je od betona MB 30, dok je potporni zid od armirane zemlje armiran geomrežama Td=14kN/m, sa licem od prskanog betona. Trajnost obe konstrukcije je 100 god. što je u skladu sa zahtevima nemačkog pravilnika za projektovanje konstrukcija od armirane zemlje (EBGEO 2010).

Najveći deo negativnih uticaja na životnu sredinu, uključujući i emisiju CO₂e u slučaju potpornog zida od armiranog betona dolazi od samog betona, armature i transporta. Uticaj betona na emisiju gasova staklene bašte potiče iz procesa proizvodnje klinkera kada dolazi do oslobadjanja CO₂. Kada govorimo o betonskom gvoždju za analizu je usvojeno da je učešće recikliranog čelika bilo 13%, a glavina emisije gasova staklene bašte potiče iz procesa proizvodnje sirovog gvoždja. Ukupna emisija CO₂e po 1m dužine potpornog zida od armiranog betona visine 3m je 1.3 tone.

Kada razmatramo emisije CO₂e potpornog zida od armirane zemlje sa licem od prskanog betona najveći negativan uticaj imaju beton, geomreže i njihov transport. Negativan uticaj geomreža dolazi od njihove relativno velike količine ali i iz procesa emisije prilikom njihove insineracije na kraju životnog veka konstrukcije. Ostatak materijala potrebnih za gradnju ovakvih potpornih konstrukcija uglavnom je prirodno raspoloživ na lokaciji. Ukupna emisija CO₂e po 1m dužine potpornog zida od armirane zemlje visine 3m je 0.2 tone.

Carbon footprint



Slika 2 – Poredjenje uticaja (Izvor: EAGM, LCA Study 4)

Potporni zid od armirane zemlje visine 3m u poredjenju sa AB potpornim zidom iste visine, daje uštedu od 85% emisije CO₂e i zahteva 75% manju potrošnju energije iz neobnovljivih izvora . Gradnjom samo 3m dužna ovakvog zida štedi se 30.000 MJ energije što predstavlja godišnju potrošnju jednog prosečnog domaćinstva, a ukoliko bi umesto prskanog betona obrada lica bila ozelenjavanje uštede bi bile još značajnije. Ograničavajući faktor za izbor obrade lica ovakvog potpornog zida najčešće je raspoloživi prostor jer je maksimalan nagib koji podržava uspostavljanje vegetacije 70 stepeni.

5. ZAKLJUČAK

Jedan od preduslova za ograničenje globalnog otopljanja na 1.5°C je, uz ostale neophodne drastične mere, i 15% uštede emisije gasova staklene bašte promenom načina ponašanja svakog pojedinačno, uključujući smanjenje potrošnje, promenu načina ishrane, primenu zelenijih načina gradnje tj. upotrebu kvalitetnijih izolacionih materijala kao i alternativnih materijala i rešenja, povećanje % reciklaže... (Izvor: Mc Kinsey). Kao potpisnici Pariskog sporazuma imamo obavezu da ovome doprinesemo u okviru naših mogućnosti, a pametnim izborom projektnih rešenja i održivijih načina gradnje to svakako možemo uraditi uz istovremene velike ekonomske uštede.

Dva su načina da se ovo desi. Jedan, koji autori žele da shvate kao nesumnjiv, je lični inženjerski izbor održivijeg rešenja od strane gotovo svakog projektanta ili izvodjača. Drugi je nametanje ili makar ekonomsko favorizovanje održivijih rešenja kroz odgovarajuće propise koje bi trebalo doneti. Ovo govorimo potpuno svesni činjenice da bi uporedo sa većom primenom geosintetike u građevinarstvu morala da ide veća pokrivenost ove teme u programima nekih fakulteta ili možda, za početak, u organizaciji ili uz podršku nadležnih institucija kao što su Ministarstvo građevinarstva i Ministarstvo zaštite životne sredine.

Literatura

- [1] Life Cycle Assessment of Road, A Pilot Study for Inventory Analysis for the Swedish National Road Administration; Håkan Stripple
- [2] Anti-Reflective Cracking Design of (Reinforced) Asphaltic Overlays, Ph.D.-thesis, Delft, Netherlands; De Bondt, A.H., (1999)
- [3] The Inventory of Carbon and Energy (ICE); Prof. Geoffrey Hammond and Craig Jones Ed. Fiona Lowrie and Peter Tse
- [4] Climate math: What a 1.5-degree pathway would take; Kimberly Henderson, Matt Rogers, Bram Smeets, and Christer Tryggestad, McKinsey Quarterly
- [5] Comparative Life Cycle Assesment of geosynthetics versus conventional construction materials, A Study on behalf of the E.A.G.M., Case 4, Soil Retaining Wall; I.Fraser, A.Elsing, M. Stucki, S. Büsser, R. Itten, R. Frischknecht and H.Wallbaum
- [6] Montestruque G.E., Rodrigues R.M., Nods M., Elsing A., (2004), Stop of reflective crack propagation with the use of PET geogrid as asphalt overlay reinforcement, *Proceedings of the Fifth International RILEM Conference*, Limoges, France.

RANJIVOST I OTPORNOST PUTNE MREŽE NA KLIMATSKE PROMENE I KATASTROFE - AKTUELNO STANJE NA PODRUČJU ZAPADNOG BALKANA

Milica Pavić, master građ.inž.¹
dr Igor Jakanović, dipl.građ.inž.

Univerzitet u Novom Sadu, Građevinski fakultet, Subotica,
pavic953@gmail.com, jakanovici@gf.uns.ac.rs

Rezime: Klimatske promene i katastrofalni događaji predstavljaju globalni problem čiji se uticaji osećaju u svakom delu sveta. Njihove posledice uključuju nedostatak vode, suše, velike požare, porast nivoa mora, poplave, topljenje polarnog leda, oluje, opadanje biodiverziteta, ali i ugrožavanje komunikacija, privrednih i društvenih aktivnosti. Pošto je putna mreža široko rasprostranjena i međusobno povezana, klimatske promene i katastrofe mogu izazvati prekid funkcionisanja određenog sistema, gubitak ljudskih života i značajne posledice po ekonomiju određene teritorije, države ili šireg regiona. Efekti će biti različiti u zavisnosti od posmatranog područja usled razlika u tipu promena, kao i zbog strukture i karakteristika putne mreže, ali i dostignutog nivoa razvoja, finansijskih i institucionalnih kapaciteta. U radu je dat prikaz trendova i aktuelnog stanja u pogledu analize ranjivosti putne mreže, kao i sprovođenja mera na unapređenju otpornosti putne mreže za područje zapadnog Balkana. Takođe, daje se i kvalifikacija u odnosu na trendove i napredak evropskim i svetskim okvirima.

Ključne reči: ocena ranjivosti, unapređenje otpornosti, strateški pristup, zapadni Balkan

VULNERABILITY AND RESISTANCE OF THE ROAD NETWORK TO CLIMATE CHANGE AND DISASTERS - CURRENT SITUATION IN THE WESTERN BALKANS

Milica Pavić, Master Civil Eng.
Igor Jakanović, Civil Eng., Ph.D.

University of Novi Sad, Faculty of Civil Engineering, Subotica,
pavic953@gmail.com, jakanovici@gf.uns.ac.rs

Abstract: Climate change and catastrophic events are a global problem whose effects are being felt in every part of the world. Their consequences include water shortages, droughts, large fires, rising sea levels, floods, melting polar ice, storms, declining biodiversity, but also jeopardizing communications, economic and social activities. As the road network is widespread and interconnected, climate change and disasters can cause disruption of a particular system, loss of human lives and significant consequences for the economy of a particular territory, state, or wider region. The effects will be different depending on the observed area due to differences in the type of changes, as well as due to the structure and characteristics of the road network, but also the achieved level of development, financial and institutional capacities. The paper presents an overview of trends and current situation in terms of road network vulnerability analysis, as well as implementation of measures to improve the resilience of the road network in the Western Balkans. Also, qualification is given in relation to trends and progress in Europe and the world.

Keywords: vulnerability assessment, resilience improvement, strategic approach, Western Balkans

1. UVOD

Klimatske promene i prirodne katastrofe predstavljaju kritičnu pretnju, posebno u državama gde je siromaštvo široko rasprostranjeno. Činjenica je da ove pojave nisu nešto čemu ljudska populacija nije svedočila vekovima unazad, ali problem dobija na značaju jer se ovakvi događaji sada dešavaju mnogo češće i prilično su nepredvidljivi. Postojeće studije i analize su prvenstveno koncentrisane na podizanje svesti i informisanje javnih zvaničnika o mogućim uticajima klimatskih promena. Borba protiv klimatskih promena predstavlja jedan od prioriteta u politici međunarodne zajednice. Fokus je na uticaju na ljudske živote, privredne aktivnosti, životnu sredinu, kao i infrastrukturu, uključujući putnu mrežu.

Nacionalni transportni sistemi se u opštem slučaju sastoje od četiri glavne komponente koje su sve više ranjive na uticaje klimatskih promena, a to su [1]:

¹ Milica Pavić: pavic953@gmail.com

- infrastruktura fiksnih čvorova (luke, aerodromi, železnički terminali);
- infrastruktura fiksnih ruta (putevi, mostovi, pešačke/biciklističke staze i trake, železničke pruge, metro, itd.);
- vozna sredstva, kao što su automobili, autobusi i kamioni, brodovi, vagoni i lokomotive, avioni;
- ljudi, institucije, zakoni, politika i informacioni sistemi koji pretvaraju infrastrukturu i vozila u funkcionalne transportne mreže.

Putevi, železničke pruge, aerodromske piste, pomorski terminali, kanali i mostovi su primeri objekata koji su neophodni za pružanje usluga prevoza koje omogućavaju kretanje putnika i roba. Svaki element/objekat je izgrađen sa ciljem da se omogući bezbednost, udobnost, zaštita celokupne zajednice (naselja, grad, region, država), kako u sadašnjosti tako i u budućnosti. Razvoj regiona ili grada utiče i pozitivno i negativno na životnu sredinu, što zahteva odgovarajući balans. Saobraćajna infrastruktura je pod uticajem različitih tipova klimatskih promena koji mogu ugroziti život, nivo usluge, budžet za održavanje, itd. Zatvaranje puta/železničke pruge i zastoji u saobraćaju, skraćuje životnog veka infrastrukture zbog bržeg propadanja, gubitak alternativnih pravaca i nemogućnost evakuacije, nemogućnost snabdevanja energijom, gubitak komunikacije, ograničenja u kretanju ljudi, roba i snabdevanja i slične posledice imaju štetan društveni i ekonomski uticaj na države [2].

Uticaji i rizici od klimatskih promena i prirodnih katastrofa postaju sve složeniji i komplikovaniji po pitanju upravljanja. Efekti će biti različiti u zavisnosti od posmatranog područja usled razlika u tipu promena, kao i zbog strukture i karakteristika putne mreže, ali i dostignutog nivoa razvoja, finansijskih i institucionalnih kapaciteta. Takođe, postoji i mogućnost istovremene pojave višestrukih klimatskih hazarda, što bi izazvalo povećanje ukupnog rizika po različitim sektorima i regionima. Ublažavanje i prilagođavanje klimatskim promenama se zasniva na prikupljanju podataka za procenu sadašnjeg stanja i definisanju konkretnih obrazaca ponašanja u budućem periodu.

Zapadni Balkan je veoma izložen klimatskim uticajima i nema dovoljno kapaciteta da se izbori sa negativnim uticajima klimatskih promena. Nepotpuna i loša infrastruktura postaje veliki bezbednosni problem. Međutim, aktivnosti koje za cilj imaju prilagođavanje putne infrastrukture sadašnjim i budućim klimatskim uslovima bi trebalo da doprinesu uvećanju otpornosti putne mreže na klimatske promene i prirodne katastrofe na području zapadnog Balkana. Klimatske promene uslovljavaju probleme koji se rešavaju strateški, dugoročno i na globalnom nivou, sa posebno definisanim ciljevima i vizijom rešenja. Između različitih vrsta infrastrukture postoji međuzavisnost i međupovezanost - oštećenje jedne vrste infrastrukture će uticati i na ostale kroz manje ili više otežano pružanje usluga ili potpuni prekid funkcionisanja.

Cilj rada je prikaz dosadašnjeg učinka u regionu zapadnog Balkana po pitanju procene stanja putne mreže, ranjivosti i unapređenja u cilju zaštite putne mreže od negativnih uticaja klimatskih promena i prirodnih katastrofa. Prikazan je i metodološki okvir koji koriste države članice Evropske unije, a koji svi mogu da primene, kako na putnoj mreži, tako i na mreži železničke infrastrukture.

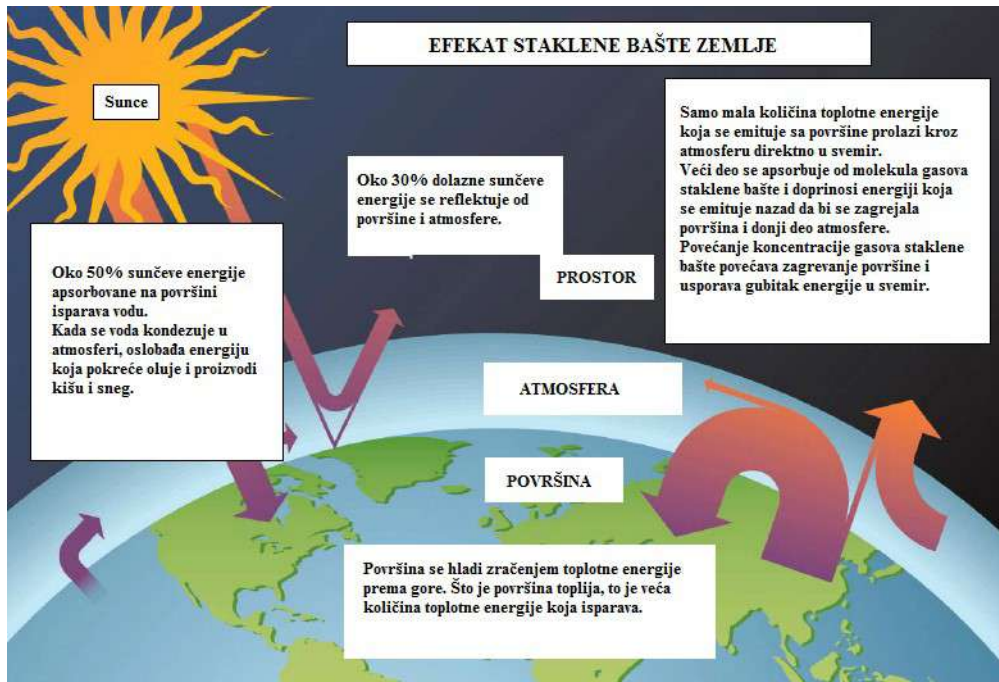
2. KLIMATSKE PROMENE I PRIRODNE KATASTROFE

Koncentracija i distribucija aktivnih gasova u atmosferi najviše utiču na određivanje temperature površine Zemlje. Slika 1 prikazuje šematski dijagram energetske tokove koji određuju temperaturu i klimu Zemlje. Od dolaznog sunčevog zračenja, oko 30% se reflektuje nazad u svemir od strane oblaka i površine, oko 20% se apsorbuje u atmosferi, a najveća količina od oko 50% se apsorbuje na površini [3].

Klimatske promene predstavljaju one promene klime koje se direktno ili indirektno pripisuju ljudskim aktivnostima koje menjaju sastav atmosfere i koje se za razliku od klimatskih varijabilnosti beleže tokom dužeg vremenskog perioda [4]. Pojednostavljeno, klima se može posmatrati kao prosek stanja vremena za određeni vremenski period. Čovek ne može direktno upravljati procesima u klimatskim sistemima i tako uticati na klimu, ali ljudske aktivnosti dovode do narušavanja energetske bilansa atmosfere i njenog zagrevanja u globalnim razmerama, koje izazivaju nagli rast koncentracije gasova staklene baste u atmosferi [5]. Takođe, klimatske promene su uzrokovane različitim faktorima, kao što su biotički procesi, promene u sunčevom zračenju kojima je Zemlja izložena, tektonikom ploča i vulkanskim erupcijama [6].

Uticaj čovekovih aktivnosti na klimu je prvi put prikazan kroz Prvi izveštaj Međuvladinog panela o klimatskim promenama (IPCC, 1990). To je bila i osnova za Okvirnu konvenciju Ujedinjenih nacija o klimatskim promenama. Kroz izveštaj su dati sledeći osnovni zaključci [4]:

- efekat staklene bašte postoji, a emisije koje nastaju ljudskim aktivnostima značajno povećavaju koncentracije gasova staklene bašte u atmosferi (ugljen-dioksid, metan, freon i dr.);
- ugljen-dioksid doprinosi uvećanju efekata staklene bašte sa preko 50%;
- tokom XXI veka se očekuje porast globalne srednje godišnje temperature oko 0.2°C na svakih 10 godina;
- očekivani porast nivoa okeana usled termalne ekspanzije i topljenja leda je 6 cm na godišnjem nivou.



Slika 1. Šematski dijagram Zemljinog efekta staklene bašte [3]

Klimatske promene utiču na putnu mrežu u mnogim delovima sveta i buduće klimatske projekcije ukazuju da će taj uticaj verovatno postajati sve ozbiljniji. Ekstremni vremenski uslovi dovode do negativnih uticaja na putnu mrežu, uključujući njeno fizičko stanje, povećane troškove rada, kao i održavanje putne mreže. Klimatske promene i njima izazvani ekstremni uslovi obuhvataju: povećanje prosečne temperature, povećanje maksimalne temperature, promene u dubini prodiranja mraza, smanjenje snežnih padavina, ekstremne padavine, porast nivoa mora i povećanje brzine vetra, produžetak/skraćenje vegetativnih perioda, povećanje/smanjenje vlage u zemljištu, promenu nivoa podzemnih voda, promene u vegetacije, poplave, smanjenje zimskih ledenih dana, olujne udare, promene ekološke ravnoteže i promene u građevinskoj sezoni [7].

Uticaji klimatskih promena se mogu razdvojiti na direktne (kratkoročne) i indirektne (dugoročne) uticaje. Direktni uticaj izaziva posledice po fizičku infrastrukturu i samim tim na postojeći saobraćajni sistem i mrežu. Obuhvata i preusmeravanje putovanja usled neposrednih događaja ili oštećenja saobraćajnica i njihovog zatvaranja. Indirektni uticaji mogu uticati na preraspodelu lokacija na kojima se odvijaju privredne aktivnosti ili na nivo zagađenja [6].

Kao rezultat klimatskih promena povećava se učestalost i trajanje prirodnih katastrofa. Prirodne katastrofe mogu trajati od nekoliko sati do više dana, a obuhvataju [6]:

- poplave izazvane intenzivnim padavinama i/ili topljenjem snega;
- jake padavine ili zemljotrese koji utiču na stabilnost kosina, što utiče na pojavu klizišta ili odrona, blokiranja i oštećenja infrastrukture i izazivanje saobraćajnih udesa;
- eroziju rečnih obala što za posledicu ima oštećenja trupa infrastrukture;
- požare koji utiču na zatvaranje određenih deonica za saobraćaj i oštećenja gornjeg stroja;
- maglu koja usporava saobraćaj i negativno utiče na broj udesa;
- ledene i snažne padavine koje uzrokuju blokade i kašnjenja u saobraćaju, smrzavanje vodova za snabdevanje strujom, vodom;
- peščane oluje koje uzrokuju blokade i kašnjenja u saobraćaju;
- visoke temperature sa uticajem na promenu karakteristika materijala i ubrzanje oštećenja na gornjem stroju.

U narednim decenijama, globalno posmatrani temperaturni trendovi će pogoršati zagrevanje, posebno u urbanim područjima. Povećanje temperature utiče na bitumenom vezane slojeve kolovoza, pri čemu se povećava rizik od pojave kolotruga, ispiranja bitumenskih podloga i pucanja. Duboki kolotrasi predstavljaju opasna mesta za vozače, a višak bitumena koji se razmazuje na površini kolovoza smanjuje prijanjanje pneumatika za površinu kolovoza i umanjuje mogućnost upravljanja vozilom. Više temperature kolovoza, praćene povećanim intenzitetom i trajanjem ultraljubičastog zračenja, dovode do brže i intenzivnije oksidacije i povećanja krutosti i krutosti veziva (bitumena) sa starenjem, posebno u najizloženijim gornjim slojevima bitumenom vezanih materijala. Konačni rezultat je smanjenje sposobnosti vezivanja bitumena tako da se smanjuje i sposobnost asfalta da izdrži sile izazvane saobraćajem i sredinom. Ovo dovodi do pukotina, od mikro do makro veličine i gubitka materijala iz kolovozne konstrukcije. Jako ispucale površine će imati smanjenu nosivost, dodatno pogoršanu prodiranjem vode. Suprotno tome, očvršćavanje veziva može dovesti do povećanja krutosti mešavine sa potencijalnim efektom na mogućnost rasprostiranja saobraćajnog opterećenja. Značajne dnevne temperaturne mogu povećati intenzitet savijanja na tankim betonskim kolovozima. Povećano savijanje će dovesti do rasta napona zatezanja u betonskim kolovozima pod saobraćajnim opterećenjem i na kraju će dovesti do preranog zamora kolovozne konstrukcije usled smanjenog veka trajanja [3].

Poplave, nastale usled velikih padavina ili brzog topljenja snega/leda, porasta nivoa podzemnih voda, izazivaju značajna oštećenja na putnoj mreži. Pored toga, postoji veliko preopterećenje sistema za odvodnjavanje, raste rizik od pojave klizišta, odrona ili lavina, dolazi do zasićenja nevezanih slojeva kolovozne konstrukcije što prouzrokuje gubitak finog materijala, sleganja i oštećenja. Dodatno, veće promene u nivu podzemnih voda mogu da dovedu do značajnog skupljanja i bubrenja zemljanih materijala, uzrokujući izdizanje i spuštanje slojeva donjeg stroja i kolovozne konstrukcije iznad njega, što izaziva deformacije i oštećenja.

Vremenske anomalije mogu naneti veliku štetu svetskoj privredi i dovesti do gubitka ljudskih života. Neki od skorijih ekstremnih događaja proteklih godina, kao što su: poplave u Srbiji i Bosni i Hercegovini 2014. godine, uragan Irma u SAD 2017. godine, toplotni talas u Evropi 2019. godine, višegodišnja suša u Brazilu 2014-2017. godine, hladni talas na Bliskom istoku 2013. godine (Slika 2), su između ostalog izazvali i velika oštećenja putne mreže i dugotrajne prekide saobraćajnih tokova, komunikacije, lanaca snabdevanja i dr. [8].



Slika 2. Ekstremni vremenski događaji u svetu [8]

Tokom maja 2014. godine Srbiju i region su pogodile velike kiše, a njih je izazvalo polje niskog vazdušnog pritiska koje se formiralo iznad Jadranskog mora [9]. Zabeležene su rekordne količine padavina, koje su izazvale naglo plavljenje visokog inteziteta i povećan dotok podzemnih voda. Ovi uticaji su izazvali mnogo negativnih uticaja, kao što su ljudski gubici, oštećenja kuća, mostova i delova puteva, klizišta (Slike 3 i 4).



Slika 3. Štete izazvane poplavama u Srbiji 2014. godine [9]



Slika 4. Štete izazvane poplavama u BiH 2014. godine [10]

3. METODOLOŠKI PRISTUPI U EVROPSKOJ UNIJI I SVETU

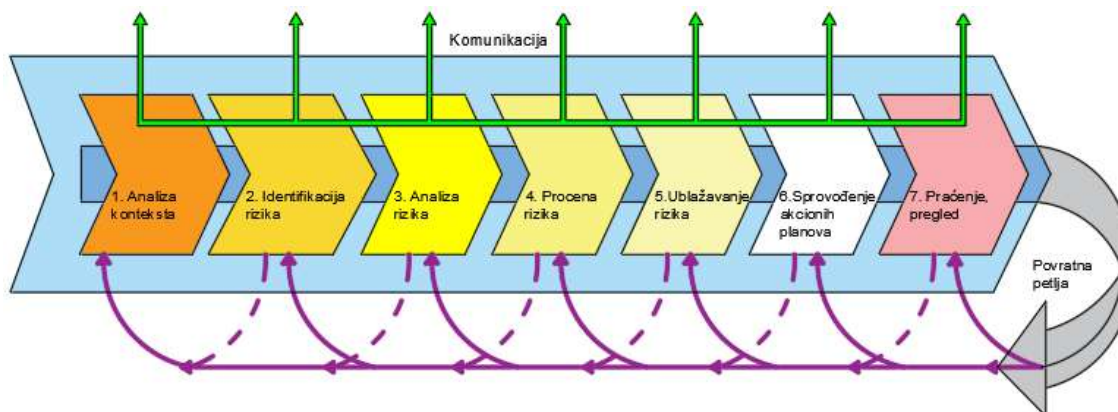
Evropska unija (EU) čini značajne napore na planu borbe protiv klimatskih promena. Prema Četvrtom izveštaju IPCC (2007), Evropa je izdvojena kao jedan od regiona posebno osetljivih na klimatske promene. EU je, kao zajednica država, usvojila niz međunarodnih dokumenata koji se bave problemima klimatskih promena, kao što su: Okvirna konvencija Ujedinjenih nacija o promeni klime [11], Kjoto protokol [12] i Pariski sporazum [13]. Međutim, EU je dodatno izgradila pravni okvir od značaja za prevenciju klimatskih promena i suzbijanje njihovih negativnih posledica, koji uključuju brojne odluke, direktive, tematske strategije i akcione programe [14]. Dokument koji se direktno odnosi na adaptaciju na klimatske promene jeste Beli papir EU o evropskom okviru strateških aktivnosti kako bi se osigurala primena pravovremenih i efektivnih mera, koherentno zastupljenih u različitim sektorima [15]. Ovim dokumentom EU obavezuje svoje članice da ozbiljno i strateški pristupe rešavanju problema koje donose klimatske promene i pristupe prilagođavanju tim problemima.

Uglavnom, procena rizika je neophodna kako bi se identifikovali izvori mogućeg ugrožavanja, sagledale moguće posledice, potrebe i mogućnosti sprovođenja mera, zaštite i spasavanja od katastrofa. Prema tome, određeni metodološki okvir se koristi za modeliranje dinamičkih interakcija između klime, dugoročnog ponašanja putnih konstrukcija, intervencija održavanja i rehabilitacije i troškova na nivou životnog ciklusa.

