

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Грађевински факултет

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Невене Симић, маг. инж. грађ.

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета Универзитета у Београду бр. 175/9-21 од 03.07.2023. године именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Невене Симић, маг. инж. грађ., под насловом:

### **ХИБРИДНИ СИСТЕМ ЗА ПРОЦЕНУ ТРОШКОВА ИЗГРАДЊЕ АУТО-ПУТЕВА У ПОЧЕТНИМ ФАЗАМА РАЗВОЈА ПРОЈЕКТА**

Наслов на енглеском језику:

### **HYBRID SYSTEM FOR HIGHWAY CONSTRUCTION COST ESTIMATION IN INITIAL STAGES OF PROJECT DEVELOPMENT**

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

## **РЕФЕРАТ**

### **1. УВОД**

#### **1.1 Подаци о процедури пријављивања и израде дисертације**

На седници Катедре за управљање пројектима у грађевинарству одржаној 04.03.2021. Невена Симић је јавно излагала предложену тему докторске дисертације (Приступни рад) под насловом „Хибридни систем за процену трошкова изградње ауто-путева у почетним фазама развоја пројекта“. 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. 175/4 од 28.04.2021. године, одређена је Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације у саставу проф. др Ненад Иванишевић (ментор), проф. др Милош Ковачевић, проф. др Милош Кнежевић (Грађевински факултет, Универзитет Црне Горе), в. проф. др Горан Младеновић и в. проф. др Дејан Маринковић. Позитиван извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације усвојен је на седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета одржаној 20.05.2021. године (одлука бр. 175/5 од 24.05.2021. године). Веће научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду на седници одржаној 08.06.2021. (одлука бр. 61206-2263/2-21 МЦ од 08.06.2021. године) усвојило је предлог теме докторске дисертације кандидата Невене Симић.

Кандидат је урађену докторску дисертацију предао Служби за студентска питања Грађевинског факултета 23.06.2023. године. Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета бр. 175/9-21 од 03.07.2023. године, именована је Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата у следећем саставу:

- др Ненад Иванишевић, редовни професор,  
Универзитет у Београду, Грађевински факултет,
- др Милош Кнежевић, редовни професор,  
Универзитет Црне Горе, Грађевински факултет,
- др Горан Младеновић, ванредни професор,  
Универзитет у Београду, Грађевински факултет,
- др Дејан Маринковић, ванредни професор,  
Универзитет у Београду, Грађевински факултет,
- др Ђорђе Недељковић, доцент,  
Универзитет у Београду, Грађевински факултет.

## 1.2 Научна област дисертације

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

Радови публиковани у међународним часописима који квалификују ментора, проф. др Ненада Иванишевића, 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. Kovačević, M., **Ivanišević, N.**, Stević, D., Milić Marković, Lj., Bulajić, B., Marković, Lj., Gvozdović, N. (2023) Decision-Support System for Estimating Resource Consumption in Bridge Construction Based on Machine Learning. *Axioms*, 12(1), 19. <https://doi.org/10.3390/axioms12010019> [M22]
3. 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]
4. Nadazdi, A., Naunovic, Z., **Ivanisevic, N.** (2022) Circular Economy in Construction and Demolition Waste Management in the Western Balkans: A Sustainability Assessment Framework. *Sustainability*, 14(2), 871. <https://doi.org/10.3390/su14020871> [M22]
5. Kovačević, M., **Ivanišević, N.**, Petronijević, P., Despotović, V. (2021) Construction Cost Estimation of Reinforced and Prestressed Concrete Bridges using Machine Learning. *Građevinar*, 73(1), pp. 1-13. <https://doi.org/10.14256/JCE.2738.2019> [M23]
6. Beljkaš, Ž., Knežević, M., Rutešić, S., **Ivanišević, N.** (2020) Application of Artificial Intelligence for the Estimation of Concrete and Reinforcement Consumption in the Construction of Integral Bridges. *Advances in Civil Engineering*, 2020, 8645031. <https://doi.org/10.1155/2020/8645031> [M23]
7. Kovačević, M., **Ivanišević, N.**, Dašić, T., Marković, Lj. (2018) Application of Artificial Neural Networks for Hydrological Modelling in Karst. *Građevinar*, 70(1), pp. 1-10. <https://doi.org/10.14256/JCE.1594.2016> [M23]
8. Locatelli, G., Mikic, M., Kovacevic, M., Brookes, N., **Ivanisevic, N.** (2017) The Successful Delivery of Megaprojects: A Novel Research Method. *Project Management Journal*, 48(5), pp. 78-94. <https://doi.org/10.1177/875697281704800506> [M22]

