

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај комисије за оцену докторске дисертације кандидата
Александра Сенића, дипл. грађ. инж.

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета Универзитета у Београду бр. 176/11-24 од 28.04.2025. године именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Александра Сенића, дипл. грађ. инж, под насловом:

**ХИБРИДНИ СИСТЕМ ЗА КВАНТИФИКАЦИЈУ И УПРАВЉАЊЕ РИЗИЦИМА НА
ПРОЈЕКТИМА ПУТНЕ ИНФРАСТРУКТУРЕ**

Наслов на енглеском језику:

**HYBRID SYSTEM FOR RISK QUANTIFICATION AND MANAGEMENT ON ROAD
INFRASTRUCTURE PROJECTS**

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала, Комисија је сачинила следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Подаци о процедури пријављивања и израде дисертације

На седници Катедре за управљање пројектима у грађевинарству одржаној 20.06.2024. Александар Сенић је јавно излагао предложену тему докторске дисертације (Приступни рад) под насловом „Хибридни систем за квантификацију и управљање ризицима на пројектима путне инфраструктуре“. Након излагања кандидата и давања одговора на постављена питања, Катедра је једногласно донела одлуку да се Приступни рад прихвати и да се кандидату омогући пријава теме докторске дисертације.

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета бр. 176/3 од 27.06.2024. године, одређена је Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације у саставу: в.проф. Зоран Стојадиновић, ментор, проф. др Ненад Иванишевић, проф. др Милош Ковачевић и проф. др Милош Кнежевић (Универзитет Црне Горе, Грађевински факултет у Подгорици). Позитиван извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације усвојен је на седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета одржаној 26.09.2024. године (одлука бр. 176/6 од 27.09.2024. године). Веће научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду на седници одржаној 05.11.2024. (одлука бр. 61206-3593/2-24 од 05.11.2024. године) дало је сагласност на одлуку Наставно-научног већа грађевинског факултета о прихватању теме докторске дисертације кандидата Александра Сенића под називом „Хибридни систем за

квантификацију и управљање ризицима на пројектима путне инфраструктуре“ и одређивању проф др Зорана Стојадиновића за ментора.

Кандидат је урађену докторску дисертацију предао Служби за студентска питања Грађевинског факултета 31.03.2025. године. Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета бр. 176/11-24 од 28.04.2025. године, именована је Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата у следећем саставу:

1. Проф. др Ненад Иванишевић, дипл. грађ. инж.
Универзитет у Београду, Грађевински факултет
2. В.Проф. др Горан Младеновић, дипл. грађ. инж.
Универзитет у Београду, Грађевински факултет
3. Проф. др Милош Ковачевић, дипл. ел. инж.
Универзитет у Београду, Грађевински факултет
4. Проф. др Милош Кнежевић, дипл. грађ. инж.
Универзитет Црне Горе, Грађевински факултет
5. Проф. др Небојша Икодиновић, дипл. мат.
Универзитет у Београду, Математички факултет

1.2. Научна област дисертације

Тема докторске дисертације кандидата Александра Сенића припада научној области Грађевинарство и ужој научној области Менаџмент, технологије и управљање пројектима у грађевинарству, за коју је матичан Грађевински факултет, Универзитета у Београду.

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета бр. 176/3 од 27.06.2024. године, за ментора је именован наставник на Катедри за управљање пројектима Грађевинског факултета Универзитета у Београду в.проф. др Зоран Стојадиновић, дипл.грађ.инж.

Радови публиковани у међународним часописима који квалификују ментора в. проф. др Зорана Стојадиновића за вођење докторске дисертације су:

1. Simić, N., Ivanišević, N., Nedeljković, Đ., Senić, A., **Stojadinović, Z.**, & Ivanović, M. (2023). Early Highway Construction Cost Estimation: Selection of Key Cost Drivers. Sustainability, 15(6), 5584. <https://doi.org/10.3390/su15065584> [M22]
2. Babović, Z., Bajat, B., Barac, D. et al. Teaching computing for complex problems in civil engineering and geosciences using big data and machine learning: synergizing four different computing paradigms and four different management domains. J Big Data 10, 89 (2023). <https://doi.org/10.1186/s40537-023-00730-7> [M21a]
3. Babović, Z., Bajat, B., Đokić, V. et al. Research in computing-intensive simulations for nature-oriented civil-engineering and related scientific fields, using machine learning and big data: an overview of open problems. J Big Data 10, 73 (2023). <https://doi.org/10.1186/s40537-023-00731-6> [M21a]
4. Ivanović, M. Z., Nedeljković, Đ., **Stojadinović, Z.**, Marinković, D., Ivanišević, N., & Simić, N. (2022). Detection and In-Depth Analysis of Causes of Delay in Construction Projects: Synergy between Machine Learning and Expert Knowledge. Sustainability, 14(22), 14927. <https://doi.org/10.3390/su142214927> [M22]
5. **Stojadinović, Z.**, Kovačević, M., Marinković, D. and Stojadinović, B. „Rapid earthquake