RIMAROCC (Risk Management for Roads in a Changing Climate) okvir definiše osnovne korake (Slika 4) za procenu rizika od klimatskih promena na puteve u uslovima promenljive klime. Smernice obuhvataju sedam osnovnih koraka [16], od efekata klimatskih promena do ranjivosti i društveno-ekonomskih procena:

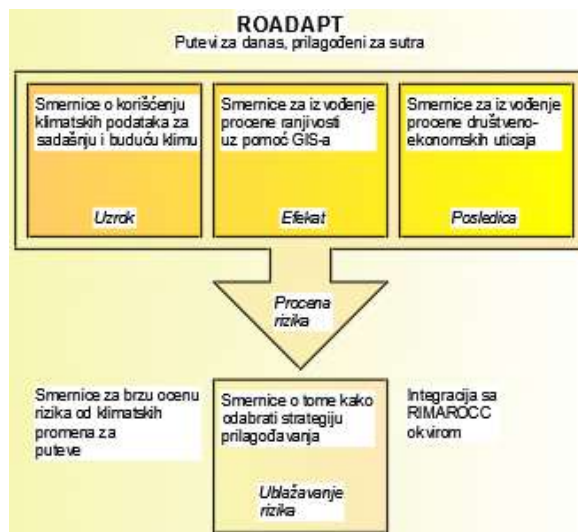
1. Analiza konteksta - uspostavljanje opšte konteksta, uspostavljanje specifičnog konteksta za određenu skalu analize, uspostavljanje kriterijuma rizika i pokazatelja prilagođenih svakoj pojedinačnoj analizi;
2. Identifikacija rizika - identifikacija izvora rizika, identifikovanje mogućih posledica;
3. Analiza rizika - uspostavljanje hronologije rizika i scenarija, utvrđivanje uticaja rizika, procena pojave, pregled rizika;
4. Procena rizika - određivanje prioriteta rizika, upoređivanje klimatskih rizika sa drugim vrstama rizika, utvrđivanje koji su rizici prihvatljivi;

5. Ublažavanje rizika - identifikacija opcija, opcije procene, pregovaranje sa finansijskim agencijama, predstavljanje akcionih planova;
6. Sprovođenje akcionih planova - razvijanje akcionih plan za svaki nivo odgovornosti, sprovođenje planova adaptacije;
7. Nadgledanje, ponovno planiranje i kapitalizacija znanja i iskustva - redovno praćenje i pregled, ponovno planiranje u slučaju novih podataka ili kašnjenja u izvršenju, kapitalizacija na osnovu prikupljenog iskustva o klimatskim događajima i napretku sprovođenja.



Slika 4. RIMAROCC okvir [15]

Zbog složenosti izvođenja RIMAROCC, u okviru projekta ROADAPT, 2015. godine je uvedena još jedna šema (Slika 5) koja utvrđuje sve osnovne aspekte koje treba uzeti u obzir tokom procene rizika od klimatskih promena. ROADAPT smernice se sastoje od pet delova, koji se mogu koristiti pojedinačno, ali obezbeđuju ulaz/izlaz za druge korake u okviru RIMAROCC. Sve ROADAPT smernice su prvenstveno formirane za nacionalne putne mreže kako bi se stekao uvid u korake koje treba preduzeti za procenu rizika od klimatskih promena na puteve. Međutim, smernice se mogu primeniti i kod železničkih ili elektro mreža [17].



Slika 5. ROADAPT [15]

- A. Smernice o korišćenju klimatskih podataka za sadašnju i buduću klimu - dokument sadrži osnovne informacije i smernice za prilagođavanje klimatskim podacima i informacije za studije o uticaju sadašnje i buduće klime na transnacionalne putne mreže u Evropi;
- B. Smernice za brzu ocenu (QuickScan) rizika od klimatskih promena za puteve - cilj je brzo proceniti glavne rizike povezane sa vremenskim uslovima;
- C. Smernice za detaljnu procenu ranjivosti - cilj je da se opišu postojeći efikasni načini i sredstva za procenu ranjivosti unutar putnih mreža, sa fokusom na mreže kojima upravljaju nacionalne uprave za puteve i posebno puteve TEN-T mreže;
- D. Smernice za procenu društveno-ekonomskih uticaja - detalje o tome kako da se izvrši procena društveno-ekonomskih uticaja posledica vremenskih uticaja;

E. Smernice za izbor strategije prilagođavanja - predstavlja pregled mera prilagođavanja i pomaže u izboru strategije prilagođavanja.

Finansiranje istraživanja obezbeđuju nacionalne uprave za puteve Holandije, Danske, Nemačke i Norveške. U cilju utvrđivanja ispravnosti postupka, urađene su tri studije slučaja na kojima je primenjen postupak ROADAPT, a to su deonice puta A24 u Portugalu, koridor Rotterdam-Ruhr i region Öresund [17].

Slično tome, Svetsko udruženje za puteve (World Road Association) [18] je razvilo okvir koji je primenljiv za bilo koju vrstu saobraćajne infrastrukture, a definiše četiri faze aktivnosti:

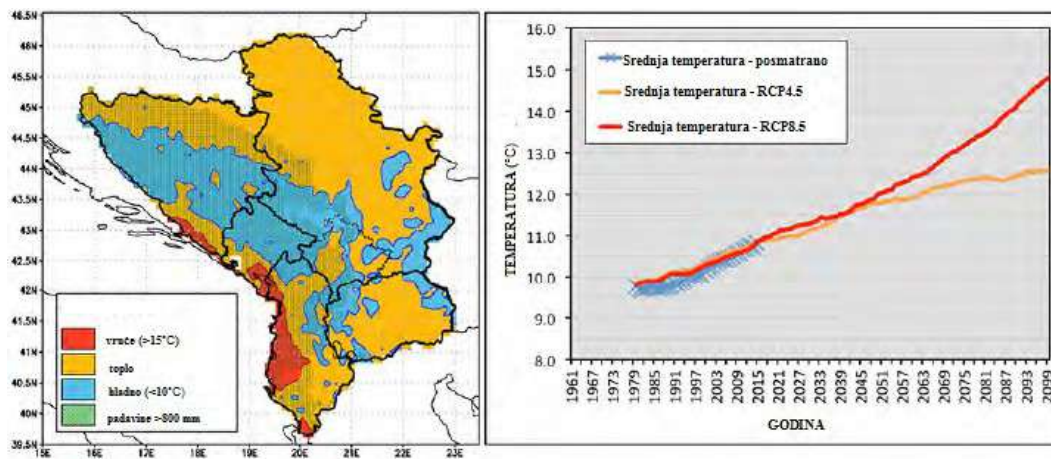
- Faza 1: Identifikacija obima, promenljivih, rizika i podataka. Niz koraka koji omogućava identifikaciju obima procene i odgovarajućih aktivnosti. Utvrđuje se i inventar imovine, lokacija, izvor rizika, tip i intezitet klimatskih promena. Okvir obezbeđuje učešće odgovarajućih stručnjaka i zainteresovanih strana u procesu. Ova procena uključuje procenu ranjivosti infrastrukture na osnovu izloženosti i osetljivosti;
- Faza 2: Procena i prioritizacija rizika. Okvir pruža smernice za procenu verovatnoće ostvarenja i ozbiljnosti rizika od klimatskih promena po infrastrukturu, kao i za kvantifikaciju rizika povezanih sa imovinom koja je identifikovana u fazi 1. Ocena rizika omogućava i utvrđivanje liste prioriteta na kojima će intervenisati;
- Faza 3: Razvoj i izbor mera prilagođavanja i strateških akcija. Mera i strategije prilagođavanja su rezultat procesa identifikacije, procene, izbora i prioritizacije mera prilagođavanja klimatskim rizicima. Prioriteti se takođe mogu odrediti na osnovu analize troškova i koristi ili višekriterijumske analize;
- Faza 4: Integrisanje nalaza u proces donošenja odluka. Poslednja faza daje smernice o tome kako se nalazi procene integrišu u investicione programe, strategije komunikacije i praćenje primene mera prilagođavanja.

Okvir je razvijen za primenu u bilo kojim geografskim, klimatskim, ekonomskim i ekološkim uslovima, a prihvaćena je činjenica da neće sve upravljačke agencije biti u mogućnosti da primene sve definisane principe, kao i da će određeni elementi procesa imati veći značaj za pojedine agencije, dok će drugi elementi biti važniji za druge agencije. Okvir se može smatrati primerom dobre prakse i smernica za pripremu i primenu specifičnih koraka i akcija za konkretne upravljačke agencije.

4. AKTIVNOSTI NA PODRUČJU ZAPADNOG BALKANA

Region zapadnog Balkana obuhvata Albaniju, Bosnu i Hercegovinu, Crnu Goru, Kosovo*, Severnu Makedoniju i Srbiju, a prostire se na teritoriji od oko 208.000 km² sa oko 18 miliona stanovnika. Klima je mediteranska u južnim i obalnim delovima, umereno kontinentalna u nizijskim i brdskim predelima, a planinska na većim nadmorskim visinama. Region postaje sve topliji i sušniji, dok se intezitet padavina povećava, izazivajući ogromne društveno-ekonomske i ekološke posledice. Ljudske aktivnosti se većinom odvijaju u okviru sektora vezanih za vremenske prilike i klimu, kao što su poljoprivreda, šumarstvo, turizam i prateće usluge. Sve privrede imaju zajednički cilj, a to je povećanje dohotka po glavi stanovnika, uz smanjenje procenta nezaposlenih građana.

Na osnovu dosadašnjih rezultata, uočenih i projektovanih klimatskih uticaja, kao i dobijenih rezultata iz zvaničnih dokumenata u regionu, uočavaju se značajne promene visokog rizika, (Slika 6). Na severu dolazi do prodora subtropske klime, porasta toplotnih talasa, suvih dana i ekstremnih padavina. Izražena je izmena perioda velikih suša i obilnih padavina, uz pojavu ekstremnih oluja leti koje izazivaju poplave, jake vetrove i štete od grada. U regionu, temperatura je porasla u poslednjih 50 godina i svaka država je doživela ubrzanje zagrevanja. Prosečna temperatura je porasla za 1,2°C. Temperatura raste od juga ka severu. Kroz centralnu i južnu Albaniju i Severnu Makedoniju promene su u intervalu od 0,5-1,0°C, a nad severnom Albanijom i ostalim zemljama zapadnog Balkana u intervalu 1,0-1,5°C. Prosečan desetogodišnji trend ima sličnu prostornu distribuciju intenziteta promena, sa vrednostima od 0,15 °C do 0,2 °C, pri čemu temperature opadaju prema jugu, a uglavnom rastu u centralnom delu regiona [19]. Na Slici 6 (desno) je prikazan porast prosečnih vrednosti temperature za period 1961-2100. godine. Srednje vrednosti dobijene merenjima su označene plavom bojom, dok su narandžastom i crvenom bojom označene srednje temperature prema scenarijima RCP4.5 i RCP8.5 [20]. Termin reprezentativni tok koncentracije (RCP - Representative Concentration Pathway) predstavlja tokove koncentracije gasova staklene bašte usvojene od IPCC. RCP4.5 predviđa zaustavljanje globalnog rasta emisija gasova sa efektom staklene bašte do 2040. godine, a RCP8.5 jeste scenario konstantnog porasta emisije gasova sa efektom staklene bašte do kraja veka [8].



Slika 6. Klima zapadnog Balkana (levo) i porast prosečnih vrednosti temperature za period 1961-2100. godina (desno) [20]

U čitavom regionu, još iz vremena Rimskog carstva, kroz period Austro-Ugarskog carstva, te nakon II svetskog rata, izgradnja i povezivanje saobraćajne infrastrukture predstavlja jedan od glavnih pokretača rasta i zapošljavanja, a takođe pomaže privlačenju investicija u drugim sektorima privrede. U Trstu je 12.07.2017. godine potpisan Sporazum o uspostavljanju transportne zajednice većine zemalja zapadnog Balkana, a istom se 18.09.2017. godine u Briselu pridružila i Bosna i Hercegovina. Time je proces transportne integracije u EU podignut na znatno viši nivo. Cilj Sporazuma je da se uspostavi relevantno zakonodavstvo u regionu zapadnog Balkana, usklađeno sa zakonodavstvom EU, kao i da se olakšaju saobraćajne operacije u transportu ljudi i roba. Samit u Trstu se nadovezao na rezultate prethodnih samita - Berlin (28.08.2014. godine), Beč (27.08.2015. godine), Pariz (4.07.2016. godine) i dalje napreduje u nekoliko oblasti saradnje, posebno u agendi povezivanja, koja je ključni element procesa i regionalne integracije.

Sve zemlje zapadnog Balkana, kao kandidati i potencijalni kandidati za pristupanje EU, su usvojile međunarodne dokumente koji se bave problemima klimatskih promena (Okvirna konvencija Ujedinjenih nacija o promeni klime, Kjoto protokol i Pariski sporazum). Istovremeno, obavezale su se i da ostvare ciljeve EU2020 [21] i EU2030 [22] u smanjenju emisije gasova staklene bašte, povećanju energetske efikasnosti i proizvodnje energije iz obnovljivih izvora [20]. Pored toga, Crna Gora je donela Zakon o zaštiti od negativnih uticaja klimatskih promjena [23] u decembru 2019. godine, a u Albaniji je usvojen Zakon o klimatskim promenama [24] u decembru 2020. godine koji je stupio na snagu šest meseci od objavljivanja u službenim glasilima Albanije. Bosna i Hercegovina 2020. godine usvaja dokument pod nazivom Utjecaj i rizici klimatskih promjena [25], Severna Makedonija nema regulativu sličnog naziva i konkretne tematike, ali u okviru drugih zakona (Zakon o životnoj sredini [26], Zakon o zaštiti prirode [27] i Zakon o kvalitetu vazduha, [28]) postoje određene naznake o aktivnostima vezanim za klimatske promene i ublažavanje problema nastalih istim. Srbija je 2021. godine usvojila Zakon o klimatskim promenama [29].

U delu zapadne Srbije, nakon poplava u maju 2014. godine, je urađena procena ugroženosti putne infrastrukture od klizišta. Vlada Srbije je u cilju poboljšanja i sistematskog rešavanja upravljanja rizikom od katastrofa za višestruke opasnosti u Srbiji, izradila i odobrila Nacionalni program upravljanja rizicima od katastrofa u decembru 2014. godine [9]. Ovaj dokument prvenstveno ima uticaj na institucionalno jačanje i definisanje okvira za identifikaciju i praćenje rizika, usvajaju se opšte mere za smanjenje strukturnih i nestrukturnih rizika, stvara okvir za sistem pripravnosti i ranog upozoravanja, kao i rešenja za finansiranje ublažavanja rizika od katastrofa i osiguranje i planiranje oporavka.

Bosna i Hercegovina, odnosno jedan od njenih entiteta (Federacija Bosne i Hercegovine - FBiH), jeste jedina zemlja zapadnog Balkana koja je značajnije napredovala u proceni ranjivosti putne mreže. Procena je urađena za magistralnu putnu mrežu kojom gazduje Javno preduzeće Ceste FBiH sa ciljem dobijanja informacija o budućem riziku od šteta i poremećaja od različitih vrsta klimatskih hazarda (poplave, klizišta, odroni, šumski požari, snežne padavine i lavine), te da bi se procenila kritičnost svake lokacije izložene riziku i identifikovale lokacije koje su prioritet za rešavanje. Procena je urađena za sve deonice magistralne putne mreže, u ukupnoj dužini od 4.938 km. Takođe su identifikovane i deonice magistralne putne mreže od strateškog značaja [10].

Procena klimatskih rizika na magistralnoj putnoj mreži u FBiH se zasniva na klimatskim promenama i podacima o opasnostima. Nivo rizika za deonice je određen kao zbir pojedinačnih ocena rizika za pet

navedenih klimatskih hazarda. Ukupan indeks kritičnosti za svaku deonicu i kompletnu putnu mrežu je dobijen na osnovu informacija o obimu saobraćaja, kritične usluge koja se obezbeđuje i/ili glavne privredne karakteristike u zoni uticaja određene deonice, postojanju alternativnih putnih pravaca, društvenom uticaju, demografskim karakteristikama i regionalnom privrednom razvoju i potencijalu. Ukupan indeks kritičnosti za svaku deonicu i kompletnu putnu mrežu je urađen pomoću i integrisan u sistem za upravljanje putnom imovinom (RAMS - Road Asset Management System). Integracija rizika od klimatskih promena i prirodnih katastrofa u RAMS je obavljena putem korekcije formule za proračun jediničnih troškova redovnog održavanja po kilometru puta. Dodavanje korekcionog faktora za rizike od klimatskih promena uvećava potreban budžet za redovno održavanje čime se obezbeđuju sredstva za prevenciju (jačanje otpornosti) i hitne intervencije u slučaju ostvarivanja određene opasnosti. Korekzioni koeficijenti su definisani prvenstveno u odnosu na iskustvo iz ranijih događaja, a podeljeni su u četiri kategorije u odnosu na ukupan rizik i to: nizak rizik - 1,005, srednji rizik - 1,015, visok rizik - 1,05 i veoma visok rizik - 1,1. Za konačnu ocenu pojedinačnih deonica puta kombinuju se rezultati procene rizika i procene kritičnosti. Na osnovu njih je, višekriterijumskom analizom, identifikovana 21 najrizičnija deonica (ukupne dužine od oko 385 km), te su one preporučene kao prioritet rešavanja. Procenjeni nivo potrebnih prioritarnih intervencija u finansijskom iznosu je skoro isti kao jednogodišnji budžet za redovno održavanje mreže u nadležnosti JP Ceste BiH [10].

5. Zaključak

Klimatske i prirodne opasnosti su usko povezane sa projektovanjem, izgradnjom i održavanjem putne mreže. Promene klimatskih uslova predstavljaju rizik za postojeću putnu mrežu, koja je izgrađena na osnovu istorijskih klimatskih varijacija. Međutim, zbog klimatskih promena, moraju se uzeti u obzir i parametri budućeg rizika. Određeni projektni elementi i principi, kao i održavanje kolovoza za putnu mrežu su od strateškog značaja za bezbednost na putnoj mreži.

Ceo svet je u središtu značajnih promena vremenskih uslova koje nanose značajna oštećenja na infrastrukturnu mrežu, posebno saobraćajnu. To zahteva da prilagođavanje klimatskim promenama i smanjenje rizika od prirodnih katastrofa postanu prioritet širom sveta. Prema rezultatima mnogobrojnih istraživanja, evropska infrastruktura je izložena velikom riziku štete od klimatskih promena i potrebno je kratkoročno uložiti stotine miliona evra u modernizaciju infrastrukturnih mreža i zaštitu od rizika. Ističe se važnost modernizacije standarda izgradnje i održavanja svih delova putne mreže kako bi se uskladili sa projektovanim vremenskim varijacijama usled globalnog zagrevanja. Istovremeno, EU obezbeđuje i najveću finansijsku podršku u vezi klimatskih akcija u svetu. Osim u okviru EU, sredstva podržavaju projekte i akcije vezane za klimatske promene i u zemljama u razvoju kako bi se olakšala „zelena“ transformacija i suočavanje sa negativnim efektima klimatskih promena.

Region zapadnog Balkana je pretežno orijentisan na uticaj klimatskih promena na biodiverzitet, šume, vode, poljoprivredu i zagađenje vazduha. Međutim, rastuća svest da klimatske promene mogu uticati na putnu mrežu i uopšte saobraćajnu infrastrukturu još uvek nije rezultirala značajnijim obimom aktivnosti koje bi uticale na identifikaciju i realizaciju strategija za rešavanje problema. U regionu zapadnog Balkana, samo je Bosna i Hercegovina delimično uradila procenu ranjivosti i identifikovanje mera kojima bi se poboljšala otpornost putne mreže. Generalno, sve države deklarativno teže ka tome, ali se aktivnosti uglavnom odvijaju na pravnom okviru, odnosno usvajanju međunarodnih dokumenata koji se bave problemima klimatskih promena. Još uvek dominiraju akcije u domenu popravke nastalih šteta, dok se potreba za ojačavanjem kapaciteta postojeće infrastrukture u odnosu na klimatske promene i prirodne katastrofe tek stidljivo pojavi kao mogućnost delovanja kada se dogodi neka katastrofa. Takva mogućnost se brzo i izgubi između zahteva za popravkama nastalih šteta ili uopšte za rekonstrukcije/rehabilitacije puteva u lošem stanju.

Prioritet aktivnosti na čitavom zapadnom Balkanu kada se radi o putnoj mreži je procena iste i ocena ranjivosti na klimatske promene, da bi se stvorili uslovi za prilagođavanje putne mreže klimatskim promenama. Dodatni problem koji moraju prevazići sve putne uprave i to na različitim nivoima, je prikupljanje podataka koje se trenutno uglavnom izvodi samo za nacionalnu putnu mrežu pod sponzorstvom finansijskih institucija i EU, dok se na nižim nivoima uprave često dešava da je nepoznata imovina kojom se gazduje. Dakle, potrebna je značajna transformacija upravljačkog sistema. Bez ocene ranjivosti, putna mreža ostaje i bez finansijske podrške za prilagođavanje tako da će vreme neminovno ostaviti traga na putnoj mreži, ugrožavajući i bezbednost ljudi i dobara, dostupnost tržištima i uslugama, boljem životnom standardu.

„Naš odgovor na izazov klimatskih promena definisaće ono što će naša generacija ostaviti kao nasleđe generacijama koje dolaze. Ulozi nikada nisu bili viši.“ - dr Džim Jong Kim, predsednik Svetske banke

Literatura

- [1] National Climate Assessment. Dostupno na: <https://nca2014.globalchange.gov> (15.02.2022)
- [2] Jokanović, I., Zeljić, D. 2019. Spremnost preduzeća za održavanje puteva na reakciju prilikom vanrednih događaja. Put i saobraćaj. 2/2019, 7-11. (DOI: 10.31075/PIS.65.02.02)
- [3] MacCracken, M.C. (2001). Global Warming: A Science Overview. Global Warming and Energy Policy, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York. 220 p.
- [4] Sekulić, G., Dimović, D., Jović, Z. K. K., Todorović, N. 2012. *Procena ranjivosti na klimatske promene - Srbija*. Svetski fond za prirodu, Centar za unapređenje životne sredine. 66 s.
- [5] Popović, T., Radulović, E., Jovanović, M. Koliko nam se menja klima, kakva će biti naša buduća klima? Agencija za zaštitu životne sredine. Dostupno na: http://www.sepa.gov.rs/download/5_web.pdf (18.01.2022)
- [6] Jokanović, I. 2021. *Saobraćajnice i životna sredina*. Beograd: PUT plus.
- [7] World Road Association. 2012. *Dealing with the effects of climate change on road pavements*.
- [8] Berdin, V., Gračeva, E., Dobroljubova, J., Konstantinov, P., Zamolodčikov, D., Mihajlov, A., Naglič, L., Pokimica, N., Rižova, N., Smirnova, E. (2020). Interaktivni obrazovni alat o klimatskim promenama, Priručnik. Dostupno na: <http://klimatskipaket.klimatskepromene.rs/wp-content/uploads/2021/05/Prirucnik.pdf> (27.01.2022)
- [9] (2014) Poplave u Srbiji 2014. European Union, United Nations, World Bank Group. Dostupno na: <http://www.obnova.gov.rs/uploads/useruploads/Documents/lzvestaj-o-proceni-potreba-za-oporavak-i-obnovu-posledica-poplava.pdf> (25.01.2022)
- [10] (2022) Climate Resilience Risk Assessment for the Main Road Network in the Federation of Bosnia and Herzegovina. JP Ceste Federacije BiH, Sarajevo.
- [11] United Nations Framework Convention on Climate Change. New York, 1992.
- [12] Kyoto Protocol to UN Framework Convention on Climate Change. United Nations, Kyoto, 1997.
- [13] Paris Agreement. Dostupno na: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l109r01.pdf> (17.03.2022)
- [14] Grendstad, G. (2012). Adaptation to climate change. Conference of European Directors of Roads. Dostupno na: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/organisations/conference-of-european-directors-of-roads/11270918> (22.01.2022)
- [15] Commission of the European Communities. White Paper. Adapting to climate change: Towards a European framework for action. Brussels, 2009, <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0147:FIN:EN:PDF>
- [16] Bles, T., Bessembinder, J., Chevreuil, M., Danielsson, P., Falemo, S., Venmans, A. (2015). ROADAPT - Roads for today, adapted for tomorrow. Conference of European Directors of Roads. Dostupno na: https://www.cedr.eu/download/other_public_files/research_programme/call_2012/climate_change/roadapt/ROADAPT_integrating_main_guidelines.pdf (18.02.2022)
- [17] European Commission, European Environment Agency. Climate Adapt, <https://climate-adapt.eea.europa.eu> (10.03.2022)
- [18] World Road Association, 2015. International Climate Change Adaptation Framework for Road Infrastructure. Paris.
- [19] Knez, S., Štrbac, S., Podbregar, I. 2022. Climate change in the Western Balkans and EU Green Deal: status, mitigation and challenges. Energy, Sustainability and Society. 12/1 (DOI: 10.1186/s13705-021-00328-y)
- [20] Vuković, A., Mandić, M. V. (2018). Study on climate change in the Western Balkans region. Regional Cooperation Council Secretariat. Dostupno na: <https://www.rcc.int/download/docs/2018-05-Study-on-Climate-Change-in-WB-2a-lowres.pdf/06af8f7432484a6ce384ebcb8c05e8d7.pdf> (18.02.2022)
- [21] European Commission. 2010. Europe 2020. A strategy for smart, sustainable and inclusive growth. Brussels.
- [22] European Commission. 2019. Towards a sustainable Europe by 2030. Brussels.
- [23] Zakon o zaštiti od negativnih uticaja klimatskih promjena, Službeni list Crne Gore, br. 73/19
- [24] Zakon o klimatskim promenama, Službeni glasnik Albanije, br. 155/20
- [25] Čaušević, A., Beslik, S., Hadžić, F., Griffin, R. 2020. *Bosna i Hercegovina: Utjecaj i rizici klimatskih promjena*. Multi, Bosna i Hercegovina. 49 s.
- [26] Zakon o životnoj sredini, Službeni list Republike Makedonije, br. 53/05, 81/05, 24/07, 159/08, 83/09, 124/10, 51/11, 123/12, 93/13, 187/13, 42/14, 44/15, 129/15, 39/16, 99/18
- [27] Zakon o zaštiti prirode, Službeni list Republike Makedonije, br. 49/99, 12/03, 35/04, 52/04 i 60/04
- [28] Zakon o kvalitetu vazduha, Službeni list SRM, br. 20/74, 6/81, 10/90 i Službeni glasnik Republike Makedonije, br. 50/92, 62/93
- [29] Zakon o klimatskim promenama, Službeni glasnik Republike Srbije, br. 26/21

IMPLEMENTATION OF GEOHAZARD RISK REDUCTION BY DISPLACEMENT MONITORING USING SATELLITE TECHNOLOGY

Žarko Grujić¹, Bojana Grujić²,

^{1,2} University of Banja Luka, Faculty of Architecture, Civil Engineering and Geodesy / Department of Civil Engineering; zarko.grujic@aggf.unibl.org; bojana.grujic@aggf.unibl.org

Summary: *The Tuzla Salt Mine is considered as a major and one of the most serious ground displacement problems in BiH, and also in Europe. Uncontrolled salt extraction from this mine has produced about 80,000,000 m³ of salt water, with a salt mass deficit of about 12,000,000 m³ created below the immediate urban area of the city of Tuzla. This long-term uncontrolled process of extraction of salt water from the Tuzla mine has resulted in ground subsidence in the central part of the city, causing significant damage to the city traffic infrastructure and facilities. Ground subsidence and surface deformation have caused the demolition of about 2,700 housing units, approximately 67,000m² of production facilities, and 130,888m² of educational, health, cultural, and sports facilities. Due to this, 15000 inhabitants have been displaced from the affected area. The catastrophic consequences arising on the ground surface necessitated the closure of the salt mine and salt caverns is filled with water. Although salt water leaks have been detected and sealed, ground across the city of Tuzla has continued to subside, with the occurrence of landslides, unstable slopes, large deformation of the traffic infrastructure and other types of ground movement. The authors applied Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR) together with the Small Baseline Subset (SBAS) time-series algorithm for monitoring subsidence in Tuzla. It was found that SBAS-DInSAR can be a useful and effective monitoring tool for the whole affected area.*

Keywords: *ground subsidence, traffic infrastructure, salt mine, monitoring by DInSAR*

1. INTRODUCTION

The subsidence in Tuzla, Bosnia and Herzegovina (BiH) has been creating a large hazard for a long period of time, mainly since 1950. The mine was closed from 2006-2007 by means of filling the salt mine rooms with water (Čeliković and Imamović 2016). However, the subsidence still continues over some parts of the city. Beginning in 1956, several investigations and geodetic surveys were conducted to measure the subsidence in Tuzla, i.e., traditional topographic surveys from 1956-2003 (Mancini et al. 2009b), GPS surveys from 2004-2007 (Stecchi 2008), and GPS and geodetic surveys from 2007-2012 (Čeliković et al. 2014; Čeliković and Imamović 2016). The authors applied Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR) by means of a Small Baseline Subset (SBAS) time-series algorithm for monitoring the subsidence from 2014-2019 (Grujić et al. 2019, 2020). It was found that SBAS-DInSAR can be a useful and effective tool for monitoring the subsidence in Tuzla. This paper presents the transition of the spatial distribution of subsidence from 1956 to 2019 and a comparison between the results of SBAS-DInSAR and GNSS taken from 2013-2019. The new monitoring results from 2013-2019 by GNSS are partially introduced. The discussion is extended to the time transition of the subsidence from 2004-2019 obtained for three time periods: 2004-2007 (GPS), 2007-2012 (GNSS), and 2013-2019 (GNSS and SBAS-DInSAR).

