

**НАСТАВНО-НАУЧНОМВЕЋУ
ГРАЂЕВИНСКОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета Универзитета у Београду бр. 149/11-16 од 14.06.2018. године именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Миљана Ковачевића, дипл.грађ.инж., под насловом:

**МОДЕЛ ЗА ПРОГНОЗУ И ПРОЦЕНУ ТРОШКОВА ИЗГРАДЊЕ
АРМИРАНО-БЕТОНСКИХ ДРУМСКИХ МОСТОВА**

После прегледа достављене дисертације Комисија подноси Научно-наставном већу Грађевинског факултета следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

На седници Катедре за управљање пројектима у грађевинарству одржаној 07.04.2016. Миљан Ковачевић је јавно изложио предложену тему докторске дисертације под насловом „**ПРОГНОЗНИ МОДЕЛ ЗА ПРОЦЕНУ ТРОШКОВА ИЗГРАДЊЕ АРМИРАНО-БЕТОНСКИХ ДРУМСКИХ МОСТОВА**“. Наставно-научно веће Грађевинског факултета у Београду је на својој седници одржаној 21.04.2016. године именовало комисију за оцену научне заснованости теме докторске дисертације у саставу в.проф. др Ненад Иванишевић, проф. др Бранислав Ивковић, 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 19.05.2016. године (одлука бр. 149/6).

Веће научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у

Београду на седници одржаној 28.06.2016. (одлука бр. 61206-2610/2-16 од 28.06.2016. године) усвојило је предлог теме докторске дисертације кандидата Миљана Ковачевића под називом „**МОДЕЛ ЗА ПРОГНОЗУ И ПРОЦЕНУ ТРОШКОВА ИЗГРАДЊЕ АРМИРАНО-БЕТОНСКИХ ДРУМСКИХ МОСТОВА**“ .

Кандидат је предао завршену докторску дисертацију Служби за студентска питања Грађевинског факултета Универзитета у Београду дана 06.06.2018. године.

Наставно-научно веће Грађевинског факултета на својој седници одржаној 14.06.2018. године именовало Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације (одлука бр.149/11 - 16 од 14.06.2018 године) у следећем саставу:

1. др Ненад Иванишевић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Грађевински факултет
2. др Бранислав Ивковић, редовни професор у пензији
Универзитет у Београду, Грађевински факултет
3. др Милош Кнежевић, редовни професор
Универзитет Црне Горе, Грађевински факултет у Подгорици

1.2. Научна област дисертације

Тема докторске дисертације припада научној области *Грађевинарство* и ужој научној области *Менаџмент и технологија грађења*, која је дефинисана Статутом Грађевинског факултета Универзитета у Београду. Ментор дисертације је др Ненад Иванишевић, ванредни професор Грађевинског факултета Универзитета у Београду.

1.3. Биографија кандидата

Миљан Ковачевић је рођен 28. новембра 1977. године у Урошевцу. Основну школу, а затим и гимназију завршио је у Урошевцу, 1996. год. Исте године уписује се на Грађевинско-Архитектонски факултет у Приштини. Дипломирао је на конструктивном смеру 2006.год , са просечном оценом 8,77. Дипломски рад радио је из области Управљања пројектима и одбранио га са оценом 10.

У периоду 2006–2007 год. био је ангажован на пројектима изградње стамбено-пословних објеката у Крагујевцу и Врњачкој Бањи за компанију NP Building Group из

Крагујевца. Након тога у периоду до септембра 2008.год. био је ангажован у пројектном бироу компаније Метал Системи из Крагујевца као стручни сарадник. У октобру 2008. године изабран је за сарадника на Катедри за грађевински менаџмент, Факултета техничких наука у Косовској Митровици.