- loss assessment based on machine learning and representative sampling“, *Earthquake Spectra*, 2022, 38, 1, 152-177, <https://doi.org/10.1177/87552930211042393> [M21]
6. **Stojadinović, Z.**, Božić, M., Nadaždi, A. “Development and Implementation of Evaluation Framework for Quality Enhancement of Outcome-Based Curriculum“, *International Journal of Engineering Education*, 2021, 37, 2, 397-408 [M23]
 7. Dimitrijević, B., **Stojadinović, Z.**, Marinković, D., Dimitrijević, M.: Influence of structural system on the construction time and cost of residential projects, *Građevinar*, 71 (2019) 8, str. 681-693, avg. 2019., Zagreb, Hrvatska, UDK 624+69(05)=862, ISSN (on line): 1333-9095, DOI: <https://doi.org/10.14256/JCE.2315.2018>, (IF 0,515) [M23]
 8. Dimitrijević, B., **Stojadinović, Z.**, Milošević, I., Dimitrijević, M.: Investment strategy for ensuring quality of finishing works on residential buildings, *Građevinar*, 67 (2015) 5, str. 451-460, 2015, Zagreb, Hrvatska, DOI: 10.14256/JCE.1098.2014, (IF 0,515) [M23]
 9. **Stojadinović, Z.**, Marinković, D., Ivković, B.: „Human resource performance measurement framework for construction projects and companies“, *Технички вјесник/Technical Gazette*, vol. 21 бр. 1 (2014), стр. 69-78, Осигек, Хрватска [M23]
 10. Marinković D., **Stojadinović Z.**, Ivanišević N. (2013) „Work cycle based scheduling“, *Građevinar*, Volume 65, Issue 11, pp. 993—1002, <https://doi: 10.14256/JCE.845.2013> [M23].

1.3. Биографски подаци о кандидату

Александар Сенић рођен је 13.12.1978. године. Живи у Вишевцу, општина Рача. Грађевински факултет Универзитета у Београду, одсек за хидротехнику, уписао је 1997. године, а дипломирао 2002. као студент са највишим просеком у генерацији.

Члан је Инжењерске коморе Србије, поседује лиценце за одговорног пројектанта и одговорног извођача радова. Од 2009. године стални је судски вештак у области грађевинарства пред Вишим судом у Београду. Запослен је на Грађевинском факултету у Београду од 2010. године, као асистент-студент докторских студија.

На докторским академским студијама на Грађевинском факултету, одсек за менаџмент, технологију и информатику у грађевинарству, положио је све испите са просечном оценом 10,00. Аутор је и коаутор шест научно-истраживачких радова из области управљања ризицима у грађевинским пројектима, објављених у међународним часописима на SCI листи и индексираним у SCOPUS-у. Од тога, први је аутор у четири рада.

Од 2017. године обавља дужност директора Сектора за управљање изградњом у привредном друштву „Коридори Србије“, где непосредно руководи реализацијом више од 50 инфраструктурних пројеката. До сада је, под његовим руководством, изграђено и пуштено у саобраћај 580,2 километра државних путева првог реда, а у изградњи је још 454,4 километра. Укупна вредност до сада реализованих инвестиција износи 4,38 милијарди евра.

Члан је више домаћих и међународних удружења, укључујући Српски пословни клуб „Привредник“, PADI (Professional Association of Diving Instructors) и MENSA International – London. Добитник је више признања и одликовања, међу којима се издвајају: Орден Светог Саве (додељен од стране Патријарха српског г. Порфирија), Орден Светих новомученика крагујевачких, Орден Војда Карађорђа и Златни ловачки орден. Активно говори и пише енглески језик. Отац је четворо деце.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Александра Сенића под насловом „Хибридни систем за квантификацију и управљање ризицима на пројектима путне инфраструктуре“ садржи укупно 340 страна, од којих је основни текст на 235 страна, а 105 страна су референце, прилози и изјаве. Дисертација је написана ћиричним писмом на српском језику и подељена је у осам поглавља:

1. Увод;
2. Преглед домаће и стране литературе;
3. Методолошки оквир за развој хибридних модела;
4. Формирање базе података;
5. Припрема и развој хибридног модела;
6. Приказ и обрада резултата примене модела;
7. Анализа резултата и дискусија;
8. Примена на новим пројектима и препоруке за будуће правце истраживања.

Дисертација садржи 30 графичких елемената на којима су приказани дијаграми и цртежи и 66 табела. Списак цитиране литературе садржи 249 наслова који представљају детаљан преглед досадашњих истраживања у области дисертације.

На почетку дисертације дат је списак скраћеница које су коришћене, резиме на српском и енглеском језику са кључним речима и садржај. Биографија аутора дата је на крају дисертације.

