

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Игора Милошевића.

Одлуком Наставно-научног већа од 26. јуна 2020. године (одлука бр. 252/10-17) именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Игора Милошевића, дипл. инж. грађ., под насловом:

**ОДРЕЂИВАЊЕ РЕЗИДУАЛНЕ ВРЕДНОСТИ ГРАЂЕВИНСКЕ МЕХАНИЗАЦИЈЕ ПРИМЕНОМ
МЕТОДА МАШИНСКОГ УЧЕЊА**

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

На седници Већа Катедре за управљање пројектима у грађевинарству одржаној 27. априла 2017. године, Игор Милошевић је јавно излагао предложену тему докторске дисертације под насловом „Одређивање резидуалне вредности грађевинске механизације применом метода машинског учења“. Комисија коју је образовало Веће Катедре прихватила је предложену тему и предложила кандидату да тему пријави Наставно-научном већу Грађевинског факултета. Кандидат је тему пријавио 6. јуна 2017. године.

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета бр. 252/3-17 од 29. јуна 2017. године, одређена је Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације под насловом „Одређивање резидуалне вредности грађевинске механизације применом метода машинског учења“ у саставу др Бранислав Ивковић дипл. инж. грађ., редовни професор Грађевинског факултета у Београду, др Милан Тривунић дипл. инж. грађ., редовни професор Факултета техничких наука у Новом Саду, др Милош Ковачевић дипл. инж. ел., ванредни професор Грађевинског факултета у Београду. Позитиван извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације усвојен је на седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета одржаној 14. септембра 2017. године (одлука 252/5-17). Веће научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду, на седници одржаној 28. септембра 2017. (одлука бр. 61206-3756/2-17), усвојило је предлог теме докторске дисертације кандидата Игора Милошевића.

Кандидат је урађену докторску дисертацију предао Служби за студентска питања Грађевинског факултета 22. јуна 2020. године.

1.2. Научна област дисертације

Тема докторске дисертације припада научној области Грађевинарство и ужој научној области Информационе технологије у грађевинарству и геодезији, која је дефинисана Статутом Грађевинског факултета Универзитета у Београду. За ментора дисертације одређен је др Милош Ковачевић, дипл. ел. инж., редовни професор Грађевинског факултета Универзитета у Београду.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Игор Милошевић рођен је 6. маја 1979. године у Малмеу у Шведској. Основну школу, а затим и гимназију, завршио је у Јагодини, а потом уписао Грађевински факултет у Београду. Дипломирао је на Одсеку за планирање и грађење насеља 2008. године. Наредне године дипломирао је и на Високој електротехничкој школи струковних студија, на смеру рачунарске технике. Докторске студије уписао је крајем 2009. године, а све предвиђене испите положио је закључно са августом 2016. године.

Од 2007. године запослен је у грађевинској фирми Дабар, на позицији извођача радова. Лиценцу одговорног извођача радова добио је 2011. године. Учествовао је на изградњи више десетина грађевинских објеката високоградње. Власник је информатичког предузећа МЛ Пивот.

Активности у научним и стручним удружењима и научни рад:

Члан Инжењерске коморе Србије – лиценца 411Ф87711

Члан Америчког удружења грађевинских инжењера ASCE (American Society of Civil Engineers) – ИД 438326

Члан Удружења за управљање пројектима PMI (Project Management Institute) – ИД 2644796

Аутор је, или коаутор, три рада у часописима са СЦИ листе и девет радова у зборницима и стручним часописима.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Игора Милошевића под насловом „Одређивање резидуалне вредности грађевинске механизације применом метода машинског учења“ садржи укупно 119 страница, од којих основни текст садржи 101 страницу. Дисертација је писана на српском језику и подељена је у шест поглавља:

1. Увод
2. Преглед литературе
3. Технике машинског учења
4. Модел блиске будућности – презентација машина и примењене методе
5. Формирање и верификација модела блиске будућности на аукцијским подацима
6. Закључна разматрања

Дисертација садржи 41 слику и 21 табелу. Списак цитиране литературе садржи 64 наслова. На почетку дисертације је дат резиме на српском и енглеском језику, са кључним речима и UDK бројем. Дисертација у дигиталној верзији садржи прилог који обухвата програмски код коришћен у експериментима. Биографија аутора 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 и изјава о коришћењу. Након провере оригиналности дисертације путем програма iThenticate, добијен је индекс сличности од 3%, што додатно потврђује да се ради о оригиналном научном тексту.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Основни текст разматране докторске дисертације има шест поглавља и преглед коришћене литературе. На почетку текста је дат садржај, изјава захвалности, апстракт и списак кључних речи на енглеском и српском језику.