2. GEOLOGICAL CONDITIONS AND SALT MINING IN TUZLA

The Tuzla salt deposit is located under an urban area and extends over 2km² (Figure 1(a)). The horizontal projection of the deposit has the shape of an ellipse, with a length of about 2500m and a width of about 900m (Soklić 1964). The geological features have been investigated by several authors (Cicic 2002; Hrvatovic 2006; Jovanović 1980; Katzer ; 2006; Soklić 1959, 1964, 1982; Stevanović 1977; Tari and Pamić 1998; Vrabac 1999). The deposit consists of five separated salt series, or stratigraphic layers, which contain salt rocks embedded in a syncline with one of the limbs close to the surface of the city's center (Figures 1(b) and 1(c)). The maximum thickness of the salt formation is about 600 meters. It is composed of marls and clayey sandstones, salt rocks, banded marls, and anhydrite rocks, as shown by the vertical cross section of X-X' in Figure 1(c).

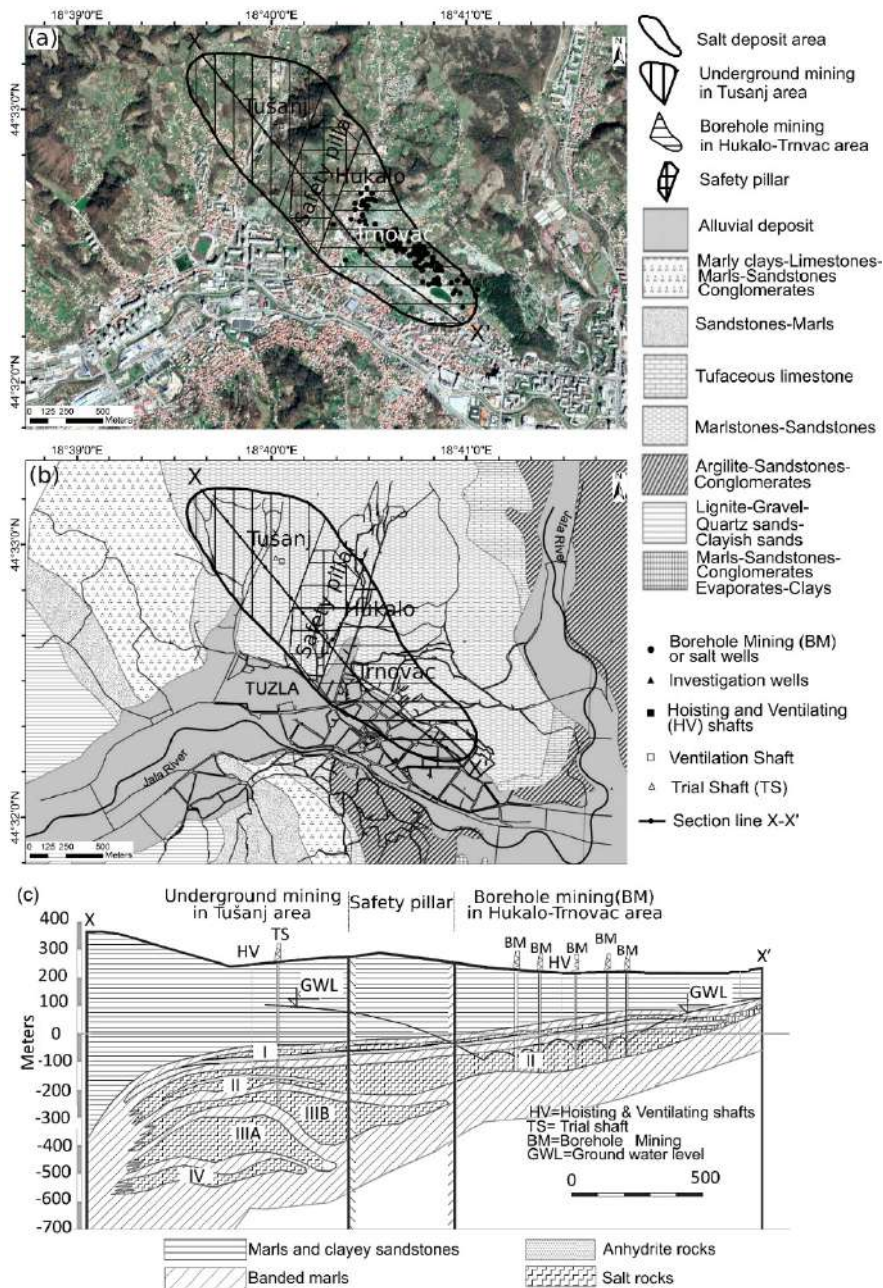


Figure 1. Geological conditions of Tuzla: (a) plan view using background aerial photo from Google Earth Pro and location of salt wells, (b) plan view (modified from Mancini et al. 2009a), and (c) vertical X-X' cross section (by authors)

Primitive salt exploitation was achieved by natural brine and shallow salt water wells in the Neolithic period 6000 years ago. This was confirmed by the discovery of the ceramic fragments of holders from 3500 BC used to boil saltwater above hot charcoal (Stecchi 2008). During the time, salt water exploitation was achieved by shallow wells, at depths of about 60m, and the production of salt in that period amounted to 2500kg/day. Extensive exploitation of the deposits began in 1886, in the eastern part of the salt deposits in Trnovac-Hukalo, by pumping salt water through deep wells (Figure 1(b)) and using the uncontrolled leaching method. The exploitation of rock salt through pits began in 1967. In the period from 1983 to 1991, the so-called controlled leaching of the existing parts of the mine "Tušanj" was carried out.

The intensive production of salt water by means of the uncontrolled leaching method caused extensive subsidence of up to -12 m of the terrain in the urban area of Tuzla. It induced serious damage to buildings and the traffic infrastructure, such as water supply systems, sewage networks, and electric powerlines. For this reason, more than 2000 buildings collapsed or needed to be demolished and about 15,000 people had to

evacuate the most affected area. Another report (Ibreljic et al. 2007) mentioned that 2300 apartments had been destroyed between 1965 and 1990 due to the subsidence phenomenon.

In the period from March 2006 to May 2007, a gradual suspension of the salt well exploitation was carried out. The official date of the termination of the exploitation of Tuzla's salt deposits was May 29, 2007.

3. MONITORING RESULTS OF SUBSIDENCE

Several geodetic and GNSS surveys and DInSAR measurements have been conducted to monitor the subsidence in different periods, i.e., traditional topographic surveys (1956-2003) (Čeliković et al. 2004; Mancini et al. 2009b), static GPS surveys (2004-2007) (Stecchi 2008), GNSS and geodetic surveys (2008-2013) (Čeliković et al. 2014; Čeliković and Imamović 2016), and SBAS-DInSAR monitoring (2014-2019) (Grujic et al. 2019, 2020). In addition, static GNSS and geodetic surveys have continued to be conducted since 2013 by the authors of this paper.

3.1 Spatial distribution from 1956-2007

The first geodetic survey was conducted in Tuzla in 1914, and systematic geodetic surveys in the area of subsidence in the city of Tuzla were started in 1956. In order to monitor the actual process of the subsidence at the surface of the terrain and to determine the limits of the impact of the exploitation, a network of fixed points for geodetic surveys was set up in 1955. From 1956 to 1991, geodetic surveys were performed annually to measure the subsidence in Tuzla and to determine the spatial coordinates or position changes of the fixed points. The number of measurement points has changed over time. By 1991, about 1200 measurement points had been set, as a considerable number of them had been destroyed over time. Between 1956 and 1991, there were over 300 points with a known vertical displacement in the zone of subsidence, while there were about 40 points with a known horizontal displacement.

Figure 2(a) shows the contour lines for the subsidence from 1956-2003 presented by Mancini et al. (2009a, 2009b). The figure reveals that the maximum subsidence reached -12 m. It was found that the large subsidence extended to the north of the city, including a residential area, and was shaped like a trough. Figures 2(b), (c), and (d) show the subsidence distributions measured at four different times by static GPS surveys, namely, in 2004, 2005, 2006, and 2007 (Mancini et al. 2009a; Stecchi 2008). The survey network was composed of six reference points and 60 densification measurement points (Mancini et al. 2009a).

The GPS results for 2004-2005 show that the subsidence continued at a rate of -12 ~ -22 cm/year in the north part of Pannonica Lakes (Figure 2(b)), although the rate had largely decreased compared to that of the previous period (1956-2003). A considerable area of the northeast part of the city was subjected to subsidence rates of -2 ~ -5 cm/year. In the period of 2005-2006, the subsidence rate decreased to -8 ~ -22 cm/year around Pannonica Lakes (Figure 2(c)). Mancini et al. (2009) and Stecchi (2008) stated that the GPS results from 2006-2007 showed that the subsidence was heading to the end almost everywhere, except for the area near Pannonica Lakes where the subsidence rate was still about -10 cm/year (Mancini et al. 2009a; Stecchi 2008) (Figure 2(d)).

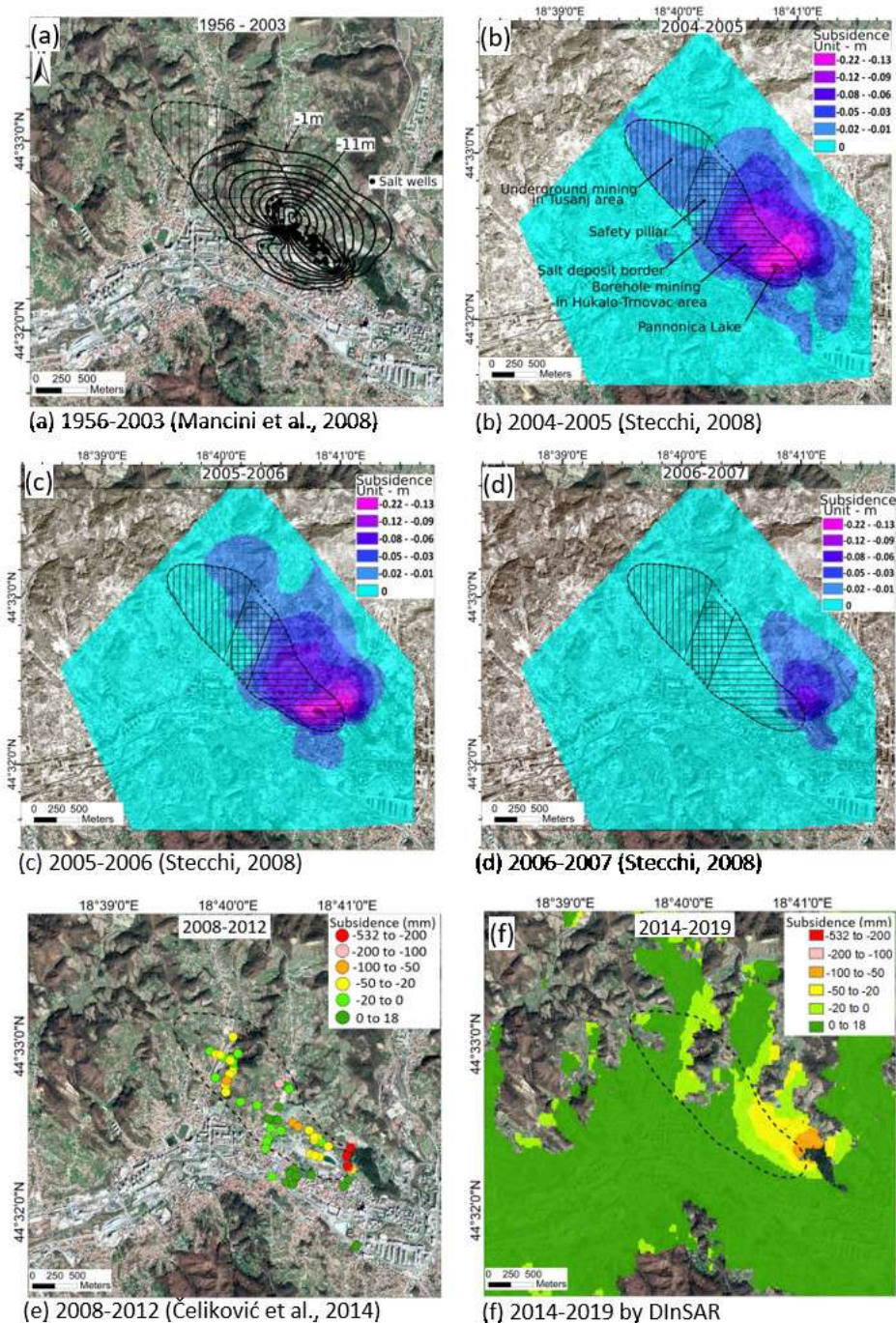


Figure 2. Time transition of spatial distribution of subsidence in Tuzla from 1956: (a) cumulative subsidence obtained by traditional topographic surveys from 1956-2003 presented by contour lines (dashed line indicates salt deposit border added by the authors), (b) subsidence in Tuzla obtained by GPS surveys from 2004 – 2005, (c) subsidence in Tuzla obtained by GPS surveys from 2005 – 2006, and (d) subsidence from 2006 to 2007 (modified from Stecchi (2008), (e) Subsidence from 2008 to 2012 obtained by GNSS and geodetic methods (Čeliković et al. 2014), and (f) Subsidence from 2014 to 2019 obtained by SBAS-DInSAR. (salt deposit border, safety pillar, and mining region were added by the authors).

3.2 Spatial distribution from 2008-2019

After the suspension of the operation of the salt wells, geodetic surveys of the terrain continued, as the number of points observed was changing. An analysis of the geodetic survey results showed that periodic and systematic surveying needed to be continued even after the suspension of the exploitation.

Figure 2(e) shows the spatial distribution of the subsidence measured by GNSS and geodetic surveys from 2008-2012. The distribution of subsidence is similar to that by GNSS from 2004-2007. Large subsidence was found around the most eastern part of the salt deposit. The subsidence became small toward the northwest parts of the salt deposit. The maximum subsidence of -53.2cm was found at a point in a hilly area located in the southeast part of the salt deposit.

Figure 2(f) shows the spatial distribution of the subsidence obtained by SBAS-DInSAR for the period of October 2014 to May 2019. This spatial distribution is similar to those by GNSS surveys from 2004-2007 and by GNSS and geodetic surveys from 2008-2012. It means that the subsidence still continued in a similar manner even after the extraction of salt water had been terminated in 2007. However, the absolute value of the subsidence has been decreasing. It is also important to reveal the mechanism of the present subsidence behavior.

From Figures 2(a)-(f), the location of the large subsidence area is seen to have moved to the southeast border of the salt mine deposit (northeast from Pannonica Lakes), while it was located in the center of the salt mine region in the previous period (1956-2003). It should be noted that the complex hydrodynamic groundwater system for the city of Tuzla plays a major role in the creation and speed of the settlement. In the northeast hilly area of Pannonica Lakes, large horizontal displacements were detected and the complex behavior comprising a combination of landslides and subsidence has appeared.

3.3 Time-transition from 2004-2019

In this section, the time transition of the subsidence over the past 15 years is discussed using the monitoring results by GNSS (2004-2007), GNNS (2007-2012), GNSS (2013-2018), and DInSAR (2014-2019).

Figure 3 shows the locations of the measurement points for all the GNSS surveys. From all those points, four are selected for a discussion on the transition of the subsidence from 2004 to 2019. Figure 4 shows the time transition of the subsidence obtained by GPS (2004-2007), GPS (2007-2012), GNSS (2013-2018), and DInSAR (2014-2019) at selected points, namely, No. 7, 16, 34, and 37.

Point No. 7, is located in the southern part of the salt deposit near Panonnica Lakes, on the road (Figure 3). From Figure 4(a), it is found that large subsidence with a value of -40 mm/year was still occurring in the period from 2004-2007. However, it gradually decreased in the period from 2007-2012 and decreased to -10mm/year from 2013-2019. It should be noted that a good agreement was found between the GNSS (2013-2018) and the DInSAR (2014-2019) monitoring.

Point No. 16 is located outside of the Tuzla salt deposit (Figure 3). It is in the zone of the highest subsidence, as shown in Figures 2(e) and 2(f) (2008-2019). From 2004-2007, the rate of the subsidence was about 100mm/year (Figure 4(b)). Although it decreased to 30mm/year from 2008-2012, it increased to 70mm/year from 2013-2019 based on the measurement results by both of GNSS and DInSAR. The results of GNSS and DInSAR also show a good agreement in this period.

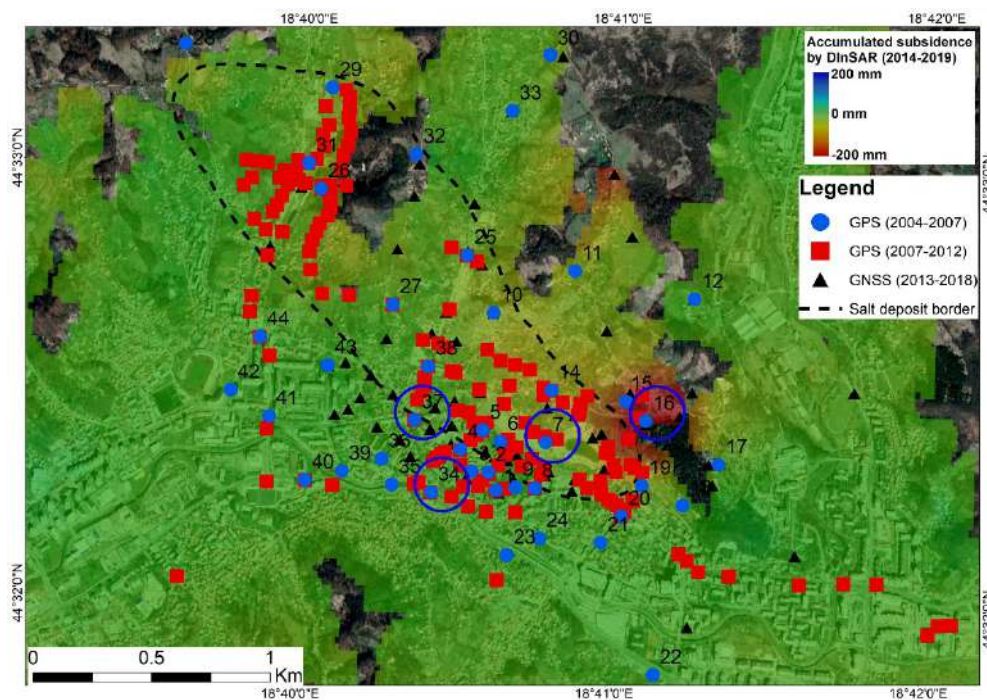


Figure 3. Locations of GPS and GNSS survey points and accumulated subsidence obtained by DInSAR results (2014-2019).

Point No. 34 also lies outside the Tuzla salt mine in the southwestern part, on the road (Figure 3). It has been stable for the last 15 years, although small subsidence appeared from 2008-2012 (Figure 4(c)). It is important to note the good agreement between the monitoring results by GNSS (2013-2018) and DInSAR (2014-2019). Considering the time transition of Point No. 37 (Figure 3), it should be emphasized that, in the past, the subsidence tended to be -2.5mm/year , while in the last two periods it was stable without subsidence (Figure 4(d)). Here, a good agreement can also be confirmed between the monitoring results by GNSS (2013-2018) and DInSAR (2014-2019).

Based on the continuous monitoring of the time transitions in the Tuzla salt deposit and an analysis of the results, it is possible to predict the future movements of individual zones. Therefore, the continuity of the monitoring of subsidence is necessary for organizing and solving the difficult issues that Tuzla City must face. The combination of SBAS-DInSAR, GNSS, and geodetic surveys will be effective for monitoring both subsidence and landslide behavior.

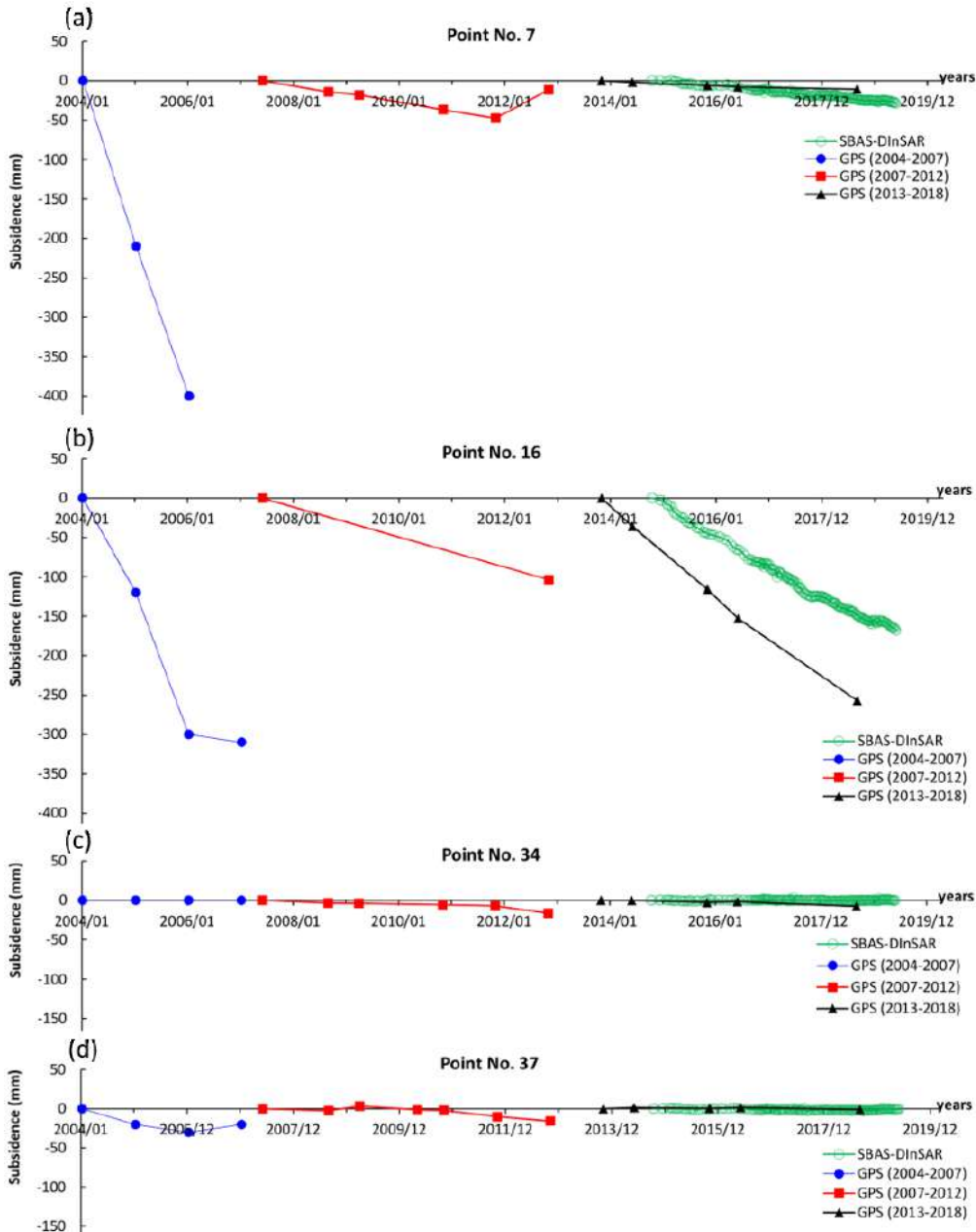


Figure 4. Time transition of subsidence obtained by GPS (2004-2007), GPS (2007-2012), GNSS (2013-2018), and DInSAR results (2014-2019): (a) Point No. 7, (b) Point No. 16, (c) Point No. 34, and (d) Point No. 37.

4. CONCLUSIONS

This paper has focused on monitoring the subsidence induced by salt mining activities in Tuzla, Bosnia and Herzegovina by means of SBAS-DInSAR, GNSS, and geodetic surveys from 2004 -2019.

The time transition of the subsidence obtained by DInSAR showed a very good agreement with the monitoring results by GNSS, and it detected that the subsidence is still on-going at a rate of -10 ~ -40mm/year in the eastern area of the salt deposit. The location of the large subsidence area has shifted to the southeast border of the salt mine deposit (northeast of Pannonica Lakes), while it was located in the center of the salt mine region in the previous period (1956-2003). The combination of SBAS-DInSAR, GNSS, and geodetic surveys will be effective for monitoring the subsidence in Tuzla in future periods. This research has shown an extraordinary advantage of the use of satellite technologies in relation to GPS measurement in the case of spatial subsidence of the terrain, and thus the subsidence of traffic infrastructure. The advantage is reflected in the precision and ability to operate from one place, without hiring a large number of people for measurement, as is the case for GPS measurement.

ACKNOWLEDGEMENTS

The Sentinel-1 SAR data were provided by the European Space Agency (ESA) through the Copernicus program. The digital elevation model (DEM) and ALOS World 3D - 30m (AW3D30) were provided by the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). This research was partially supported by JSPS KAKENHI (Grant-in-Aid for Scientific Research, Japan Society for the Promotion of Science) and by the International Collaborative Research Fund of Yamaguchi University. The authors wish to express their appreciation to those agencies for their funding.

