

## **НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Владана Илића

Одлуком бр. 378/12-15 од 24.05.2019. године именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Владана Илића, маг. инж. грађ., под насловом:

### **АНАЛИТИЧКА МЕТОДА ЗА КОНТРОЛУ ПРОХОДНОСТИ И ПРОРАЧУН ЕЛЕМЕНАТА СИТУАЦИОНОГ ПЛАНА ПОВРШИНСКИХ РАСКРСНИЦА**

Наслов на енглеском језику:

### **ANALYTICAL METHOD FOR CRITICAL VEHICLE SWEEP PATH TESTING AND INTERSECTION LAYOUT ELEMENTS CALCULATION**

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

## **РЕФЕРАТ**

### **1. УВОД**

#### **1.1. Подаци о процедури пријављивања и предаје дисертације**

На седници Већа Катедре за путеве, железнице и аеродроме одржаној 29.10.2015. Владан Илић јавно је излагао предложеној тему докторске дисертације под насловом „Аналитички поступак за одређивање трајекторије возила у кривинама малих радијуса на површинским раскрсницама“ (на енглеском језику „Determining the swept path of a vehicle performing the sharp turn at crossroads - the analytical approach“). Комисија у саставу в. проф. др Горан Младеновић, доц. др Дејан Гавран и доц. др Сања Фриц прихватила је предложеној тему.

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета бр. 378/4 од 23.11.2015. године, одређена је Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације под измењеним насловом „Аналитичка метода за контролу проходности и прорачун елемената ситуационог плана површинских раскрсница“ у саставу в. проф. др Горан Младеновић, доц. др Дејан Гавран, доц. др Сања Фриц, проф. др Владан Тубић (са Саобраћајног факултета Универзитета у Београду) и проф. др Угљеша Бугарић (са Машинског факултета Универзитета у Београду). Позитиван извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације усвојен је на седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета одржаној 24.12.2015. године (одлука бр. 378/6 од 29.12.2015. године). Веће научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду на седници одржаној 09.02.2016. (одлука бр. 61206-38/2-16 од 09.02.2016. године) усвојило је предлог теме докторске дисертације кандидата Владана Илића.

Кандидат је урађену докторску дисертацију предао Служби за студентска питања Грађевинског факултета 14.05.2019. године.

## 1.2. Научна област дисертације

Тема докторске дисертације припада научној области Грађевинарство и ужим научним областима Планирање и пројектовање путева и аеродрома и Планирање и пројектовање градских саобраћајница, које су дефинисане Статутом Грађевинског факултета Универзитета у Београду.

Радови који квалификују ментора В. проф. др Горана Младеновића за вођење докторске дисертације, публиковани у међународним часописима су:

1. Dejan Zlatkovic, Nevena Vajdic, Slaven Tica, **Goran Mladenovic**, Cesar Queiroz. (2017). **Remuneration models and revenue risk mitigation in road public-private partnership projects - a case study from Serbia**, *Transportation Planning and Technology*, Vol. 40, Iss. 2, pp: 228-241, <http://dx.doi.org/10.1080/03081060.2016.1266169>
2. Jelena Cirilovic, **Goran Mladenovic**, Cesar Queiroz. (2015). **Implementation of Preventive Maintenance in Network-Level Optimization: Case Study of the Serbian Low-Volume Road Network**, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2473, National Research Council, Washington D.C., USA, pp. 49 - 55. DOI: 10.3141/2473-06
3. Jelena Cirilovic, Nevena Vajdic, **Goran Mladenovic**, Cesar Queiroz. (2014). **Developing Cost Estimation Models for Road Rehabilitation and Reconstruction – Case study: Projects in Europe and Central Asia**, *Journal of Construction Engineering and Management*, Volume 140, Issue 3 (March 2014), [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000817](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000817)
4. **Goran Mladenovic**, Jelena Cirilovic, Cesar Queiroz. (2011). **Network-level pavement management: The case of Serbian low-volume roads**, *Transportation Research Record*, No. 2205, National Research Council, Washington D.C., USA, pp. 221 - 228. <http://pubsindex.trb.org/view.aspx?id=1107920>
5. Olga Selezneva, **Goran Mladenovic**, Richard Speir, James Amenta, and James Kennedy, (2004). **National Park Service Road Inventory Program: Quality Assurance Sampling Considerations for Automated Collection and Processing of Distress Data**, *Transportation Research Record*. No. 1889, National Research Council, Washington D.C., USA, pp. 106 - 115. <http://pubsindex.trb.org/view.aspx?id=746599>