Дисертација је технички обликована према Упутству о облику и садржају докторске дисертације која се брани на Универзитету у Београду из 2019. године. Садржи обавезна поглавља и обрасце: изјава о ауторству, изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и изјава о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом, уводном поглављу докторске дисертације представљен је шири контекст истраживања који се односи на проблематику управљања ризицима у реализацији инфраструктурних пројеката. У овом поглављу су описана ограничења постојећих метода управљања ризицима и наглашена је потреба за развојем новог, хибридног приступа који ће омогућити прецизнију идентификацију и ефикаснију контролу ризика. Такође, у складу са дефинисаним проблемом постављене су истраживачке хипотезе и циљеви. На крају поглавља приказан је општи осврт на структуру докторске дисертације.

У другом поглављу дата су теоријска разматрања и преглед домаће и стране литературе која се односи на управљање ризицима на пројектима путне инфраструктуре, са посебним освртом на методе и моделе који омогућавају ефикаснију идентификацију, процену, превенцију и управљање ризицима. Поглавље почиње представљањем теоријског оквира и разматрањем савремених методолошких приступа. Истраживање се надаље сужава на домен анализе који укључује фази логичке системе, вишекритеријумске анализе и остале

квантитативне моделе, који су значајни за предвиђање ризика и доношење одлука на инфраструктурним пројектима. Поглавље се завршава анализом постојећих истраживања из домаћих и међународних извора, са освртом на могућности даљег унапређења досадашњих приступа и истиче се потенцијал за развој напреднијег, интегрисаног система управљања ризицима који би омогућио бољу предикцију и ублажавање негативних ефеката ризика на пројектима путне инфраструктуре.

У трећем поглављу представљен је методолошки оквир за развој хибридних модела за квантификацију и управљање ризицима на пројектима путне инфраструктуре. У складу са доприносима, поглавље је подељено у два дела. Поглавље почиње представљањем целокупног методолошког оквира и дијаграмом који приказује кључне фазе и кораке у развоју хибридног система, укључујући дефинисање параметара, идентификацију ризика и мера превенције, као и избор одговарајућих аналитичких модела. Затим је представљен процес формирања три коефицијента комплексности који интегришу техничке, уговорне као и аспекте окружења у циљу дефинисања сложености пројеката, што је коришћено као улазни податак у моделима. У другом је детаљније описано емпиријско истраживање које је подразумевало примену Delphi методе, експертских интервјуа, панел дискусија и анкета експерата, ради идентификације и процене релевантних ризика, мера превенције и кључних пројектних параметара. Завршни део поглавља представљају резултати емпиријског истраживања у виду листа релевантних ризика, мера превенције и параметара пројекта које су дефинисане у сврху формирања базе података.

Четврто поглавље суштински представља почетни корак при развоју предложеног модела за квантификацију и анализу ризика на пројектима путне инфраструктуре. У првом делу поглавља описан је систематичан процес прикупљања и обраде података са реализованих инфраструктурних пројеката, укључујући уговорне и техничке информације као што су временски оквири, трошкови и пројектне карактеристике. Након детаљне систематизације и провере валидности прикупљених података, формиране су две базе: једна за регистроване штетне догађаје и њихов утицај на повећање цене и продужетак рокова, и друга за најзначајније параметре пројеката који утичу на комплексност и реализацију пројеката. У другом делу поглавља извршена је интеграција наведених база у јединствену, свеобухватну базу података, која служи као основа за развој и примену предиктивних модела. Поглавље се завршава приказом структуре формиране јединствене базе, као и прегледом дескриптивне статистике и детаљном анализом идентификованих штетних догађаја, чиме је створен темељ за даље истраживање и примену модела у управљању ризицима.

У петом поглављу описани су кључни кораци у припреми и развоју хибридног система за предикцију и управљање ризицима на пројектима путне инфраструктуре. У почетном делу поглавља дефинисан је поступак квантификације појединачних ризика и њиховог утицаја на продужење рока изградње (ЕоТ) и увећање трошкова (ICP), просечан број појављивања, као и поређење и оцене ризика уз примену експертских метода и статистичких формула. Следи развој система за процену ЕоТ, ICP и ризика, заснованих на ТСК (Такаги-Сугено-Канг) фази логици. Након тога су развијени и тестирани модели машинског учења за предикцију вредности ICP, при чему су као улазне варијабле коришћени утврђени коефицијенти комплексности пројеката. Разматрани су различити алгоритми, укључујући Random Forest, XGBoost, LightGBM и неуронске мреже, а евалуирана је и њихова успешност. Развијен је још један ТСК модел за потребе поређења резултата. На тај начин су издвојени најуспешнији модели који имају потенцијал за практичну примену у управљању пројектима. У завршном делу поглавља представљен је поступак приоритизације превентивних мера у циљу ублажавања идентификованих ризика, уз примену

вишекритеријумских метода заснованих на релативној важности мера и њиховом утицају на смањење последица. Поглавље се завршава интеграцијом свих делова у функционалан систем који омогућава инжењерима, менаџерима и доносиоцима одлука да, на основу улазних карактеристика пројекта, добију конкретну процену ризика и препоруке за мере превенције.