Након упознавања са контекстом дисертације и утврђивања основних појмова, у поглављу 2 анализирају се постојећи приступи у одређивању резидуалне вредности. Прво се анализирају радови са краја двадесетог века, како би се утврдило које карактеристике механизације и у којој мери утичу на њихову резидуалну вредност. Посебно се разматра израчунавање резидуалне вредности путем регресионе једначине Ворстера (поглавље 2.2). Потом следи кратак осврт на радове из области машинског учења, како у области управљања пројектима (поглавље 2.3), тако и на тему одређивања резидуалне вредности (поглавље 2.4).

У поглављу 3 дат је преглед теоријских основа машинског учења. Прво се излажу основни појмови из области машинског учења (3.1). У поглављу 3.2 дефинисане су опште особине модела надгледаног учења, а у поглављу 3.3 критеријуми за оцену квалитета модела. Потом се описују технике машинског учења које ће бити коришћене у дисертацији – даје се квалитативан опис и износе математичке формулације на којима технике почивају (3.4).

Поглавље 4 дефинише Модел блиске будућности (МББ) који је заснован на ансамблу погодних изабраних регресионих модела. Поред основних концепата на којима МББ почива, разматрају се ограничења и претпоставке за његово коришћење.

Поглавље 5 садржи четири дела. Прво се описује процес прикупљања и претходне обраде података о грађевинској механизацији која је оглашена на аукцијским сајтовима. Том приликом разматра се поступак формирања атрибута који описују појединачне машине. Након тога извршена је анализа оглашених цена. Потом се детаљно описује начин формирања ансамбла, са посебним освртом на поступак тражења метапараметара у току тренинга. У последњем, четвртом делу поглавља 5, приказани су експерименти којима се потврђује предложени приступ за одређивање резидуалне вредности: поређење индивидуалних регресионих модела наспрам предложеног ансамбла, поређење предложеног модела са традиционалним моделима, тестирање модела блиске будућности у различитим економским сценаријим, примена симболичке регресије за одређивање резидуалне вредности, варирање тачности модела у зависности од величине тренинг скупа, као и могућности предложеног модела да предвиђа у даљој будућности.

Поглавље 6 представља дискусију предложеног решења са закључком. У овом поглављу представљена је могућа примена истраживања у грађевинској пракси, подвучени научни доприноси и дефинисана отворена питања, како са методолошког, тако и са становишта примене.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Дисертација се бави проценом резидуалне вредности грађевинске механизације коришћењем јавно доступних података са аукцијских сајтова. Предложени предикциони модели добијени су из података применом савремених метода машинског учења. Разлог за употребу машинског учења је у томе да модел треба да буде универзално применљив, без обзира на типове и карактеристике механизације, географске и макроекономске карактеристике циљног тржишта, као и да буде прилагодљив на временски променљиве тржишне трендове.

Оригиналност се огледа у идеји да се резидуална вредност, као функција времена, карактеристика машине и циљног тржишта, моделира путем више регресионих техника машинског учења, па да се онда њихове предикције комбинују како би се смањила варијанса процене. Даље, увођењем погодних трансформација за временски зависне атрибуте, модел може да предвиђа резидуалну вредност посматране машине до две године унапред. На овај начин унапређује се систем управљања трошковима грађевинске механизације. Предузећа могу тачно да одреде вредност машине по сату рада, као и да се одлуче за најбољи тренутак продаје половне машине.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Кандидат је анализирао истраживања из референтне области користећи адекватну литературу на задовољавајући начин. Размотрена су 64 рада, првенствено из области управљања грађевинском механизацијом и области машинског учења. Том приликом уочени су недостаци постојећих приступа за процену резидуалне вредности и предложена оригинална решења.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Рад у дисертацији првенствено се ослања на познате теоријске поставке метода машинског учења, као и на сопствено експериментално истраживање.