References

- [1] Stecchi, F., Antonellini, M., Gabbianelli, G., 2009. Curvature analysis as a tool for subsidence-related risk zones identification in the city of Tuzla (BiH). *Geomorphology*, 107:316–325.
- [2] Čeliković, R., 2004. Tačnost određivanja vertikalnih pomjeranja u gradu Tuzli, *Geodetski glasnik broj*. 38, ISSN 1512-6102, 36-46
- [3] Mancini, F., Stecchi, F., Gabbianelli, G., 2009a. GIS-based assessment of risk due to salt mining activities at Tuzla (Bosnia and Herzegovina). *Engineering Geology*, 109, 170–182.
- [4] Parwata, I N. S., Shimizu, N., Grujić, B., Zekan, S., Čeliković, R., Imamović, E. and I. Vrkljan, 2020. SBAS-DInSAR monitoring of subsidence induced by extracting brine from an underground salt deposit in Tuzla, Bosnia and Herzegovina, *Proceedings of International Conference on Sustainability Science and Management: Advanced Technology in Environmental Research (CORECT-IJSS 2019)*, E3S Web Conference, EDP Sciences, 153: 03007.
- [5] Čeliković R., 2014. Prostorno vremenska analiza vertikalnih pomjeranja terena u Tuzli za period 2008-2012. *Proceedings of GEO-EXPO*, 38-44.
- [6] Čeliković, R., 2016. Continuous GNSS movement monitoring in the zone of influence of Tuzla salt deposit. *International Symposium on Engineering Geodesy*, 489–498.
- [7] Cicić, S., 2002. *Geological composition and tectonic terrain of Bosnia and Herzegovina*, Sarajevo, 111–116
- [8] Stecchi, F., 2008. Tuzla City (BIH): *An example of geohazard induced by salt extraction*. Doctoral Dissertation, Alma, University of Bologna.
- [9] Ibreljić I, Kudumović F, Ahmetbegović S, 2007. Economy and ecology of natural resources in Tuzla area (Bosnia and Herzegovina) in the past and future projections. *Proceedings of the Joint Congress of the European Regional Science Association and ASRDLF (Association de Science Regionale de Langue Francaise)*, Paris, 1–7.
- [10] Jovanović, O., 1980. Genesis of Pretortonian Miocene sediments in North Bosnia, between Una and Orina River (in Serbian). *Geoloski Glasnik* 16:33–40.
- [11] Mancini, F., Stecchi, F., Zanni, M., Gabbianelli, G., 2009b. Monitoring ground subsidence induced by salt mining in the city of Tuzla (Bosnia and Herzegovina). *Environmental Geology* 58,381–389.
- [12] Parwata, I N. S., Shimizu, N., Grujić, B., Zekan, S., Čeliković, R., Imamović, E. and I. Vrkljan, 2019. Validity of SBAS-DInSAR Monitoring of Subsidence Induced by Salt Mining in Tuzla, *Proceedings of ISRM Specialized Conference on Geotechnical Challenges in Karst*, Omiš-Split, Croatia, 311-316.
- [13] Redzepovic, R., 2006. A contribution to the knowledge of the geological and economic characteristics of limestone deposits in the periphery of the Tuzla basin, *Engineering - Mining, Geology and Metallurgy*, 57(6): 15-19.

UTICAJ FAKTORA ŽIVOTNE SREDINE NA MREŽU DRŽAVNIH PUTEVA KROZ IZRADU STUDIJA UGROŽENOSTI OD POPLAVA I SNEŽNIH NANOSA

Mimoza Jeličić¹, Đorđe Mitrović²

¹Javno preduzeće „Putevi Srbije“, Bulevar kralja Aleksandra 282, Beograd, mimoza.jelicic@putevi-srbije.rs

²Javno preduzeće „Putevi Srbije“, Bulevar kralja Aleksandra 282, Beograd, djordje.mitrovic@putevi-srbije.rs

Apstrakt: Procena uticaja faktora životne sredine na državne puteve I i II reda se sprovodi u Javnom preduzeću „Putevi Srbije“ kroz izradu Studija ugroženosti državnih puteva od poplava i bujičnih poplava i Studija istraživanja snežnih nanosa.

Studije ugroženosti državnih puteva od pojave poplava i bujičnih poplava se bavi registrovanjem mesta na mreži puteva izloženih negativnom uticaju stalnih i povremenih tokova usled pojave ekstremnih padavina. Rezultati su prikazani u referentnom sistemu i oni treba da pruže podatke za potrebe planiranja, projektovanja i održavanja puteva. Evidencija mesta gde dolazi do stvaranja snežnih nanosa, sa predlogom mera zaštite, se realizuje kroz izradu Studija istraživanja snežnih nanosa na državnim putevima. Studije daju polaznu osnovu za uspostavljanje sveobuhvatnog sistema za smanjenje rizika i posledica pojave snežnih nanosa, čime se doprinosi povećanju bezbednosti saobraćaja i prohodnosti putne infrastrukture.

U radu je dat prikaz aktivnosti koje se preduzimaju u JP „Putevi Srbije“ sa akcentom na analizu uticaja faktora životne sredine na putnu mrežu kroz sistematsko sakupljanje i formiranje inicijalne baze podataka sa predloženim merama zaštite sprovođenja za njihovo ublažavanje odnosno smanjenje rizika od prirodnih nepogoda.

Ključne reči: studije, poplave, snežni nanosi, državni putevi I i II reda

INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE STATE ROADS NETWORK THROUGH THE PREPARATION OF STUDY ON FLOODS AND SNOW DRIFT

Mimoza Jeličić¹, Đorđe Mitrović²

¹Public Enterprise „Roads of Serbia“, Belgrade, mimoza.jelicic@putevi-srbije.rs

²Public Enterprise „Roads of Serbia“, Belgrade, djordje.mitrovic@putevi-srbije.rs

Abstract: Assessment of environmental factors on the state roads of I and II order is implemented the Public Company "Roads of Serbia" through the preparation of the Study of flood risk of I and II category state roads and the Study of snow drift research on state roads of I and II order.

Studies of floods and torrential floods of I and II category state roads are engaged in registration of places on the road network exposed to the negative influence of constant and occasional flows due to the occurrence of extreme precipitation. The results are shown in the reference system of PE "Roads of Serbia" and they should provide data for future analysis, the purposes of planning, design and maintenance of roads. Record keeping of the places where the snow drift are formed with the proposal of protection measures is realized through the development of snow drift research studies on the state roads of I and II order. The study provides the basis for the establishment of a comprehensive, efficient and effective system for reducing the risk and consequences of snow deposits, which contributes to increasing traffic safety and passability of road infrastructure.

The paper provides an overview of the activities undertaken in the PE "Roads of Serbia" with an emphasis on the impact of environmental factors on the road network through systematic collection and formation of the initial database with the necessary implementation protection measures to mitigate or reduce the risk of natural disasters and as well as their bringing into the predictable frameworks

Keywords: study, floods, snow drift, state roads of I and II order

¹ Javno preduzeće „Putevi Srbije“, Bulevar kralja Aleksandra 282, Beograd, mimoza.jelicic@putevi-srbije.rs

Uvod

Ispunjenje zahteva da se putna mreža prilagođava prirodnom i kulturnom okruženju, na način da se prirodni resursi čuvaju, a uticaji saobraćaja svedu na podnošljivu/prihvatljivu meru, bez uticaja na zdravlje i dobrobit ljudi, predstavlja održivi cilj zaštite životne sredine u JP „Putevi Srbije“.

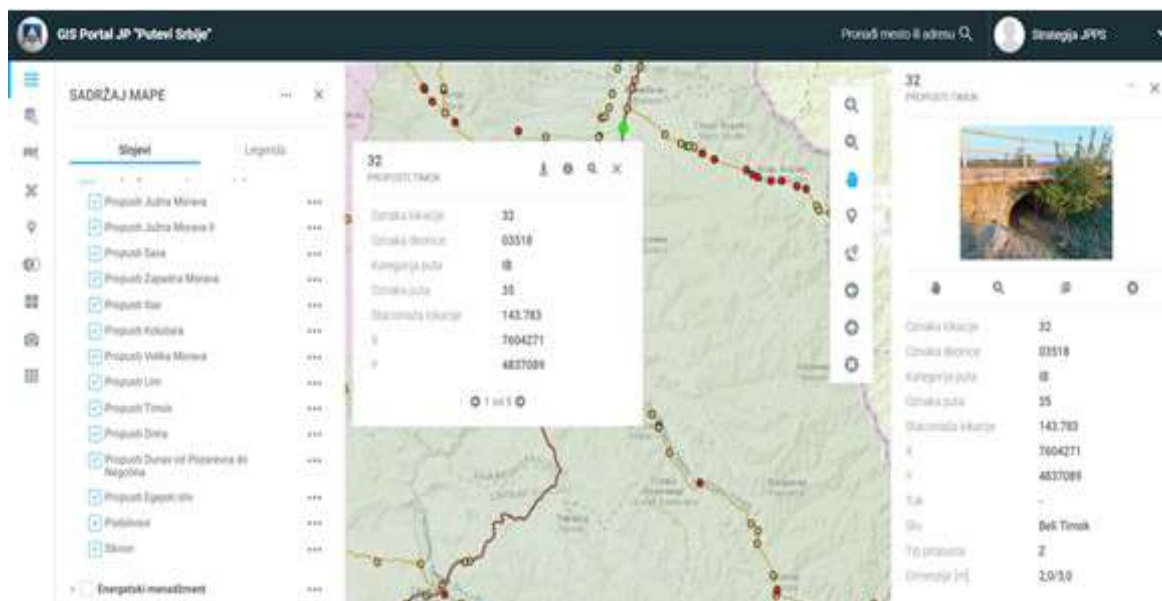
Posmatrajući katastrofalne poplave koje su se dogodile 2014. godine kao i pojavu snežnih nanosa koji su imali znatan uticaj na prohodnost saobraćajnica u pojedinim delovima teritorije republike Srbije, nametnula se potreba za drugačijim pogledom na odnos puta i životne sredine. Došlo se do zaključka da je neophodno pristupiti analizi i proceni uticaja koje životna sredina ima na put, kao i isprojektovati, odnosno predvideti mere zaštite od uticaja faktora životne sredine ili, savremenije rečeno, prilagoditi putnu infrastrukturu klimatskim promenama.

Korelacija životne sredine i putne mreže se sada posmatra obostrano, kako kroz analizu i sintezu uticaja puteva i saobraćaja na životnu sredinu, tako i proučavanjem posledica dejstva faktora životne sredine na put, kroz izradu Studija ugroženosti puteva od pojave poplava i bujičnih poplava i Studije istraživanja snežnih nanosa na državnim putevima I i II reda, stremeći smanjenju doprinosa putnog sektora zagađenju prirodnih resursa i adaptaciji putne infrastrukture na klimatske promene kroz izgradnju i održavanje putne mreže.

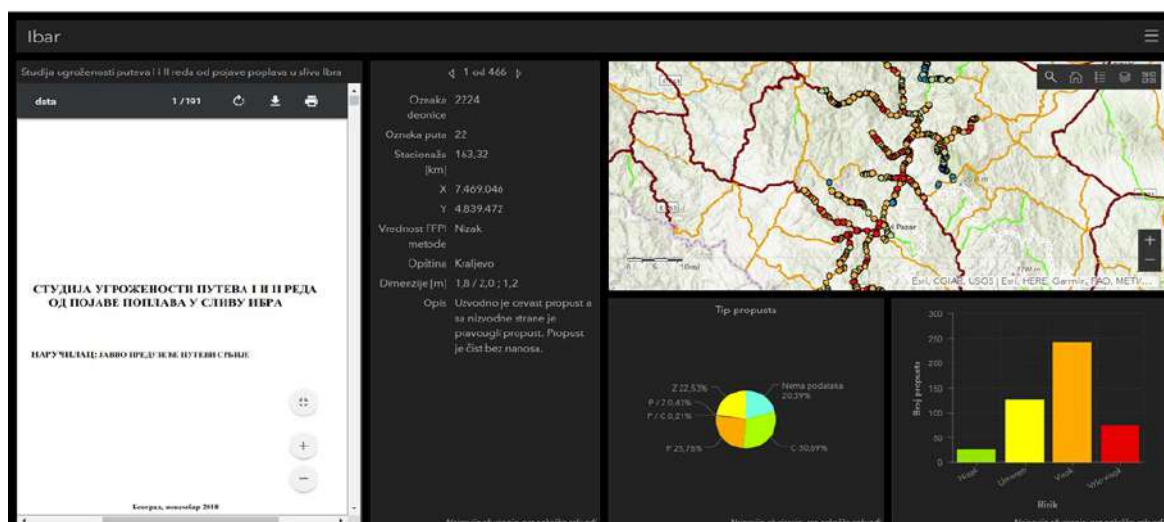
Studije ugroženosti puteva I i II reda od pojave poplava i bujičnih poplava

Poplave i bujični poplave, koje se gotovo svake godine pojavljuju, predstavljaju elementarne nepogode koje često izazivaju oštećenja saobraćajnica, mostova i drugih objekata, što dovodi do značajnih (impozantnih) šteta. Učestalost i intenzitet poplava i bujičnih poplava zavise od klimatskih faktora i fizičko-geografskih karakteristika sliva koji ih čine stalnom pretnjom sa posledicama u ekološkoj, ekonomskoj i socijalnoj sferi. Geneza velikih voda se odvija u gornjem delu rečnog sliva, dok se poplave javljaju u rečnim dolinama, gde je obično izgrađena saobraćajna infrastruktura. Prostorna i vremenska distribucija bujičnih tokova ugrožava brojne putne pravce i dovodi do oštećenja kolovoza, trupa puta i, posledično, usporenja i prekida saobraćaja. Posebno su izložene putne deonice u zoni ukrštanja sa vodotokovima gde je smanjena funkcionalnost putnih propusta ili redukovana proticajni profil mostovskih konstrukcija.

Javno preduzeće „Putevi Srbije“ u okviru Sektora za strategiju projektovanje i razvoj, Odeljenja za zaštitu životne sredine, sprovedo je izradu Studija ugroženosti puteva I i II reda od pojave poplava i bujičnih tokova obrađenih na osnovu karakteristika slivnog područja. Na osnovu topografske karte i mreže državnih puteva i terenskih istraživanja, evidentirane su ugrožene deonice državnih puteva I i II reda, registrovana su kritična mesta sa procenom rizika na ugroženim lokacijama, a to su, pre svega ukrštanja puteva i bujičnih tokova, stalnih ili povremenih tokova. U okviru Studije su predložena tehnička rešenja i mere zaštite puteva u sprečavanju pojave poplava i bujičnih poplava u fazi projektovanja novih deonica i za mesta visokog rizika na postojećoj putnoj mreži (faza eksploatacije), trajne ili privremene konstrukcije i to u prvom redu onih koje su u ingerenciji i nadležnosti JP „Putevi Srbije“ a koja su analizirana sa tehno - ekonomskog, socijalnog i ekološkog aspekta. Do sada su izrađene studije slivnih područja Južne, Zapadne i Velike Morave, Kolubare, Drine, Ibra, Lima, Save, Timoka i Dunavske bujice od Požarevca do Negotina. Na taj način je omogućeno definisanje strategije zaštite putne mreže od uticaja ekstremnih padavina i posledično velikih voda u proučavanom slivu na mreži državnih puteva I i II reda kroz definisanje određenih prioriteta u pogledu mera i radova koje treba preduzeti radi postizanja adekvatnog nivoa zaštite od poplava. Svi budući radovi kojima se utiče na režim voda i objekti izloženi uticaju voda trebalo bi da budu deo kompleksnog i sofisticiranog rešenja zaštite od poplava i bujičnih poplava na teritoriji Republike Srbije, sa odgovarajućim kriterijumima za definisanje stepena zaštite na državnim putevima I i II reda.



Slika 1. GIS portal JP „Putevi Srbije“



Slika 2 Kontrolna tabla

Baze podataka o kritičnim mestima ugroženih deonica koje se izrađuju na osnovu studija (slika 1. i 2.), predstavljaju dobru polaznu osnovu koja će u narednom periodu dati detaljne ulazne podatke za donošenje pre svega preventivnih investicionih odluka u procesu planiranja, projektovanja i održavanja putne infrastrukture.

Zvanična metodologija za ocenu rizika od poplava nije definisana zakonskim propisima niti priznata stručnom literaturom te je za potrebe izrade studija svaki obrađivač koristio metode za koje je smatrao da su najrelevantnije. Institut za šumarstvo i Geografski fakultet su ugroženost puteva I i II reda, od poplava većih vodotokova određivali na osnovu definisanih plavnih zona, dok je ugroženost od bujičnih poplava vršena primenom metode *Flash Flood Potential Index (FFPI)* (Metoda indeksa potencijalnih bujičnih poplava). Struktura i tekstura zemljišta su osobine koje određuju zadržavanje i infiltraciju vode. Nagib i geometrija sliva određuju brzinu i koncentraciju oticaja. Institut Jaroslav Černi je koristio metod Američke agencije za zaštitu zemljišta (*Soil Conservation Service - SCS*, danas *National Resource Conservation Service - NRCS*) za proračun funkcije gubitaka kiše. Osnovna postavka SCS metode za gubitke kiše je da je visina efektivne kiše P_e uvek manja ili jednaka ukupnoj visini kiše P , a da je voda upijena u zemljište nakon početka oticaja I_a uvek manja ili jednaka maksimalnom kapacitetu tla S .

Na osnovu baze podataka, formirane od rezultata studija podići će se organizacioni kapaciteti JP „Putevi Srbije“ za blagovremeno reagovanje u vanrednim situacijama, pri nailasku poplavnog talasa na određenoj

mikro lokaciji. Kao zaključak se nameće prevashodno razmišljanje da su preventivne mere najefektivnije i najefikasnije u odnosu na sve ostale predviđene scenarije i projekcije samih poplavnih talasa i mogućnost propusnih kapaciteta propusta.

Studije snežnih nanosa na državnim putevima I i II reda

Snežni nanosi, kao značajna meteorološka pojava, su čest uzrok zastoja u drumskom saobraćaju tokom zimskog perioda i imaju veliki uticaj na održavanje puteva. Do taloženja snega i nastanka snežnih nanosa dolazi na lokacijama na kojima je, usled specifične konfiguracije terena, prepreka ili položaja trase, smanjena brzina vetra. Važan faktor životne sredine pri projektovanju puteva predstavljaju podaci o uslovima pojave snežnih nanosa. Detaljnoj analizi i oceni rizika od pojave snežnih nanosa na državnim putevima I i II reda do sada se nije poklanjalo dovoljno pažnje prilikom faze projektovanja saobraćajnica. Pravovremeni, pouzdani i ažurni meteorološki podaci u fazi eksploatacije puteva su osnova za obezbeđivanje kvalitetnog sprovođenja neophodnih aktivnosti u cilju obezbeđenja prohodnosti putne infrastrukture i bezbednosti saobraćaja. Kao što je prethodno navedeno, pojava snežnih nanosa otežava odvijanje saobraćaja, utiče na njegovu bezbednost, utiče na oštećenje kolovoza i značajno povećava troškove zimskog održavanja puteva, pa je zadatak Studija bio da se daju preporuke i predlože aktivnosti na zaštiti od pojave snežnih nanosa kako bi se nabrojani problemi minimalizovali. U odnosu na potencijalno ugrožene deonice državnih puteva I i II reda, jedan od izlaznih rezultata Studije je prostorna i vremenska raspodela mesta sa pojavom snežnih nanosa i definisanje tipskih mera zaštite za pojedine karakteristične deonice.

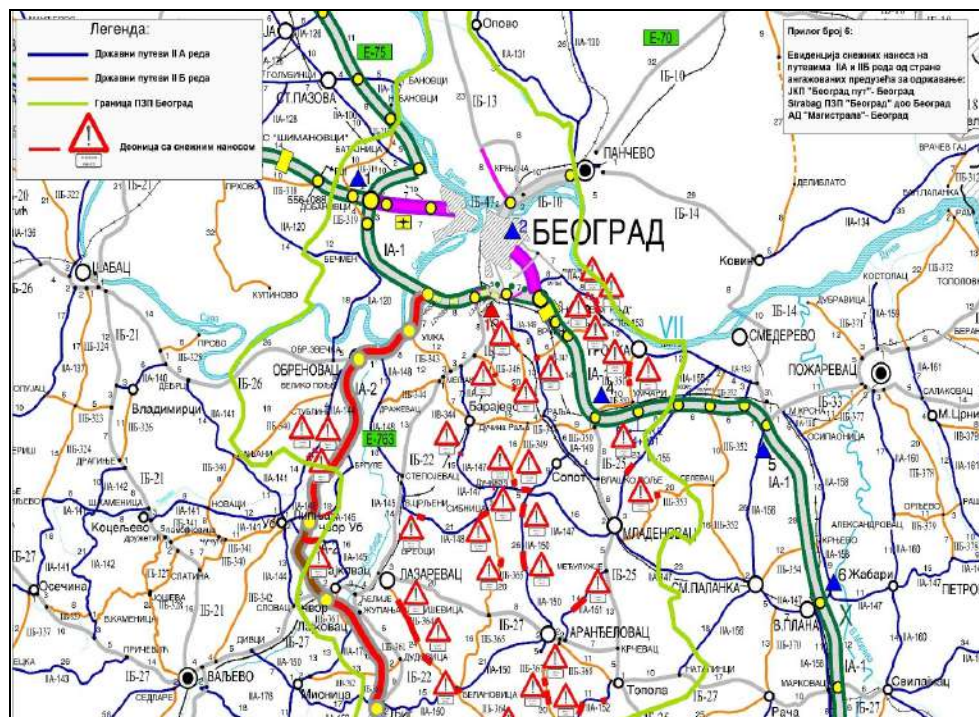
Institut za puteve i Saobraćajni institut CIP je za potrebe JP "Putevi Srbije" 2016. godine izradio Studiju istraživanja snežnih nanosa na državnim putevima I reda u Republici Srbiji. Obuhvaćeno je oko 700 km puteva autoputskog profila i oko 4100 km puteva IB reda (ukupno 4.800 km). Ovom Studijom je prikazana prostorna i vremenska raspodela mesta sa pojavom snežnih nanosa i definisane su tipske mere zaštite za pojedine karakteristične deonice. Na osnovu podataka prikupljenih od nadležnih PZP od 2007. do 2015. godine, dat je tabelarni pregled odseka na mreži saobraćajnica I reda na kojima je učestala pojava snežnih nanosa. U okviru grafičkih priloga Studije date su karte mreže državnih puteva gde su označena mesta pojave snežnih nanosa. Uvidom u raspoložive podatke o evidenciji pojave snežnih nanosa uočeni su brojni nedostaci. U cilju dolaženja do što efikasnijih mera zaštite i njihovog dobrog sprovođenja, došlo se do zaključka da se mora poboljšati nivo uvida u postojeće stanje na putnoj mreži prikupljanjem podataka kroz popunjavanje ček listi koje bi bile dostavljene svim nadležnim PZP-ovima i na taj način bi se obezbedile neophodne informacije za definisanje konkretnih mera zaštite od snežnih nanosa. Predložene ček liste (slika 3.) sadrže detaljne informacije o lokaciji pojave (usek, nasip, zasek, pravac, krivina, pravac vetra, skica i dr.), mogući uzrok pojave (vegetacija, objekat, geometrija puta i dr.) kao i posledice nastale usled pojave snežnih nanosa.

The image shows three identical checklists for assessing problematic locations on roads. Each checklist is a form with various input fields and checkboxes for recording data about road conditions and snow hazards. The checklists are organized into sections: general information, location details, and specific hazard types (e.g., snow accumulation, ice, fog, etc.).

Slika 3. Ček lista
(Izvor JP „Putevi Srbije“, Institut za puteve AD, Saobraćajni institut CIP doo (2018) Studija ugroženosti puteva II reda od pojave snežnih nanosa).

Izradom Studije ugroženosti puteva II reda od pojave snežnih nanosa, ukupne dužine 10 950 km 2018. godine (Saobraćajni institut CIP), kompletirana je osnova za razvijanje sveobuhvatnog sistema za smanjenje rizika i posledica od snežnih nanosa na putevima, čime se doprinosi bezbednijem odvijanju saobraćaja, boljem opštem funkcionisanju državnih puteva i smanjenju dosadašnjih šteta koje JP "Putevi Srbije" trpe kada dođe do nastanka ove vrste prirodne nepogode. Analizirana je cela mreža državnih puteva II reda, definisana Uredbom o kategorizaciji državnih puteva ("Sl. gl. RS", broj 105/13, 119/13 i 93/2015). Ulazni podaci o lokacijama snežnih nanosa su pribavljeni od nadležnih preduzeća za puteve, na osnovu Plana zimskog održavanja državnih puteva I i II reda u Republici Srbiji (<http://www.putevi-srbije.rs>). Plan zimskog održavanja je dokument koji sadrži podatke o preduzećima za puteve, njihovim nadležnostima, teritorijalnoj podeli i drugim podacima neophodnim za izradu Studije. Podaci koji su nedostajali naknadno su pribavljeni od nadležnih preduzeća.

Na osnovu rezultata i preporuka iz Studije, raspoloživih podloga, dodatnih podataka sa terena i metoda modelovanja, formirana je adekvatna baza podataka za realizaciju Akcionog plana po potencijalno kritičnim deonicama sa snežnim nanosima. U grafičkom delu studije prikazane su karte mreže državnih puteva gde su označena mesta na kojima se javljaju snežni nanosi, kao i karta teritorijalnog rasporeda angažovanih preduzeća za puteve (slika 4.).



Slika br 4. Karta dela mreže državnih puteva sa obeleženim deonicama sa snežnim nanosima (Izvor, JP „Putevi Srbije“, Institut za puteve AD, Saobraćajni institut CIP doo, (2016). Studija ugroženosti puteva I reda od pojave snežnih nanosa)

Navedene studije pružaju osnov za uspostavljanje sofisticiranog, sveobuhvatnog i efikasnog sistema za smanjenje rizika i ublažavanja posledica od snežnih nanosa na državnim putevima, čime se doprinosi povećanju bezbednosti odvijanja saobraćaja, opštem funkcionisanju državnih puteva i smanjenju dosadašnjih šteta koje JP "Putevi Srbije" trpi kada dođe do nastanka ove vrste prirodne nepogode.