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Владан Илић, маг. инж. грађ. рођен је 23. јула 1986. године у Бањалуци, у Босни и Херцеговини. У Бањалуци је, као ђак генерације, завршио основну школу "Вук Стефановић Караџић" и средњу Грађевинску техничку школу.

Основне студије на Грађевинском факултету Универзитета у Београду, на Одсеку за путеве, железнице и аеродроме, завршио је 29.06.2009. године са просечном оценом 9.65. На истом одсеку Грађевинског факултета 19.11.2010. године завршио је и мастер студије са просечном оценом 10.00. За постигнути успех на основним и мастер студијама додељено му је више студентских стипендија и признања од јавних институција, од чега се посебно истиче награда за студента генерације 2005/2010 Грађевинског факултета. Докторске студије на Грађевинском факултету Универзитета у Београду, на Одсеку за путеве, железнице и аеродроме, уписао је 2010. године и положио све испите са просечном оценом 9.75.

Дана 4.02.2011. године, изабран је у звање асистента - студента докторских студија за уже научне области Планирање и пројектовање путева и аеродрома и Планирање и пројектовање градских саобраћајница, на Катедри за путеве, железнице и аеродроме Грађевинског факултета у Београду. На основним и мастер академским студијама учествовао је у извођењу

вежби на групи предмета везаних за планирање и пројектовање путева, аеродрома и градских саобраћајница. Помагао је студентима основних студија при изради завршних дипломских радова. После истека првог изборног периода, у исто звање поново је изабран 6.02.2014. године. Од 23.02.2017. године изабран је у звање истраживач - сарадник.

До сада је као аутор и коаутор објавио 37 радова из уже области планирања и пројектовања путева, аеродрома, градских саобраћајница и симулације саобраћајних токова у референтним међународним и домаћим часописима, као и на домаћим и међународним скуповима. Од априла 2011. године ангажован је на научном пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Србије под називом "Планирање и управљање саобраћајем и комуникацијама применом метода рачунарске интелигенције". Осим наставно-научног рада бавио се и стручним радом.

Поред познавања општих компјутерских програма, за научни и стручни рад свакодневно користи комплексне софтверске пакете за планирање и пројектовање саобраћајне инфраструктуре и инжењерско програмирање. Говори и пише енглески и немачки језик.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### **2.1. Садржај дисертације**

Докторска дисертација Владана Илића под насловом „Аналитичка метода за контролу проходности и прорачун елемената ситуационог плана површинских раскрсница“ садржи укупно 447 страна, од којих је основни текст на 334 стране. Дисертација је писана на српском језику и подељена је у шест поглавља:

1. Увод
2. Преглед литературе и анализа досадашњих истраживања
3. Експериментална мерења граничних трајекторија на затвореном полигону
4. Развој математичког модела за прорачун трајекторије повлачења возила
5. Анализа подобности примене постојећих геометријских форми троцентричне кривине за апроксимацију трајекторија повлачења и предлог нове форме
6. Закључци и препоруке за даља истраживања

Дисертација садржи 148 слика на којима су приказане фотографије, цртежи и дијаграми, као и 15 табела. Списак цитиране литературе садржи 102 наслова. На почетку дисертације дат је резиме на српском и енглеском језику, са кључним речима и УДК бројем. Поред основног текста, дисертација садржи 8 прилога. 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: изјаву о ауторству, изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и изјаву о коришћењу.

### **2.2. Кратак приказ појединачних поглавља**

Основни текст разматране докторске дисертације има шест поглавља, преглед коришћене литературе и 8 прилога. На почетку текста дат је резиме са списком кључних речи на српском и енглеском језику, садржај и спискови слика и табела.

