

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ САОБРАЋАЈНИ ФАКУЛТЕТ

Војводе Степе 305, Београд

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

ПРЕДМЕТ: РЕФЕРАТ О УРАЂЕНОЈ ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ КАНДИДАТКИЊЕ ЈЕЛЕНЕ КАЈАЛИЋ, ДИПЛОМИРАНОГ ИНЖЕЊЕРА САОБРАЋАЈА

Одлуком Наставно-научног већа Универзитета у Београду - Саобраћајног факултета бр. 155/3 од 11.2.2020. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Јелене Кајалић, дипломираног инжењера саобраћаја, под називом:

„МОДЕЛИРАЊЕ КРЕТАЊА ПЛОТУНА ВОЗИЛА НА ГРАДСКИМ АРТЕРИЈАМА“

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

На основу предатих захтева кандидаткиње Јелене Кајалић, дипломираног инжењера саобраћаја и донетих одлука Универзитета у Београду – Саобраћајног факултета, хронологија одобравања и израде дисертације је следећа:

- 26.3.2010. године, кандидаткиња Јелена Кајалић је уписала докторске академске студије;
- 5.4.2018. године кандидаткиња Јелена Кајалић је поднела пријаву теме докторске дисертације Наставно-научном већу Универзитета у Београду – Саобраћајног факултета (бр. 344/1), уз молбу да се спроведе поступак за оцену подобности кандидаткиње и предложене теме и за ментора предложила др Катарину Вукадиновић, редовног професора Универзитета у Београду – Саобраћајног факултета;
- 17.4.2018. године на седници Наставно-научног већа Универзитета у Београду – Саобраћајног факултета донета је одлука (бр. 344/4 од 23.4.2018. године) о формирању Комисије за оцену подобности кандидаткиње и теме за израду докторске дисертације, у саставу:
 - Проф. др Катарина Вукадиновић, редовни професор Универзитета у Београду, Саобраћајног факултета;

- Проф. др Никола Челар, ванредни професор Универзитета у Београду, Саобраћајног факултета;
 - Проф. др Горан Младеновић, ванредни професор Универзитета у Београду, Грађевинског факултета.
- 9.5.2018. године Комисија за оцену подобности кандидаткиње и теме за израду докторске дисертације поднела је позитиван извештај (бр. 344/5) Наставно-научном већу Универзитета у Београду – Саобраћајног факултета;
 - 15.5.2018. године на седници Наставно-научног већа Универзитета у Београду – Саобраћајног факултета донета је одлука (бр. 344/7 од 16.5.2018. године) којом се позитивно оцењује научна заснованост и подобност кандидаткиње и прихвата предложена тема за израду докторске дисертације кандидаткиње Јелене Кајалић, дипломираног инжењера саобраћаја;
 - 28.5.2018. године на седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду, донета је одлука (бр. 61206-2209/2-18 од 28.5.2018. године) којом се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидаткиње Јелене Кајалић, дипломираног инжењера саобраћаја;
 - 10.12.2019. године на седници Наставно-научног већа Универзитета у Београду – Саобраћајног факултета донета је одлука (бр. 1155/3 од 11.12.2019. године) о промени ментора. За ментора је изабран др Никола Челар, ванредни професор Универзитета у Београду - Саобраћајног факултета;
 - 4.2.2020. године кандидаткиња Јелена Кајалић, дипломирани инжењер саобраћаја, поднела је неукоричени примерак докторске дисертације уз захтев Наставно-научном већу Универзитета у Београду – Саобраћајног факултета (бр. 1155/1) за почетак поступка за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације;
 - 11.2.2020. године на седници Наставно-научног већа Универзитета у Београду – Саобраћајног факултета донета је одлука (бр. 155/3 од 13.2.2020. године) о формирању Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Јелене Кајалић, дипломираног инжењера саобраћаја, у саставу:
 - Проф. др Никола Челар, ванредни професор Универзитета у Београду, Саобраћајног факултета;
 - Проф. др Катарина Вукадиновић, редовни професор Универзитета у Београду, Саобраћајног факултета;
 - Проф. др Горан Младеновић, ванредни професор Универзитета у Београду, Грађевинског факултета