Кандидат је спровео исцрпну компаративну анализу постојећих приступа за одређивање резидуалне вредности грађевинске механизације. Применом синтезе постојећих резултата формиран су пожељни циљеви које предложени предикциони модел треба да испуни.

Како се приступ у истраживању базира на методама машинског учења, кандидат је прво прикупио и препроцесирано податке на којима ће разматрати могуће алтернативне предикционе моделе. Препроцесирање је обухватало чишћење података од шума и обраду недостајућих вредности. Како би се свака машина адекватно представила, поред постојећих описних атрибута, било је потребно креирати и нове који се односе на циљно тржиште и одговарајуће економске трендове. Дескриптивна анализа скупа података спроведена је коришћењем стандардних статистичких метода.

За потребе креирања модела заснованог на ансамблу разматране су следеће методе машинског учења: Random Forest, Light Gradient Boosting, Neural Networks и Support Vector Regression. Ове методе (осим SVM) толеришу очекиване недостајуће вредности у подацима. Осим тога коришћене су и методе Symbolic Regression, Ordinary Linear Regression и Ridge Regression. Приликом тренирања модела, хиперпараметри су тражени у поступку унакрсне валидације прилагођене подацима из временске серије. Све регресионе методе поређене су на уобичајени начин коришћењем мера попут RMSE (Root Mean Squared Error) и MAE (Mean Absolute Error).

Сви експерименти имплементирани су у виду програма које је Кандидат реализовао у окружењу програмског језика Python.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати истраживања могу се практично применити у процесу управљања грађевинском механизацијом од стране извођача радова, али и код компанија које се баве продајом и издавањем грађевинске механизације. Применом предложеног модела, власник машине може да процени њену вредност прецизније, без ангажовања стручњака, под условом да поседује податке за тренинг предложеног модела, а који се односе на циљно тржиште. Предложено решење одговара, пре свега, аукцијским сајтовима који могу понудити својим претплаћеним клијентима да добију процењену вредност механизације.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је у потпуности показао да је способан за самостални научни рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У докторској дисертацији кандидата остварени су следећи научни доприноси:

1. *Скуп података о половним грађевинским машинама:* формиран је обиман скуп података који садржи детаљне техничке описе и оглашене цене за приближно 500.000 машина, оглашених на преко 30 америчких аукцијских сајтова, у распону од више деценија.
2. *Предикциони модел резидуалне вредности заснован на ансамблу регресионих метода:* дефинисан је модел који комбинује већи број регресионих метода машинског учења (Random Forest, Light Gradient Boosting, Neural Networks) чије се одлуке, путем Support Vector Regression методе, преводе у предвиђања за резидуалне вредности. Модел користи различите карактеристике машина и макроекономске параметре циљног тржишта као улазне променљиве. Изведене су карактеристике које додатно описују трендове на тржишту за појединачне врсте механизације. Дефинисан је протокол тренирања који узима у обзир да су машине оглашаване у различитим временским тренуцима.
3. *Предикциони модел резидуалне вредности заснован на симболичкој регресији:* дефинисан је нелинеарни регресиони модел заснован на еволутивном алгоритму – модел симболичке регресије. Модел користи исту репрезентацију за грађевинске машине као и модел заснован на ансамблу.
4. *Модел блиске будућности:* дефинисан је модел који се заснива на претходно поменутом ансамблу, а који, уз трансформацију појединих временски зависних атрибута машине, предвиђа резидуалну вредност за период до две године унапред. Овај модел дозвољава разматрање различитих будућних економских сценарија, као и сценарија коришћења механизације.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Кандидат у свом истраживању полази од претпоставке да се, уз помоћ података о оглашеним машинама на аукцијским сајтовима, могу креирати предикциони модели за резидуалну вредност. Том приликом чини се и разумна претпоставка да су оглашене цене блиске реализованим продајним ценама. Како би креирао предикциони модел који се заснива на техникама машинског учења, кандидат је прво морао да прикупи довољан број података. Према нашим сазнањима, прикупљени скуп издваја се како по обиму, тако и по детаљности описа грађевинске механизације у односу на све остале примере из области.