У уводном поглављу истакнут је значај граничних трајекторија повлачења возила за правилно обликовање геометријских елемената ситуационог плана површинских раскрсница. Поред дефинисања предмета истраживања, набројани су кључни циљеви дисертације и наведене полазне хитотезе. На крају овог поглавља приказана је и комплетна структура тезе.

У другом поглављу, "Преглед литературе и анализа досадашњих истраживања", презентована су релевантна досадашња сазнања о појави феномена "offtracking-a" (бочног помака задње осовине на унутрашњу страну кривине) при скретању возила, као и о методама за његов прорачун. Детаљно су анализирани сви параметри постојећих математичких модела за прорачун offtracking-a и математички апарат на коме су засновани ти модели. Такође, у овом поглављу, акценат је стављен на анализе проходности меродавног возила и примену различитих метода, укључујући и савремена софтверска решења за симулацију кретања возила. Анализирана је могућност примене традиционалних форми троцентричне кривине (2:1:3, 2.5:1:5.5) за апроксимацију унутрашњих граничних трајекторија меродавних возила. Наведена су актуелна истраживања и теренске студије у којима су представљене различите експерименталне методе за мерење вредности offtracking-a и одређивање трајекторија повлачења за тешка теретна и друга дугачка возила.

Експериментална мерења трајекторија повлачења изабраних тестних возила описана су у трећем поглављу "Експериментална мерења граничних трајекторија на затвореном полигону". Осим припреме експеримента, избора тестних возила и обележавања тестног полигона, детаљно је приказана примењена GNSS (Global Navigation Satellite System) мерна опрема. Објашњено је како се поменута мерна опрема позиционирала на возила, затим техника навођења возила дуж означених путања на полигону и начин извођења тестних вожњи. Пре анализе мерних резултата представљена је оригинално развијена методологија за одређивање низа положаја и оријентација возила са једним и више слогова на основу GPS (Global Positioning System) координата снимљених током праћења задатих путања. На крају овог поглавља анализирани су резултати изведеног експеримента и дефинисане су референтне трајекторије повлачења тестних возила за даље анализе.

У четвртом поглављу приказан је развој математичких модела за прорачун трајекторија повлачења возила. Критички је анализиран стандардни "ICAO" математички модел за прорачун положаја авиона (потпуно компатибилан самосталном друмском возилу). Представљено је аналитичко решење математичког проблема за прорачун тачног положаја са максималном вредношћу offtracking-a самосталног возила, на основу чега су даље изведени сви математички модели за прорачун трајекторија повлачења возила са једним, два и три слога која прате водеће кружне путање. На крају поглавља, за сва тестна возила, изведено је геометријско поређење трајекторија повлачења добијених математичким моделима и трајекторија добијених симулацијом по стандардној методи Halter-a.

У петом поглављу развијен је посебан софтверски алат, како би се ефикасно испитала подобност примене постојећих геометријских форми троцентричне кривине, са односом суседних радијуса 2:1:3 и 2.5:1:5.5, за апроксимацију трајекторија повлачења возила. На основу трајекторија повлачења возила прорачунатих у четвртом поглављу и матрица са комбинацијама односа радијуса и углова у троцентричној кривини, софтвер бира оптималну комбинацију радијуса  $R1:R2:R3$  и углова  $\alpha:\beta:\delta$  троцентричне кривине. Оптимална је она комбинација која даје најмање квадратно одступање на "страни сигурности" између саме троцентричне кривине и трајекторија повлачења возила срачунатих по развијеном математичком моделу.

Усвојени закључци и генералне препоруке за даља истраживања дати су у шестом поглављу. У сажетом облику сумирани су закључци у вези тестирања новог математичког модела за прорачун трајекторија повлачења возила, као и закључци о избору оптималне геометријске форме троцентричне кривине.

