

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Факултет организационих наука

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Андрије А. Петровића

Одлуком Наставно-научног већа Факултета организационих наука 3/91-9 од 10.07.2019 именовани смо за чланове Комисије за преглед оцени и одбрану докторске дисертације кандидата Андрије Петровића, под насловом:

РАЗВОЈ ИНТЕГРИСАНОГ МОДЕЛА ЗА ПРЕДИКЦИЈУ ГУЖВИ И ОДРЕЂИВАЊЕ ОПТИМАЛНОГ БРОЈА АКТИВНИХ КАНАЛА У МОДУЛУ

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Андрија Петровић, маг. инж. маш.– мастер инжењер машинста, маг. екон. – мастер економије, уписао је прву годину докторских студија на Факултету организационих наука Универзитета у Београду на смеру Квантитативни менаџмент школске 2015/2016. године.

Након положених испита према наставном плану и програму, кандидат је пријавио приступни рад под називом: „Развој интегрисаног модела за предикцију гужви и одређивање оптималног броја отворених канала“. Комисија за преглед и одбрану приступног рада и оцену научне заснованости пријављене докторске дисертације је формирана 23.01.2019. године, Одлука број 3/3-5. Приступни рад је одбранио пред Комисијом дана 01.02.2019. године.

Одлука о усвајању извештаја Комисије о научној заснованости пријављене докторске дисертације донета је 20.02.2019. године, Одлука број 3/13-11. Одлуком Универзитета у

Београду бр. 61206-909/2-19 од 26.03.2019 године дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације Андрије Петровића под називом „Развој интегрисаног модела за предикцију гужви и одређивање оптималног броја активних канала у модулу“. Одлуком Наставно-научног већа Факултета организационих наука 3/53-7 од 10.04.2019 године одобрена је израда докторске дисертације, а за ментора је именован др Борис Делибашић, редовни професор Факултета организационих наука, док је за коментора именован др Угљеша Бугарић, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду. Ментор је известио Наставно-научно веће Факултета организационих наука да је Андрија Петровића завршио израду докторске дисертације. Наставно-научно веће Факултета организационих наука је именовало комисију за оцену завршене докторске дисертације 10.07.2019, Одлука број 3/91-9, у саставу:

- др Борис Делибашић, редовни професор (ментор), Факултет организационих наука, Универзитет у Београду
- др Угљеша Бугарић, редовни професор (коментор), Машински факултет, Универзитет у Београду
- др Милија Сукновић, редовни професор, Факултет организационих наука, Универзитет у Београду
- др Драгана Макајић Николић, ванредни професор, Факултет организационих наука, Универзитет у Београду
- др Милош Јовановић, доцент, Факултет организационих наука, Универзитет у Београду
- др Душан Петровић, редовни професор, Машински факултет, Универзитет у Београду
- др Младен Николић, редовни професор, Математички факултет, Универзитет у Београду

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под насловом „Развој интегрисаног модела за предикцију гужви и одређивање оптималног броја активних канала у модулу“ припада области техничких наука – Квантитативни менаџмент, ужој научној области – Моделовање пословних система и пословно одлучивање, за коју је Факултет организационих наука Универзитета у Београду матичан. Ментор др Борис Делибашић је редовни професор на Факултету организационих наука Универзитета у Београду. Као аутор или коаутор до сада је публикувао 24 радова на SCI листи. Коментор др Угљеша Бугарић је редовни професор на Машинском факултету Универзитета у Београду. Као аутор или коаутор до сада је публикувао 15 радова на SCI листи.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Андрија Петровић рођен је у Београду 23.08.1991. Основну школу „Љуба Ненадовић“ завршио је 2006. године у Београду, као носилац Вукове дипломе и ђак године. Средњу школу „13. београдску гимназију“ завршио је 2010. године у Београду и награђен је за изузетан успех током школовања. Основне студије на Машинском факултету Универзитета у Београду уписао је 2010. године и завршио 2013. године са просечном оценом 9,91. Мастер студије на Машинском факултету Универзитета у Београду, смер Процесна техника и заштита животне средине, уписао је 2013. године и завршио 2015. године са просечном оценом 9,90. Мастер рад је одбранио са оценом 10 на тему „Концептуално решење и економска процена рада система за производњу електричне енергије на бази органског ранкиновог циклуса“. Дипломирао је на Факултету за Пословну економију Универзитета Сингидунум 2014. године, смер финансије и банкарство, са просечном оценом 9,45. Мастер студије на модулу Пословна економија завршио је 2016. године са просечном оценом 10,00. Мастер рад је одбранио са оценом 10 на тему „Динамика промене вредности емисионих дозвола и рентабилност инвестиције тригенеративног постројења“.