Докторске студије на Грађевинском факултету у Београду уписао је крајем 2013. год. Све програмом предвиђене испите положио је закључно са октобром 2015.године, са просечном оценом 10 и на ранг листи студената за упис 5. семестра школске 2015/2016 рангиран је на првом месту као студент са најбољим резултатима на докторским студијама. Објавио је седам рада у научним часописима (један у часопису на СЦИ листи) и седам радова на међународним конференцијама. Тренутно је ангажован као сарадник на Катедри за грађевински менаџмент, Факултета техничких наука у Косовској Митровици. Поседује напредно знање енглеског и основно знање руског језика. Ожењен је и има троје деце.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Миљана Ковачевића, под насловом „Модел за прогнозу и процену трошкова изградње армирано-бетонских друмских мостова“, има 240 страна, садржи 103 слике и 52 табеле. На почетку дисертације дата је изјава захвалности, резиме са кључним речима и садржај. Дисертација је подељена на 12 поглавља:

1. Увод
2. Процена трошкова грађења
3. Вештачка интелигенција и машинско учење
4. Гредни и оквирни системи армирано-бетонских мостова
5. Предмет истраживања: Модел за прогнозу и процену трошкова изградње АБ друмских мостова
6. Методе за израду предиктивних модела
7. Процена коштања друмских АБ мостова методама заснованим на примени вештачких неуронских мрежа
8. Процена коштања друмских АБ мостова методама заснованим на стаблима одлучивања

9. Процена коштања друмских АБ мостова коришћењем методе потпорних вектора
10. Процена коштања друмских АБ мостова моделом Гаусовог процеса
11. Процена утрошка материјала код АБ друмских мостова
12. Закључак и правци даљих истраживања

Списак цитиране литературе садржи 121 наслов. Биографија кандидата дата је на крају дисертације.

Дисертација је технички обликована према упутствима Сената Универзитета у Београду и посебним упутствима за обликовање штампане и електронске верзије доктората. Садржи обавезна поглавља и обрасце: изјава о ауторству, изјава о истоветности електронске и штампане верзије, изјава о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Основни текст разматране докторске дисертације има 12 поглавља.

У првом поглављу дисертације дата поставка и опис проблема који је разматран, дефинисан је циљ и основне хипотезе, примењене научне методе истраживања истраживања, научна оправданост дисертације, очекивани резултати и практична примена резултата, структура дисертације.

У другом поглављу је дат кратак преглед метода које се примењују за процену трошкова грађења. Указано је на величину и разлоге одступања процењених трошкова изградње мостова и других грађевинских објеката од остварених трошкова изградње. Дефинисане су прецизности процене током животног века пројекта. Дат је кратак опис различитих метода за процену трошкова градње који се примењују у пракси.

Треће поглавље се бави претходном анализом информација о предмету истраживања. Анализирана је примена различитих метода машинског учења код сличних проблема, указано је на тачност примењених метода. Поред истраживања метода које се баве сличном проблематиком, разматране су и методе које се методолошки могу применити на предмет дисертације.

У четвртном поглављу су дефинисани типови мостова који су анализирани, објашњени су поједини елементи мостова. У овом поглављу је дат кратак опис технологије извођења распонске конструкције на фиксној, преносној и покретној

скели, технологије изградње монтажано-монолитне распонске конструкције, као и технологије изградње стубова мостова.

Пето поглавље се бави анализом података који су релевантни за предмет истраживања. Анализира се учешће појединих група радова у укупним трошковима градње. Указује се на специфичности разматраних мостова и даје се статистичка анализа података значајних за развој модела.

Шесто поглавље се бави теоријским основана метода које су коришћене за израду предиктивних модела. Разматрају се модели неуронских мрежа, модели засновани на регресионим стаблима, модели засновани на потпорним векторима, модели засновани на Гаусовом процесу, дају се упутства за примену ових метода и оптимизацију подесивих параметара.

У седмом поглављу се разматра примена модела неуронских мрежа код процене коштања мостова. Разматра се примена неуронских мрежа које користе регуларизацију, као и неуронских мрежа које користе рано заустављање на валидационом скупу, као заштиту од претренирања. Примена ансамбала од неуронских мрежа се детаљно анализира и оцењује се тачност модела у односу на дефинисане критеријуме тачности.

У осмом поглављу се разматра примена модела који су засновани на стаблима одлучивања код процене трошкова изградње мостова. Разматра се примена Bagging, Random Forests и Boosting методе. Код сваке од метода дефинишу се прилагодљиви параметри и врши се њихова оптимизација.