Након списка литературе, у прилозима су дате тачне спецификације изабраних тестних возила и мерне опреме. Осим дијаграма везаних за обрађене резултате експерименталних мерења, приложени су и дијаграми креирани током развоја математичког модела за прорачун максималног offtracking-a, односно, положаја тестних возила на различитим одсецима водећих кружних путања. Приликом обраде координата снимљених помоћу GPS ровера на

тестном полигону, затим током развоја математичких модела за прорачун трајекторија повлачења возила и софтверског алата за проналажење оптималне комбинације геометријских параметара троцентричних кривина, креиран је већи број AUTOLISP рутина чији кодни записи су такође дати у посебним прилозима.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Оригинални допринос дисертације представља видно унапређене тачности мерења реалних трајекторија повлачења возила помоћу GNSS RTK кинематичке методе диференцијалног позиционирања у реалном времену. Развијена је оригинална методологија за прецизно одређивање низа положаја и оријентација тестних возила на основу GPS координата снимљених током праћења задатих путања на тестном полигону. У односу на претходно публикована експериментална истраживања о мерењима реалних трајекторија повлачења возила помоћу GPS технологије, елиминисане су грешке при снимању трајекторија настале услед занемаривања нивелационих карактеристика коловоза и немогућности прецизног постављања GPS ровера у односу на заобљене каросерије савремених теретних возила и аутобуса.

Током развоја математичких модела за прорачун трајекторија повлачења возила, представљено је оригинално математичко решење проблема тачног прорачуна положаја самосталног возила у коме се достиже максимални offtracking. Потом је изведено математичко решење даље искоришћено за довољно тачан прорачун положаја са максималним offtracking-ом комбинованих возила са два, односно, три слога.

Савремени трендови праћени развојем модерне компјутерске технологије намећу потребу за што већом аутоматизацијом процеса пројектовања свих типова површинских раскрсница. Досад се пројектовање ситуационог плана површинске раскрснице обично сводило на итеративни процес. У суштини, то је подразумевало да се прво усвоји програм раскрснице, а онда се на њему изведу вишеструке симулације за разне маневре скретања (саобраћајне струје), на основу чега се после креира аналитика грађевинског решења раскрснице, чиме би пројекат требало да се заврши. Међутим, ту није био крај пројекта, зато што се разрађено геометријско решење ситуационог плана раскрснице опет контролише покретањем вишеструких симулација, што представља итеративни процес.

Новим приступом развијеним у докторској дисертацији кандидата потпуно се мења методологија израде ситуационог плана раскрснице. Развојем затвореног решења за аналитику кретања меродавних возила елиминише се итеративни поступак контроле проходности за различите меневре скретања меродавног возила. Тиме се ствара поуздана основа за даље унапређење концепта параметарског пројектовања раскрснице кроз развој затвореног аналитичког решења у којем ће бити аналитички дефинисани сви међусобни односи елемената геометрије ситуационог плана раскрснице.

У овој дисертацији, кроз прорачун оптималних комбинација параметара троцентричних кривина за апроксимацију трајекторија повлачења меродавних возила, направљен је важан корак ка дефинисању потпуно затвореног аналитичког решења ситуационог плана површинских раскрсница са пресецањем саобраћајних струја. Ово је посебно важно за троцентричне кривине које апроксимирају трајекторије повлачења возила на позицијама левих скретања, јер од њихове геометрије даље зависе положаји врхова средњих разделних (капљастих) острва, а посредно и остала геометрија за обликовање ситуационог плана.

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма *iThenticate*, којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације „Аналитичка метода за контролу

проходности и прорачун елемената ситуационог плана површинских раскрсница”, аутора Владана Илића, потврђена је оригиналност ове докторске дисертације. Утврђен степен подударности текста од 4% последица је цитата, библиографских података о коришћеној литератури, тзв. општих места и података, као и претходно публикованих резултата истраживања самог кандидата, који су проистекли из његове дисертације, што је у складу са претходно наведеним Правилником.

### **3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу**

У изради ове докторске дисертације коришћене су 102 библиографске јединице. Значајан део референци чине радови објављени у међународним часописима, попут *ASCE Journal of Transportation Engineering*, *Transportation Research Record*, *ITE Journal*, *Грађевинар* и другим, као и радови објављени на истакнутим међународним конференцијама, попут годишњих састанака Transportation Research Board-а, или извештаји истраживачких пројеката (NCHRP). Кандидат се такође позивао на претходно објављене докторске дисертације и референтне међународне стандарде (AASHTO, ICAO, FGSV, FSV, VSS) из области планирања и пројектовања путева, аеродрома и градских саобраћајница. Наведени су сви релевантни домаћи стандарди и смернице везане за анализу проходности возила и пројектовање површинских раскрсница. Већина референци је новијег датума: 68 референци је публиковано након 2000. године, од чега 50 између 2010. и 2019. године.