Студенту докторских академских студија је на лични захтев, због коришћења боловања и породилског одсуства, одобрено мировање у школским 2013/14, 2015/16 и 2016/17 годинама. На основу члана 101. став 4 Статута Универзитета у Београду и захтева студента, одобрено је продужење рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под називом: "Моделирање кретања плотуна возила на градским артеријама" припада научној области техничко технолошких наука, подручје

Саобраћајно инжењерство, ужој научној области Регулисање и управљање саобраћајем на мрежи путева и улица, за коју је матичан Универзитет у Београду - Саобраћајни факултет. Ментор кандидаткиње Јелене Кајалић током израде докторске дисертације је др Никола Челар, ванредни професор Универзитета у Београду – Саобраћајног факултета. Др Никола Челар, дипл. инж. саобраћаја је као аутор или коаутор објавио 50 научних и стручних радова који су публиковани и саопштени у међународним и домаћим часописима, односно у зборницима радова са међународних и домаћих конференција и саветовања. У часописима међународног значаја – категорије М20 објавио је 5 радова, 7 радова у часописима националног значаја – категорије М50, 11 радова на конференцијама међународног значаја – категорије М30 и 28 радова на конференцијама националног значаја – категорије М60. У досадашњем раду, као члан ауторског тима, пројектант или одговорни пројектант учествовао је у преко 100 студија, стручних пројеката, елабората и техничких контрола. Др Никола Челар је аутор помоћног уџбеника за предмет *„Регулисање и управљање саобраћајним токовима - Управљање саобраћајем“* на основним академским студијама на Саобраћајном факултету у Београду.

1.3. Биографски подаци о кандидаткињи

Јелена Кајалић, дипл. инж. саобраћаја, рођена је 12.8.1981. године у Београду. Завршила је природно-математички смер Земунске гимназије у Београду. Саобраћајни факултет Универзитета у Београду је уписала 2000. године. Дипломирала је на Катедри за саобраћајно инжењерство, на предмету "Регулисање и управљање саобраћајним токовима" 2008. године, на тему „Загушења на градској мрежи и како их решавати“. Дипломски рад је оцењен највишом оценом 10. Током студија остварила је просек 8.04. Од марта 2009. до 2010. године била је запослена као сарадник у настави, а 2010. године стиче звање асистента Универзитета у Београду - Саобраћајног факултета. У периоду од 2009. је на основним академским студијама ангажована на предметима: "Регулисање и управљање саобраћајним токовима - Регулисање саобраћаја", „Регулисање и управљање саобраћајним токовима - Управљање саобраћајем“, "ГИС у саобраћају" и "Регулисање и управљање саобраћајним токовима - Интелигентни транспортни системи", "Практикум лабораторијских вежби Б" и "Практикум лабораторијских вежби Ц" из којих држи вежбе. Испите предвиђене планом и програмом докторских академских студија положила је са оценом 10.

Аутор је и коаутор 27 научних радова објављених у:

- часописима међународног значаја (3 рада у часописима са импакт фактором са СЦИ листе);
- часописима националног значаја (7 радова);
- на научним и стручним скуповима од међународног значаја (17 радова).

Као члан ауторског тима је учествовала у 12 студија и пројеката од стратешког значаја и 2 научна пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја. Била је члан комисија за одбрану 39 завршних и једног дипломског рада. Коаутор је помоћног уџбеника за предмет *„Регулисање и управљање саобраћајним токовима - Управљање саобраћајем“* на основним академским студијама на Саобраћајном факултету у Београду. Кандидаткиња је 2010. године положила стручни испит и поседује лиценцу Инжењерске

коморе Србије за одговорног пројектанта саобраћаја и саобраћајне сигнализације. Члан је организационог одбора саветовања са међународним учешћем ТЕС од 2010. године. Члан је комисије за стандарде при Институту за стандардизацију Србије у области саобраћајне сигнализације и опреме (KS Z226).

Током докторских академских студија статус кандидаткиње је био у стању мировања, у укупном периоду од 3 године због коришћења боловања и породилског одсуства. Удата је и мајка је двоје деце.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидаткиње Јелене Кајалић, дипломираног инжењера саобраћаја, написана је у складу са „Упутством о облику и садржају докторске дисертације која се брани на Универзитету у Београду“ из 2019. године. Докторска дисертација је написана на српском језику, латиничном писмом, на папиру А4 формата, двострано, укупног обима од 105 страна са 35 табела, 42 графика и слике. На почетку дисертације дат је резиме на српском и енглеском језику са кључним речима, а затим садржај дисертације, списак табела и слика.