Zaštitne privremene i trajne konstrukcije su se pokazale kao dobar primer u prevenciji stvaranja snežnih nanosa na kolovozu, smanjenja pojave poledice i poboljšanja vidljivosti, čime će se smanjiti troškovi uklanjanja snega, troškovi održavanja kolovoza i smanjiti mogućnost udesa i zastoja kao posledice stvaranja snežnih nanosa. Održavanje puteva u zimskom periodu, koje podrazumeva sprečavanje pojave poledice i uklanjanje snega i snežnih nanosa, je veoma odgovoran posao koji zahteva angažovanje značajnih resursa u smislu materijala, radne snage, specijalizovane opreme, građevinske mehanizacije i smeštajnih kapaciteta. Integrisana sa pravovremenim i pouzdanim meteorološkim podacima o pojavi snežnih padavina, Studija snežnih nanosa može da bude koristan alat za optimizaciju preventivnih aktivnosti neophodnih u cilju obezbeđenja prohodnosti putne infrastrukture i bezbednosti saobraćaja. Primenom odgovarajućih mera

zaštite može se sprečiti stvaranje snežnih nanosa i smanjiti troškovi uklanjanja snega, a korisni efekti su prisutni na velikim udaljenostima od mesta gde su primenjene.

Zaključak

Mreža državnih puteva predstavlja kompleksan, dinamičan i obiman sistem koji strateški, prostorno, vremenski, ekološki, tehnički i investiciono snažno preobražava, kako prirodne, tako i socijalne komponente prostora. Funkcionisanje Odeljenja za zaštitu životne sredine JP „Putevi Srbije“, koje je formirano davne 2006. godine, prate kratkoročne i dugoročne aktivnosti koje su u direktnoj korelaciji sa zaštitom životne sredine u putnoj mreži.

Strateški adekvatan metodološki pristup odnosa putne mreže i životne sredine, pri izgradnji, eksploataciji, redovnom održavanju, rehabilitaciji i rekonstrukciji državnih puteva je jedan od prioritarnih zadataka, kako u sadašnjem tako i u budućem periodu u okviru nadležnosti JP „Putevi Srbije“. Na osnovu podataka dobijenih u navedenim studijama i formiranjem GIS baze podataka otvara se mogućnost za prepoznavanje mesta sa potrebom prioritarnog delovanja čime će se uz najmanja ulaganja dobiti najpovoljniji efekti na očuvanju putne mreže. Racionalno i adaptivno upravljanje putevima u svojstvu prevencije od negativnih uticaja faktora životne sredine neophodno je preventivno predvideti i uskladiti sa kapacitetom mreže državnih puteva, kako bi se očuvala funkcionalnost i bezbednost putne infrastrukture.

Literatura:

- [1] JP „Putevi Srbije“, Institut za puteve AD, Saobraćajni institut CIP doo, (2016). Studija ugroženosti puteva I reda od pojave snežnih nanosa
- [2] JP „Putevi Srbije“, Institut za puteve AD, Saobraćajni institut CIP doo Studija ugroženosti puteva II reda od pojave snežnih nanosa, (2018).
- [3] JP „Putevi Srbije“, Institut za šumarstvo, Beograd (Mart 2017). Studija ugroženosti puteva I i II reda od pojave poplava i bujičnih tokova u slivu Kolubare
- [4] JP „Putevi Srbije“, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ AD Beograd (Mart 2017). Studija ugroženosti puteva I i II reda od pojave poplava i bujičnih tokova u slivu Južne Morave I deo Beograd, (Mart 2017)
- [5] JP „Putevi Srbije“, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ AD Beograd (Jul 2018). Studija ugroženosti puteva I i II reda od pojave poplava u slivu Save (bez Drine i Kolubare)
- [6] JP „Putevi Srbije“, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ AD Beograd (Avgust 2018). Studija ugroženosti puteva I i II reda od pojave poplava i bujičnih tokova u slivu Zapadne Morave bez Ibra
- [7] JP „Putevi Srbije“, Institut za šumarstvo, Beograd, Geografski fakultet, Univerzitet u Beogradu (Novembar 2018). Studija ugroženosti puteva I i II reda od pojave poplava u slivu Ibra
- [8] JP „Putevi Srbije“, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ AD Beograd (2019). Studija ugroženosti puteva I i II reda od pojave poplava u slivu Drina
- [9] JP „Putevi Srbije“, Institut za šumarstvo, Beograd, Univerzitet u Beogradu - Geografski fakultet, (Maj 2019). Studija ugroženosti puteva I i II reda od pojave poplava u slivu Južne Morave II deo
- [10] JP „Putevi Srbije“, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ AD Beograd (2019). Studija ugroženosti puteva I i II reda od pojave poplava i bujičnih tokova u slivu Lima
- [11] JP „Putevi Srbije“, Institut za šumarstvo, Beograd, Univerzitet u Beogradu - Geografski fakultet, (Januar 2020). Studija ugroženosti puteva I i II reda od pojave poplava i bujičnih tokova u slivu Timoka
- [12] JP „Putevi Srbije“, Institut za šumarstvo, Beograd, Univerzitet u Beogradu - Geografski fakultet, (Novembar 2020). Studija ugroženosti puteva I i II reda od pojave poplava i bujičnih tokova u slivu Velike Morave
- [13] JP „Putevi Srbije“, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ AD Beograd (Decembar 2019). Studija ugroženosti puteva I i II reda od pojave poplava i bujičnih tokova u slivu Dunava, od Požarevca do Negotina

UGROŽENOST PUTNE MREŽE BUJIČNIM POPLAVAMA U SLIVU DUNAVA, OD UŠĆA VELIKE MORAVE DO UŠĆA TIMOKA

Stanimir Kostadinov¹, Slavoljub Dragičević², Ivan Novković², Natalija Momirović³, Marko Langović², Tomislav Stefanović³, Milan Radović², Mimoza Jeličić⁴

¹Шумарски факултет, Универзитет у Београду, stanimirkostadinov@mts.rs

²Географски факултет, Универзитет у Београду, dragicevicslavoljub@gmail.com, novkovic.ivan@gmail.com, markolangovic@yahoo.com, radovic_serbia@hotmail.com

³Институт за шумарство, Београд, natalijamomirovic@rocketmail.com, coma958@gmail.com

⁴ЈП Пuteви Србије, mimoza.jelicic@putevi-srbije.rs

Rezime: *Prirodni uslovi u slivu Dunava, od ušća Velike Morave do ušća Timoka, pokazuju predisponiranost za nastanak bujičnih poplava i visoku ugroženost državnih puteva I i II reda. Za analizu ugroženosti puteva od bujičnih poplava u analiziranom sektoru, osim rekognosciranja terena, primenjen je i proračun primenom metode Flash Flood Potential Index (FFPI). Dobijeni rezultati pokazuju da je 39,36% istražnog prostora veoma podložno nastanku bujica. Utvrđena je ugroženost puteva na ukupno 608 lokacija na kojima postoji ukrštanje sa bujičnim vodotocima. Vrlo visoka ugroženost putne infrastrukture je utvrđena na 41 lokaciji (6,74%), visoka na 424 (69,74%), srednja na 133 (21,88%), a niska ugroženost na 10 lokacija (1,64%). Shodno tome, 76,48% lokacija pripada klasama visoke i vrlo visoke ugroženosti. Dobijeni rezultati pokazuju da je neophodno pristupiti radovima na zaštiti putne infrastrukture. Najadekvatnija odbrana od bujičnih poplava je prevencija koja se sastoji u integralnom uređenju bujičnih slivova u cilju svođenja erozionih procesa u tolerantne granice*

Ključne reči: *bujične poplave, zaštita puteva od poplava, prevencija od bujičnih poplava.*

THE ROAD NETWORK VULNERABILITY FROM TORRENTIAL FLOODS IN THE DANUBE RIVER BASIN, FROM THE CONFLUENCE OF THE GREAT MORAVA RIVER TO THE CONFLUENCE OF TIMOK RIVER

Stanimir Kostadinov¹, Slavoljub Dragičević², Ivan Novković², Natalija Momirović³, Marko Langović², Tomislav Stefanović³, Milan Radović², Mimoza Jeličić⁴

¹Шумарски факултет, Универзитет у Београду, stanimirkostadinov@mts.rs

²Географски факултет, Универзитет у Београду, dragicevicslavoljub@gmail.com, novkovic.ivan@gmail.com, markolangovic@yahoo.com, radovic_serbia@hotmail.com

³Институт за шумарство, Београд, natalijamomirovic@rocketmail.com, coma958@gmail.com

⁴ЈП Пuteви Србије, mimoza.jelicic@putevi-srbije.rs

Abstract: *Natural conditions in the Danube river basin, from the confluence of the Great Morava river to the confluence of Timok river, show a susceptibility for the occurrence of torrential floods and a high vulnerability to state roads of the first and second category. In order to analyze the risk of roads from torrential floods in the analyzed sector, the calculation using the Flash Flood Potential Index (FFPI) method was applied beside the fieldwork. The obtained results showed that 39.36% of the research area was very susceptible to torrents. The vulnerability of roads at a total of 608 locations where there is a crossroads with torrents has been determined. Very high vulnerability of road infrastructure was found at 41 locations (6.74%), high at 424 (69.74%), medium at 133 (21.88%), and low vulnerability at 10 locations (1.64%). Accordingly, 76.48% of sites belong to high and very high risk classes. The obtained results showed that it was necessary to start works on the protection of road infrastructure. The most adequate defense against torrential floods is prevention, which consists in integral watershed management of torrential basins in order to reduce erosion processes to tolerant limits.*

Keywords: *torrential floods, roads protection from floods, torrential floods prevention.*

1. UVOD

Poplava se definiše kao pojava izlivanja velikih voda iz rečnog korita, a velika voda je najviši dostignuti nivo vode u reci tokom jednog povodnja. U Direktivi o proceni i upravljanju rizicima od poplava Evropske Unije (2007/60/EK, član 2.), data je podela poplava koje se dešavaju u granicama Evropske Unije, i to:

- poplave velikih reka
- poplave planinskih bujica

- poplave povremenih mediteranskih tokova
- poplave u priobalnim zonama koje dolaze sa mora.

Za naše prirodne uslove relevantna su prva dva tipa poplava, tj. u našoj zemlji važi sledeća genetska klasifikacija poplava (Gavrilović, 1981):

- poplave izazvane kišom i otapanjem snega
- ledene poplave
- poplave usled koincidencije visokih voda
- poplave izazvane kliženjem zemljišta i bujične poplave.

Kao poseban tip poplava na vodotocima, izdvajaju se bujične poplave. Njihova pojava je vezana za bujične slivove, čija je osnovna karakteristika specifičan hidrološki i psamološki režim (režim nanosa). Osnovna karakteristika bujičnih tokova je neznatna količina vode u većem delu godine, ali veliki proticaji posle intenzivnih padavina. Bujične poplave u slivu nastaju u slivovima gde su razvijeni procesi erozije zemljišta, posle intenzivnih padavina ili naglog otapanja snežnog pokrivača, a odlikuju se brzim formiranjem bujičnih talasa. Osnovna karakteristika ovih talasa je voda zasićena velikim koncentracijama nanosa, kratko trajanje i velike štete. Zbog velike brzine formiranja i nailaska poplavnog talasa, malo je vremena za preventivno delovanje (praktično onemogućena redovna odbrana, već se odmah stupa u fazu vanredne odbrane od poplava), pa je monitoring posebno značajna mera zaštite od bujičnih poplava.

Ovaj hidrološki fenomen se u Srbiji javlja gotovo svake godine uzrokujući značajne materijalne štete poljoprivredi i naseljima, industrijskoj, stambenoj i saobraćajnoj infrastrukturi. Na teritoriji Srbije, južno od Save i Dunava prema katastrima bujičnih tokova rađenih pedesetih i šezdesetih godina XX veka, registrovano preko 12.500 bujičnih tokova (bez Vojvodine) (Костадинов и др. 2006). Na osnovu najnovijih istraživanja, u periodu 1915-2013. godina, na teritoriji Srbije je registrovano 848 događaja bujičnih poplava u kojima je život izgubilo više od 133 ljudi (Петровић, 2014).

2. PREDMET I METOD ISTRAŽIVANJA

2.1. Predmet istraživanja

Predmet istraživanja je ugroženost puteva I i II reda od pojave bujičnih poplava u slivu Dunava od ušća Velike Morave do ušća Timoka. Ovaj prostor predstavlja interes ne samo vodoprivrede, nego ima i širi ekonomski i društveni značaj, jer njegova dolina predstavlja prirodno predisponiranu saobraćajnu arteriju Balkana – prostora koji je uvek imao neizrecivo važnu ulogu u svetskoj istoriji. Ona je prirodni put za komunikaciju sa Rumunijom i Bugarskom. Ovaj istražni prostor zahvata zahvata istočni deo Srbije, a na njega otpada 6,9% njene ukupne površine tj. 6.085,89 km². Dužina puteva I i II reda na tom prostoru je data u tabeli br.1 (Студија, 2020).

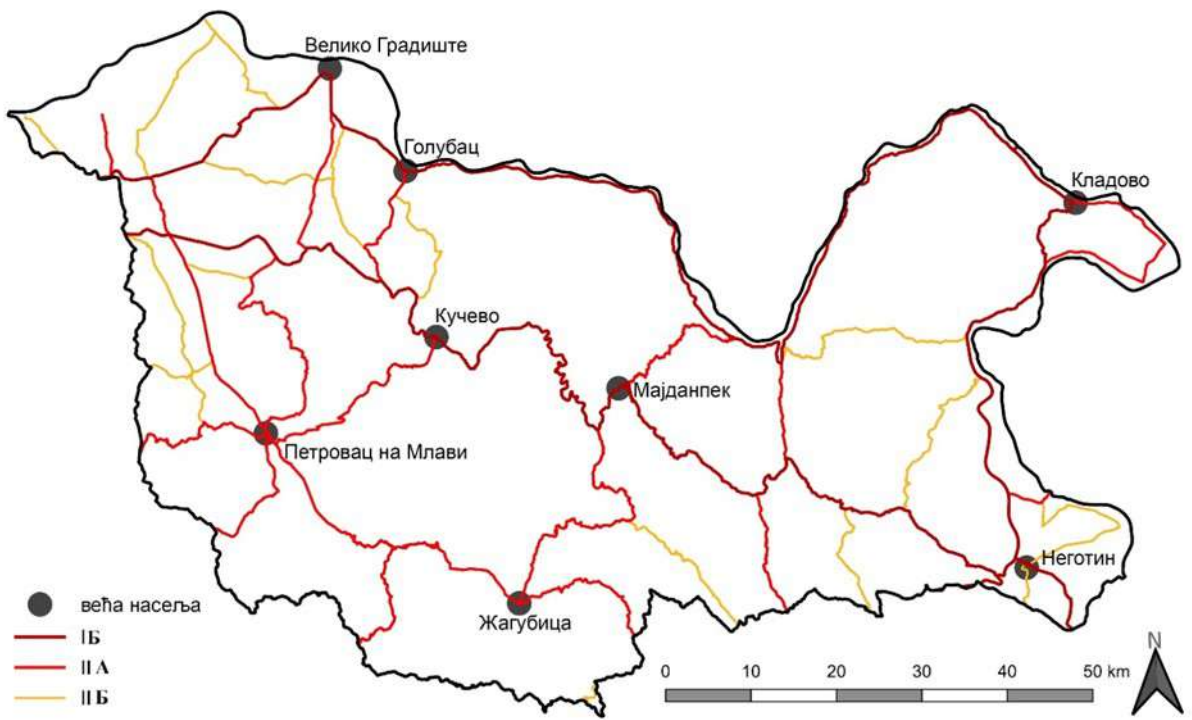
Tabela 1. Dužine saobraćajnica različitih kategorija u slivu Dunava od ušća Velike Morave do ušća Timoka

Kategorija saobraćajnica	Dužina [km]	Udeo [%]
IB	411,25	38,30
IIA	397,48	37,01
IIB	265,12	24,69
ukupno	1073,86	100,00

Izvor: (Студија, 2020)



Slika 1. *Položaj istražnog prostora na teritoriji Srbije*
Source: (Izvor, Студија, 2020)



Slika 2. *Putna mreža u slivu Dunava od ušća Velike Morave do ušća Timoka*
Source: (Izvor, Студија, 2020)

2.2. Metod istraživanja

Za ocenu rasprostranjenosti i intenziteta erozije zemljišta u Srbiji, ali i ostalim zemljama u regionu koristi se Metod potencijala erozije - EPM (Gavrilović, 1972).

Za određivanje predisponiranosti sliva Dunava, od ušća Velike Morave do ušća Timoka, na pojavu bujičnih poplava, korišćena je metoda je *Flash Flood Potential Index (FFPI)* (Smith, 2003).

Osim kabinetskog rada koji je obuhvatio pripremu neophodnih podloga, veliki deo istraživanja zahtevao je obilazak svih puteva I i II reda i registrovanje lokacija koje su ugrožene od bujičnih poplava, a to su ukrštanja tih puteva sa stalnim i povremenim vodotokovima.

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

3.1. Prirodne karakteristike istražnog prostora

Fizičko-geografski položaj sliva Dunava, od ušća Velike Morave do ušća Timoka, je raznovrstan i višeznačan. Dolina Dunava je kompozitna, odnosno sastoji se od kotlinastih proširenja (Ljupkovska kotlina, Donjomilanovačka i Oršavska kotlina) i klisurastih suženja (Golubačka klisura, klisura Gospodin vir, klisura Kazana i Sipska klisura), koji se naizmenično smenjuju.

Slivom Dunava od Požarevca do Negotina obuhvaćeno je stanovništvo delova teritorija Požarevca, Kostolca, Velikog Gradišta, Malo Crniće, Golupca, Kučeva, Petrovca na Mlavi, Žabara, Žagubice, Majdanpeka, Despotovca, Svilajna, Bora, Negotina i Kladova.

Sliv je izgrađen od najraznovrsnijih metamorfnih, magmatskih i sedimentnih stena koje su paleozojske, mezozojske ili kvartarne starosti. Sliv Dunava od od ušća Velike Morave do ušća Timoka obuhvata terene sa veoma raznovrsnim tipovima geološke podloge magmatskog, metamorfnog i sedimentnog porekla. U ovom prostoru javljaju se sve stratigrafske formacije od paleozoika do kvartara (Dragičević et al., 2011).

Najrasprostranjeniji tip zemljišta na istražnom području je smeđe kiselo zemljište sa 24,95%, zatim gajnjača sa 16,50% i smeđe kiselo lesivirano zemljište sa 13,35% površine. Ostali tipovi zemljišta zauzimaju ukupnu površinu od 45,2%.

Način korišćenja zemljišta urađen je na osnovu CORINE Land Cover 2012. godine. Analiza baze podataka o zemljišnom pokrivaču pokazuje da od ukupnog broja klasa koje karakterišu zemljišni pokrivač u Srbiji, na istražnom području zastupljeno je 23 CLC klase. Dominira CLC klasa 311 (listopadne šume) koja obuhvata 42,90% od ukupne površine, a za njom slede 242 (kompleks poljoprivrednih parcela) sa 14,64%, 243 (poljoprivredne površine sa značajnim udelom prirodne vegetacije) sa 13,87% i 211 (navodnjavane poljoprivredne površine) sa 12,34% ukupne površine istražnog područja. Poljoprivredne površine (CLC klasa 242, 243 i 211) zahvataju nešto više od 40% ukupne površine, što je značajna površina sa aspekta zaštite od erozije.

Ono što je posebno važno za režim oticaja i prevenciju od bujičnih poplava je činjenica da šume različitog sklopa (listopadne, četinarske, mešovite) zahvataju 44% sliva, a ako se njima pridodaju i površine pod drvenasto-žbunastom vegetacijom (13,95%), onda se može reći da je ta površina približno 52%. Ovo je dosta visoka pokrivenost, ali je kvalitet šuma dosta nizak što umanjuje njihovu zaštitnu ulogu, kada je u pitanju zaštita zemljišta od erozije.

Osnovne karakteristike reljefa iskazane nadmorskim visinama, raščlanjenošću, nagibima i ekspozicijama predstavljaju uslove za pojavu intenzivnih erozionih procesa na ovom području (Лазаревић, 1983).

Tokom prikupljanja podataka korišćeni su meteorološki podaci prikupljeni na četiri meteorološke stanice različitih tipova. Podaci su obezbeđeni od strane Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije, a spisak stanica sa osnovnim karakteristikama prikazan je u tab. 2.

Tabela 2. Osnovne karakteristike meteoroloških stanica čiji su podaci korišćeni u daljoj analizi*

	Nadmorska visina (m)	Tip stanice	Geografska širina	Geografska dužina	Početak rada stanice
Negotin	42	Glavna	44° 14'	22° 32'	1947
V. Gradište	80	Glavna	44° 45'	21° 30'	1945
Petrovac	279	Obična	44° 20'	21° 20'	1965
Crni Vrh	1027	Glavna	44° 08'	21° 58'	1966

Izvor: (Meteorološki godišnjaci RHMZ Srbije)

Tabela 3. Srednjemesečne i godišnje temperature vazduha na odabranim stanicama (za period 1969-2018.)

Meteorološka stanica	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
Negotin	-0,1	1,7	6,5	12,3	17,6	21,3	23,2	22,5	17,6	11,4	5,7	1,4	11,8
V. Gradište	0,2	1,9	6,4	11,8	16,8	20,0	21,7	21,3	16,8	11,5	6,1	1,4	11,3
Petrovac	0,5	2,1	6,7	11,8	16,7	19,8	21,7	21,7	17,1	11,8	6,4	1,7	11,5
Crni Vrh	-3,5	-2,7	1,1	6,7	11,3	14,7	16,5	16,6	12,2	7,3	1,7	-2,3	6,63

Izvor: (Meteorološki godišnjaci RHMZ Srbije)

Od svih klimatskih elemenata, padavine se javljaju kao najvažniji faktor koji uslovljava određen proticaj vode, erozivne procese i pojave velikih voda. Dosadašnjim analizama je dokazano da ukupna godišnja visina padavina nije od presudnog značaja za intenzitet erozivnih procesa i pojavu poplava u slivu, već je daleko značajniji raspored tih padavina u toku godine tj. pluviometrijski režim i njihov intenzitet.

Tabela 4. Srednje mesečne vrednosti padavina (u mm) na odabranim stanicama (za period 1969-2018.)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Negotin	42	52	53	53	63	66	54	44	52	56	57	59	651
V. Grad.	46	42	43	57	71	86	74	57	57	51	47	51	682
Petrovac	48	47	46	60	71	89	70	59	58	54	50	54	706
Crni vrh	45	46	52	69	92	108	81	62	71	66	57	52	801

Izvor: (Meteorološki godišnjaci RHMZ Srbije)

Generalno gledano, u slivu Dunava na prostoru istočnog dela Srbije, godišnja količina padavina varira od 550-1000 mm. Te razlike, u zavisnosti od reljefa (nadmorske visine i ekspozicije), mogu biti znatne. Najveći deo posmatrane teritorije prima između 700-800 mm padavina i obuhvata planinske vence Crnog Vrh, Beljanice, Starice, Stola, Kučajskih planina, kao i kotline koje se nalaze između njih.

U istražnom prostoru, u slivovima Mlave, Peka i Porečke reke i njihovih pritoka registrovan je veći broj bujičnih tokova, kao i veliki broj jaružanja. U slivu Mlave je u poslednjih sto godina registrovano 24 jače bujične poplave, dok je njihov broj u slivu Peka iznosio 6 (Petrović et al., 2014). Neke od njihovih pritoka koje su klasični bujičarski tokovi su Obrški potok, Bujur, Velika Tisnica, Vitovnica, Bobreška reka i Krupajska reka (u slivu Mlave) i Mali Pek, Duboka reka, Kučajska reka i Vrvine (u slivu Peka). Osim pomenutih reka Dunav i Đedapsko jezero ima veliki broj malih pritoka koje često imaju bujični karakter, plave priobalne delove i izazivaju veliku štetu (primer Boljetinske reke – septembar, 2014. godine) (Трујић, 2014).

Zbog raznovrsnosti oblika i površine koju zahvata u slivu Dunava, proces erozije zemljišta se s punom opravdanošću može uvrstiti u dominantne geomorfološke procese na istraživanom prostoru.

Tabela 5. Kategorije erozije i srednji koeficijent erozije (Z) za sliv Dunava od ušća Velike Morave do ušća Timoka

Kategorija erozije	Površina [km ²]	Udeo u ukupnoj površini [%]
eksczesivna	10,39	0,17
jaka	285,09	4,68
srednja	2342,86	38,50
slaba	2824,40	46,41
vrlo slaba	623,15	10,24
ukupno	6085,89	100,00

Izvor: (Cmyđuja, 2020)

Zastupljenost eksczesivne (I) i jake (II) kategorije erozije je mala, a najzastupljenije su površine zahvaćene procesima srednje (III), slabe (IV) i vrlo slabe (V) kategorije erozije. Prema podacima koeficijenta i kategorija erozije, erozivni procesi na istražnom području u slivu Dunava pripadaju srednjoj eroziji ($Z_{sr}=0,42$), odnosno trećoj kategoriji razornosti.

3.2. Predisponiranost istražnog područja za pojavu bujičnih poplava

U cilju uvrđivanja predisponiranosti istražnog područja za pojavu bujičnih poplava stepena bujičnosti različitih vodotoka na istražnom području proračuni su vršeni prema metodi *Flash Flood Potential Index* (FFPI). Struktura vegetacije i tekstura zemljišta su osobine koje određuju zadržavanje i infiltraciju vode. Nagib i geometrija sliva određuju brzinu i koncentraciju oticaja.

Vegetacija i struktura krošnji modifikuju intenzitet i količinu dospevanja padavinskih voda na zemljište. Način korišćenja zemljišta, a naročito urbanizacija, imaju značajnu ulogu u infiltraciji vode, koncentraciji i ponašanju oticanja. Zajedno, ove donekle statične odlike, pružaju informaciju o mogućnosti pojave bujica na određenom prostoru (Smith, 2003). Izračunavanje FFPI se vrši prema formuli (Smith, 2003):

$$FFPI = \frac{a_1 \cdot M + a_2 \cdot S + a_3 \cdot L + a_4 \cdot V}{\sum_{n=1}^4 a_n}$$

gde je M – koeficijent nagiba terena, S – koeficijent tipa zemljišta, L – koeficijent načina korišćenja zemljišta, V – koeficijent gustine vegetacije, a a_n – težinski koeficijenti ovih parametara. Vrednosti koeficijenata parametara se kreću u rasponu od 1 do 10 (od najmanje podložnog pojavi bujica, do najpoložnijeg). Što se težinskih koeficijenata tiče, svim parametrima dodeljena je vrednost 1. To znači da u ovom slučaju formula glasi:

$$FFPI = \frac{M + S + L + V}{4}$$

Koeficijent nagiba terena se računa tako što se na osnovu digitalnog modela visina (DEM) izračuna nagib terena, izražen u procentima, a zatim se primeni formula:

$$M = 10^{n/30}$$

gde je n – nagib terena u %. Ukoliko je $n \geq 30\%$, onda je uvek $M = 10$.

Koeficijent tipa zemljišta se dobija tako što se odedenim tipovima zemljišta dodeljuju koeficijenti od 1 do 10, na osnovu njihovih odlika koje su od značaja za nastanak i razvoj bujičnog procesa. Podaci o zemljišnom pokrivaču sliva Dunava od Požarevca do Negotina dobijeni su digitalizovanjem sadržaja sa pedoloških karata.