### **3.3. Опис и адекватност примењених научних метода**

Рад на дисертацији реализован је симултаном применом теоријског приступа ослоњеног на податке добијене из анализиране литературе и практичног приступа заснованог на сопственом експерименталном истраживању.

За сагледавање постојећих сазнања из предметне области примењене су структурално-функционална и компаративна анализа објављених радова и синтеза досадашњих истраживања, док је за планирање и анализу резултата експерименталног истраживања примењена хипотетичко-дедуктивна метода.

У оквиру експерименталних истраживања, за одређивање положаја возила, коришћена је GPS кинематичка метода позиционирања са процесирањем корекција са базне станице у реалном времену (Real-Time Kinematic-RTK). На каросерије тестних возила били су монтирани конфигурабилни Trimble R8s GNSS пријемници последње генерације. Узимајући у обзир постигнути ниво тачности позиционирања у хоризонталној равни (8.0 mm -15.0 mm је тачност снимљених X, Y координата), као и брзину одређивања положаја возила, коришћена RTK кинематичка метода позиционирања представља скоро идеалну мерну технику за одређивање реалних граничних трајекторија повлачења возила.

За решавање проблема прорачуна тачног положаја самосталног (водећег) возила у коме се достиже максимални offtracking, поред нумеричких метода за интеграцију диференцијалних једначина првог реда и приближно решавање трансцендентних једначина, формиран је двостепени (хијерархијски) нелинеарни регресиони модел. У току развоја математичког модела за прорачун трајекторија повлачења возила коришћене су познате методе математичке анализе за одређивање екстремне вредности функције, диференцијалног и интегралног рачуна.

Као посебна научна метода примењена за обликовање текста дисертације, истиче се израда алгоритамских шема за дефинисане математичке моделе и прорачун оптималне комбинације геометријских параметара троцентричних кривина за апроксимацију трајекторија повлачења возила. Формиране алгоритамске шеме служиле су после као основа за писање кода у програмском језику AutoLISP-у, приликом креирања и тестирања различитих рутина.

У анализи сопствених и постојећих резултата коришћене су одговарајуће компаративне и статистичке методе. Наведене методе истраживања су врло савремене и у потпуности примерене примени у предметном истраживању.

### **3.4. Применљивост остварених резултата**

Резултати добијени применом новоразвијене методологије за прецизно утврђивање низа положаја и оријентација тестних возила на основу снимљених GPS координата у оквиру експерименталних истраживања кандидата указују да је:

1. могуће елиминисати грешке при одређивању  $X$ ,  $Y$  координата GPS ровера монтираних на тестним возила када нивелационе карактеристике коловоза нису узете у обзир;
2. могуће, након накнадне анализе кретања возила са GPS роверима, у хоризонталној пројекцији повратно одредити апсолутно прецизан положај GPS ровера у односу на аеродинамички обликоване каросерије модерних теретних возила и аутобуса;

Применом развијених математичких модела за прорачун положаја изабраних возила и њихових трајекторија повлачења знатно је побољшана и тачност прорачуна положаја возила у коме се достиже максимални offtracking. Прорачун положаја са максималним offtracking-ом самосталног, односно водећег возила, овим је радом доведен до таквог нивоа тачности и једноставности примене да се може директно имплементирати у регулативу за пројектовање раскрсница. Што се тиче прорачуна кретања комбинованих возила са два и три слога, овде развијени поступак показује вишу тачност у односу на претходне методе, али је цео прорачун комплексан, доведен је до нивоа програмабилног поступка, те се широј популацији пројектаната не може наметнути прописима. На примеру комбинованог возила са три слога показано је да је са аспекта постигнуте тачности потпуно оправдано користити концепт еквивалентне базе за прорачун трајекторија повлачења ако се комбиновано возило састоји од више слогова.