Тренутно је студент треће године докторских студија на Факултету организационих наука Универзитета у Београду, где је положио све испите на докторским студијама и студент је треће године докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду. Докторске студије на Факултету организационих наука кандидат је уписао школске године 2015/16. Докторске студије на Машинском факултету кандидате је уписао школске године 2015/16.

Награђиван је за изузетан успех током студија на Машинском факултету 2010/11, 2011/12, 2012/13, 2013/14, 2014/15 године. Награђен је као најбољи студент на основним академским студијама генерације уписане 2010/11 године, као најбољи студент на мастер академским студијама генерације уписане 2013/14 године и као најбољи студент генерације уписане 2010/11 године. Добитник награде за најбољи мастер рад на конгресу Процесинг 2016.

Био је стипендиста града Београда за 2011/12 годину, стипендиста Републике Србије за 2013/14 годину, стипендиста Фонда за младе таленте“ за 2012/13 и 2014/15 годину, стипендиста „Термоелектране Никола Тесла“ за годину 2012/13, стипендиста фирме „Ејектоинжењеринг Београд“ за 2012/13, 2013/14 и 2014/15 годину.

Учествовао је у раду летње школе организоване под покровитељством NTNU (Norwegian University of Science and Technology) у оквиру пројекта „Herd energy project - quality improvement of masters programs in sustainable energy and environment“. Био је практикант фирме „Про-инг Београд“ у периоду јун-август 2011 године. Похађао је више курсева организованих од стране фирме „Merit Plan“. У оквиру Erasmus+ програма размене студената похађао је 2. семестар прве године докторских студија школске 2015./16. на Машинском факултету Универзитета Политехника Темишвар. Стипендиран је од компаније Сага д.о.о. од маја 2018 на пројекту развоја алгоритама за машинско учење заједно са професорима са Факултета организационих наука.

Запослен је од 2018. године као асистент на катедри за Индустијско инжењерство на Машинском факултету Универзитета у Београду.

Поседује сертификат FCE– B2 познавање енглеског језика. Служи се руским језиком. Активно користи програмерске софтвере Visual Basic, MatLab, Python, Fortran, Delphi, Eviews, Ansys - Fluent, AMPL, SQL. Зна да употребљава софтверске пакете за обраду текста MS OFFICE (Word, Excell, Power point) и Latex, софтвере за техничко цртање AutoCAD и Solid Works. Поседује возачку дозволу Б категорије. Објавио је до сада 7 радова на SCI листи од тога четири M21а категорије, један M21 категорије и два M22 категорије.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Андрије Петровића, маг. инж. маш., маг. екон. под насловом „**Развој интегрисаног модела за предикцију гужви и одређивање оптималног броја активних канала у модулу**“ је документ формата А4, штампан једнострано, написан на српском језику, ћириличним писмом. Написана је на укупно 154 нумерисаних страна укључујући и Литературу која садржи 104 референци. Илустрована је са 37 слика и дијаграма, садржи 100 нумерисаних израза, и 25 табела.

Докторска дисертација садржи следећа Поглавља:

1. Увод;
2. Осврт на релевантне библиографске изворе и остварене резултате;
3. Теоријске основе развијених методологија;
4. Методологија за класификацију гужви помоћу Гаусових условних случајних поља за класификацију;
5. Методологија за предвиђање индикатора саобраћаја -структурна предикција ретких зависних индикатора саобраћаја у великим мрежним системима;
6. Методологија за одређивање оптималног броја активних канала у модулу;
7. Примена развијених методологија на скупу података са аутопутева;
8. Примена развијених методологија на реалним проблемима из других домена;
9. Закључак;
10. Листа слика;
11. Листа табела;
12. Литература.