Докторска дисертација је структурно конципирана кроз осам поглавља написаних на 105 страна, под следећим насловима:

1. Уводна разматрања;
2. Основни предмет истраживања;
3. Модели кретања плотуна возила – преглед литературе;
4. Методологија истраживања параметара процеса кретања плотуна возила;
5. Резултати истраживања;
6. Анализа примењених модела;
7. Моделирање кретања плотуна возила на градским артеријама;
8. Закључак.

Након наведених поглавља, дат је списак литературе који садржи 61 библиографску јединицу које су коришћене при изради докторске дисертације. На крају докторске дисертације дата је биографија аутора и потписане изјаве о ауторству, истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и о коришћењу докторског рада. Према структури рада, примењеним научним методама и постигнутим резултатима, дисертација у потпуности задовољава критеријуме и стандарде предвиђене за овакву врсту научног рада, док по свом облику и садржају, поднети рад задовољава све стандарде прописане за израду докторске дисертације Универзитета у Београду.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом, уводном поглављу приказана је поставка научног проблема, дефинисан је предмет истраживања и формиране су полазне хипотезе у оквиру дисертације. Такође,

наведени су и основни циљеви истраживања, очекивани научни допринос и дат је приказ садржаја по поглављима.

Поглавље 2, у првом делу, приказује основни предмет истраживања кроз дефинисање релевантних појмова и основних параметара који описују плотун возила. У другом делу поглавља, представљене су промене у карактеристикама кретања плотуна које могу настати услед утицаја унутрашњих и спољашњих фактора.

У трећем поглављу дат је преглед литературе и представљени су релевантни модели који описују кретање плотуна возила. У оквиру поглавља, извршена је анализа изабраних модела и дата је оцена са аспекта могућности практичне примене.

У четвртном поглављу приказана је методологија истраживања карактеристика кретања плотуна возила на градским артеријама. Методологијом су дефинисани простор и време истраживања, поступак непосредне реализације истраживања, начин прикупљања података и формирања узорка и техника прикупљања података. На крају поглавља, приказан је поступак обраде података.

У поглављу 5 извршена је анализа резултата истраживања. У првом делу поглавља, на основу анализе интервала слеђења са референтног пресека формиран је модел за дефинисање плотуна возила. У другом делу је извршена анализа интервала слеђења возила у плотуну по пресецима артерије, на основу које је утврђен утицај величине плотуна на карактеристике његовог кретања. И коначно, у последњем делу поглавља анализирано је времена путовања возила у плотуну и утицај понашања првог возила на карактеристике кретања плотуна.

У шестом поглављу извршена је практична примена одабраних постојећих модела (Robertson и HCM). У првом делу поглавља приказани су резултати калибрисања и извођења аналитичких модела за моделирање кретања плотуна возила на градским артеријама. У другом делу извршено је поређење резултата добијених применом различитих модела и одабир постојећег модела који најбоље описује реалне податке.

У седмом поглављу приказан је формирани алгоритам за примену модела за дефинисање плотуна, као и модел утицаја величине плотуна на карактеристике кретања, а затим је извршена верификација формираног модела кроз поступак упоређивања добијених резултата са изабраним постојећим моделом за исте услове реализације кретања плотуна возила.

Последње осмо поглавље садржи закључке дисертације и дефинисање праваца даљих истраживања.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација која је базирана на истраживању карактеристика кретања плотуна возила на градским артеријама представља оригинални научни допринос у области управљања саобраћајем. Избор одговарајућег начина управљања на градским артеријама је од посебног значаја имајући у виду чињеницу да се на овим елементима мреже реализује највећи број транспортних захтева. Ефикасност саобраћајног процеса представља примарни циљ управљања саобраћајем на градској мрежи, а усаглашен рад

сигнала дуж главних коридора, градских артерија, основну стратегију реализације тог циља. Ефекти примене координисаног рада сигнала, остварују се кроз повећање капацитета саобраћајнице, смањење броја заустављања, смањење негативних еколошких утицаја, повећање безбедности и коначно виши ниво услуге на артерији. Познавања карактеристика и међузависности параметара који описују кретање плотуна возила кључно је за пројектовање система управљања на градским артеријама.