Шесто поглавље доноси систематичан приказ резултата примене хибридног система за процену и управљање ризицима на пројектима путне инфраструктуре. У уводном делу су приказани резултати квантификације ризика на пројектима путне инфраструктуре, чиме је омогућена прецизна анализа њиховог утицаја на ЕоТ и ИСР. Прецизност у квантификацији и систематизација резултата омогућава идентификацију пет најзначајнијих ризика, који имају највећи утицај на продужење рокова и увећање трошкова, чиме се обезбеђује валидан аналитички основ за све наредне сегменте поглавља. Затим је приказана примена ТСК фази логичког система за предвиђање ЕоТ и ИСР, на основу 10 параметара пројекта. Приказана је структура модела, креираног у Matlab-у, укључујући дефинисање функција припадности и фази правила, као и визуелизација улазно-излазних односа. Валидирање модела извршено је поређењем добијених резултата, који су упоређени са подацима са три реализована пројекта. Просечно одступање износило је 7,6% за ИСР и 10,2% за ЕоТ. Након тога су приказани резултати примене модела за предикцију ризика, ЕоТ и ИСР на основу три коефицијента комплексности пројекта, добијена агрегирањем техничких, уговорних и параметара окружења. Развијени ТСК систем има три улазне и седам излазних променљивих: ИСР, ЕоТ и пет кључних ризика, који су идентификовани у уводном делу поглавља. Вредности модела упоређене су са резултатима три реализована пројекта, уз просечно одступање од 4,41% за ИСР и 4,79% за ЕоТ. Одступања код ризика била су већа, у распону од 5% до 17%. Примена три коефицијента комплексности пројекта је извршена и кроз наредни модел, који је развијен у циљу упоредне анализе у односу на претходне приступе и укључује поређење са класичном фазом логиком и методама машинског учења. Улазне променљиве модела су три коефицијента комплексности (технички, уговорни и параметри окружења), док су излазне променљиве вероватноће појаве седам група ризика, посебно за главне и секундарне ризике. Модел омогућава идентификацију ризика на почетку реализације пројекта, на основу агрегираних показатеља, без потребе за појединачним уносом штетних догађаја. Резултати потврђују адекватност примене концепта коефицијената комплексности пројекта, али истовремено показују и да је за примену алгоритама машинског учења неопходно користити податке на нивоу појединачних ризичних догађаја, а не укупних вредности на нивоу пројекта. Као најзначајнији део овог поглавља представљени су резултати модела, заснованог на машинском учењу, са циљем идентификације ризика који највише утичу на увећање уговорене цене (ИСР), на основу коефицијената комплексности пројекта и података о појединачним штетним догађајима. Укупно је анализирано преко 1.100 евидентираних случајева из пројекта путне инфраструктуре, при чему је предикција ИСР коришћена као посредна функција ради процене значаја улазних променљивих. Најбоље резултате остварио је XGBoost модел са Median-normalized MAE = 0,04 и Median-centered $R^2 = 0,73$, што представља највиши степен објашњене варијансе међу свим тестираним приступима. Захваљујући интерпретабилности модела, омогућено је поуздано рангирање улазних променљивих према њиховом утицају на ИСР, чиме је потврђена методолошка исправност приступа и оправданост примене машинског учења на подацима са појединачних штетних догађаја. Метод најближих суседа (KNN) примењен је као унапређена верзија модела, заснована на сличности пројекта, при чему је најнижа просечна релативна грешка у процени ИСР износила 13,67% за три најближа суседа, што представља значајно побољшање

у односу на иницијални генерализовани модел чија је грешка била 29,85%. Упоредна анализа резултата, добијених применом ТСК и XGBoost модела, показала је висок степен усклађености у идентификацији најзначајнијих ризика за ICP, уз индекс преклапања од 0,8 до 0,9 и Spearman-ову корелацију од 0,68 до 0,81. Ови резултати потврђују поузданост оба модела и валидност методолошког оквира за процену и рангирање ризика на основу комплексности пројеката. Као врхунац овог истраживања и сврха дефинисања хибридног система, приказани су резултати приоритизације превентивних мера, уз примену вишекритеријумске анализе и квантификације ефеката мера, појединачно и комбиновано. Преко модела XGBoost идентификовани су ризици са највећим утицајем на ICP, а за сваки је израчунат ефекат мера на смањење очекиваног трошковног одступања. Формализацијом комбинованог утицаја превентивних мера и повезивањем са индивидуалним ICP вредностима, добијене су конкретне вредности редукције ICP за три реална пројекта, при чему су уочени ефекти смањења од 27% до 97%, у зависности од броја и комбинације мера. Резултати показују да структурирано дефинисане и приоритетно примењене мере имају значајан и квантитативно доказан утицај на ублажавање ризика, чиме се потврђује ваљаност предложене методологије у реалним условима управљања пројектима.