Осим наведеног, докторска дисертација садржи резиме на српском и енглеском језику, садржај, биографију аутора, Изјаву о ауторству, Изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјаву о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У *првом* поглављу дисертације дат је основни увид у област којом ће дисертација да се бави. Укратко је представљена основна мотивација која се тиче решавање проблема који настају на аутопутевима и саобраћају уопште. Објашњене су и представљене три методологије које ће бити развијене: методологија за класификацију гужви, методологија за предвиђање индикатора саобраћаја и методологија за одређивање оптималног броја активних канала у модулу који треба да буде отворен у будућности. Поред тога, дат је поглед на методе научно-истраживачког рада, циљеве истраживања, опште и посебне хипотезе и значај истраживања. На самом крају представљена је структура рада.

У *другом* поглављу дисертације представљен је осврт на релевантне библиографске податке и остварене резултате за сваку од методологија које су развијене у дисертацији. Приказан је осврт на најважније резултате које се тичу примене различитих модела у циљу решавања проблема везаних за саобраћајну инфраструктуру. Приказани су и модели условних случајних поља који су били основни мотив у развоју модела Гаусових условних случајних поља за регресију. Напоменути су и модели теорије редова који су се користили при решавању опслуживања на наплатним станицама, као и имплементација различитих метода оптимизације (метахеуристика) у решавању проблема у саобраћају.

У *трећем* поглављу дисертације приказане су теоријске основе које су коришћене у циљу развијања претходно напоменуте три методологије. Дат је преглед модела Гаусових условних случајних поља за регресију, модела теорије редова, увид у поступак симулације Марковог нехомогеног ланца, различитих архитектура рекурентних неуронских мрежа и метахеуристика за одређивање оптималне полисе. Гаусова условна случајна поља за регресију су коришћена као основ за развијање модела Гаусових условних случајних поља за класификацију у оквиру методологије за класификацију гужви и предвиђање индикатора саобраћаја. Остали модели приказани у овом поглављу су коришћени у циљу развијања методологије за одређивање оптималног броја активних канала опслуживања у модулу.

У *четврто*м поглављу дисертације је представљена је новоразвијена методологија за класификацију гужви коришћењем новог модела Гаусових условних случајних поља за класификацију. Три верзије математичког модела Гаусових условних случајних поља за класификацију су развијене Бајесовска, Бајесовска апроксимативна и не-Бајесовска верзија у зависности од усвојених претпоставки. Модел је успешно имплементиран на проблему предвиђања гужви на ауто-путевима и скијалиштима. Поред тога, имплементација истог је даље генерализована на различите врсте реалних проблема.

У *петом* поглављу дисертације развијена је методологија за одређивање очекиваних индикатора саобраћаја која узима у обзир структурну повезаност излаза и елиминацију места на којима нема никаквих информација. Методологија је заснована на комбинацији Гаусових условних случајних поља за класификацију и Гаусових условних случајних поља за регресију. Поред тога, развијена методологија користи сва три типа развијених модела Гаусових условних случајних поља за класификацију (Бајесовски модел, апроксимативну верзију Бајесовског модела и не-Бајесовски модел) евалуира њихове перформансе

унакрсном валидацијом и бира онај који даје најбоље резултате као претходницу регресионог модела.

У *шестом* поглављу дисертације коришћењем комбинације рекурентних неуронских мрежа заједно са моделима теорије редова и оптимизационим методама развијена је методологија за одређивање оптималног броја активних канала за опслуживање у модулу. Методологија се може успешно применити на било који реални проблем који се може представити моделима теорије редова, где је потребно одредити оптималну политику промене управљачке величине (отварање и затварање канала) у неком периоду у будућности. Поред тога, методологија за одређивање оптималног броја активних канала у модулу представљена је Бајесовским и не-Бајесовским приступом.

У *седмом* поглављу дисертације, у циљу валидације рада методологија приказаних у претходним поглављима, исте су примењене на проблем класификације гужви на наплатним станицама, предвиђање индикатора просечне брзине возила које долазе на наплатну станицу и одређивање оптималног броја отворених наплатних рампи на наплатној станици у неком периоду у будућности. Резултати добијени новоразвијеним методологијама поређени су са тренутно примењеним моделима који се користе при решавању наведених проблема.