На основу експеримената, показано је да модел заснован на ансамблу даје доста боље резултате предвиђања него модел базиран на Ворстер-Кастенс једначини, или модел стандардне линеарне регресије. Предложени модел даје боље резултате и у поређењу са индивидуалним методама машинског учења које су, појединачно, боље од стандардне линеарне регресије. Кандидат је формирао и предикциони модел базиран на симболичкој регресији. Ова метода остварила је мању тачност од предложеног ансамбла, а већу од стандардних линеарних метода.

Модел блиске будућности (МББ), заснован на предложеном ансамблу, тестиран је у различитим економским сценаријима за једну годину унапред. Резултати су показали да се грешка предвиђања, у односу на текуће предикције ансамбла, повећава за антиципирану кризу (+5% MAE). Под нормалним варијацијама економских услова, модел се прилагођава у складу са околностима и не показује значајну промену у грешци предвиђања (око +2% MAE).

Тестирана је зависност тачности МББ модела у односу на временску дубину тренинг скупа и установљено је да се оптималан резултат постиже када се модел тренира на подацима из последњих 10 година. Експерименти су показали да се модел може успешно применити и за предвиђање резидуалне вредности за период до две године унапред, уз извесно опадање тачности, а након тога грешка предвиђања расте.

Иако је модел креиран коришћењем података са америчких аукцијских сајтова, предложена методологија за прикупљање и обраду података, као и тренирање модела заснованог на ансамблу, може се применити за она циљна тржишта за која постоје расположиви подаци. Предност приступа заснованог на машинском учењу је у томе да се, из локалних података, лако могу ухватити специфичности конкретног тржишта.

4.3. Верификација научних доприноса

У току израде дисертације Игор Милошевић је представио своје истраживање кроз следеће радове:

Категорија M23:

Milošević, I., Petronjević, P., Arizanović D., "Assessing the Residual Value of Heavy Construction Equipment Depending on the Age of the Machine," *J. Croat. Assoc. Civ. Eng.*, 2020, <https://doi.org/10.14256/JCE.1285.2015>.

Категорија M33:

Milošević I., "Determination of Residual Value of Construction Machinery," in proceedings of International Symposium on Project Management (YUPMA), 2015.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу анализе дисертације, испуњености циљева и задатака истраживања, примењене методологије, добијених резултата и остварених научних доприноса, може се констатовати да докторска дисертација „Одређивање резидуалне вредности грађевинске механизације применом метода машинског учења“ представља оригиналан и вредан научни допринос, као и да је кандидат Игор Милошевић показао способност за бављење научно-истраживачким радом. Докторска дисертација представља научни рад из области Информационе технологије у грађевинарству и геодезији, а односи се на управљање грађевинском механизацијом. У оквиру дисертације дефинисан је нови приступ за процену резидуалне вредности грађевинске механизације који почива на ансамбл моделу машинског учења, тренираном на јавно доступним подацима са аукцијских сајтова. За разлику од постојећих приступа, модел узима у обзир велики број техничких карактеристика и стање машине, као и макроекономске карактеристике циљног тржишта, чиме се добија тачнија процена резидуалне вредности. Модел је способан да предвиђа резидуалну вредност како у садашњем тренутку, тако и у блиској будућности, што омогућава власнику да донесе квалитетније одлуке у процесу управљања флотом машина. На основу горе наведеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Грађевинског факултета Универзитета у Београду да се прихвати докторска дисертација Игора Милошевића, дипл. грађ. инж., под називом „Одређивање резидуалне вредности грађевинске механизације применом метода машинског учења“, те да се одобри њена јавна одбрана.

Београд, 10.8.2020.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Милош Ковачевић, редовни професор
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

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

др Милан Тривунић, редовни професор
Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука

др Наташа Прашчевић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

др Предраг Петронијевић, доцент
Универзитет у Београду, Грађевински факултет