9. Rakočević, M., Popović, S., **Ivanišević, N.** (2013) A Computational Method for Laminated Composite Plates Based on Layerwise Theory, Composites Part B, 122, pp. 202-218. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.03.044> [M21a]
10. Marinković D., Stojadinović Z., **Ivanišević N.** (2013) Work Cycle Based Scheduling. Građevinar, 65(11), pp. 993—1002. <https://doi.org/10.14256/JCE.845.2013> [M23].

### 1.3 Биографски подаци о кандидату

Невена Симић је рођена 27.08.1990. године у Ваљево. У Убу је завршила основну школу „Милан Муњас“ и гимназију „Бранислав Петронијевић“.

Основне академске студије на Грађевинском факултету Универзитета у Београду је уписала 2009. године. Дипломирала је 2013. године на модулу за Менаџмент, технологије и информатику у грађевинарству, са просечном оценом 8,88 и оценом 10 на завршном раду. Мастер академске студије је завршила 2014. године на истом факултету са просечном оценом 10,00 и оценом 10 на мастер раду. У октобру 2014. године је уписала докторске академске студије на Грађевинском факултету Универзитета у Београду и положила је све испите предвиђене наставним планом и програмом са просечном оценом 10,00. Била је полазница тренинг школе „*Regenerative Construction and Operation – From Regenerative Concepts and Design to Reality*“ у оквиру COST акције CA16114 (*REthinking Sustainability TOwards a Regenerative Economy*) у марту 2019. године у Болцану (Италија).

Током студирања је била ангажована као студент демонстратор на Грађевинском факултету у Београду у извођењу вежби на Катедри за управљање пројектима у грађевинарству. Од новембра 2014. године до септембра 2015. године је била запослена у Развојном центру Грађевинског факултета у Београду као инжењер сарадник у надзору. Од септембра 2015. године је запослена на Грађевинском факултету Универзитета у Београду у звању асистента–студента докторских студија за ужу научну област Менаџмент и технологија грађења на Катедри за управљање пројектима у грађевинарству.

Аутор је или коаутор 15 истраживачких радова, од чега су 2 објављена у часописима индексираним на СЦИ листи. Била је анагажована у оквиру пројекта технолошког развоја, ТР 36038 (Развој методе израде пројектне и извођачке документације инсталационих мрежа у зградама компатибилне са ВІМ процесом и релевантним стандардима), финансираном од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Говори и пише енглески језик, а служи се француским и немачким језиком.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1 Садржај дисертације

Докторска дисертација Невене Симић под насловом „*Хибридни систем за процену трошкова изградње ауто-путева у почетним фазама развоја пројекта*“ садржи укупно 180 страна, од којих је основни текст на 134 стране, а 46 страна су референце, прилози и изјаве. Дисертација је написана латиничним писмом на српском језику и подељена је у седам поглавља:

1. Увод;
2. Преглед литературе;
3. Методологија;
4. Формирање оригиналне базе података са пројекта изградње ауто-путева;

5. Одређивање кључних трошковно утицајних параметара;
6. Моделирање процене трошкова;
7. Закључна разматрања и правци даљих истраживања.

Дисертација садржи 57 графичких прилога (на којима су приказани дијаграми и цртежи) и 28 табела. Списак цитиране литературе садржи 168 наслова. На почетку дисертације дат је списак скраћеница које су коришћене, резиме на српском и енглеском језику са кључним речима и садржај са списком слика и табела. 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 електронске и штампане верзије и изјава о коришћењу.

## **2.2 Кратак приказ појединачних поглавља**

У почетном делу првог поглавља представљен је предмет и процес истраживања које је спроведено у оквиру докторске дисертације. Описан је значај путне инфраструктуре и нарочито ауто-путева. Указано је на изазове везане за предвиђање трошкова изградње нових ауто-путева, нарочито у почетним фазама пројекта. Недостатак база података са претходних пројеката и оскудне информације о карактеристикама будућег пројекта представљају главне ограничавајуће проблеме за квалитетну процену будућих трошкова изградње. Постојећа истраживања која се баве проценама трошкова изградње ауто-путева у раним фазама развоја пројекта су претежно фокусирана на постизање максималне могуће тачности процене трошкова, не узимајући у обзир захтевани ниво напора (времена и новца) који је потребно уложити за њихово одређивање.