Za izračunavanje koeficijenta načina korišćenja zemljišta osnovnu su predstavljale CORINE Land Cover klase, kojima su dodeljivane vrednosti od 1 do 10, u zavisnosti od karakteristika značajnih za nastanak i razvoj bujičnog procesa. Koeficijent gustine vegetacije dobijen je analizom multispektralnih snimaka sa satelita LANDSAT 8, odnosno izračunavanja BSI (*Bare Soil Index*) indeksa za istraživani prostor, koji se računa po formuli:

$$BSI = \frac{(SWIR + R) - (NIR + B)}{(SWIR + R) + (NIR + B)} + 1$$

gde je SWIR – vrednost na spektralnom kanalu iz kratkotalasnog infracrvenog dela spektra, NIR – vrednost na spektralnom kanalu iz bliskog infracrvenog dela spektra, R – vrednost na spektralnom kanalu iz crvenog dela spektra, a B – vrednost na spektralnom kanalu iz plavog dela spektra elektromagnetnog zračenja. S obzirom na to da se vrednosti koeficijenta gustine vegetacije kreću u rasponu od 1 do 10, određena je zavisnost između vrednosti BSI i koeficijenta gustine vegetacije i dobijena je formula:

$$V = 6,42 \cdot \ln(BSI) + 10$$

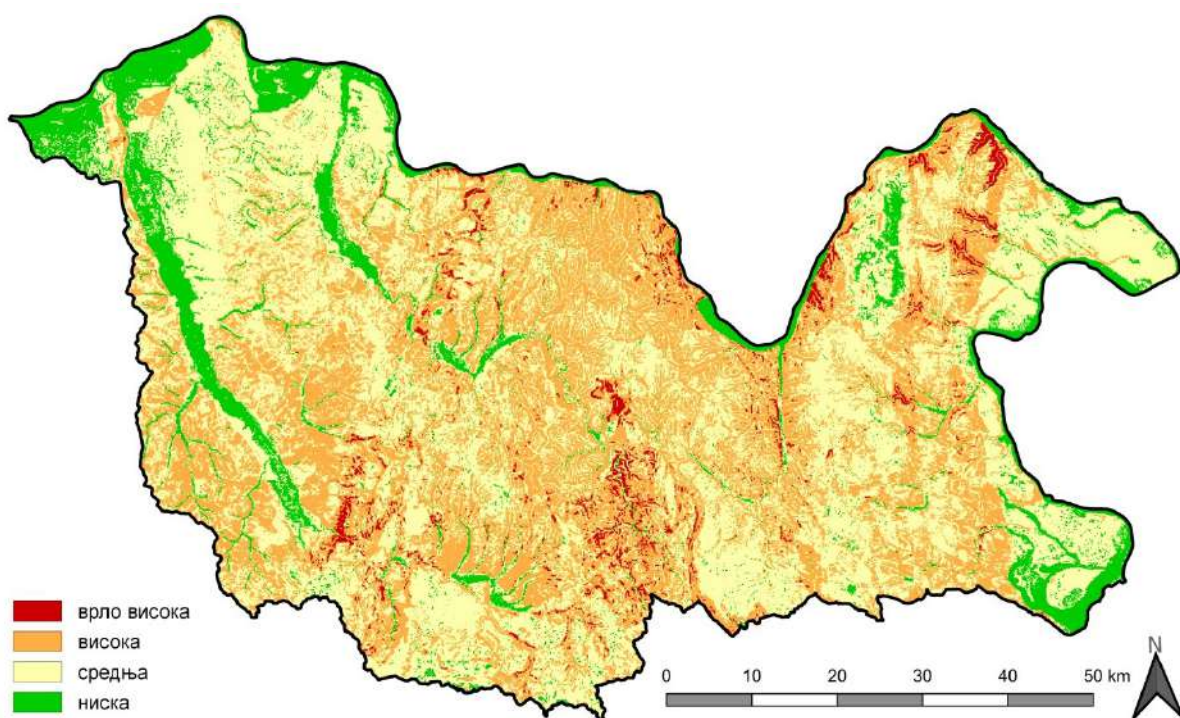
Zatim je na osnovu analize dobijenih vrednosti FFPI izvršena klasifikacija rezultata na četiri klase, shodno stepenu podložnosti bujicama. Dobijeni rezultati pokazuju mogućnost nastanka, odnosno predisponiranosti terena za nastanak bujica, pri odgovarajućim prirodnim uslovima. Da li će zaista biti tako, zavisi od velikog broja faktora, pa se zbog toga govori o predisponiranosti, odnosno podložnosti prostora za nastanak i razvoj ove nepogode. Na osnovu ovoga analiziran je prostorni raspored vrednosti FFPI u slivu, da bi na osnovu njega, odlika samih vodotoka i ukupne zakrivljenosti prostora, bila izvršena klasifikacija vodotoka koji ugrožavaju saobraćajnice na 4 klase, koje predstavljaju mogućnost pojave bujičnih poplava.

Nakon klasifikacije dobijenih vrednosti FFPI utvrđeno je da je klasa vrlo visoke podložnosti zastupljena na 152,11 km², odnosno na 2,50% površine sliva Dunava od ušća Velike Morave do ušća Timoka, a visoke na 2243,04 km², što predstavlja 36,86% njegove ukupne površine. Ovo nam pokazuje da je 39,36% sliva Dunava od Požarevca do Negotina veoma podložno pojavi bujičnih poplava i ovaj podatak treba ozbiljno uzeti u razmatranje. Klasa srednje podložnosti zauzima 49,17%, a niske 11,47% ukupne površine sliva (tab. 6). Svega 11,47% sliva nije značajnije ugroženo bujičnim poplavama.

Tabela 6. Površine klasa ugroženosti terena bujičnim poplavama prema FFPI metodi na istražnom području

FFPI klase podložnosti bujicam	Površina [km ²]	Udeo u ukupnoj površini [%]
vrlo visoka	151,11	2,50
Visoka	2243,04	36,86
Srednja	2992,71	49,17
Niska	698,03	11,47
Ukupno	6085,89	100,00

Izvor: (Cmyđuja, 2020)



Slika 3. Podložnost (predisponiranost) terena za nastanak bujičnih poplava
Source: (Izvor, Cmyđuja, 2020)

3.3. Evidencija lokacija ugroženih poplavama

U cilju evidencije mesta na putnoj mreži koja su ugrožena bujičnim poplavama, izvršen je obilazak putne mreže i registrovani propusti i mostovi i njihovo stanje sa aspekta proticajnog profila i eventualne zasutosti nanosom ili nekim drugim materijalom.

Evidencija ugroženosti od bujičnih poplava rađena ja na osnovu vrednosti FFPI indeksa. Registrovani su lokaliteti ukrštanja bujičnih tokova sa putnom mrežom. Na osnovu vrednosti tog indeksa svi lokaliteti su razvrstani u 4 kategorije: vrlo visoka, visoka, srednja i niska potencijalna mogućnost za bujične poplave. Terenskim rekognosciranjem registrovana su sva ukrštanja puteva I i II reda sa stalnim ili povremenim tokovima. U tab. 7 prikazane su klase ugroženosti (prema vrednosti FFPI indeksa) za svih 608 lokacija:

Tabela 7. Lokacije ukrštanja puteva i bujičnih tokova i stepeni ugroženosti

Stepen ugroženosti	Broj lokacija	%
vrlo visoka ugroženost	41	6,74
visoka ugroženost	424	69,74
srednja ugroženost	133	21,88
niska ugroženost	10	1,64
Ukupno	608	100

Izvor: (Cmyđuja, 2020)

Prema tome, ako se analiza vrši po broju lokacija propusta 76,48 % lokacija pripadaju klasama visoka i vrlo visoka. Takva je slika gledano sa aspekta prirodnih uslova za pojavu bujičnih poplava koje bi ugrozile puteve. Kada se riziku od prirode doda rizik koji je izazvao čovek svojim činjenjem ili nečinjenjem (zasutost propusta, obraslost vegetacijom i dr.) rizik od bujičnih poplava se povećava. Pri sadašnjem stanju propusta i manji proticaji bujičnih tokova, odnosno i manji poplavni talasi ne bi mogli da se evakušu preko propusta već bi preplavili put i kod jačeg najska poplavnog talasa propust bi verovatno bio oštećen, put prekinut i slično.

Osim rizika od bujičnih poplava koji je rezultat prirodnih karakteristika terena, veličina rizika od bujičnih tokova se povećava usled više faktora i to:

- neuređenosti korita bujičnih tokova u zoni ukrštanja sa putevima,
- nefunkcionalnosti propusta zbog zasutosti erozionim nanosom (Sl. 4.) i raznim antropogenim otpadom,
- smanjenja proticajnog profila propusta usled provlačenja raznih cevi, kroz propust, ostataka raznih konstrukcija u propusta itd.
- zaraslosti korita bujičnih tokova uzvodno i nizvodno od propusta.

Rekognosciranjem na terenu konstatovali smo da preko 90 % evidentiranih propusta ima neki od ovih nedostataka ili više njih. Stiče se utisak da godinama niko nije ništa uradio na preventivi i umanjenju posledica.



Slika 4. Propust zasut nanosom na potoku Jagnjilo na deonici Jasikovo-Žagubica
Source: (Izvor, Cmyđuja, 2020)

4. ZAKLJUČAK

Prirodne karakteristike sliva reke Dunav na sektoru od ušća Velike Morave do ušća Timoka stvaraju uslove da postoji značajna ugroženost državnih puteva I i II reda od bujičnih poplava. Imajući u vidu karakteristike bujičnih tokova jedina prava odbrana od bujičnih poplava je prevencija koja se sastoji u integralnom uređenju bujičnih slivova u cilju svođenja erozionih procesa u tolerantne granice (Kostadinov et al., 2018). Prevencija od bujičnih poplava doprineće smanjenju rizika od poplava velikih reka. Prioriteti akcije za prevenciju bujičnih poplava su:

- Čišćenje propusta od nanosa i ostalih materijala. Takođe u zoni svih propusta treba očistiti korito vodotoka, minimum 50 m uzvodno i 50 m nizvodno, od rastinja, nanosa i otpada.
- Preventivni protiverozioni radovi u koritu i slivovima vodotokova koji sa vrlo visokom klasom ugroženosti od bujičnih poplava.

- Kod planiranja radova redosled radova bi trebao da bude: Putevi IB reda; Putevi IIA reda; Putevi IIB reda.

Imajući u vidu da se poslednjih decenija kod nas kišne padavine sve češće izlučuju u vidu intenzivnih kiša kraćeg trajanja, zatim prirodne karakteristike sliva Dunava na istražnom području, koje su napred opisane i analize FFPI indeksa može se zaključiti da, na slivu Dunava od ušća Velike Morave do ušća Timoka, postoji realna ugroženost od bujičnih poplava. Toj ugroženosti svakako doprinosi i neodržavanje slobodnog profila propusta i mostova na mestima ukrštanja bujičnih tokova i puteva.

Literatura

- [1] Гавриловић С. 1972. Инжењеринг о бујичним токовима и ерозији.Часопис "Изградња", Београд.
- [2] Гавриловић Љ. 1981. Поплаве у СР Србији у XX веку – узроци и последице.Посебна издања СГД, бр. 52, Београд.
- [3] Dragičević, S.; Novković, I.; Carević, I.; Živković, N.; Tošić, R. 2011. Geohazard assessment in the Eastern Serbia. Forum geografic, 10(1): 10–19.
- [4] Костадинов, С.; Златић, М.; Драговић, Н. 2006. Усклађивање водопривредних циљева са интересима осталих привредних грана у области заштите од ерозије и бујица.Часопис "Вода и санитарна техника", стр. 29-38, Удружење за технологију воде и санитарно инжењерство, ISSN 0350-5049, Београд.
- [5] Kostadinov, S.; Braunović, S. ; Dragičević, S. ; Zlatić, M. ; Dragović, N. ; Rakonjac, N. 2018. Effects of Erosion Control Works: Case Study - Grdelica Gorge, the South Morava River (Serbia). Water, 10 (8):1094. doi.org/10.3390/w10081094; стр. 1-19.
- [6] Лазаревић Р. 1983. Вредновање рељефа СР Србије. Институт за шумарство и дрвну индустрију, Зборник радова књ. XX-XXI, Београд.
- [7] Петровић А. 2014. Фактори настанка бујичних поплава у Србији. Докторска дисертација, Шумарски факултет, Београд.
- [8] Petrović, A.; Kostadinov, S.; Dragičević, S. 2014. The inventory and characterisation of torrential flood phenomenon in Serbia. Polish journal of environmental studies, 23(3): 823-830.
- [9] Републички хидрометеоролошки завод Србије. Подаци о дневним вредностима протицаја и падавина. Београд
- [10] Smith G. 2003. Flash flood potential: Determining the hydrologic response of FFMP basins to heavy rain by analyzing their physiographic characteristics. NWS Colorado Basin River Forecast Center, Salt Lake City.
- [11] Студија угрожености путева I и II реда од појаве поплава у сливу Дунава од Пожаревца до Неготина 2020. наручилац: ЈП „Путеви Србије“ реализатори: Институт за шумарство, Београд и Универзитет у Београду - Географски факултет
- [12] Трујић Н. 2017. Анализа услова за појаву бујичних поплава и њихових ефеката у источној Србији септембра 2014. године. Мастер рад, Шумарски факултет, Београд.

АНАЛИЗА ЕФИКАСНОСТИ ШУМСКОГ ЗАШТИТНОГ ПОЈАСА (ЛОКАЛНИ ПУТ ЗА ДОЛОВО) У ЗАШТИТИ ПУТА ОД СНЕЖНИХ НАНОСА

Младен Марковић¹

¹ студент докторских академских студија, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, e-mail: mladenmarkovic88@gmail.com

Резиме: Зимски услови на путу карактеришу се појавом снежних сметова који могу да утичу на измене режима саобраћаја, смањење видљивости на путу, узрокују саобраћајне незгоде и повећање трошкова одржавања пута. Када ветар дува преко снежног покривача, остварује смицање и напрезања у структури снега, што изазива избацавање честица снега и стварање снежних сметова. Зимски метеоролошки подаци представљају основу за планирање квалитетног спровођења активности у циљу обезбеђења проходности и заштите путне инфраструктуре. У раду су анализирани услови средине подручја истраживања који обухватају показатеље завејавања (режим ветра, водени еквивалент снега и количину транспортованог снега). Шумски заштитни појасеви поред путева представљају еколошко, економично и ефикасно решење заштите путева од снежних сметова. Њихова главна функција се одликује пресецањем правца и смањење брзине ветра, услед чега долази до таложења снежних наноса ван саобраћајница. У раду је приказана ефикасност шумског заштитног појаса, који се налази уз локални пут за место Долово, да спречи завејавање. Ефикасност заштите зависи од елемената појаса (висина, ширина, оптичка порозност и др.) који утичу на аеродинамичке карактеристике појаса и капацитета задржавања снега. За анализу протока ваздуха кроз модел шумског заштитног појаса примењена је симулација рачунарске динамике флуида (CFD) на основу које је процењена могућа дужина снежног наноса. Резултати рада представљају допринос могућности примене шумских заштитних појасева као решења заштите путева од снежних наноса у зимском периоду.

Кључне речи: шумски заштитни појасеви, снежни наноси, заштита путева, просторно моделовање, ГИС, CFD

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE PROTECTION FOREST BELT (LOCAL ROAD FOR DOLOVA) IN THE PROTECTION OF ROAD FROM SNOW DRIFTING

Abstract: Winter conditions on the road are characterized by the appearance of snow debris that can affect changes in traffic, reduce visibility on the road, cause traffic accidents and increase road maintenance costs. When the wind blows over the snow cover, it creates shear and stress in the snow structure, which causes the ejection of snow particles and the creation of snow debris. Winter meteorological data are the basis for planning the quality implementation of activities in order to ensure passability and protection of road infrastructure. The paper analyzes the environmental conditions of the research area, which include indicators of snowfall (wind regime, water equivalent of snow and the amount of transported snow). Protection forest belts next to roads are an ecological, economical and efficient solution for protecting roads from snow debris. Their main function is characterized by intersecting the direction and reducing the wind speed, which results in the deposition of snow deposits outside the roads. The paper presents the efficiency of the forest protection zone, which is located along the local road to Dolovo, to prevent snowstorms. The effectiveness of protection depends on the elements of the belt (height, width, optical porosity, etc.) that affect the aerodynamic characteristics of the belt and the snow retention capacity. For the analysis of air flow through the forest protection zone model, the simulation of computational fluid dynamics (CFD) was applied, on the basis of which the possible length of snowfall was estimated. The results of the work represent the contribution of the possibility of using forest protection belts as a solution for protecting roads from snow deposits in the winter period.

Keywords: forest protection belts, snow drifting, road protection, spatial modeling, GIS, CFD

1. Увод

Снежни сметови изазвани ударима ветра утичу неповољно на услове на путу, смањујући видљивост, проузрокују саобраћајне незгоде, продужавајући време путовања и повећавајући трошкове одржавања пута. Велике количине снежног наноса представљају физичке препреке за кретање моторних возила које могу узроковати обуставе саобраћаја. Када ветар дува преко снежног покривача, остварује смицање и напрезања у структури снега, што изазива избацавање честица снега и стварање снежних сметова. Са аспекта утицаја ветра на стварање снежних наноса, од значаја су брзине ветра које су изнад минималне

брзине, које покрећу честице снега са површине. Применом одговарајућих мера, као што су шумски заштитни појасеви, могу се побољшати зимски услови на путу и спречити завејавање. Шумски заштитни појасеви препознати су као економски исплативо и еколошки одрживо решење које доприноси повећању безбедности саобраћаја [1,2]. Појас делује као препрека за снег, физички пресеца правац дувања и смањује брзину ветра и узрокују акумулирање снега. Утицај шумског заштитног појаса на проток ваздуха је хоризонтално пропорционалан његовој висини (H). Појасеви могу да редукују брзину ветра на растојању од 35 H (m) на заветринској страни и на растојању од око 5 H (m) на стани уз ветар [3]. Највеће редуције ветра су на заветринској страни појаса, око 70% на растојању од 10 H (m) и око 20% на растојању од 20 H (m) од појаса [4]. Утицај шумског заштитног појаса на проток ваздуха и способност спречавања завејавања, зависи од структуре појаса (висина, ширина, распоред вегетације, оптичка порозност и др.). Поред бројних истраживања, аеродинамика шумских заштитних појасева и даље није у потпуности схваћена [5]. Применом методе рачунарске симулације динамике флуида (eng. computational fluid dynamics-CFD) може се анализирати проток ваздуха кроз модел појаса [6].

У раду је приказана способност шумског заштитног појаса подигнутог уз локални пут за место Долово, да спречи завејавање. Одређени су елементи појаса од којих зависи способност и ефикасност заштите. Применом рачунарске симулације динамике флуида анализиран је модел који обухвата сценарио у коме шумски заштитни појас представља препреку која пресеца ветар који носи снег и акумулира снег у зони заштите у којој је брзина ветра смањена. Процентом формирања снежног наноса одређена је ефикасност појаса у заштити пута од завејавања. Циљ рада је приказ ефикасности шумског заштитног појаса у конкретним условима и разматрање могућности примене шумских заштитних појасева као биоинжењерске мере за контролу завејавања на путевима.

2. Материјал и метод рада

2.1. Подручје истраживања

Шумски заштитни појас налази се на источном делу АП Војводине на подручју јужнобанатског округа. Појас се налази са десне стране паралелно уз локални пут према месту Долово и укупна дужина појаса износи око 50 m. Шумски заштитни појас је подигнут на удаљености од 12,5 m од пута. Састоји се од два реда црног бора (*Pinus nigra*) и два реда брезе (*Betula pendula*). Појас се подигнут са циљем заштите спречавање завејавање пута и еолске ерозије која угрожава околне пољопривредне површине.



Слика 1. Шумски заштитни појас уз локални пут за Долово
Извор: аутор

2.2. Услови средине

Анализирани зимски метеоролошки подаци преузети из годишњака Републичког метеоролошког завода за 11 климатолошких станица које покривају подручје АП Војводине. Зимски метеоролошки подаци су анализирани за период (децембар – март) 2000/2001-2019/2020 године. Метеоролошки подаци су анализирани у ГИС окружењу помоћу технике интерполације (eng. inverse distance weighted-IDW) који су просторно приказани. Анализа услова средине подручја истраживања обухвата показатеље завејавања: количине падавина у виду снега (водни еквивалент снега - S_{we}), преносно растојање снега (F), количине

транспортованог снега (Q) и режим ветра. Водени еквивалент снега представља количину воде која је садржана у снежном покривачу која зависи од висине снежног покривача. Водени еквивалента снега зависи од просечне годишње висине снежног покривача (S) изражен у (mm) који се одређује по следећој једначини [7]:

$$S_{we} = \frac{S}{10} \quad (1)$$

Пређени пут снега током транспорта који је најчешће дефинисан удаљеношћу између препреке и места депозиције снега, назива се преносно растојање снега (F). За потребе овог истраживања за вредност преносног растојања снега по препоруци је узета вредност од 300 m која се сматра константном. Маса снега коју помера ветар у ширини фронта дувања током одређеног времена, дефинише се као количина транспортованог снега израженог у тонама по метру. Количина транспортованог снега одређује се према једначини [8]:

$$Q = (1500) \cdot (0,2) \cdot (S_{we}) \cdot (1 - 0,14^{F/3000}) \quad (2)$$

где је: Q -количина транспортованог снега ($t \cdot m^{-1}$), S_{we} - водени еквивалент (m), 0,2-коэффициент релокације снега за Србију (Ђурђевић et al., 2016), F - преносно растојање снега (m)

Са аспекта утицаја ветра на стварање снежних наноса, од значаја су брзине ветра које су изнад минималне брзине које покрећу честице снега са површине [9,10]. При брзинама ветра од 4 m s^{-1} почиње приземно кретање сувог снега и услова за стварање снежног наноса [11,12]. У раду су анализирани брзине ветра $\geq 4 \text{ m s}^{-1}$ које су од значаја за процес стварање снежних наноса.

2.3. Способност шумског заштитног појаса да спречи завејавање

Шумски заштитни појас састављен је од живих елемената који се развијају у времену и простору. Елементи појаса утичу на способност спречавања завејавања и ефикасност заштите. Примарни вегетациони елементи које утичу на капацитет задржавања снега (Q_c) су оптичка порозност (P) и висина (H) појаса. Шумски заштитни појас ће испунити услов заштите када капацитет задржавања снега (Q_c) = количини транспортованог снега (Q). Појас постиже потпун ефекат заштите од завејавања ($Q_c > 2Q$) када је капацитет задржавања снега већи од екстремне количине снежних падавина једном у хиљаду зима, тј. два пута већа количина транспортованог снега ($2Q$). Капацитет задржавања снега може се одредити применом следеће једначине [13]:

$$Q_c = (3 + 4P + 44P^2 - 60P^3) \cdot H^{2,2} \quad (3)$$

где је: Q_c – капацитет задржавања снега, P – оптичка порозност, H – висина појаса

Оптичка порозност појаса је дводимензионална мера која представља однос отвореног простора према заклоњеној површини коју заузимају делови вегетације [14]. Оптичка порозност служи као параметар који дефинише продуривост шумског заштитног појаса. Вредност оптичке порозности појаса може се одредити помоћу фотографских техника и обрадом фотографија применом различитих софтвера [15,16]. У раду је фотографисана страна појаса уз ветар под правим углом на месту које је репрезентативно (висина, густина, распоред садње и др.) за цео појас. Фотографија је обрађена помоћу софтвера Photoshop CS 2019 који квантификује отворени простор у односу на вегетацију. Висина појаса утиче на дубину и дужину акумулације снежног наноса. Дупло увећање висине појаса повећава четвороструки капацитет складиштења снега. Просечна висина шумског заштитног појаса на подручју истраживања је одређена помоћу инструмента клинометра ЕС II-D. Облик и дужина снежног наноса заснива се на аеродинамици суспендованих честица снега које долазе у контакт са појасем. Дужина снежног смета зависи од односа количине транспортованог снега и капацитета задржавања снега. Користећи једначину за процену дужине снежног наноса са заветринске стране појаса [13], процењена је ефикасност појаса у заштити пута од завејавања.

$$L = \left\{ \frac{10,5 + 6,6 \cdot \left(\frac{Q}{Q_c}\right) + 17,2 \cdot \left(\frac{Q}{Q_c}\right)^2}{34,3} \right\} \cdot (12 + 49P + 7P^2 + 37P^3) \cdot (H) \quad (4)$$

где је: L – дужина снежног наноса, Q – годишња количина транспортованог снега, Q_c – капацитет задржавања снега, P – оптичка порозност, H – висина појаса

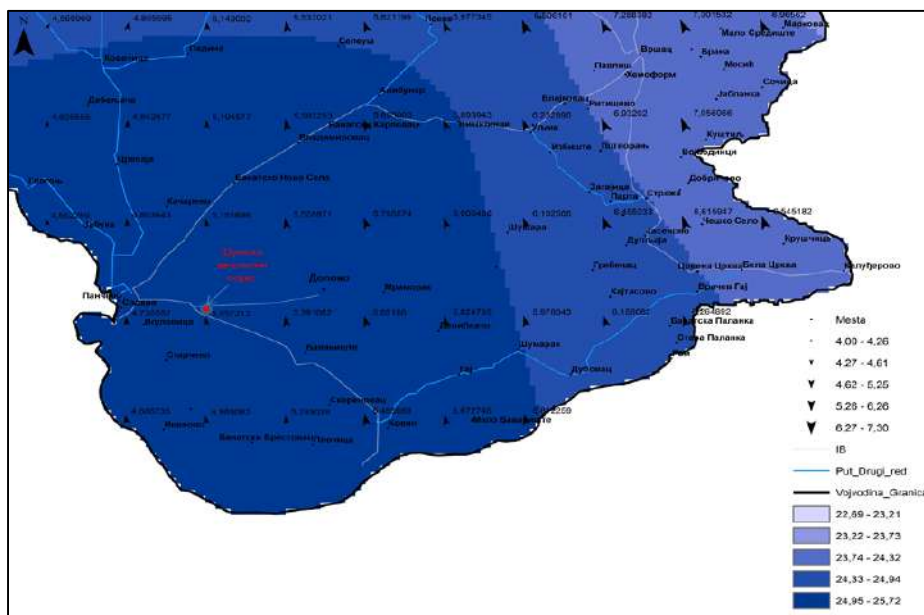
2.4. Примена CFD на шумски заштитни појас

Нумеричка симулација модела шумског заштитног појаса захтева математички модел који описује аеродинамику и утицај појаса на проток ваздуха. За анализу протока ваздуха кроз модел шумског заштитног појаса примењена је метода рачунарске симулације динамике флуида (CFD) у софтверском окружењу Ansys Student 2019. Анализа укључује проток флуида ваздуха за задату геометрију модела и услова средине. Шумски заштитни појасеви имају неправилну геометрију и теже их је представити кроз модел. У раду је усвојен једноставнији геометријски модел за анализу ефекта протока ваздуха кроз појас са следећим параметрима модела појаса: порозност, висина и ширина. Симулација модела обухвата сценарио у коме шумски заштитни појас представља препреку која пресеца доминантан правац дувања ветра који носи снег и узрокује акумулацију снега у зони заштите у којој је брзина ветра смањена.