У деветом поглављу се анализира примена модела заснована на методи потпорних вектора код процене трошкова изградње мостова. Разматра се примена линеарне кернел функције, кернел функције са радијалном базом, сигмоидне кернел функције, анализира се утицај параметра кернела на тачност модела, врши се њихова оптимизација.

У десетом поглављу се анализира примена модела Гаусовог процеса код процене трошкова изградње мостова. Разматра се примена функција коваријансе са једним параметром за све анализирани улазне променљиве модела, као и примена АРД функција коваријансе. Ради се компаративна анализа модела и даје препорука оптималног модела.

У једанаестом поглављу се разматра утрошак кључних материјала за изградњу АБ друмских мостова. Разматрају се модели за процену утрошка бетона, високовредног челика, ребрастог челика. Анализира се примена различитих

функција коваријансе, одређују се параметри модела, дефинишу се оптимални модели за процену. Даје се анализа релевантности појединих променљива код модела.

У дванаестом поглављу су дата закључна разматрања, закључак и правци даљи истраживања.

На самом крају докторске дисертације налазе се Литература и Прилози. У прилозима се налази списак табела и слика, представљено је коришћење софтвера у којима су имплементирани модели, графички кориснички интерфејс (GUI) имплементираних модела.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Савремена концепција организације изградње мостова претпоставља планирање активности и процену трошкова који су неопходни да би мост био изграђен у одговарајућем року, одговарајућег квалитета, уз оптималне трошкове изградње. Један од главних проблема код процене трошкова изградње мостова јесте прекорачење процењених трошкова.

Процена трошкова изградње мостова представља комплексан процес који је праћен великим бројем утицајних чинилаца, неизвесношћу и непрецизношћу. Сложеност самог процеса довела је до идеје коришћења савремених метода машинског учења. У дисертацији је приказана могућност моделовања процене трошкова изградње армирано-бетонских друмских мостова у раним фазама развоја пројекта методама вештачке интелигенције и машинског учења као и одређивање количина материјала који значајније утичу на трошкове изградње мостова.

Током спроведеног истраживања формирана база података о уговореним трошковима изградње и основним карактеристикама великог броја мостова на јужном и источном краку аутопутског коридора X кроз Србију. База података је обухватила 181 армирано-бетонски мост чија укупна уговорена вредност радова прелази сто милиона евра. База података о трошковима изградње и пројектним карактеристикама мостова створила је основу за развој модела.

Најчешће коришћене методе које се користе за процену трошкова изградње заснивају се углавном на линеарној регресији. Код других метода које се користе полази се од претпоставке о облику функције чије параметре тек треба одредити. Претпоставкама о облику функције процес процене трошкова постаје пристрасан

односно субјективан.

Методе вештачке интелигенције односно машинског учења не полазе од таквих претпоставки, већ на основу познатих излаза односно трошкова изградње, као и познатих улаза односно трошковно најзначајних елемената ту законитост проналазе.

Аутоматизација процена трошкова изградње, која се постигла применом модела заснованог на вештачкој интелигенцији, омогућава смањивање субјективног утицај људског фактора у процени трошкова и повећава ефикасност процеса

У раним фазама развоја пројекта методама базираним на вештачкој интелигенцији могућа је брза и довољно тачна процена трошкова изградње и утрошка кључних материјала армирано-бетонских друмских мостова, на бази основних карактеристика будућих мостова и базе историјских података о уговореним мостовима на којој је модел обучаван.

Процена трошкова у досадашњој пракси код нас, а можемо рећи чак и у свету, заснива се углавном на експертској процени трошкова изградње и претходном искуству експерта, врло често субјективно, са значајним грешкама у процени. Формирани модел процене трошкова изградње армирано-бетонских мостова је аналоган експертској процени, са значајном разликом у томе што је претходно искуство инкорпорирано у модел, а процес је значајно бржи, аутоматизован, објективан, значајно прецизнији и јефтинији.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У изради ове докторске дисертације је коришћена 121 библиографска јединица. Већину референци чине радови објављени у водећим међународним часописима попут Journal of Construction Engineering and Management, Journal of Computing in Civil Engineering, Expert Systems with Applications, Automation in Construction, књиге референтних аутора из ове области, као и радови објављени на значајним међународним конференцијама. Највећи број референци је новијег датума: 86 референци је публикувано од 2000. године, од чега 52 између 2010. и 2018. године.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У оквиру дисертације формиран је низ модела за процену трошкова изградње армирано-бетонских друмских мостова базираним на методама вештачке интелигенције.