У наставку су дефинисани циљеви истраживања и формулисане су следеће хипотезе истраживања:

1. Могуће је формирати оригиналну базу историјских података са пројеката изградње ауто-путева из земаља у развоју која ће служити као основа за даљу анализу трошкова;
2. Могуће је креирати хибридни систем за процену трошкова изградње ауто-путева у почетним фазама развоја пројекта интеграцијом историјских података са претходних пројеката, емпиријског истраживања и метода машинског учења;
3. Задовољавајућа тачност процене трошкова изградње ауто-путева у почетним фазама развоја пројекта може се постићи уз мали уложени напор и са само неколико кључних трошковно утицајних параметара;
4. Постоји разлика између перцепција инвеститора и извођача радова везано за кључне трошковно утицајне параметре.

На крају уводног поглавља је приказана структура докторске дисертације и укратко су објашњена сва поглавља.

Друго поглавље почиње прегледом значаја ауто-путева и нивоа инвестиционих улагања у пројекте изградње и одржавања ауто-путева, а потом је дефинисан појам процене трошкова и приказане су врсте процена трошкова, као и тачности процене трошкова кроз различите фазе пројекта. Највећи део другог поглавља јесте преглед постојеће литературе из области процене трошкова путних инфраструктурних пројеката. Анализирани су постојећи приступи за процену трошкова путних инфраструктурних пројеката и њихови модели (методе, елементи и својства). Такође су, у овом делу дисертације, детаљно разматрани, у литератури коришћени, трошковно утицајни параметри и приступи за одређивање кључних трошковних параметара. Поглавље се завршава сумирањем постојећег стања и критичким освртом на постојеће стање у литератури. На крају поглавља су дата ограничења

постојећих приступа у области процене трошкова путних инфраструктурних пројеката у почетним фазама развоја пројекта.

У трећем поглављу је укратко представљена предложена методологија за развој хибридног система за процену трошкова изградње ауто-путева у почетним фазама развоја пројекта. На почетку поглавља су објашњени основни принципи који су интегрисани у методологију за развој хибридног система и који су довели до избора предложене методологије. Након тога, укратко је приказана структура методологије која је састоји из три фазе. Циљ прве фазе методологије је прикупљање података са претходних пројеката и формирање базе историјских података. Формирана база података служи као улаз за другу и за трећу фазу методологије. Друга фаза методологије односи се на одређивање кључних трошковно утицајних параметара. Главну методу у оквиру методологије у другој фази истраживања представља анкетни упитник чији је циљ утврђивање и поређење перцепција инвеститора и извођача радова о трошковно утицајним параметрима. Резултат друге фазе јесу и рангирања трошковно утицајних параметара која представљају улаз за последњу, трећу фазу. У трећој фази се, на основу базе података пројеката изградње ауто-путева (излаз Фазе 1) и рангирања кључних трошковно утицајних параметара (излаз Фазе 2), врши формирање и валидација већег броја модела за процену трошкова.

У четвртом поглављу је детаљно описана прва фаза предложене методологије за развој хибридног система за процену трошкова изградње ауто-путева у почетним фазама развоја пројекта. Објашњена је процедура прикупљања и систематизације података потребних за формирање база података. Прикупљена је документација са 68 пројеката изградње ауто-путева у Србији, Босни и Херцеговини, Северној Македонији и Црној Гори и формирана је оригинална база података. Главни део поглавља се односи на приказ структуре базе података и анализу прикупљених података. Детаљно су објашњени подаци о карактеристикама пројеката и њиховог окружења, као и подаци о уговореним ценама. Поглавље се завршава Парето анализом података из расположивих предмера и предрачуна која је указала на трошковно значајне објекте у склопу трасе ауто-пута. На основу тога, креиране су и три пратеће базе података за три групе трошковно значајних објеката (мостови, тунели и денивелисане раскрснице).