3. Резултати

3.1. Показатељи завејавања

На основу анализе зимских метеоролошких података одређени су показатељи завејавања (водни еквивалент снега, количине транспортованог снега и режим ветра) за подручје истраживања (слика 2). За посматрани период истраживања вредности висине снежног покривача у месецу јануару су 4.75-6.48 cm, док су у истом месецу највише вредности S=5.34-6.48 cm на југо-истоку АП Војводине. У месецу фебруару, висина снежног покривача је највиша (4.72-7.22 cm) у односу на друге зимске месеце, посебно се истиче југо-исток АП Војводине. За посматрани период истраживања вредност воденог еквивалента снега за подручје истраживања је 0,481 m. Просторном анализом података преносног растојање снега, воденог еквивалента снега и коефицијента релокације је израчуната количина транспортованог снега која износи 25,66 t m⁻¹ за подручје истраживања. Просторном анализом података правца и брзине ветра ≥ 4 m s⁻¹ на подручју истраживања у току зиме се најчешће јављају ветрови из правца југа, док брзина ветра износи 5,05m s⁻¹.



Слика 2. Показатељи завејавања за подручје истраживања

Извор: аутор

3.2. Ефикасност шумског заштитног појаса

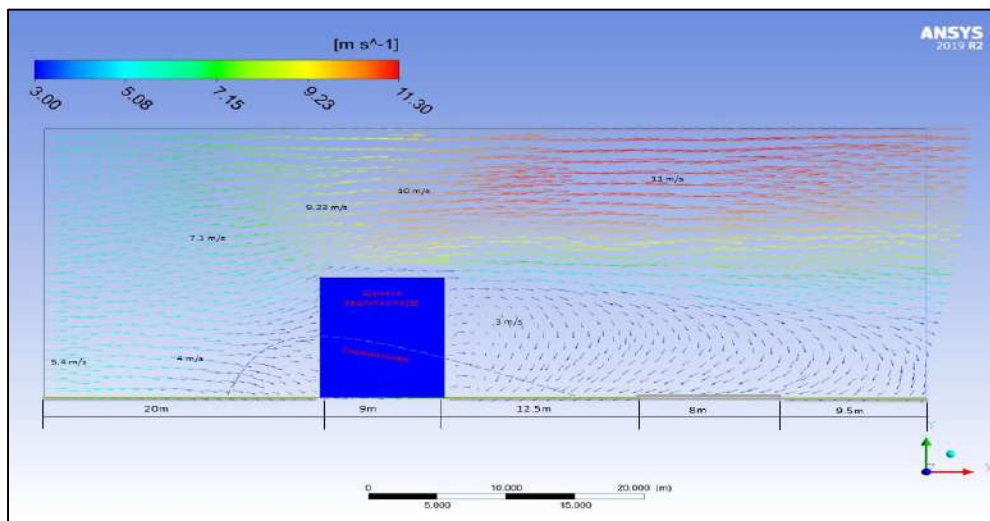
Ефикасност заштите појаса зависи од елемената појаса који утичу на аеродинамичке карактеристике појаса и капацитета задржавања снега. Фотографисањем једног дела појаса и обрадом фотографије помоћу одговарајућег софтвера (слика 3), одређена је вредност од 33% оптичке порозности за анализирани шумски заштитни појас.



Слика 3. Одређивање вредности оптичке порозности обрадом фотографије
Извор: аутор

На основу мерења на терену, утврђена је просечна висина појаса од 12,0 m, док су растојања између редова 3,0 m са унутрашњим размаком око 2,5 m. На основу података оптичке порозности и висине појаса одређен је капацитет задржавања снег који износи $Q_c = 1646,34 \text{ t m}^{-1}$. Упоредивањем вредности Q_c у односу са Q , капацитет задржавања снега је много већи од количине транспортованог снега за подручје истраживања. Ефикасност деловања шумског заштитног појаса представља се дужином снежног наноса са заветринске стране појаса. Нумеричком анализом података (количина транспортованог снега, капацитета задржавања снега, оптичке порозности и висине појаса) одређена је дужина снежног наноса која износи $L = 10,5 \text{ m}$. На основу процењене дужине снежног наноса са заветринске стране појаса, снежни нанос ће се акумулирати у зони између појаса и пута (удаљености појаса од пута износи 12,5 m) и на тај начин биће обезбеђена заштита пута од завејавања. Већи капацитет задржавања у односу на количину транспорта снега ($Q > Q_c$) скраћује дужину снежног смета у заветринској страни појаса, док се акумулација снега повећава на страни уз ветар. Појас испуњава и услов $Q_c > 2Q$ у случају екстремних зимских падавина, појас има 32 пута већи капацитет задржавања снега од неопходног. Резултати анализе протока ваздуха кроз модел појаса и процене формирања снежног наноса, добијени су помоћу нумеричког експеримента коришћењем метода рачунарске симулиране динамике флуида (слика 4). На основу услова средине подручја истраживања, брзина ветра износи $5,05 \text{ m s}^{-1}$. Ветар прелази преко горње површине појаса брзином већом од долазне брзине ветра, зато што се струјнице сабијају услед смањене површине попречног пресека који протиче кроз ваздух. На удаљености од 10 m на страни појаса уз ветар, долази до смањења брзине ветра на $\geq 4,0 \text{ m s}^{-1}$. Због смањења брзине ветра у овој зони може се очекивати почетак формирања снежног наноса. Непосредно иза појаса брзина ветра је око 3 m s^{-1} и почиње зона појаве вртлога који се у виду ваљака спуштају до површине. Серија хоризонталних вртлога

простире се све даље од појаса, у смеру струјања ваздуха, подижу се у висину и губи на јачини. Ефекат стварања зоне заштите, представља утицај појаса на струјање ваздуха и аеродинамичког момента понирања, где део вучних сила ветра које делују на појас успостављају турбулентан режим.



Слика 4. Анализа CFD за модел шумског заштитног појаса
Извор: аутор

4. Закључци

Зимски услови на путу карактеришу се појавом снежних наноса који неповољно утичу на режим саобраћаја и безбедност учесника у саобраћају. На основу анализе зимских метеоролошких података одређени су показатељи завејавања за подручје истраживања. Количина транспортованог снега износ $25,66 \text{ t m}^{-1}$, док у току зиме се најчешће јављају ветрови из правца југа са брзином ветра која износи $5,05 \text{ m s}^{-1}$.

Анализирана је способност шумског заштитног појаса, подигнутог уз локални пут за место Долово, да спречи завејавање пута. Одређени су елементи појаса од којих зависи ефикасност заштите. Фотографисањем појаса и обрадом фотографије помоћу одговарајућег софтвера, одређена је вредност оптичке порозности која износи 33%. На терену је мерена просечна висина појаса која износи 12,0 m, док растојање између редова износу 3,0 m са унутрашњим размаком око 2,5 m. Нумеричком анализом одређен је капацитет задржавања снег који износи $Q_c = 1646,34 \text{ t m}^{-1}$ и дужина снежног наноса са заветринске стране појаса (L). Већи капацитет задржавања у односу на количину транспорта снега ($Q > Q_c$) скраћује дужину снежног смета у заветринској страни појаса, док се акумулација снега повећава на страни уз ветар. Појас испуњава и услов $Q_c > 2Q$ у случају екстремних зимских падавина. Применом методе рачунарске симулације динамике флуида, приказан је сценарио у коме шумски заштитни појас представља препреку која пресеца ветар који носи снег и узрокује акумулацију снега у зони заштите у којој је брзина ветра смањена. На удаљености од 10 m на страни појаса уз ветар, долази до смањења брзине ветра на $\geq 4,0 \text{ m s}^{-1}$ и почетак формирања снежног наноса. Непосредно иза појаса брзина ветра је око 3 m s^{-1} где серија хоризонталних вртлога се простире све даље од појаса, у смеру струјања ваздуха, подижу се у висину и губи на јачини. Снежни нанос се формира већим делом на страни појаса уз ветар у зони брзине ветра $\geq 4,0 \text{ m s}^{-1}$, док ће се са заветринске стране појаса снежни нанос акумулирати у зони између појаса и пута у дужини од 10,5 m.

Може се закључити да је анализирани шумски заштитни појас ефикасан у заштити од завејавања локалног пута за Долово и да ће појас пружити вишедеценијску контролу снежних сметова.

Литература

- [1] Wyatt, G., D. Zomora, D. Smith, et al. (2012). Economic and Environmental Costs and Benefits of Living Snow Fences: Safety, Mobility, and Transportation Authority Benefits, Farmer Costs, and Carbon Impacts. Final report for the Minnesota Department of Transportation. MN/RC 2012-03.
- [2] Lashmet M (2013) Snow and ice control in New York State. Presentation from Lake George Park Commission Forum, April, 2013. New York State Department of Transportation, Office of Transportation Maintenance, Albany
- [3] Nordstrom K.F., Hotta S. (2004) Wind erosion cropland solutions in the USA: a review of problems and prospects. *Geoderma* 121:157-167
- [4] Kilaka, EK. 2015. The effects of windbreaks on the effectiveness of sprinkler irrigation systems, final master thesis, University of Canterbury Christchurch, New Zealand.
- [5] Heisler G.M., Dewalle D.R. (1988) Effects of windbreak structure on wind flow. *Agric Ecosystems Environ* 22/23: 41–69
- [6] Petrie J., Zhang K., Shehata M., (2019) Numerical Simulation of Snow Deposition around Living Snow Fences, Center for Environmentally Sustainable Transportation in Cold Climates, University of Alaska Fairbanks
- [7] Tabler, R. D. (1994): Design Guidelines for the Control of Blowing and Drifting snow. Strategic Highway Research Program. National Research Council, Washington, DC.
- [8] Tabler, R.D. (2000): Climatological analysis for snow mitigation in New York State. Tabler and Associates, Niwot, CO.
- [9] Kotlyakov, V. M., 1961: Results of study of the ice sheet in Eastern Antarctica. *Antarctic Glaciology*, Publ. 55, IAHS Press, 88–99.
- [10] Schmidt, R. A., 1986: Transport rate of drifting snow and the mean wind speed profile. *Bound.-Layer Meteor.*, 34, 213–241.
- [11] Pomeroy J. W.; Marsh P.; Gray D. M. (1997): Application of a distributed blowing snow model to the arctic, hydrological processes, vol. 11, 1451-1464
- [12] Liston, G. E., Haehnel, R. B., Sturm, M., Hiemstra, C. A., Bere zovskaya, S., and Tabler, R. D. (2007): Instruments and methods simulating complex snow distributions in windy environments using SnowTran-3D, *J. Glaciol.*, 53(181), 241–256.
- [13] Tabler, R.D. (2003). Controlling blowing and drifting snow with snow fences and road design. National Cooperative Highway Research Program Project 20-7(147). Tabler and Associates, Niwot, CO.
- [14] Raine, J. K. and D. C. Stevenson. 1977. Wind protection by model fences in simulated atmospheric boundary layer. *J. Industrial Aero.* 2:159-180
- [15] Loeffler A. E., Gordon A. M., Gillespie T. J. (1992) Optical porosity and windspeed reduction by coniferous windbreaks in Southern Ontario, Department of Environmental Biology and 2 Department of Land Resource Science, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada.
- [16] Heavey J.P., Volk T.A. (2014) Living snow fences show potential for large storage capacity and reduced drift length shortly after planting, Springer Science+Business Media Dordrecht 2014

POTENTIALS FOR ALIGNING TRANSPORT, SPATIAL AND DEVELOPMENT PLANNING AT THE REGIONAL LEVEL IN SLOVENIA

MSc Andrej Gulič

Urban Planning Institute of the Republic of Slovenia (UIRS), Trnovski pristan 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenia, <http://www.urs.si/>, andrejg@urs.si

Abstract: *The potentials for aligning transport, spatial, and development at the regional level in Slovenia are discussed in the article. In doing so, we focus primarily on assessing the possibility of linking and interweaving the contents of documents that are provided for in existing legislation and in legislation that is in the preparation phase. At the beginning, we present the general factors of differentiation and connection between the documents of the considered areas of planning. In the following, the emphasis is on the presentation of the substantive factors of differentiation and connection between the documents at the state level. In the next chapter, we introduce reader to the presentation of emerging technologies and transport services and their inclusion in spatial, development and transport planning in national documents and regional development programs. In the last part of the article, we present the final findings and proposals for the substantive integration of the preparation of spatial, development and transport planning documents at the regional level in Slovenia. The article was prepared in the framework of the CARE4CLIMATE project - boosting greenhouse gas emissions reduction by 2020 with a view to 2030 – promoting sustainable transport, energy efficiency, renewable energies and sustainable, climate protecting land use in the transition to low carbon society.*

Key words: *Project CARE4CLIMATE, spatial planning, development planning, transport planning, region, Slovenia.*

POTENCIJALI ZA USKLAĐIVANJE SAOBRAĆAJNOG, PROSTORNOG I RAZVOJNOG PLANIRANJA NA REGIONALNOM NIVOU U SLOVENIJI

Mr Andrej Gulič

Urbanistični inštitut Republike Slovenije (UIRS), Trnovski pristan 2, 1000 Ljubljana, Slovenija, <http://www.urs.si/>, andrejg@urs.si

Rezime: *U radu su razmatrani potencijali za usklađivanje saobraćajnog, prostornog i razvojnog planiranja na regionalnom nivou u Sloveniji. Pri tome se prvenstveno fokusiramo na procenu mogućnosti povezivanja i preplitanja sadržaja dokumenata koji su predviđeni postojećim zakonodavstvom i zakonodavstvom koje je u fazi pripreme. Na početku predstavljamo opšte faktore diferencijacije i povezanosti dokumenata razmatranih oblasti planiranja. U nastavku je akcenat na prikazu sadržajnih faktora diferencijacije i povezanosti dokumenata na državnom nivou. U narednom poglavlju upoznajemo čitaoca sa predstavljanjem novih tehnologija i saobraćajnih usluga i njihovim uključivanjem u prostorno, razvojno i saobraćajno planiranje u nacionalnim dokumentima i regionalnim razvojnim programima. U poslednjem delu rada predstavljamo konačne nalaze i predloge za suštinsku integraciju izrade prostornih, razvojnih i saobraćajnih planskih dokumenata na regionalnom nivou u Sloveniji. Rad je zasnovan na doprinosu datom u okviru projekta CARE4CLIMATE, koji je integralni projekat koji ima za cilj promovisanje smanjenja emisije gasova staklene bašte do 2020. godine sa pogledom do 2030. godine, kroz promociju održive mobilnosti, energetske efikasnosti, obnovljive energije i održivog korišćenja zemljišta u smeru tranzicije ka niskougljeničnom društvu.*

Ključne reči: *Projekat CARE4CLIMATE, prostorno planiranje, razvojno planiranje, planiranje saobraćaja, region, Slovenija.*

1. INTRODUCTION

In the paper the possibilities of connecting the three types of planning, spatial, developmental and transport, with an emphasis on the specifics determined by the regional level of examination are addressed. All three types of planning have a long tradition in Slovenia, which is implemented in laws, policies, strategies, plans and measures. Despite the many contact points and the intertwining of content, the integration of these types of planning in practice remains limited mainly to general and declarative definitions within individual documents. Each of the types of planning is the responsibility of another ministry, which affects the sectoral distribution of tasks, contents, and powers in the implementation of the planning process. The integration of planning contents of all three types does not take place within the framework of transparent management mechanisms which would also include representatives of various disciplines / sciences, but mainly in the way of coordination and consensus building between representative planning bodies. In such a situation, individual types of planning are poorly defined or even non-existent. For this reason, we propose working definitions of the terms planning, development planning, spatial planning and transport planning. We would like to

emphasize that the elements that define the concept of planning are in principle present in all three types of planning, so we do not specifically repeat them in the definitions.

Planning is a regulated and focused process based on scientific knowledge and experience, in which a particular entity or territorial community, based on the findings of the analysis of the situation and consideration of possible futures, defines the objectives to be achieved, measures, resources, time periods implementation and methods of monitoring and evaluating the achievement of objectives. The result of the planning is a valid and binding plan / strategy for the participating entities and / or territorial communities, which effectively manages the current and future targeted activities.

Development planning is a process in which natural assets and environmental elements are preserved and social and economic conditions are created in order to raise the standard of living and quality of life of the population for the present and future generations. The result of development planning is a development plan / strategy.

Spatial planning is a process in which, on the one hand, it lends spatial dimension of the economic, social, cultural, and ecological policies of society, and on the other hand, it contributes to their mutual coordination and balance. This results in a more rational and sustainable use of space. Spatial planning is at the same time a scientific discipline, administrative procedure and policy based on an interdisciplinary and comprehensive approach aimed at balanced development and organization of physical space in accordance with the development strategy. It is therefore an important factor in promoting sustainable development and improving the quality of life. The result of spatial planning is a spatial plan.

Transport planning is the process of ensuring the functioning of the existing and determining the future components of the transport system (transport infrastructure, means of transport, functional and spatial networks and traffic flows) in order to achieve sustainable access to employment centres, services and other activities according to current and future traffic demand. The role of transport planning is not only to respond to current and future transport demand, but also includes a traffic management that can effectively influence changes in travel habits, preferences and demand for passenger and freight transport services towards more sustainable mobility. There is a strong causal link between transport and spatial planning, which affects the ways in which space is used, as well as the scope, quality and efficiency of traffic flows, mobility, and accessibility. The result of transport planning is a transport plan / strategy.

The next chapter presents the factors of differentiation and integration between the documents of the considered types of planning. The text uses abbreviations for all titles of laws and development documents used at national and regional level, which are presented in the list of abbreviations used in Table 1.

Table 1. List of abbreviations used

Laws		
applicable law	Spatial planning act	SPA
applicable law	Act on the promotion of harmonious regional development.	APRD
draft law	Integrated Transport Planning Act	ITPA
Strategic development documents at the state level		
valid document	Spatial Development Strategy of Slovenia	SDRS
document in preparation	Spatial Development Strategy of Slovenia 2050	SDRS 2050
valid document	Slovenian development strategy 2030	SDS 2030
valid document	Transport Development Strategy of the Republic of Slovenia Until 2030	TDS 2030
document does not exist yet	national integrated transport strategy	NIPS
Strategic development documents at the regional level		
documents do not exist yet	regional spatial plans	RSP
documents in the adoption phase	regional development programmes	RDP
documents do not exist yet	regional integrated transport strategies	RITS

Source: (Gulič, 2022)

2. GENERAL FACTORS OF DISTINCTION AND SIMILARITY BETWEEN DOCUMENTS OF THE CONSIDERED TYPES OF PLANNING

2.1. General factors of distinction

Among the factors influencing the distinction / delimitation between the types of planning considered, we have included some general conditions that frame the preparation and implementation of documents. These conditions are the legal definition of the territorial framework and the period of validity of the document, the status of the legal basis and the existence of a superior strategic document at the state level.

There are significant differences between the documents considered, considering the selected general conditions. An appropriate legal basis exists for RSP and RDP while RITS is in preparation. The superior strategic document exists for the RSP (SDRS) and the RDP (SDS 2030), although it is slightly older for the RPP (SDRS, 2004) and the preparation of the new one (SDRS 2050) is delayed. The territorial framework in which the preparation and implementation of all three considered documents is envisaged is different. The preparation of RSP and RDP is envisaged within homogeneous development / statistical regions, while the preparation of RITS is envisaged within transport / problem regions, which are not defined by nominally defined limits but are the result of the assessment of each functional relationship. Differences between documents also exist given the time of their validity. While the time frame for RITS and RDP is seven years, for RSP it is about 15 years. The presented situation objectively complicates the conditions for achieving appropriate content connectivity and coherence between documents.

2.2. General factors of similarity

One of the general factors of similarity between the considered types of planning is the expressed need / requirement for the preparation of expert bases. In its most unambiguous form, this requirement is present in SPA, which defines that the preparation of the RSP is also based on appropriate expert bases provided by the draftsman and other spatial planning bodies for their area of competence. At the same time, it stipulates the obligatory preparation of two professional bases - urban and landscape design.

APRD does not unequivocally define that the preparation of the RDP is based on appropriate professional bases, but Article 9 of this Act states that the state body responsible for regional policy is also responsible for providing research bases in the field of regional development and care for the transfer of good practices.

Draft ITPA stipulates that the Ministry responsible for transport formulates expert proposals for amending regulations and adopting other measures. At the same time, the document highlights the role of the Integrated Transport Planning Council, which aims to ensure the coordination of expert solutions in the field of integrated transport planning.

Part of the opportunity for closer substantive integration in the preparation of the discussed documents can be found in the simultaneous and mutually coordinated preparation of expert bases.

3. SUBSTANTIVE FACTORS OF DISTINCTION AND SIMILARITY BETWEEN DOCUMENTS OF THE CONSIDERED TYPES OF PLANNING AT THE STATE LEVEL

In addition to identifying and assessing some general factors of distinction / similarity that frame the preparation and implementation of RSP, RDP and RITS, we were interested in the key substantive factors on which selected national development documents are based and to what extent they include or draw attention to content factors discussed in other strategic development documents at the state level. Due to the identified general differences between the considered documents, which are evidenced by differences in the duration of documents, differences in the procedural stages of their preparation, adoption and implementation, differences in their timing and the predominant absence of implementing documents operationalizing defined strategic directions and objectives, we decided to focus on the presentation and comparison of the selected set of strategic goals. We were interested in the extent to which the key strategic goals that ground an individual type of planning at the national level are (in)directly present in the national development documents of other types of planning discussed. For this purpose, for each type of planning discussed we prepared a set of key objectives, defined in strategic development documents at the state level, and qualitatively assessed the extent to which their content is present in the objectives of other types of planning.

3.1. Development planning at the national level - SDS 2030

Of the twelve development goals of SDS 2030, we identified six goals that can be found in most of the discussed spatial and transport planning documents. Of the 30 possible links between the objectives defined in the discussed development documents, we found the existence of 25 links, which in percentage amounts to approximately 83%. The highest level of content relatedness can be found in the nominal objectives of human health and the environment, the promotion of stable and efficient economic development and the sustainable management of natural resources. These are objectives that reflect the three key pillars of sustainable development: economic development, social development, and environmental protection. The relatively high degree of content interdependence of documents is encouraging, given the fact that SDS 2030 and other documents under consideration were not prepared in the same period of time. This indirectly speaks of the success of formal inter-ministerial coordination in which representatives of individual government departments and the public realize the possibility of changing and supplementing documents in the early stages of their preparation.

3.2. Spatial planning at the national level - SDRS and SDRS 2050

We dealt with all twelve goals of Slovenia's spatial development, which are set out in the current SDRS. We compared them with the objectives, and if this was not possible, with the guidelines / measures of other documents discussed. Of the 60 possible links between the objectives defined in the discussed development documents, we found the existence of 43 links, which in percentage amounts to approximately 71%. As expected, there is a high degree of content relatedness between the spatial development objectives defined in the SDRS and the SDRS 2050, some objectives in the SDRS 2050 are only slightly transformed or placed in a different content framework. A high level of content relatedness also exists between the spatial development goals and the development goals defined in SDS 2030. To a lesser extent, the content relatedness can be identified between SDRS and SDRS 2050 and the considered documents in the field of transport planning. It should be noted that transport planning documents lack mainly those spatial objectives that are not so relevant for transport planning.

3.3. Transport planning at the state level - TDS 2030 and NIPS

In the field of transport planning, we discussed a total of nine objectives, which are defined in the TDS 2030 and the NIPS. We compared these with the objectives, and if this was not possible, with the guidelines / measures of other documents discussed. Of the 45 possible links between the objectives defined in the debated development documents, we found the existence of 24 links, which in percentage amounts to approximately 55%. The goals of transport planning at the national level are to a lesser extent present in the goals of the discussed development and spatial planning strategic documents. At the same time, we find a lower degree of content relatedness between the two transport planning documents. From the review of the articulated goals, it can be seen that the NIPS proposal offers a certain paradigmatic change in the field of transport planning, which has not yet been expressed mainly in spatial planning documents and even less in the practice of their implementation. We have in mind two objectives (instrumentalized principles) of the NIPS: (1) prioritizing the better use of existing transport infrastructure and traffic management measures before investing in new infrastructure capacity, and (2) requiring transport infrastructure users to cover as much as possible of total external transport costs. In the current SDRS and the proposed SDRS 2050 in the field of transport infrastructure the emphasis is predominantly on construction, upgrading, reconstruction and modernization of transport infrastructure. The traffic management is not mentioned in both documents. The issue of external transport costs is mentioned in SDRS 2050 mainly in terms of their reduction, but not in terms of the requirement that users of transport infrastructure must cover the costs incurred as much as possible. There is no mention of this issue in the valid SDRS.

4. INCLUSION OF EMERGING TRANSPORT TECHNOLOGIES AND SERVICES IN SPATIAL, DEVELOPMENT AND TRANSPORT PLANNING

During the period of implementation of existing and preparation of new documents of spatial, development and transport planning at the national level, many new and rapidly developing technologies and services are emerging at the global and European level, as well as in Slovenia. We were interested in the extent to which they are present in the documents under consideration. In this paper, we focus on the following technologies / services: active mobility, vehicle sharing, driving and micro-transit sharing, electric road vehicles, autonomous vehicles, mobility as a service and teleworking. In addition to them, we also included the issue of mobility behaviour. In addition to the ones discussed, there are other important technologies / services that we have

not included in the discussion. These include e.g., logistics management, priority choice of mobility mode, tunnel roads and pneumatic pipe transport, etc. In the following, we briefly present a selection of new technologies / services and their conceptual definitions.

Active (non-motorized) mobility means walking and cycling and other forms of mobility that include movement (such as scooters, skateboards) (MOI, 2021: 2). The concept of active mobility also has equivalent synonyms as e.g., non-motorized mobility or human-driven mobility. These forms of mobility take place mainly on pedestrian and various types of cycling paths, along which there are usually also parking spaces. The positive effects of active mobility are expressed in improving the health of their users, reducing the volume of traffic and the consequent burden on the environment, achieving social justice goals, reducing the cost of building, and maintaining infrastructure for road transport.

Vehicle sharing refers to the rental of cars, bicycles and electric bicycles and scooters in order to replace private property over them. The positive effects of vehicle sharing are: greater choice of mobility, effective tackling of the first and last part of the route, reduction of traffic congestion, reduction of environmental pollution, reduction of transport costs, fairer access to jobs and other resources, who cannot afford to purchase and maintain a vehicle and create accessible mobility opportunities for those with disabilities (SUMC, 2021a).

Ride sharing and microtransit. Companies that enable the ride sharing such as e.g., Uber or Lyft use smartphone apps to provide personal mobility services. Microtransit uses vans and small buses to provide mobility services through group transport (e.g., GoOpti) (SUMC, 2021b). The effects of the mobility services in question are evidenced by the fact that they are: generally faster and more convenient compared to traditional public transport services, cheaper than taxi travel but also more expensive than public transport services (RideGuru, 2021). At the same time, in areas where they increase the volume of joint vehicle journeys, they consequently increase traffic congestion, traffic costs, accidents and emissions (Barrios et al., 2019). They cause mixed effects in the field of social justice. On the one hand, they provide an affordable mobility option for some low-income passengers, but with consequent impacts on reducing the number of public transport passengers, they contribute to reducing its efficiency and deteriorating its attractiveness and usability in the long run (Lawrence, 2018).