Промене у карактеристикама кретања плотуна до којих долази током кретања, могу се манифестовати кроз феномен растурања или скупљања плотуна. Релевантни модели кретања плотуна, формирани средином прошлог века, препознају искључиво феномен растурања, односно не препознају феномен скупљања плотуна. Оригиналност дисертације се огледа у могућности предложеног модела да препозна оба феномена, чиме је елиминисан основни недостатак постојећих модела. Такође, оригиналност дисертације представља формиран модел за дефинисања плотуна возила, имајући у виду да у литератури не постоји јединствен и прецизан став и процедура за утврђивање плотуна.

Савременост теме и оригиналност резултата истраживања потврђују и радови који су публиковани и саопштени на научним скуповима или објављени у часописима.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У изради докторске дисертације кандидаткиња је опсежно и систематично приказао преглед најважнијих достигнућа из области анализе карактеристика кретања плотуна возила, користећи 61 библиографску јединицу. Наведена и коришћена литература је савремена и актуелна, релевантна за предмет и циљеве истраживања. Коришћена литература показује да је кандидаткиња Јелена Кајалић детаљно анализирао и на одговарајући начин навела референце које су у вези са темом дисертације.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Приликом израде докторске дисертације коришћене су опште научне методе истраживања. Прикупљање података кроз непосредна истраживања извршено је применом метода и техника које се примењују у саобраћајним истраживањима. У обради резултата и извођењу закључака примењене су основне методе закључивања, статистичке и компаративне методе. Применом метода машинског учења формирана је методологија утврђивања плотуна возила. Изабране и коришћене методе су адекватне и у потпуности одговарају предмету и циљевима истраживања.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати докторске дисертације, поред научне вредности, имају и практичну примену. У саобраћајним системима сличних техничко-експлоатационих карактеристика и карактеристика понашања корисника, модели представљени у докторској дисертацији могу бити примењени и то:

- Модел за дефинисање плотуна;
- Модел за описивање карактеристика кретања плотуна.

Уколико се карактеристике саобраћајног система разликују од оних у којима су спроведена истраживања, може се применити:

- модел за дефинисање плотуна, уз калибрацију параметара модела за локалне услове;
- методологија формирања модела за описивање карактеристика кретања плотуна.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидаткиње за самостални научни рад

На основу вишегодишњег рада са кандидаткињом на изради докторске дисертације и анализом остварених резултата, Комисија сматра да је кандидаткиња несумњиво показала способност за самосталан научно истраживачки рад. Такође, Комисија сматра и да је кандидаткиња Јелена Кајалић кроз израду студија и пројеката показала висок степен стручности, одговорности и савесности у реализацији поверених активности. Позитивној оцени кандидаткиње допринели су и бројни радови објављени у међународним и домаћим часописима и радови саопштени на конференцијама који су проистекли из научног и истраживачког рада кандидаткиње.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

На основу прегледа докторске дисертације кандидаткиње Јелене Кајалић, Комисија сматра да су остварени следећи оригинални научни доприноси:

- Формиран је модел за дефинисање плотуна возила;
- Извршена је квантификација утицаја брзине плотуна на карактеристике кретања плотуна;
- Извршена је квантификација утицаја величина плотуна на карактеристике кретања плотуна;
- Извршена је систематизација и оцена постојећих модела кретања плотуна возила са аспекта практичне примене;
- Формиран је модел који описује карактеристике кретања плотуна на градским артеријама.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Развијени модел за дефинисање плотуна возила базиран је на претпоставци да сва возила која у континуитету реализују интервал слеђења мањи од 2.1 s чине плотун, док ће након прве реализације интервала слеђења веће од 2.1 s, сва остала возила бити део плотуна са одређеном вероватноћом. Вероватноћа да ће возила бити део плотуна зависи од позиције возила и интервала слеђења посматраног у односу на последње возило у плотуну. На овај начин је доказано да за дефинисање плотуна возила није довољна примена само критеријума критичног интервала слеђења.

Повећањем времена путовања, односно смањењем брзине долази до повећања времена проласка плотуна на посматраном пресеку. За брзине веће од 45 km/h, време проласка

плотуна је исто или мање у односу на нулти пресек, односно долази до феномена скупљања плотуна. За брзине мање од наведене долази до супротног феномена, растурања плотуна. На основу резултата формиран је општи закључак да се утицајем на брзину кретања плотуна може одложити растурање плотуна.