Пето поглавље детаљно описује другу фазу методологије за развој хибридног система за процену трошкова. Ова фаза се бави одређивањем кључних трошковно утицајних параметара уз дефинисање напора – трошкова и времена за њихово одређивање. Предложена методологија за одређивање кључних трошковно утицајних параметра је базирана на оригинално креираном анкетном упитнику. У првом делу поглавља је описан поступак формирања Прелиминарне листе трошковно утицајних параметара који обухвата систематичан преглед параметара анализираних у постојећим истраживањима, анализу података доступних у формираним базама података и пилот студију. На основу коначне верзије Прелиминарне листе трошковно утицајних параметара је формиран јединствен анкетни упитник. Укупно је прикупљено 96 комплетно попуњених упитника за две групе испитаника – инвеститори и извођачи.

У оквиру петог поглавља су дискутовани резултати добијени анкетирањем експерата и извршено је поређење перцепција две групе испитаника. Затим су анализирани и упоређени резултати рангирања трошковних параметара у складу са различитим перспективама (генерална перспектива, перспектива инвеститора и перспектива извођача). Рангирање трошковно утицајних параметара је извршено узимајући у обзир перцепције испитаника о нивоу утицаја параметара на трошкове изградње ауто-путева и нивоу напора (времена и новца) који је потребно уложити за њихово одређивање.

У шестом поглављу је представљена трећа фаза методологије која се односи на моделирање процене трошкова изградње ауто-путева. Прво је описан процес припреме података који је укључивао ревалоризацију података, енкодирање категоричких података и идентификацију екстремних одступања. Након тога су дата објашњења три методе које су примењене за развој

модела: вишеструка регресиона анализа (MRA), вештачке неуронске мреже (ANN) и екстремно градијентно појачавање (XGBoost). За сваку од метода предложен је већи број модела за процену трошкова изградње ауто-путева у почетним фазама развоја пројекта. Детаљно је описан процес дефинисања модела који је подразумевао постепено укључивање трошковних параметара у модел (један по један) у складу са анкетом установљеним рангирањима параметара према перспективама инвеститора односно извођача, као и у складу са генералном перспективом. Као критеријум за оцену модела је постављен захтев да могу да обезбеде задовољавајућу тачност предвиђања уз минимални напор.

Резултати валидације три групе модела (MRA, ANN и XGBoost) су, у шестом поглављу, представљени табеларно и графички уз дискусију и организовани су у зависности од скупа трошковних параметара на основу којих је модел формиран, методе примењене за развој модела и перспективе посматрања моделирања трошкова (генерална перспектива, перспектива инвеститора и перспектива извођача). За све моделе су приказана два показатеља: постигнута тачност процене трошкова (MAPE) и кумулативни напор потребан за постизање процене трошкова одређене тачности. У завршном делу поглавља је извршено поређење три групе формираних модела (MRA, ANN и XGBoost), дискутоване су постигнуте тачности процене трошкова изградње ауто-путева и резултати су упоређени за резултатима постојећих истраживања доступних у литератури.

У седмом поглављу су, најпре, сумирани главни резултати који су проистекли из докторске дисертације, а који се односе на формиране базе података, кључне трошковно утицајне параметре и постигнуте тачности предвиђања трошкова изградње ауто-путева применом предложених модела. Након тога су дефинисани научни доприноси истраживања и истакнути су главни закључци истраживања који потврђују истраживачке хипотезе које су дефинисане у уводном поглављу. На крају овог поглавља, представљена су ограничења истраживања која су везана за формирану базу података и дате су препоруке за будућа истраживања у овој области.

Након закључног поглавља, дат је списак коришћене литературе и прилог који је означен словом А. У прилогу А је приказан анкетни упитник који је формиран и коришћен за прикупљање података о перцепцијама инвеститора и извођача радова о трошковно утицајним параметрима.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### **3.1 Савременост и оригиналност**

Развој и проширење ауто-путева представљају основну подлогу за друштвени и економски развој. Мреже ауто-путева у већини развијених земаља су добро развијене. С друге стране, статистички подаци сведоче да су улагања у пројекте изградње ауто-путева у земљама у развоју у последњој деценији забележила велики пораст у односу на претходни период. Међутим, неспорно је да постоји потреба за проширењем ауто-путне инфраструктуре у неразвијеним и земљама у развоју.

Планирање изградње нових ауто-путева се заснива на сагледавању тренутних и процени будућих транспортних потреба, имајући у виду захтев да се изградња ауто-пута реализује уз минималне трошкове и утицај на животну средину. Процене трошкова у почетним фазама развоја пројеката ауто-путева представљају основу за доношење иницијалних одлука о томе да ли треба приступити њиховој изградњи, али у исто време оне представљају и велики изазов за инвеститоре и потенцијалне извођаче радова. Из тог разлога, многа истраживања спроведена у последњих 20-ак година бавила су се проценом трошкова путних инфраструктурних пројеката.