Electric road vehicles include battery electric bicycles, scooters, motorcycles, cars, buses, and trucks. Electric road vehicles reduce noise and air pollution (Reichmuth, 2020) and the external costs of producing and distributing fossil fuels (EA, 2020). The purchase of electric road vehicles is usually subsidized in the same way as the purchase of electricity at charging stations. Because their drivers do not pay the (fossil) fuel tax as drivers of internal combustion vehicles do, their use of road infrastructure is partially subsidized. Lower total costs of using electric road vehicles encourage an increase in the volume of their joint trips, which in turn has the effect of increasing traffic jams and increasing the costs of maintaining transport infrastructure and repairing damages due to traffic accidents. At the same time, such trends further encourage the processes of unsustainable dispersed settlement (Litman, 2021).

Autonomous (self-driving or robotic) road vehicles include motor vehicles (passenger cars, buses, trucks and local vans) with built-in systems that can independently operate the vehicle in traffic without the intervention of the driver. According to some optimistic forecasts, fifth-generation autonomous vehicles will be commercially available and legally allowed for use in some developed countries by the end of the 2020s but will initially have relatively high costs and limited capacity. Autonomous vehicles are not expected to become common and affordable to a wide range of users until the 2040s. Their development and implementation is expected to have a number of positive as well as negative externalities. Positive externalities include: increased traffic safety, increased road capacity and cost reduction, reduced parking costs, reduced energy and pollution consumption, support for increased vehicle sharing. Negative externalities include: increased costs of building and maintaining physical and digital infrastructure, risks to other road users and their potential use for criminal activities, increasing traffic problems, reducing affordable mobility opportunities, including walking, cycling and public transport (taken from Litman, 2022a). Despite the relative time lag between the development and introduction of autonomous mobility, some European countries (e.g., Germany, France, and Austria) have already developed strategies and action plans to accelerate its introduction into national transport systems (BMVI, 2015; GF, 2017; BMVIT, 2018).

Mobility as a service (mobility on demand) benefits mobile applications to provide integrated travel planning and payment for multiple modes of transport. A single digital mobility offer may include public transport, the sharing of rides, cars, bicycles and scooters, taxi transport, car rental, and vehicle parking and toll payment (ERTICO, 2019). The mobility in question increases the attractiveness of multimodal travel. It saves costs and

benefits for users and strives to improve accessibility by improving cheaper travel options. By influencing the reduction of car ownership and use, it can contribute to reducing traffic and parking congestion, infrastructure costs, accidents and pollution emissions. It supports the achievement of greater social inclusion by improving opportunities for disadvantaged groups. It encourages active forms of mobility and greater use of public transport. In this way, it reduces the total volume of travel by vehicle and promotes the implementation of the concept of compact settlements development. The biggest disadvantage of this type of mobility is that it raises privacy issues on the World Wide Web, namely (Wong et al., 2020).

Teleworking refers to telecommunications, which replace physical travel and include work from home, e-commerce (online sales, banking, and other commercial services), e-health (internet health services) and e-government (online public services) (Global Workplace Analytics, 2021). The positive effects of teleworking are reflected in reduced demand for commuting, increased use of active modes of transport and reduced congestion (Eldér, 2020; Bieser, 2021). On the other hand, the results of some studies point out that long-distance workers make more trips for other purposes, thus contributing to longer total distances travelled within the chosen time frame. At the same time, there are also claims that telecommuting affects the uncontrolled expansion of cities or suburbanization (de Abreu e Silva et al., 2018).

Mobility behaviour refers to the complex decision-making process of passengers before and during the trip regarding the choice of destination and mode of travel, the choice of route, the choice of time of departure and return, etc. Mobility behaviour is influenced by many factors. The influences of land use factors are especially important for our discussion. These include: location of the origin and destination of the trip, location of the destination according to the (regional) urban centre, density of the settlement area, proximity to various activities (employment, care, services), centrality of activities (share of jobs and other activities in central centres), interconnection of the transport network, development of infrastructure for active mobility, quality and accessibility of the public transport system, offer of public car parks and their management, mobility management that promotes more efficient travel activity, etc. (Litman, 2022b). In addition to the mentioned factors, mobility behaviour is also influenced by demographic and socio-economic characteristics of passengers (age, gender, income, health status, etc.), (non) ownership of a personal vehicle, travel distance, possibility to work remotely, etc. (de Abreu e Silva et al., 2018; Jing et al., 2018; Onderwater et al., 2019). Mobility behaviour is also strongly influenced by the preferences of the population. For decades, the prevailing preference for living in a single-family house on one's own land and with one's own garden close to nature within a (subjectively determined) acceptable distance to employment centres and care and service activities has prevailed in Slovenia. Slovenian public opinion polls in the period 1968-1998 showed that the most desirable location for a single-family house is in a small town near the town in a suburban settlement (Toš, 1997). Despite the fact that similar opinion polls have not continued in recent times, we can say with a high degree of certainty that the presented preferences are still largely relevant today. When choosing the location of housing, the price of the land is crucial, but not the possibility of access by public transport too. The realization of this preference is in the vast majority of cases associated with the only possible type of mobility - automobility.

Table 2 presents the results of the assessment of the inclusion of new technologies, services, and behaviour in the discussed documents of spatial, development and transport planning at the national level. For the SDRS, which was prepared in the period twenty years ago, we were not surprised by the absence of assessed technological and service innovations. We were surprised by their complete absence in the SDRS 2050, which is still in the preparation phase and contains long-term spatial development goals and orientations until 2050. They are mentioned only in general as new concepts of mobility. The importance of electric road vehicles is mentioned in SDS 2030. As can be seen from Table 2, most technological and service innovations in the field of mobility are included in the NIPS. Despite the fact that this is only a draft law and not an integrated transport strategy of the state, NIPS in its principles and explanations contains the most modern strategic content in the field of mobility.

Given that, except in the case of NIPS, the treatment of new technologies, services, and behaviour in the field of mobility is practically absent, we were interested in the situation at the regional level. Given that the RSP and RITS do not exist yet, we tried to determine the extent to which these factors are included in the draft RDPs 2021-2027 and recorded projects of regional importance. We reviewed draft RDPs and available recorded projects of 12 statistical / development regions. Table 3 shows the situation in this area.

Table 2. Presence of new technologies / services / behaviour in spatial, development and transport planning documents at the national level

	Spatial planning documents		Development planning document	Transport planning documents	
	SDRS	SDRS 2050	SDS 2030	TDS 2030	NIPS
Modern technologies / services / behaviour					
active mobility	-	-	-	-	+
vehicle sharing	-	-	-	-	+
ride sharing and microtransit	-	-	-	-	+
electric road vehicles	-	-	-	+	+
autonomous road vehicles	-	-	-	-	+
mobility as a service	-	-	-	-	-
teleworking	-	-	-	-	-
mobility behaviour	-	-	-	-	+

Legend: + (presence), - (absence) Source: (Gulič, 2022)

Table 3. Presence of new technologies / services / behaviour in regional development programs and recorded projects of regional importance for the period 2021 - 2027

	New technologies / services / behaviour							
	active mobility	vehicle sharing	ride sharing and microtransit	electric road vehicles	autonomous road vehicles	mobility as a service	teleworking	mobility behavior
RDP / projects development regions								
Gorenjska	- / ∅	- / ∅	- / ∅	+ / ∅	+ / ∅	+ / ∅	+ / ∅	- / ∅
JV Slovenija	- / ∅	- / ∅	- / ∅	+ / +	- / ∅	+ / ∅	- / ∅	- / ∅
Koroška	- / ∅	+ / ∅	- / ∅	- / ∅	- / ∅	- / ∅	- / ∅	- / ∅
LUR	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	- / -	+ / -	+ / -	- / -
Obalno-kraška	- / ∅	+ / ∅	- / ∅	+ / ∅	- / ∅	- / ∅	+ / ∅	- / ∅
Podravje	+ / -	+ / -	- / -	+ / -	- / -	- / -	- / -	- / -
Pomurska	- / ∅	- / ∅	+ / ∅	+ / ∅	- / ∅	- / ∅	- / ∅	- / ∅
Posavje	- / ∅	- / ∅	- / ∅	+ / ∅	- / ∅	- / ∅	- / ∅	- / ∅
P. - notranjske	- / -	- / -	- / -	+ / +	- / -	- / -	+ / +	- / -
Savinjska	- / ∅	- / ∅	- / ∅	- / ∅	- / ∅	- / ∅	- / ∅	- / ∅
S. Primorska	- / ∅	- / ∅	- / ∅	+ / ∅	- / ∅	- / ∅	+ / ∅	- / ∅
Zasavska	- / -	- / +	- / -	+ / +	- / -	- / -	- / +	- / -

Legend: + (presence), - (absence), ∅ (lack of available list of registered projects of regional importance) Source: (Gulič, 2022)

Table 3 shows that the level of inclusion of selected new technologies, services and behaviors in draft RDPs is generally higher than in the considered spatial, development and transport planning documents at the national level. Despite the fact that in most cases they are only mentioned or briefly presented mainly at the strategic level and less at the program / project level, this fact is encouraging because it shows that their drafters are generally aware of their importance in the time to come. At the same time, this indirectly indicates that it is possible to prepare high-quality and useful RDP content, despite the fact that it is not possible to rely entirely on existing national strategic documents, either because they do not yet exist or because they are obsolete and less useful as an instrument for guiding future development.

Contrary to what has been said, the RDP drafts are still strongly dominated by objectives and orientations that plan to modernize and build new transport (and other economic public) infrastructure, which is one of the key measures to promote regional development. The construction of new infrastructure generally has a high priority over improving the management of existing transport systems and their infrastructure. Despite the fact that mainly foreign authors (Spiekermann et al., 2006; Vickerman, 2007; Laird, 2014; Vickerman et al., 2016) have

shown in their studies that there is not only a one-way positive link between transport infrastructure planning and construction and economic development of the region, but this opinion is also strongly rooted in the way main stakeholders think and act at the national, regional and local levels. As we have already ascertained in previous chapters, the current SDRS and the proposed SDRS 2050 place emphasis above all on construction, upgrading, reconstruction and modernization of transportation infrastructure. The traffic management is not mentioned in both documents. Such an approach in the program / project form can also be traced in the draft RDPs for the period 2021-2027.

Improving transport accessibility through new transport infrastructure (eg highways / motorways, railways, etc.) in less developed and less accessible areas can contribute to faster economic development. However, the opposite can happen if a new modern transport link opens up a once less accessible region to compete with more efficient or cheaper suppliers in other regions. The new transport link can also increase the attractiveness of more remote urban / development centres and encourage an increase in daily commuting (mostly by car), while also encouraging the permanent emigration of the most productive part of the population from the less developed regions. What the impacts and processes will be in the real world depends on many objective (economic, social, demographic situation, quality, and effectiveness of structural assistance of the state and the EU, proximity to more developed areas at home and abroad, etc.) and subjective factors (organization, empowerment and will to act from the state, regions, local communities, civil society and professional organizations representatives).

The predominant focus on the planning and construction of transport (and other economic public) infrastructure at the regional level is also reflected in the high planned support for the construction of the electric vehicle charging stations infrastructure. Of all the modern technologies / services discussed, the greatest support was expressed for the above. Of the twelve RDPs, ten RDPs include infrastructure as a target / priority / measure. This is followed by teleworking (mentioned in five RDPs), vehicle sharing (mentioned in four RDPs), mobility as a service (mentioned in three RDPs). Active mobility and driving sharing and micro-transit are mentioned in two RDPs, while autonomous road vehicles are mentioned in only one RDP. The issue of sustainable mobility behaviour, which is becoming one of the key mechanisms for promoting sustainable mobility in developed countries, has not been included in any of the twelve RDPs for the period 2021-2027, either as an objective or as a priority or measure. It should be noted that the RDP is not the most appropriate planning instrument for creating the conditions for promoting sustainable mobility behaviour. In the first place, appropriate objectives, guidelines, and measures should be formulated in non-existent RITs as well as RSPs, especially in terms of addressing the impacts of land use factors on human mobility behaviour.

Nevertheless, in the concluding part of this chapter it should be pointed out that in most RDPs, at least at the strategic, if not at the program / project level, they emphasized the importance of many relevant topics such as: promoting sustainable mobility, public transport regulation, multimodality development, preparation integrated transport strategies, the establishment of regional mobility management centres, the promotion of the expansion of mobility based on the alternative fuel sources, etc. The RDP of Gorenjska region 2021-2027 can be highlighted as a positive example in this direction.

5. CONCLUDING REMARKS AND PROPOSALS FOR SUBSTANTIVE INTEGRATION OF THE PREPARATION OF SPATIAL, DEVELOPMENT AND TRANSPORT PLANNING DOCUMENTS AT THE REGIONAL LEVEL

Our discussion here can be completed with the following conclusions:

1. Considering the selected general conditions (legal definition of the territorial framework and period of validity of the document, the status of the legal basis and the existence of a superior strategic document at the state level) we found out that there are significant differences between the considered documents, which at the moment objectively embarrass the possibilities of their coordinated preparation.
2. Part of the opportunity for closer integration of the contents of the discussed documents can be found in the simultaneous and mutually coordinated preparation of expert bases.
3. The analysis of the presence / connection of key strategic goals justifying a particular field of planning in the national development documents of other addressed areas showed the greatest presence of development planning goals (83%), followed by spatial planning goals (71%) and finally transport planning goals (55%).
4. The analysis of the inclusion of emerging transport technologies and services in spatial, development and transport planning in national strategic documents showed a low level of their inclusion in all considered documents except the ITPA, which is currently only in draft form.

5. The analysis of the inclusion of emerging technologies and transport services in regional development programs has shown that the level of their inclusion is generally higher than in the considered spatial, development and transport planning documents at the national level.
6. The construction of new transport infrastructure as a means of solving current transport problems is generally much more valued by stakeholders at the national, regional, and local levels than the introduction and development of instruments for managing existing transport systems and their infrastructure.
7. The presentation and analysis of some previous experience in preparing expert bases for regional spatial plans showed that at the expert level there is appropriate knowledge, capacity, and experience to permeate the content of development, spatial and transport planning at all relevant territorial levels and for coordinated preparation of legally defined documents. On the other hand, it showed that, except at the declarative level, the willingness and ability of coordinated development planning and action in various sectoral areas by state institutions is significantly lower. The reasons for this can be found in the desire to maintain intact competencies and influence in each sector, in the tendency to implement cross-sectoral coordination in a political way beyond the existing official legal and administrative channels, in strengthening political influence within each sector and establishing opportunities for potential corruptive actions.

For the substantive integration of the preparation of spatial, development and transport planning documents at the regional level it would be very useful if certain conditions were met at the national level. These conditions are as follows:

1. Adoption of the Integrated Transport Planning Act (ITPA) as soon as possible.
2. Preparation of the National Integrated Transport Strategy (NIPS), which could also be carried out incrementally by restructuring, supplementing, and updating the contents of the existing current Transport Development Strategy of the Republic of Slovenia Until 2030 (TDS 2030) with new contents based on the purpose, goals, and principles of integrated transport planning in the draft Integrated Transport Planning Act (ITPA). In this way, the situation within the "transport sector" could first be improved to change the way of thinking about the topics addressed by the ITPA and the challenges posed by emerging technologies and mobility services.
3. Establishment of legal, managerial, organizational, and financial conditions for coordinated preparation of the state National integrated transport strategy (NIPS) and SDRS 2050 while updating SDS 2030.
4. Designation of a "suprasectoral" body within the Government of the Republic of Slovenia to lead the preparation / updating of all three state documents NIPS, SDRS 2050 and SDS 2030.
5. Providing conditions for the preparation of common comprehensive expert bases for all three mentioned state documents at the same time.
6. Establishment of a joint system of monitoring and evaluation of the implementation of objectives, guidelines, and measures of all three state documents, which also includes evaluation of planned and unforeseen trans-sectoral impacts that will arise in the process of their implementation.

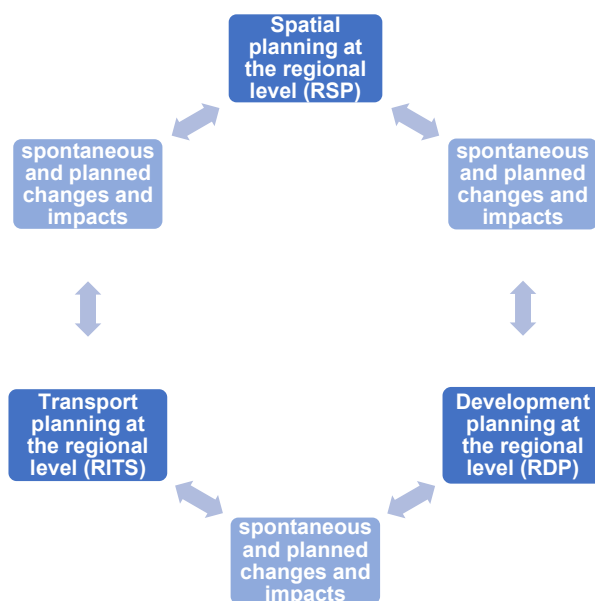


Figure 1. Schematic presentation of the integration of spatial, development and transport planning at the regional level

Source: (Gulič, 2022)

In the case that the above-mentioned conditions for various reasons could not be met, a pilot regional integrated transport strategy (RITS) could be prepared with one of the interested regional development agencies (eg in the framework of an appropriate international project). If the preparation of the pilot RITS took place at the same time as the preparation of the pilot regional spatial plan (RSP), the possibilities for delineating the content areas on the one hand and their intertwining on the other hand would be almost complete. The possible simultaneous preparation of both documents could be related to the current regional development programme (RDP) or to its supplementation, amendment, or preparation. The preparation of a pilot RITS and a pilot RSP, creating a cooperative approach and involving stakeholders and the general public, would create better conditions for understanding the need to change the prevailing way of thinking and acting, based primarily on tracking and meeting traffic demand and consequently construction (upgrading, reconstruction, modernization) of transport infrastructure.

In such circumstances, we propose the concept of integrating spatial, development and transport planning at the regional level, as can be seen from the very simplified schematic presented in Figure 1. All three types of planning are semantically and substantively equal. During the planning process within and between the individual disciplinary activity under consideration, spontaneous and planned changes and impacts take place, which influence the creation of mutually harmonized planning contents. The concept is based on the intertwining of content and relational components in a time dimension.

Within the CARE4CLIMATE project, we also prepared a proposal for a set of basic elements / factors of spatial, development and transport planning, which is not exhaustive and can be supplemented and changed in accordance with new knowledge and information and in accordance with expectations, wishes and plans of relevant stakeholders. Due to restrictions on the length of the article, they are not presented here. We are convinced that the simultaneous preparation and implementation of the pilot RSP and RITS in the selected statistical / development region and in connection with the RDP would decisively contribute to the effectiveness and efficiency of preparation of both documents and their usefulness in planning and programming processes at regional and local level. At the same time, it would make a significant contribution to the verification and upgrading of existing knowledge in all three planning areas as well as at the inter / metadisciplinary level.

Literature

- [1] de Abreu e Silva, J., Melo, P.C. 2018. Home telework, travel behavior, and land-use patterns: A path analysis of British single-worker households. *The Journal of Transport and Land use*, Vol. 11 No. 1, pp. 419-441.
- [2] Barrios, J.M., Hochberg, Y.V., Yi, H. 2019. The cost of convenience: ridesharing and traffic fatalities. Chicago Booth Research Paper No. 27.
- [3] Bieser, J.C.T., Vaddadi, B., Kramers, A., Höjer, M., Hilty, L.M. 2021. Impacts of telecommuting on time use and travel: A case study of a neighborhood telecommuting center in Stockholm. *Travel Behaviour and Society* Volume 23, April 2021, pp. 157-165.
- [4] BMVI - Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure (2015). Strategy for Automated and Connected Driving.
Available at: https://www.bmvi.de/SharedDocs/EN/publications/strategy-for-automated-and-connected-driving.pdf?__blob=publicationFile
(15.10.2021)
- [5] BMVIT - Ministry for Transport, Innovation and Technology Austrian (2018). Action Programme on Automated Mobility.
Available at: https://www.bmk.gv.at/en/topics/mobility/alternative_transport/automated/actionpackage.html
(15.10.2021)
- [6] Elldér, E. 2020. Telework and daily travel: New evidence from Sweden. *Journal of Transport Geography*, Volume 86, June 2020, 102777.
- [7] ERTICO – ITS Europe (2019). Mobility as a Service (MaaS) and Sustainable Urban Mobility Planning.
Available at: https://www.eltis.org/sites/default/files/mobility_as_a_service_maas_and_sustainable_urban_mobility_planning.pdf
(20.10.2021)
- [8] GF - Gouvernement Française (2017). Stratégie nationale de développement de la mobilité routière automatisée 2020-2022.

- Available at: https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/20171_strategie-nationale-vehicule%20automatise_web_0.pdf
(15.10.2021)
- [9] Global Workplace Analytics (2021). Global Workplace Analytics. Available at: <https://globalworkplaceanalytics.com/>
(15.11.2021)
- [10] Government Office for Development and European Cohesion Policy (2017). Slovenian development strategy 2030. Available at: https://www.gov.si/assets/vladne-sluzbe/SVRK/Strategija-razvoja-Slovenije-2030/Strategija_razvoja_Slovenije_2030.pdf
(27.09.2021)
- [11] Gulič, A. 2022. *Možnosti povezovanja prostorskega, razvojnega in prometnega načrtovanja na regionalni ravni / Possibilities for integrating spatial, development and transport planning at the regional level*. CARE4CLIMATE project. Urban Planning Institute of the Republic of Slovenia, Ljubljana.
- [12] Jing, P., Zhao, M., He, M., Chen, L. 2018. Travel Mode and Travel Route Choice Behavior Based on Random Regret Minimization: A Systematic Review. *Sustainability* 2018, 10(4), 1185.
- [13] Laird, J., Nash, C., Mackie, P. 2014. Transformational transport infrastructure: cost-benefit analysis challenges. *Town Planning Review*, 85 (6). 709 - 730 (21).
- [14] Lawrence, M. (2018). Uber and the labor market - Uber drivers' compensation, wages, and the scale of Uber and the gig economy. Economic Policy Institute. Washington, DC. Available at: <https://files.epi.org/pdf/145552.pdf>
(15.10.2021)
- [15] Litman, T. (2021). Clean Vehicles Versus Vehicle Travel Reductions: Better Transportation Emission Reduction Planning. Planetizen. Available at: <https://www.planetizen.com/blogs/114511-clean-vehicles-versus-vehicle-travel-reductions-better-transportation-emission#:~:text=Because%20cleaner%20vehicles%20generally%20have,%2Dmiles%2010%2D30%25.>
(19.10.2021)
- [16] Litman, T. (2022a). Autonomous Vehicle Implementation Predictions - Implications for Transport Planning. Available at: <https://www.vtpi.org/avip.pdf>
(15.02.2022)
- [17] Litman, T. (2022b): Land Use Impacts on Transport: How Land Use Factors Affect Travel Behavior. Available at: <https://www.vtpi.org/landtravel.pdf>
(30.01.2022)
- [18] MESP - Ministry of the Environment and Spatial Planning of the Republic of Slovenia (2004). Spatial Development Strategy of Slovenia. Ljubljana, Slovenia. Available at: https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Publikacije/0e22a8ed69/sprs_slo.pdf
(24.10.2021)
- [19] MESP - Ministry of the Environment and Spatial Planning of the Republic of Slovenia (2021). Spatial Development Strategy of Slovenia 2050. Ljubljana, Slovenia. Available at: https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Dokumenti/Prostorski-razvoj/SPRS/SPRS-2050_gradivo-za-javno-razpravo.pdf
(25.09.2021)
- [20] Mladenovič, L. et al. 2022. *CARE4CLIMATE Boosting greenhouse gas emissions reduction by 2020 with a view to 2030 – promoting sustainable transport, energy efficiency, renewable energies and sustainable, climate protecting land use in the transition to low carbon society*. LIFE Programme 2014 -2020. Urban Planning Institute of the Republic of Slovenia, Ljubljana.
- [21] MOI - Ministry of infrastructure of the Republic of Slovenia (2017). Transport Development Strategy of the Republic of Slovenia Until 2030. Available at: <https://www.gov.si/assets/ministrstva/Mzi/Dokumenti/Strategija-razvoja-prometa-v-Republiki-Sloveniji-do-leta-2030.pdf>
(21.12.2021)
- [22] MOI - Ministry of infrastructure of the Republic of Slovenia (2021). Integrated Transport Planning Act - Draft. Available at: <https://e-uprava.gov.si/drzava-in-druzba/e-demokracija/predlogi-predpisov/predlog-predpisa.html?id=12158>
(15.8.2021)
- [23] Onderwater, M., Boisjoly, G., El-Geneidy, A. 2019. Influence of Travel Behavior, Personal Preferences, and Lifestyle on Perceived Convenience to Amenities among Calgary Residents. *Transportation Research Record* 2019, Vol. 2673(8) 508–522.
- [24] RideGuru (2021). Resources.

Available at: <https://ride.guru/>
(23.10.2021)

- [25] Spiekermann, K., Wegener, M. (2006). Accessibility and Spatial Development in Europe. Scienze Regionali Vol. 5 – n. 2, 2006.
Available at: https://www.researchgate.net/profile/Michael-Wegener-3/publication/254415069_Accessibility_and_spatial_Development_in_Europe/links/0a85e534f91641b4c1000000/Accessibility-and-spatial-Development-in-Europe.pdf
(15.02.2022)
- [26] SUMC – The Shared-Use Mobility Center (2021a). What is Shared Mobility?
Available at: <https://sharedusemobilitycenter.org/what-is-shared-mobility/>
(30.9.2021)
- [27] Toš, N. 1997. *Vrednote v prehodu I. Slovensko javno mnenje 1968 - 1990*. Inštitut za družbene vede, FDV. Ljubljana.
- [28] Vickerman, R. (2007). Recent Evolution of Research into the Wider Economic Benefits of Transport Infrastructure Investments. OECD and International Transport Forum - Joint Transport Research Centre. Discussion Paper No. 2007-9, December 2007.
Available at: https://read.oecd-ilibrary.org/transport/the-wider-economic-benefits-of-transport/recent-evolution-of-research-into-the-wider-economic-benefit-of-transport-infrastructure-investments_9789282101834-3-en#page1
(12.02.2022)
- [29] Vickerman, R., Chen, C. (2016). Can transport infrastructure change regions' economic fortunes? Some evidence from Europe and China. *Regional Studies*, Volume 51, 2017 - Issue 1: 50th Anniversary Special Issue.
Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00343404.2016.1262017>
(13.02.2022)
- [30] Wong, Y.Z., Hensher, D.A., Mulley, C. 2020. Mobility as a service (MaaS): Charting a future context. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Volume 131, January 2020, pp. 5-19.