Седмо поглавље представља интегративну синтезу свих резултата дисертације, са фокусом на верификацију методолошких приступа и потврду хипотеза кроз емпиријску анализу. Извршена је квантификација 56 ризика и анализа 25 параметара на 28 пројеката, што је омогућило формирање коефицијената комплексности и примену хибридних модела за предикцију ЕоТ, ICP и вероватноће појаве ризика. Резултати показују супериорност ТСК фази логике у условима ограничених података и стабилност њене примене у односу на класичне фази системе и моделе машинског учења, који захтевају веће скупове података за поуздане резултате. Добијене вредности Median-centered R^2 за XGBoost модел (до 0,73) потврђују применљивост машинског учења у идентификацији кључних ризика на нивоу штетних догађаја, док су резултати вишекритеријумске анализе омогућили приоритизацију превентивних мера и квантитативну процену њиховог утицаја на ICP. Финална интеграција модела показује да системска примена мера превенције, заснована на резултатима хибридних модела, омогућава значајно смањење трошкова и ризика, чиме се успоставља потпуно оперативан оквир за квантификовано управљање ризицима у пројектима путне инфраструктуре.

Осмо поглавље обухвата практичну примену развијених модела, верификацију резултата на новим пројектима и потврду свих постављених хипотеза. Представљен је алгоритам за примену хибридног модела у реалним условима, уз доказану применљивост и ефективност у раним фазама пројекта. Истраживање је потврђено кроз пет SCI публикација, а формулисане су и конкретне препоруке за будући развој модела, укључујући IoT, BIM и динамичке системе управљања ризицима.

Након овог поглавља дат је списак коришћене литературе и седам прилога, који су означени словима А до Е. У прилозима А, Б и В приказани су документи који су коришћени приликом спровођења емпиријских истраживања - експертских интервјуа, панела, оцењивања и анкета. У Прилогу Г приказана је структура обједињене базе података, у којој су представљени сви параметри пројеката, осим оних које, због важећих прописа о заштити поверљивости уговорних података, није било могуће приказати. У Прилогу Д је дата детаљна табела, са свим подацима о параметрима на анализираним пројектима, док је у прилогу Ђ приказан хипотетички пример једног инфраструктурног пројекта, који садржи 20 штетних догађаја. У прилогу Е налази се графички приказ функција припадности, које су коришћене за фазификацију улазних променљивих у оквиру ТСК фази модела.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација Александра Сенића обрађује једно од најактуелнијих питања у области управљања инфраструктурним пројектима – системско предвиђање утицаја ризика и приоритизација мера превенције на новим пројектима путне инфраструктуре. Истраживање је засновано на развоју хибридног система, који интегрише више моделских компоненти – фази логичке системе типа ТСК, алгоритам XGBoost и експертске оцене – у циљу квантификације ризика који доводе до продужења рока (ЕОТ) и повећања уговорене цене (ICP), као и идентификације најкритичнијих ризика који захтевају превентивну интервенцију.

Савременост рада огледа се у иновативној комбинацији комплементарних метода – фази логике, машинског учења и експертских оцена – које су интегрисане у јединствен систем способан да анализира комплексне пројектне ситуације и предложи конкретне мере превенције. Такав приступ омогућава објективну квантификацију ризика, поуздано предвиђање њиховог утицаја на пројекат и систематску идентификацију ризика од највећег значаја, што представља значајан искорак у односу на традиционалне приступе који се ослањају искључиво на стручну процену. Посебну вредност представља ослањање на обиман скуп података – 28 реализованих пројеката са укупно 1269 идентификованих штетних догађаја – и дефинисање 25 параметара, који објективно описују техничко-организациону комплексност инфраструктурних пројеката. Ови параметри су груписани у три логичке целине, из којих су изведени апстрактни индикатори (коефицијенти комплексности), што представља оригиналан приступ редукцији димензионалности и унапређењу перформанси модела.

Верификација модела спроведена је применом 10-струке унакрсне валидације, као и на независном тестном скупу, чиме је ваљано процењена поузданост и генерализациона способност развијеног система. Модел, који чине део хибридног система су интерпретабилни, а њихови резултати директно применљиви у процесу управљања ризицима на новим пројектима, што истраживању даје снажан практични потенцијал.

Оригиналност дисертације огледа се не само у начину обраде података и структури модела, већ и у функционалном циљу истраживања: пружању подршке доносиоцима одлука у превентивном деловању, а не накнадној реакцији. Резултати истраживања валидирани су кроз пет научних радова објављених током 2024. и 2025. године у часописима са SCI листе, што додатно потврђује научну релевантност, иновативност и потенцијал за будућа истраживања у овој области.