Недостатак база историјских података и ограничен обим информација о разматраним потенцијалним будућим пројектима представљају највећи изазов за доносиоце одлука у

раним фазама пројекта. Прикупљање података са претходних пројеката, као и утврђивање информација о карактеристикама будућих пројеката захтевају улагање одређеног напора (времена и новца). Најчешће на располагању имамо мало времена и новца, што процене трошкова чини још изазовнијим. Зато је за процене трошкова у почетним фазама развоја пројекта од суштинског значаја постизање задовољавајућег нивоа тачности, и то уз што мањи напор који је потребно уложити за њихово одређивање.

Међутим, постојећа истраживања на тему процене трошкова путних инфраструктурних пројеката су у највећем броју случајева тежила достизању што веће тачности процена трошкова, не узимајући у обзир потребан ниво напора (времена и новца) који је потребно уложити за њихово одређивање. Додатно, постојећа истраживања која се баве одређивањем кључних трошковно утицајних параметара на којима се заснива процена трошкова у почетним фазама пројекта су углавном базирана на прикупљању перцепција експерата на основу њихових претходних искустава. Досадашња истраживања најчешће разматрају перцепције инвеститора, док се процена трошкова са аспекта извођача радова далеко мање разматра.

Главни циљ ове докторске дисертације јесте предлагање новог и оригиналног система подршке одлучивању који ће инвеститорима и потенцијалним извођачима радова пружити задовољавајућу тачност процене трошкова изградње ауто-путева у почетним фазама развоја пројекта, и то за кратко време и уз релативно ниске трошкове.

Кроз дисертацију је, у првој фази предложене методологије, формирана оригинална база података са пројеката изградње ауто-путева и брзих саобраћајница уговорених у последњих 20-ак година у Србији и региону. Такође, формиране су и три оригиналне базе података о карактеристикама три групе трошковно значајних објеката у склопу трасе ауто-пута (мостови, тунели и денивелисане раскрснице).

Затим су, путем оригиналног анкетног упитника, одређене перцепције инвеститора и извођача о трошковно утицајним параметрима из претходно формиране листе. Анализом су, у истраживању, обухваћени и параметри који до сада нису анализирани у постојећим истраживањима. На основу перцепција инвеститора и извођача о нивоу утицаја параметара на трошкове изградње ауто-путева и нивоу напора који је потребно уложити за њихово одређивање, одређени су кључни трошковно утицајни параметри у складу са три различите перспективе (генерална перспектива, перспектива инвеститора и перспектива извођача). Резултати су омогућили поређење перцепција инвеститора и извођача у вези са трошковно утицајним параметрима и указали на различитости перцепција две групе испитаника.

У дисертацији је предложен већи број различитих модела за процену трошкова изградње ауто-путева. При томе су примењене 3 различите методе. Поред вишеструке регресионе анализе (MRA) и вештачких неуронских мрежа (ANN), коришћена је и метода екстремног градијентног појачавања (XGBoost). XGBoost метода до сада није тестирана у примени за развој модела за процену трошкова путних инфраструктурних пројеката. Резултати валидације модела указују да се задовољавајућа тачност процене трошкова (са грешком MAPE=25-30%) може постићи уз мали напор, и то са само 3 до 5 кључних трошковно утицајних параметара.

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма за проверу подударности текста којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације „Хибридни систем за процену трошкова изградње ауто-путева у почетним фазама развоја пројекта“, аутора Невене Симић, потврђена је оригиналност ове докторске дисертације.

### 3.2 Осврт на референтну и кориштenu литературу

У изради ове докторске дисертације коришћено је 168 библиографских јединица од чега се 122/168 (73%) односи на библиографске јединице објављене након 2012. године, односно 74/168 (44%) су библиографске јединице не старије од пет година. Већину референци чине радови објављени у врхунским међународним часописима, попут “*Journal of Construction Engineering and Management*”, “*Construction Management and Economics*”, “*Journal of Computing in Civil Engineering*”, “*Journal of Management in Engineering*”, “*International Journal of Project Management*”, итд., као и радови објављени на значајним међународним конференцијама, докторске дисертације и међународни стандарди из области процене трошкова у грађевинарству.