Величина плотуна може утицати на време опслуге плотуна на пресецима. Време опслуге плотуна на 200 m, независно од величине плотуна, увек је мање од времена на нултом пресеку и на 500 m. Однос времена потребног за пролазак плотуна на нултом пресеку и на 500 m зависи од броја возила у плотуну. Време потребно за пролазак плотуна величине до 18 возила мање је на 500 m у односу на нулти пресек. На основу резултата се може закључити да се управљањем величином плотуна може утицати на карактеристике кретања плотуна.

Систематизацијом и оценом постојећих модела, закључено је да Робертсонов модел даје најбоље резултате, при чему се калибрација параметара врши минимизирањем корена средње квадратне грешке.

Формираним моделом који описује кретање плотуна возила постигнут је основни циљ дисертације и уједно превазиђен основни недостатак постојећих модела. Оригиналност формираног модела се огледа у могућности да опише оба феномена, растурање и скупљање плотуна. Применом модела у реалним условима, закључено је да је модел процедурално једноставан и практичан за примену.

Ограничење примене модела постоји у ситуацијама када долази до значајне промене у интервалима слеђења на узастопним пресецима, то јест када однос времена проласка плотуна кроз посматране пресеке излази из опсега 0.7 - 1.3. У оваквим случајевима се грешка модела значајно повећава. За вредности односа времена проласка плотуна преко 1.3, Робертсонов модел даје боље резултате, али узимајући у обзир да је оваква ситуација регистрована у само 7% снимљених плотуна, може се сматрати да ће у великој већини случајева формиран модел дати боље резултате.

4.3. Верификација научних доприноса

Верификација научних доприноса остварених у оквиру ове докторске дисертације постигнута је објављивањем резултата истраживања у међународним часописима, као и саопштавањем резултата истраживања на међународним и националним скуповима. Научни доприноси дисертације су верификовани објављивањем следећих радова:

Категорије M23:

- **Kajalic, J.**, Celar, N., Stankovic, S., (2018). Travel Time Estimation on Urban Street Segment. Promet-Traffic & Transportation. Vol. 30, No 1. DOI: 10.7307/ptt.v30i1.2473, ISSN: 1848-4069; (IF 0,430)

Категорије M51:

- **Поповић, Ј.** (2012). Утицај паркирања на капацитет раскрсница, Техника – Саобраћај, вол. 59., бр. 5., стр. 791-799, ИСЧН 0040-2176.

Категорије М31:

- **Popović, J.**, Vukanović, S., Čelar, N. (2011). Travel time as the results of traffic control and management measures. ISEP, 19th International Symposium on Electronics in Transport, Ljubljana, 2011., članak R7 bez oznake strana, ISBN 978-961-6187-49-7
- **Popović, J.**, Čelar, N. (2012). Vreme putovanja kao indikator saobraćajnih zagušenja, TES 2012, 10. Savetovanje o tehnikama regulisanja saobraćaja, Međunarodno savetovanje Saobraćajno inženjerstvo u funkciji efikasnog saobraćaja, str. 83-87, ISBN 978-86-7395-300-7

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Имајући у виду квалитет истраживања, сложеност проблема и значај резултата који су приказани, Комисија сматра да докторска дисертација кандидаткиње Јелене Кајалић, дипломираног инжењера саобраћаја, представља вредан научни допринос у ужој научној области Регулисање и управљање саобраћајем на мрежи путева и улица. Комисија сматра да је докторска дисертација кандидаткиње Јелене Кајалић оригиналан, савремен и значајан научни рад, који доказује потпуну научно-истраживачку зрелост кандидаткиње и представља у пракси примењив научни допринос. Дисертација има све потребне елементе који задовољавају услове предвиђене Статутом Универзитета у Београду и Статутом Саобраћајног факултета за стицања научног звања Доктора техничких наука.

Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Саобраћајног факултета да докторску дисертацију под називом „Моделирање кретања плотуна возила на градским артеријама“ кандидаткиње Јелене Кајалић, дипломираног инжењера саобраћаја, после излагања на увид јавности, прихвати и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, а потом закаже јавну одбрану.

У Београду, 5.3.2020. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

Проф. др Никола Челар, ванредни професор
Универзитета у Београду, Саобраћајног
факултета

Проф. др Катарина Вукадиновић, редовни
професор Универзитета у Београду,
Саобраћајног факултета

Проф. др Горан Младеновић, ванредни
професор Универзитета у Београду,
Грађевинског факултета