У *осмом* поглављу дисертације приказана је примена методологије за класификацију гужви коришћењем Гаусових условних случајних поља на скупове података које се односе на: предвиђање гужви на скијалиштима, класификацију гена по функционалности, семантичку класификацију сцена, класификацију емоција из музике, класификацију болести, класификацију врсте птица уз помоћ аудио сигнала. Поред тога, на различитим доменима приказана је предност коришћења Гаусових условних случајних поља за класификацију у односу на стандардне неструктурне предикторе. Додатно, методологија за предикцију индикатора саобраћаја је примењена у циљу прогнозирања брзине скијаша на скијалиштима. Наведене су предности исте у поређењу са моделима где се претходно не елиминишу вредности ништа.

У *деветом* поглављу дисертације су представљени закључци изведени на основу целокупног истраживања, њихов допринос, као и правци у којима би ово истраживање могло да се настави у будућности.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација под насловом „Развој интегрисаног модела за предикцију гужви и одређивање оптималног броја активних канала у модулу“ кандидата Андрије Петровића, маг. инж. маш., маг. екон. представља наставак истраживања проблема који се тичу предикције саобраћајних гужви и начина смањења интензитета саобраћаја избором рационалних одлука. У дисертацији се третирају проблеми везани за појаву гужви и избор оптималног броја наплатних рампи који треба да буде отворен у будућности, при чему се

користе савремена нумеричка израчунавања и модели машинског учења, чиме се постиже савременост ове дисертације. Оригиналност у приступу приликом решавања предложеног проблема класификације гужви, предвиђање индикатора саобраћаја и одређивање оптималног броја активних канала у модулу у будућности, огледа се у успешној примени истих на аутопуту E70-E75. У дисертацији се користе аналитичко-нумеричке методе са варијационим приступом решавању вишедимензионих интеграла, чиме се значај исте посебно наглашава. С обзиром да је кандидат Андрија Петровић дао одговоре на питања која су од изузетног значаја приликом решавања широког спектра проблема присутних у саобраћају, то се предложена дисертација може оценити као изузетно успешна.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији коришћена је обимна литература из различитих области, па су због изразито комплексног карактера теме докторске дисертације референтне области обухватале машинско учење и статистичко закључивање, нумеричке методе, теорију редова и симулације. Ова литература је кандидату послужила као полазна основа за формирање прегледа постојећих истраживања везаних за област саобраћајних гужви, као и за припрему експеримената и нумеричких модела. У другом поглављу докторске дисертације кандидат приказује хронолошки преглед релевантне научне литературе, чиме је дао критички осврт на најважније резултате релевантних аутора. Све референце коришћене у раду приказане су на крају рада, а кандидат се позива на анализе, резултате и закључке објављене у научним часописима високог ранга и конференцијама међународног значаја. Од наведених наслова коришћене литературе, доминирају оне млађе од десет година, као и оне из водећих међународних часописа.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Резултати приказани у овој докторској дисертацији добијени су применом следећих научних метода (теорија) добро познатих научној и стручној јавности:

- Машинског учења;
- Статистике;
- Вероватноће;
- Нумеричке методе;
- Елемената линеарне алгебре;
- Теорије симулације;
- Теорије редова.

3.4. Применљивост остварених резултата

Добијени резултати у оквиру докторске дисертације поред научне вредности имају и широку инжењерску примену, пре свега у домену саобраћаја као и другим доменима који се

на сличан начин могу формулисати. Остварени експериментални резултати омогућавају да се са великом тачношћу предвиди гужва или индикатори саобраћаја на аутопутевима. Додатно, се може приметити кроз експерименте да се коришћењем развијене методологије за одређивање оптималног броја активних канала у модулу добијају бољи резултати у поређењу са тренутним стањем управљања отварања наплатних рампи. Узевши у обзир да је све већи проблем са саобраћајним гужвама присутан у свакодневном животу и да исти има тенденцију раста током наредних година, засновано се претпоставља да је истраживање у овом правцу плодносно, како за научну, тако и за стручну заједницу. Досадашњи резултати из области упућују да ће ова област бити интересантна и у годинама које следе. Посебно је интересантно напоменути да је предвиђање гужви и налажење оптималних величина којим се гужве регулишу, још увек нерешено и научно изазовно питање, стога се претпоставља да ће новоразвијени алгоритми и методологије бити од великог теоријског и практичног значаја у временима која долазе.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током израде докторске дисертације кандидат је показао способност за самостални научни рад, као и да решава научне проблеме, односно, да има изузетно знање у оквиру области науке о одлучивању, машинског учења, модела система опслуживања као и савремених метода коришћених у примењеној и нумеричкој математици потребних за даљи научно-истраживачки рад. То је потврђено како бројним испитима које је кандидат положио на докторским студијама, тако и бројним коауторским радовима.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1 Приказ остварених научних доприноса