### 3.3 Опис и адекватност примењених научних метода

Рад у оквиру ове докторске дисертације је реализован паралелном применом теоријског приступа ослоњеног на податке добијене из литературе, као и практичног приступа заснованог на формирању и валидацији новог оригиналног хибридног система.

За сагледавање постојећих сазнања из области процене трошкова путних инфраструктурних пројеката у почетним фазама пројекта извршена је синтеза досадашњих истраживања применом структурално - функционалне и компаративне анализе објављених резултата. За планирање и развој новог хибридног система, као и анализу резултата истраживања и извођење одговарајућих закључака примењена је хипотетичко - дедуктивна метода.

Идентификација перцепција инвеститора и извођача радова о трошковно утицајним параметрима са циљем одређивања кључних трошковних параметара заснована је на примени емпиријске методе квантитативног истраживања (анкетни упитник). Приликом обраде резултата анкете и извођења одређених закључака, коришћене су адекватне статистичке методе. Коришћењем статистичких метода и различитих техника машинског учења (*Machine learning*) формиран је и тестиран већи број различитих модела за процену трошкова изградње ауто-путева у почетним фазама развоја пројекта. Приликом анализе и валидације резултата различитих модела коришћене су компаративне и статистичке методе.

Примењене методе научног истраживања су у потпуности валидне и адекватне за примену у предметном истраживању.

### 3.4 Применљивост остварених резултата

Резултати који су добијени у оквиру докторске дисертације се односе на пружање помоћи како инвеститорима, тако и потенцијалним извођачима у процесу доношења одлука у почетним фазама развоја пројеката изградње ауто-путева.

Резултати предложеног хибридног система за процену трошкова изградње ауто-путева су пружили увид у кључне трошковно утицајне параметре које је потребно одредити како би се у почетним фазама развоја пројекта добила задовољавајућа тачност процене трошкова, и то уз мали уложени напор (време и новац). У практичном смислу, предложени систем може користити инвеститорима и потенцијалним извођачима радова у процесу доношења иницијалних одлука у вези са планирањем изградње новог ауто-пута. Предложени систем доприноси смањењу напора (времена и новца) који је потребно уложити како би се у почетним фазама развоја пројекта постигла задовољавајућа тачност процене трошкова на основу које је могуће донети иницијалну одлуку о изградњи будућег ауто-пута.

Добијени резултати представљају значајан академски допринос јер омогућавају надоградњу постојећих знања и олакшавају будући истраживачки рад.



### **3.5 Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад**

Кандидат је у току докторских студија показао да је остварио способност за самосталан научни рад кроз полагање испита и публикавање два научна рада и већег броја саопштења са међународних и домаћих конференција. У оквиру своје докторске дисертације, кандидат је показао способност изучавања и критичке анализе доступне релевантне литературе, постављања полазних хипотеза, способност да развије нови хибридни систем, као и способност за обраду и анализу резултата и формулисање закључака на основу истих.

Систематичним приступом постављеном проблему, повезујући различите сегменте научно-истраживачког рада, Невена Симић је доказала да поседује способност за самостални научно-истраживачки рад.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### **4.1 Приказ остварених научних доприноса**

У оквиру докторске дисертације Невене Симић остварени су следећи научни доприноси:

1. Формирана је оригинална база података са 68 пројеката изградње ауто-путева и брзих саобраћајница са територија Србије, Босне и Херцеговине, Северне Македоније и Црне Горе која садржи детаљне податке о карактеристикама пројеката и њиховог окружења, као и податке о трошковима;
2. Идентификовани су трошковно значајни објекти у склопу трасе ауто-пута и формиране су три оригиналне базе података за три групе трошковно значајних објеката у склопу трасе ауто-пута (базе садрже податке за 408 мостова, 30 тунела и 59 денивелисаних раскрсница);
3. Предложен је приступ за одређивање кључних трошковно утицајних параметара (који имају висок утицај на трошкове, а не захтевају велики напор – време и новац за њихово одређивање) базиран на емпиријском истраживању (анкетни упитник);
4. Формирана је јединствена Прелиминарна листа трошковно утицајних параметара којом су идентификовани и параметри који до сада нису анализирани у постојећим истраживањима на тему процене трошкова путних инфраструктурних пројеката;
5. Утврђене су и упоређене перцепције инвеститора и извођача (на основу 96 комплетно попуњених упитника) у вези са кључним трошковно утицајним параметрима, што је допринело откривању значајности појединих параметара који нису анализирани у постојећим истраживањима;
6. Предложени су оригинални модели за процену трошкова изградње ауто-путева у почетним фазама развоја пројекта;
7. Упоређени су резултати различитих модела за процену трошкова и закључено је да је потребно уложити мали напор (време и новац) и одредити само 3 до 5 кључних трошковно утицајних параметара како би се у почетним фазама развоја пројекта добила задовољавајућа тачност процене трошкова;
8. Први пут је тестирана примена XGBoost методе за развој модела за процену трошкова путних инфраструктурних пројеката и, у поређењу са друге две методе, XGBoost модели су показали најбоље резултате.