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду извршена је провера докторске дисертације помоћу програма за проверу подударности текста *iThenticate*. Увидом у извештај из наведеног програма потврђена је оригиналност докторске дисертације „Хибридни систем за квантификацију и управљање ризицима на пројектима путне инфраструктуре“ (*“Hybrid System for Risk Quantification and Management on Road Infrastructure Projects”*), аутора Александра Сенића. У својој ОЦЕНИ ИЗВЕШТАЈА О ПРОВЕРИ ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ, ментор в.проф. др Зоран Стојадиновић потврђује оригиналност дисертације и констатује да утврђено подударање текста у дисертацији са другим, раније објављеним текстовима износи свега 5% (Similarity Index 5%) и да је само

једно поклапање значајно (1%), док су сва остала поклапања занемарљива (<1%) и односе се на општа места и податке, односно стручне термине и изразе, познате скраћенице и библиографске податке о коришћеној литератури.

3.2. Осврт на референтну и кориштену литературу

У изради докторске дисертације коришћено је 249 библиографских јединица. Већину референци чине радови објављени у врхунским међународним часописима у периоду 2000–2024, попут *Automation in Construction*, *International Journal of Project Management*, *Journal of Construction Engineering and Management*, *Engineering, Construction and Architectural Management*, *Journal of Management in Engineering*, *Sustainability* и других. Поред тога, за потребе дисертације коришћени су и резултати истраживања представљени на значајним међународним конференцијама, релевантне докторске дисертације, као и актуелни домаћи и међународни стандарди и прописи из области управљања ризицима у инфраструктурним пројектима.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У докторској дисертацији је примењен хибридни методолошки оквир, који обједињује примену фази логике, метода машинског учења и структуриране експертске оцено, као методе за анализу утицаја и примену мера превенције. Истраживање је обухватило три основна сегмента: (1) дефинисање и груписање 25 параметара који описују пројекте путне инфраструктуре; (2) изградњу модела за предикцију утицаја ризика на ЕОТ и ИСР: и (3) оцењивање и приоритизацију мера превенције за идентификоване ризике.

Први сегмент методологије ослања се на фази логичке системе типа ТСК (Takagi–Sugeno–Kang), чиме је дефинисан степен комплексности инфраструктурних пројеката, кроз агрегирање улазних параметара пројеката у три групе (технички, уговорни и параметри окружења), из којих су изведени одговарајући коефицијенти комплексности. Ови коефицијенти не само да смањују димензионалност података, већ повећавају стабилност модела и интерпретабилност резултата, без губитка информативности улазних параметара.

Други сегмент се односи на примену XGBoost алгорита, савремене технике машинског учења, за предикцију продужења рока и увећања уговорене цене. Модел је развијен на основу података са 28 инфраструктурних пројеката и укупно 1268 идентификованих штетних догађаја. Његова валидација је спроведена кроз 10-струку унакрсну валидацију и на засебном тестном скупу, што ваљано процењује поузданост, стабилност и генерализациону способност модела.

У трећем сегменту, експертске анкете су коришћене за оцењивање мера превенције према четири критеријума: трошкови, време примене, комплексност и вероватноћа успеха. Применом пондерисаних оцена омогућена је приоритизација мера у складу са њиховом ефикасношћу и изводљивошћу у конкретним условима.

Избор примењених метода је у потпуности у складу са циљевима истраживања. Њихова интеграција омогућила је холистички приступ анализи ризика, који обухвата идентификацију, предикцију и превенцију, уз висок степен интерпретабилности и применљивости резултата у реалним пројектним условима.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати докторске дисертације имају високу применљивост у пракси, нарочито у фазама планирања, процене ризика и оперативног управљања инфраструктурним пројектима. Развијени хибридни систем омогућава релевантним актерима – инвеститорима, инжењерима, пројект менаџерима и доносиоцима одлука – да на основу објективно дефинисаних параметара пројекта процене вероватноћу настанка ризика, који доводе до продужења рока (ЕОТ) и повећања уговорене цене (ICP), али и да унапред дефинишу и приоритизују адекватне мере превенције.

Систем се може директно применити на нове пројекте, већ у фази претпројектног планирања, кроз унос познатих пројектних параметара и добијање процена утицаја ризика на прекорачење рока и трошкова на основу модела тренираних на историјским подацима. На тај начин, модели делују као алат за подршку одлучивању, омогућавајући благовремено увођење организационих, уговорних и техничких мера ради умањења вероватноће настанка штетних догађаја.

Посебан допринос применљивости огледа се у интерпретабилности резултата: модели су транспарентни, резултати лако разумљиви, а мере превенције структурисане према критеријумима трошкова, времена, комплексности и ефикасности. Оваква структурисана подршка одлукама омогућава усклађивање техничке рационалности и економске одрживости у управљању ризицима на великом броју пројеката.