Инжењерски и научни допринос докторске дисертације кандидата Андрије Петровића под називом „**Развој интегрисаног модела за предикцију гужви и одређивање оптималног броја активних канала у модулу**“ се огледа у следећем:

У оквиру (прве) методологије за класификацију гужви коришћењем Гаусових условних случајних поља приказано је односно развијено следеће:

- преглед савремених начина за предикцију гужви у системима масовног опслуживања,
- Бајесовски и не-Бајесовски математички модел за структурну класификацију базиран на Гаусовим условним случајним пољима,
- апроксимативна брза верзија Бајесовског модела Гаусових условних случајних поља за класификацију,

- примена методологије на проблем предикције гужви на ауто-путевима,
- генерализација методологије на проблеме из других домена.

У оквиру (друге) методологије за предвиђање индикатора саобраћаја приказано је односно развијено следеће:

- примена методологије на проблем предвиђања индикатора саобраћаја на мрежном систему са ретким подацима,
- поређење развијене методологије са методологијама које се не заснивају на одстрањивању података без вредности,
- генерализација методологије на проблеме из других домена.

У оквиру (треће) методологије за одређивање оптималног броја активних канала у модулу опслуживања приказано је односно развијено следеће:

- повезивање алгоритама машинског учења са моделима теорије редова,
- Бајесовски и не-Бајесовски алгоритам за одређивање оптималног броја активних канала у модулу опслуживања,
- примена и валидација резултата на примеру одређивања оптималног броја активних канала у модулу,
- верификација добијених резултата при одређивању оптималног броја активних канала у модулу посредством симулације.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу прегледа релевантне научне литературе и сагледавања постојећих решења из области ове докторске дисертације, комисија констатује да су приказани резултати истраживања изузетно значајни и научно утемељени. Истовремено, на основу увида у задате циљеве истраживања и резултате представљене у докторској дисертацији, констатујемо да су пружени одговори на сва релевантна питања и да су решени сви проблеми са којима се кандидат сусрео у току истраживања.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни доприноси кандидата Андрије Петровића, верификовани су следећим радовима:

1. Андрија Петровић, Борис Делибашић, Јован Филиповић, Александар Петровић, Милош Ломовић, Thermoeconomic and environmental optimization of geothermal water desalination plant with ejector refrigeration system, *Energy Conversion and Management*, 178, 2018, ISSN: 0196-8904, DOI: 10.1016/j.enconman.2018.10.035 ,IF: 7,171 **M21a**
2. Андрија Петровић, Угљеша Буарић, Борис Делибашић, Игор Иветић, "Prediction of skiing time by structured regression algorithm", *SIE 2018*, p. 180 **M33**

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу детаљног прегледа докторске дисертације, Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације констатује да се докторска дисертација под називом „ **Развој интегрисаног модела за предикцију гужви и одређивање оптималног броја активних канала у модулу** “ кандидата Андрије Петровића, маг. инж. маш., маг. екон. прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду. На основу резултата и закључака приказаних у докторској дисертацији, Комисија констатује да је кандидат Андрија Петровић, маг. инж. маш., маг. екон., успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања, а да је докторска дисертација под називом „ **Развој интегрисаног модела за предикцију гужви и одређивање оптималног броја активних канала у модулу** “ представља оригиналан научни рад са научним доприносима у области квантитативног менаџмента, ужа научна област моделирање пословних система и пословно одлучивање.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

др Борис Делибашић, редовни професор
Универзитета у Београду, Факултет организационих наука

др Угљеша Бугарић, редовни професор
Универзитета у Београду, Машински факултет

др Милија Сукновић, редовни професор
Универзитета у Београду, Факултет организационих наука

др Драгана Макајић-Николић, ванредни професор
Универзитета у Београду, Факултет организационих наука

др Милош Јовановић, доцент
Универзитета у Београду, Факултет организационих наука

др Душан Петровић, редовни професор
Универзитета у Београду, Машински факултет

др Младен Николић, доцент
Универзитета у Београду, Математички факултет