У предложеном истраживању су поред општих научних метода, коришћене и:

1. Емпиријска метода- метода квантитативног истраживања са циљем идентификације параметара трошкова на пројектима изградње армирано-бетонских друмских мостова.
2. Статистичке методе у обради и приказу резултата истраживања.
3. Методе машинског учења односно вештачке интелигенције, које су коришћене у циљу дефинисања различитих модела за процену трошкова.

У оквиру истраживања извршено је:

1. прикупљање података,
2. анализа прикупљених података,
3. формирање релевантне базе података о трошковима изградње мостова,
4. припрема података за потребе формирања модела,
5. формирање модела и
6. компаративна анализа модела.

Анализирана је употреба следећих модела:

- Модели засновани на вештачким неуронским мрежама,
- Модели засновани на регресионим стаблима,
- Модели засновани на методи потпорних вектора,
- Модели засновани на Гаусовим процесима.

За компаративну анализу модела коришћени су статистички показатељи:

- Корен средње квадратне грешке (eng. Root of Mean Squared Error – RMSE),
- Средња апсолутна грешка (eng. Mean Absolute Error – MAE),
- Коефицијент корелације R (eng. Correlation coefficient),
- Средња апсолутна процентуална грешка (eng. Mean Absolute Percentage Error – MAPE).

Наведене методе истраживања су актуелне и у потпуности примерене за примену у предметном истраживању.

3.4. Применљивост остварених резултата

Формирана база података о трошковима изградње мостова омогућава да се

будуће процене трошкова врше системски, на научној основи, а свако проширивање базе историјских података би се лако могло уградити у модел и повећало би тачност модела. Поред базе података о трошковима, формиране су и базе података везане за утрошак бетона, високовредног челика и ребрастог челика.

У оквиру дисертације је развијен, анализиран и верификован већи број предиктивних модела за процену коштања изградње друмских армирано–бетонских мостова и модела за процену утрошка кључних материјала за њихову изградњу.

На бази предложеног модела у програму MATLAB је развијен софтвер с корисничким интерфејсом за унос дефинисаних променљивих, где се након уноса готово тренутно добијају процењени трошкови грађења односно количине кључних материјала.

Формирани модели у раду омогућавају у припремној фази инвестиционог пројекта рану техно-економску анализу која је од великог значаја код доношење одлуке о приступању изградњи армирано–бетонског друмског моста. Сам модел би се могао користити и на иностраном тржишту за које постоји оформљена база података.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат се у оквиру своје докторске дисертације бавио изучавањем и критичком анализом доступне референтне литературе, планирањем, спровођењем, анализом и верификацијом резултата експерименталног истраживања, као и моделирањем предложеног решења. Систематичним приступом постављеном проблему, повезујући различите сегменте научно-истраживачког рада, Миљан Ковачевић је успешно решио постављене задатке и доказао да поседује способност за самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру докторске дисертације Миљана Ковачевића остварени су следећи научни доприноси:

1. У оквиру дисертације је развијен, анализиран и верификован већи број предиктивних модела заснован на методама вештачке интелигенције односно машинског учења за процену коштања изградње друмских армирано–бетонских мостова и модела за процену утрошка кључних материјала за

њихову изградњу. Формирана база података о трошковима изградње мостова омогућава да се будуће процене трошкова врше системски, на научној основи, а свако проширивање базе историјских података би се лако могло уградити у модел и повећало би тачност модела. Поред базе података о трошковима, формиране су и базе података везане за утрошак бетона, високовредног челика и ребрастог челика.