Додатно, систем има потенцијал да се интегрише у постојеће информационе алате за управљање пројектима (нпр. BIM или ERP платформе), чиме би се проширио његов домет и олакшала дигитална трансформација управљачких процеса у грађевинарству. С обзиром на то да је развијен на реалним подацима са 28 пројеката, модел има висок степен опште применљивости у српској пракси, али је лако прилагодив и условима других земаља, уз адекватно прилагођавање улазних параметара локалним условима.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

У току докторских студија кандидат је показао да је остварио способност за самосталан научни рад, кроз полагање испита и публикавање четири научна рада (пети је прихваћен и у фази обајављивања), са темама из докторске дисертације, у међународним часописима на SCI листи индексираним у WoS-у и SCOPUS-у. Такође, кандидат је показао способност систематичног изучавања и критичке анализе релевантне литературе, формулисања полазних хипотеза, затим способност да развије хибридни модел и примени га на репрезентативан скуп инфраструктурних пројеката, као и способност за обраду, интерпретацију и интегралну анализу добијених резултата, уз формулисање јасних и аргументованих закључака. Систематичним приступом постављеном проблему, повезујући различите сегменте научно-истраживачког рада, Александар Сенић је доказао да поседује способност за самостални научно- истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У докторској дисертацији су остварени значајни научни доприноси у области квантификације ризика и системског управљања ризицима на пројектима путне инфраструктуре. Истраживање се заснива на интеграцији техника фази логике, машинског учења и експертског вредновања у циљу развоја модела који омогућава идентификацију кључних ризика и приоритизацију мера превенције на новим пројектима.

Кључни научни доприноси дисертације су:

1. **Формулисање свеобухватне листе од 56 ризика**, идентификованих на основу систематичне анализе 28 инфраструктурних пројеката и 1268 евидентираних штетних догађаја, што представља вредан допринос стандардизацији приступа идентификацији ризика у путном сектору;
2. **Дефинисање листе од 125 превентивних мера**, везаних за конкретне ризике, при чему су мере разврстане, описане и вредноване кроз вишекритеријумску експертску евалуацију, што доприноси оперативној примени резултата;
3. **Дефинисање сета од 25 параметара**, који описују кључне техничке, уговорне и карактеристике окружења у којима се реализују пројекти путне инфраструктуре, на основу емпиријске анализе 28 реализованих пројеката. Овај скуп представља основу за даље моделирање и објективну процену ризика, и као такав представља важан допринос систематизацији пројектних обележја у области управљања ризицима;
4. **Развој три индикатора комплексности пројеката (коефицијената комплексности)**, кроз агрегирање 25 параметара. Ови индикатори омогућавају редукцију димензионалности и увођење квантитативно изражене мере сложености пројеката, што представља самосталан и оригиналан допринос истраживању у области планирања и управљања ризицима при изградњи путне инфраструктуре;
5. **Примена TSK фази логике**, за предикцију вероватноће појаве појединачних ризика, као и њиховог утицаја на продужење рока (EOT) и повећање уговорене цене (ICP). Оваква мултифункционална примена фази система у оквиру јединственог модела представља значајан методолошки допринос, који повезује квантитативну анализу сложености пројекта са конкретним предиктивним резултатима релевантним за управљачке одлуке;
6. **Развој и валидација предиктивног модела на основу XGBoost алгорита**, који омогућава процену продужења рока и повећања цене на новим пројектима. Тачност, стабилност и интерпретабилност овог модела, који су постигнути на релевантном и емпиријски провереном скупу података, довољни су да овај сегмент самостално испуни научне критеријуме доприноса докторске дисертације;
7. **Увођење структурираног система за пондерисано рангирање мера превенције**, заснованог на четири критеријума (трошкови, време примене, комплексност и вероватноћа успеха), што пружа јасан алат за оперативну примену резултата у планирању и одлучивању.
8. **Развој интегрисаног хибридног система за управљање ризицима**, који обједињује предиктивну и превентивну компоненту у јединствену логичку и

функционалну целину, са могућношћу непосредне примене у оквиру нових инфраструктурних пројеката.

9. **Објављивање резултата истраживања у пет радова** (четири су објављена, а пети је прихваћен за објављивање) у **међународним часописима** на SCI листи индексираним у WoS-у и SCOPUS-у, током 2024. и 2025. године, што потврђује научну валидност, оригиналност и релевантност доприноса дисертације на међународном нивоу.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Резултати истраживања у докторској дисертацији показују висок ниво интерне валидности, интерпретабилности и применљивости у области управљања ризицима на инфраструктурним пројектима. Хибридни систем, који је развијен током истраживања, омогућава квантитативну процену вероватноће појаве ризика и предикцију њиховог утицаја на EOT и ICP, која је проверена на реалним подацима са 28 пројеката. Примена TSK фази логике и XGBoost алгоритама машинског учења дала је резултате високе тачности и стабилности, што је потврђено кроз 10-струку унакрсну валидацију и тестирање на независном скупу пројеката.

Коефицијенти комплексности, изведени из 25 параметара, показали су високу корисност у смањењу димензионалности и повећању интерпретабилности модела, док је интеграција структура експертских оцена омогућила објективну приоритизацију превентивних мера. Оваква структура модела обезбедила је логичну везу између дијагностике ризика и конкретне препоруке за деловање.