## 4.2 Критичка анализа резултата истраживања

У свом истраживачком раду у оквиру докторске дисертације, Невена Симић је предложила хибридни систем за процену трошкова изградње ауто-путева. Овај систем има за циљ да превазиђе недостатке постојећих приступа који су идентификовани прегледом постојеће литературе.

У оквиру дисертације је формирана оригинална база података са 68 пројеката изградње ауто-путева са територија Србије, Босне и Херцеговине, Северне Македоније и Црне Горе, као и пратеће базе података за три групе трошковно значајних објеката (мостови, тунели и денивелисане раскрснице). Формиране базе података су послужиле за даљу анализу трошкова. Добијени резултати сведоче да је могуће формирати оригиналну базу историјских података са пројеката изградње ауто-путева из земаља у развоју која ће служити као основа за даљу анализу трошкова и потврђују прву хипотезу истраживања.

Резултати емпиријског истраживања (анкете) су омогућили поређење перцепција инвеститора и извођача у вези са трошковно утицајним параметрима и указали на различитости перцепција две групе испитаника. Констатовано је да је са становишта инвеститора, следећих 5 прворангираних трошковно утицајних параметара кључно за процену трошкова: *Заступљеност одређеног типа терена у дужини деонице*, *Постојање великих значајних објеката*, *Постојање клизне скале*, *Врста тендерског поступка* и *Број тунелских цеви*. С друге стране, са становишта извођача 5 најзначајнијих параметара су: *Постојање клизне скале*, *Учешће тунела у дужини деонице*, *Заступљеност одређеног типа терена у дужини деонице*, *Просечна бруто зарада у грађевинарству* и *Постојање великих значајних објеката*. Може се приметити да су међу 5 прворангираних параметара, 3 параметра иста за обе перспективе. Када се разматрају 10 прворангираних параметара, само 5 је истих за обе перспективе. Наведени резултати су указали да постоји разлика између перцепција инвеститора и извођача радова везано за кључне трошковно утицајне параметре, чиме је потврђена друга истраживачка хипотеза.

Констатовано је да су тачности предвиђања које су постигнуте помоћу све три групе модела за процену трошкова изградње ауто-путева (MRA, ANN и XGBoost) у сагласности са, у литератури препорученим, задовољавајућим нивоима тачности. Анализом резултата је утврђено да се задовољавајућа тачност процене трошкова изградње ауто-путева са грешком  $MARE=25-30\%$  може постићи уз мали напор, и то са само 3 до 5 кључних трошковно утицајних параметара, а који су наведени у претходном пасусу. Додавање нових параметара може довести до повећања тачности процене трошкова, али то захтева значајну количину времена и новца. На основу наведеног, може се закључити да је потврђена полазна хипотеза да се задовољавајућа тачност процене трошкова изградње ауто-путева у почетним фазама развоја пројекта може се постићи уз мали уложени напор и са само неколико кључних трошковно утицајних параметара.

Добијени резултати потврђују полазну хипотезу да је могуће креирати хибридни систем за процену трошкова изградње ауто-путева у почетним фазама развоја пројекта интеграцијом историјских података са претходних пројеката, емпиријског истраживања (анкете) и метода машинског учења.

Ограничења предложеног система се односе на проширење базе података пројектима из других земаља и подацима о стварним трошковима изведених радова и јасно су представљена у завршном поглављу. Наведена ограничења су послужила и за дефинисање праваца будућих истраживања.