2. Извршено је поређење модела који су засновани на различитим методама машинског учења коришћењем различитих статистичких показатеља тачности модела и дефинисан оптимални модел задовољавајуће тачности за процену коштања изградње друмских армирано-бетонских мостова заснован на методама машинског учења.
3. Извршена је одређивање и оцена релевантности појединих улазних променљива код оптималног модела и указано на поступак формирања модела за процену коштања коришћењем суженог скупа променљивих;
4. У оквиру модела за процену утрошка кључних материјала, бетона, ребрастог челика, високовредног челика, извршена је оцена релевантности појединих променљивих и дефинисане су са аспекта тачности најзначајније променљиве које омогућавају формирање модела задовољавајуће тачности.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Формирани модели у дисертацији могу да се користе као користан алат приликом доношења одлука, јер омогућавају компарацију различитих варијантних решења како са техничког гледишта тако и са економске стране.

Једно од најзначајнијих ограничења у примени метода машинског учења код предвиђања вредности континуалне променљиве односно у разматраном случају предвиђања коштања изградње армирано-бетонских друмских мостова лежи у чињеници да се вредности променљивих модела требају наћи у оквиру распона променљивих за који је модел трениран. Како би се осигурала добра генерализацијска својства мреже, скуп података за тренирање мора садржати репрезентативне узорке система који се моделира, при чему модели предвиђају унутар опсега вредности које су представљене за време тренирања. Поменуто ограничења важе и код модела за процену утрошка кључних материјала, бетона, ребрастог челика и високовредног челика, који су такође формиран у дисертацији. Статистички показатељи променљивих за све формиране моделе дефинисани су и приказани у раду.

4.3. Верификација научних доприноса

У току израде дисертације, Миљан Ковачевић је међународној и домаћој, научној и стручној јавности представио свој рад кроз следеће публикације:

Категорија М23:

1. **Miljan Kovačević**, Nenad Ivanišević, Tina Dašić, Ljubo Marković:“ Application of artificial neural networks for hydrological modelling in karst“. GRAĐEVINAR Vol. 70, No 1 (2018), pp 1-10

Категорија М24:

2. **Ковачевић,М.**, Марковић,Љ., Бабић,Л.: “Statistical Modelling of extreme values Application to calculate extreme flow at river Rasina” : Building materials and structures, No. 4 (2014), pp. 21-30.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу анализе докторске дисертације, примењених научних метода, остварених резултата истраживања и научних доприноса, може се констатовати да докторска дисертација Миљана Ковачевића, дипл.грађ.инж, под насловом „ Модел за прогнозу и процену трошкова изградње армирано-бетонских друмских мостова“, представља оригинални научни рад, који има значајан научни допринос у области грађевинарства. У раду су представљене и анализирани најсавременије технике машинског учења које се могу применити код ране процене трошкова изградње армирано-бетонских друмских мостова. Анализирана је примена вештачких неуронских мрежа, ансамбла регресионих стабала, модела заснованих на методи потпорних вектора, Гаусових случајних процеса. Поред модела за процену коштања изградње армирано-бетонских друмских мостова, формиран су и модели задовољавајуће тачности за процену утрошка кључних материјала.

Спроведено истраживање потврђује полазну хипотезу да је у раним фазама развоја пројекта методама базираним на вештачкој интелигенцији могућа брза и довољно прецизна процена трошкова изградње армирано-бетонских друмских мостова и утрошка кључних материјала за њихову градњу.

Комисија сматра да урађена докторска дисертација Миљана Ковачевића, дипл.грађ.инж у потпуности испуњава све захтеване критеријуме и да је кандидат показао способност за самостално бављење научно-истраживачким радом.

Имајући у виду све што је напред речено, Комисија сматра да урађена докторска дисертација Миљана Ковачевића, дипл.грађ.инж. представља оригиналан и вредан научни допринос у области Менаџмента и технологије грађења и предлаже Наставно-научном већу Грађевинског факултета Универзитета у Београду да прихвати позитивну оцену докторске дисертације кандидата Миљана Ковачевића под насловом „Модел за прогнозу и процену трошкова изградње армирано-бетонских друмских мостова“ и да упути захтев Већу научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду за давање сагласности за јавну одбрану дисертације.

Београд, 28.06.2018.

ЧЛАНОВИ
КОМИСИЈЕ

.....

др Ненад Иванишевић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

.....

др Бранислав Ивковић, редовни професор у пензији
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

.....

др Милош Кнежевић, редовни професор
Универзитет Црне Горе, Грађевински факултет у Подгорици

.....