Међутим, као и код сваког моделирања у сложеним системима, резултати носе извесна ограничења. Прво, тачност предикције је у одређеној мери условљена квалитетом и репрезентативношћу историјских података, као и избором улазних параметара. Друго, експертске оцене, иако структурисане и пондерисане, задржавају елемент субјективности који може утицати на финалне препоруке. Треће, модели су тренирани на пројектима путне инфраструктуре у специфичним институционалним и техничким условима, па би за примену у другим грађевинским доменима било потребно адаптирати улазне податке и структуру модела.

Ипак, упркос наведеним ограничењима, резултати истраживања имају висок степен поузданости и одражавају реална понашања пројеката у пракси. Предложени модели и методе представљају поуздану основу за развој софтверских алата и примену у институцијама и компанијама које се баве планирањем и управљањем инфраструктурним пројектима.

4.3. Верификација научних доприноса

У току израде дисертације, Александар Сенић је међународној и домаћој, научној и стручној јавности представио свој рад кроз објаву пет радова (четири су објављена, а пети је прихваћен за објављивање) у **међународним часописима** на SCI листи индексираним у WoS-у и SCOPUS-у, током 2024. и 2025. године, и то:

Категорија M21a:

1. Senić, A., Dobrodolac, M., & Stojadinović, Z. (2024). Predicting extension of time and

increasing contract price in road infrastructure projects using a Sugeno fuzzy logic model. Mathematics, 12(18), 2852. <https://doi.org/10.3390/math12182852>

2. Senić, A., Ivanović, M., Dobrodolac, M., & Stojadinović, Z. (2025). Prioritization of preventive measures: A multi-criteria approach to risk mitigation in road infrastructure projects. Mathematics, 13(2), 278. <https://doi.org/10.3390/math13020278>

Категорија M22:

3. Senić, A., Dobrodolac, M., & Stojadinović, Z. (2024). Development of risk quantification models in road infrastructure projects. Sustainability, 16(17), 7694. <https://doi.org/10.3390/su16177694>
4. Senić, A., Simić, N., Dobrodolac, M., & Stojadinović, Z. (2025). Development of a hybrid model for risk assessment and management in complex road infrastructure projects. Applied Sciences, 15(5), 2736. <https://doi.org/10.3390/app15052736>

Категорија M23:

5. Senić, A., Simić, N., Dobrodolac, M., & Stojadinović, Z. (2025c). Risk prediction in road infrastructure projects considering project complexity coefficients. Promet – Traffic&Transportation, ISSN 1848-4069, Faculty of Transport and Traffic Sciences, University of Zagreb, (прихваћен за објављивање, Ref. broj: TT-1078-PF),

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

У оквиру докторске дисертације кандидата Александра Сенића под насловом „Хибридни систем за квантификацију и управљање ризицима на пројектима путне инфраструктуре“ предложен је оригинални модел за управљање ризицима на пројектима путне инфраструктуре, са циљем прецизне предикције појаве ризика, квантификације њиховог утицаја на увећање уговорне цене (ICP) и продужење уговореног рока (ЕoT), као и процене утицаја мера превенције на смањење наведених прекорачења.

Истраживање се заснива на идентификацији ризика, идентификацији кључних параметара пројеката, развоју коефицијената комплексности као агреgirаних показатеља окружења, техничких и уговорних карактеристика, дефинисању оптималних превентивних мера за минимизацију штетних последица за све ризике, примени фази логике и машинског учења за предикцију утицаја ризика, као и мултикритеријумским методама за евалуацију и приоритизацију мера превенције. Предложени приступ доприноси смањењу непланираних прекорачења и представља значајан допринос унапређењу управљања ризицима.

Научна верификација модела извршена је кроз четири објављена рада у врхунским научним часописима, док је пети рад у фази објављивања (прихваћен је за објављивање), а који потврђују његову применљивост на реалним инфраструктурним пројектима.

Комисија сматра да урађена докторска дисертације кандидата Александра Сенића, дипл. грађ. инж. представља оригиналан и вредан научни допринос у области менаџмента, технологије и управљања пројектима у грађевинарству, да има све неопходне елементе докторске дисертације и указује да је кандидат испољио способност за самосталан

научно-истраживачки рад.

Имајући у виду све што је напред речено, Комисија предлаже Наставно-научном већу Грађевинског факултета Универзитета у Београду да прихвати Извештај Комисије и упути захтев Већу научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду за давање сагласности за јавну одбрану докторске дисертације кандидата Александра Сенића.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Београд, 22.05.2025.године

.....
проф. др Ненад Иванишевић,
Грађевински факултет Универзитета у Београду

.....
в,проф. др Горан Младеновић,
Грађевински факултет Универзитета у Београду

.....
проф. др Милош Ковачевић,
Грађевински факултет Универзитета у Београду

.....
проф. др Милош Кнежевић,
Универзитет Црне Горе, Грађевински факултет

.....
проф. др Небојша Икодиновић,
Универзитет у Београду, Математички факултет