### 4.3 Верификација научних dopриноса

У току израде дисертације, Невена Симић је међународној и домаћој, научној и стручној јавности представила свој рад кроз следеће публикације:

#### Категорија M22:

**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>

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>

#### Категорија M51:

**Simić, N.**, Devedžić, A., Ivanović, M., Petronijević, P. (2021) Primena mašinskog učenja za procenu cena i količina radova pri izgradnji stambenih i stambeno-poslovnih objekata, *Izgradnja 75* (2021) 5-8, 125-133, UDK: 338.512:69]:004.4 [M51]

#### Категорија M33:

**Simić, N.**, Petronijević, P., Devedžić, A., Ivanović, M. (2022) Preliminary quantity estimation in construction using machine learning methods. In: *International conference on contemporary theory and practice in construction XV*, June 16-17, 2022, Banja Luka, Republika Srpska

**Simić, N.**, Prašević, N., Ivanović, M. (2020) Primena AHP metode višekriterijumske optimizacije za izbor krana na velikim investicionim projektima. In: *XLVII Simpozijum o operacionim istraživanjima*, 20-23. septembar 2020, Beograd, Srbija. [M33]

**Simić, N.**, Petronijević, M., Mikić, M., Petrović, M., Ivanišević, N. (2019) Integrating BIM into Construction Project Management Education at the Faculty of Civil Engineering in Belgrade. In: *14th Organization, Technology & Management in Construction Conference & 7th IPMA Research Conference*, Zagreb, Hrvatska.

Petrović M., **Simić N.**, Nikolić A. (2016) Formiranje i značaj baze istorijskih podataka. Izrada post-projektne analize. In: *XX Internacionalni simpozijum iz projektnog menadžmenta Značaj projektnog menadžmenta prvih 30 godina YUPMA i 50 godina IPMA*, 19-20. maj 2016, Beograd, Srbija.

**Simić, N.**, Petrović, M., Ivković, B. (2016) Upravljanje odštetnim zahtevima prema PMI standardu. In: *XX Internacionalni simpozijum iz projektnog menadžmenta Značaj projektnog menadžmenta prvih 30 godina YUPMA i 50 godina IPMA*, 19-20. maj 2016, Beograd, Srbija. [M33]

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

У оквиру докторске дисертације кандидата Невене Симић предложен је нови и оригинални систем за подршку процени трошкова изградње ауто-путева у раним фазама пројекта. Систем превазилази недостатке постојећих приступа који су фокусирани на постизање максималне могуће тачности процене трошкова, не узимајући у обзир ниво напора (времена и новца) који је потребно уложити за њихово одређивање или који не разматрају трошковно утицајне параметре са становишта извођача.

Предложен је оригинални хибридни систем који интегрише историјске податке са претходних пројеката, емпиријско истраживање и методе машинског учења, а пружа задовољавајућу тачност процене трошкова изградње ауто-путева у почетним фазама развоја пројекта (са грешком  $MARE=25-30\%$ ), и то за кратко време и уз релативно ниске трошкове. Кроз истраживање је констатовано да се до тражене тачности стиже са свега 3 до 5 кључних трошковно утицајних параметара. У складу са перспективама инвеститора, 5 прворангираних трошковно утицајних параметара је кључно за процену трошкова: *Заступљеност одређеног типа терена у дужини деонице, Постојање великих значајних објеката, Постојање клизне скале, Врста тендерског поступка и Број тунелских цеви.* Са становишта извођача 5 најзначајнијих параметара су: *Постојање клизне скале, Учесће тунела у дужини деонице, Заступљеност одређеног типа терена у дужини деонице, Просечна бруто зарада у грађевинарству и Постојање великих значајних објеката.* Предложени хибридни систем успешно решава постављени проблем научног истраживања, чиме су потврђене полазне хипотезе.

Комисија сматра да урађена докторска дисертације Невене Симић, маг. инж. грађ. представља оригиналан и вредан научни допринос у области менаџмента, технологије и управљања пројектима у грађевинарству и да има све неопходне елементе које докторска дисертација треба да поседује и указује да је кандидаткиња испољила способност за самосталан научно-истраживачки рад.

Стога, 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 задавање сагласности за јавну одбрану докторске дисертације под насловом „*Хибридни систем за процену трошкова изградње ауто-путева у почетним фазама развоја пројекта*“, аутора Невене Симић.

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Београд, 12.07.2023.

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

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

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

.....  
в. проф. др Дејан Маринковић, Грађевински факултет Универзитета у Београду

.....  
доц. др Ђорђе Недељковић, Грађевински факултет Универзитета у Београду