Нова геометријска форма троцентричне кривине за апроксимацију трајекторија повлачења возила, добијена применом развијеног софтверског алата, већ се може применити у регулативи ако су као меродавна возила за пројектовање ситуационих планова површинске раскрснице усвојена стандарда возила нормираних ширина.

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

Кандидат се у оквиру своје докторске дисертације бавио изучавањем и критичком анализом доступне релевантне литературе, а затим планирањем, спровођењем, обрадом и анализом резултата експерименталног истраживања. Поред тога, кандидат је показао веома висок ниво математичког знања при решавању трансцедентних једначина и комплексних проблема диференцијалног рачуна. Систематичним приступом постављеном проблему, повезујући различите сегменте научно-истраживачког рада уз синтезу аналитичких и програмерских вештина, Владан Илић успешно је 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 кандидата Владана Илића остварени су следећи научни доприноси:

1. Развијена је оригинална методологија за прецизно утврђивање низа положаја и оријентација самосталних и комбинованих возила на основу GPS координата снимљених током праћења задатих путања на тестом полигону;

2. Значајно су редуковане грешке при снимању реалних трајекторија повлачења возила настале услед занемаривања нивелационих карактеристика коловоза и немогућности прецизног постављања GPS ровера у односу на заобљене каросерије модерних возила;
3. Развијени су математички модели за прорачун положаја возила са једним, два и три слога која прате водеће кружне путање, као и нов аналитички поступак за прорачун положаја возила у коме се достиже максимални offtracking;
4. Показано је да су трајекторије повлачења возила срачунате помоћу претходно развијених математичких модела на "страни сигурности" у односу на трајекторије из стандардне Halter-ове симулације, које су истовремено на "страни сигурности" у односу на реалне трајекторије повлачења добијене на бази експерименталних мерења;
5. Развијен је нов софтверски алат чијом је применом добијена нова геометријска форма троцентричне кривине са оптималном комбинацијом параметара за апроксимацију трајекторија повлачења возила.

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Истраживачки рад на изради дисертације Владана Илића, маг. инж. грађ. може се јасно поделити на три целине:

1. Експериментално одређивање граничних трајекторија повлачења за изабрана тестна возила;
2. Развој и тестирање математичких модела за прорачун трајекторија повлачења изабраних возила;
3. Развој нове и модификација постојеће геометријске форме троцентричне кривине за апроксимацију трајекторије возила.

Након обраде експерименталних резултата, поређењем трајекторија повлачења добијених на основу резултата експерименталних мерења и стандардне Halter-ове симулације кретања за исте маневре кретања тестних возила, установљено је да се трајекторије повлачења по Halter-овој симулацији налазе на "страни сигурности", односно са унутрашње стране ка центру кривине, у односу на трајекторије добијене из експерименталних мерења. Овакав закључак усвојен је уз напомену да су све симулације кретања тестних возила применом Halter-овог поступка изведене са кораком симулације  $k = 0.20 \text{ m}$ .

На основу међусобног поређења трајекторија повлачења из математичког модела и Halter-ове симулације кретања, утврђено је да су трајекторије повлачења из математичког модела увек на "страни сигурности" у односу на трајекторије добијене Halter-овом симулацијом, које су истовремено на "страни сигурности" у односу на реалне трајекторије повлачења добијене на основу експерименталних мерења. Међутим, развијени математички модели за прорачун трајекторија повлачења могу се користити само када су радијуси водећих кружних путања  $R \leq 20.0 \text{ m}$ , а скретни углови ограничени у распону  $30.0^\circ \leq \gamma \leq 150.0^\circ$ . Пошто су сви математички модели у дисертацији развијени на основу ИСАО-ових формула за одређивање положаја самосталног возила (авиона), додатно ограничење за примену ових математичких модела је да све дужине крутих база појединачних слогова изабраних комбинованих возила морају бити мање од радијуса  $R$  водеће кружне путање.

Основна идеја при развоју софтверског алата за прорачун оптималних комбинација геометријских параметара троцентричних кривина била је да се кривински облик, који се традиционално користио за математичко моделирање унутрашње ивице саобраћајне траке у скретању, у новој форми сада употреби за математичко моделирање трајекторије унутрашњег задњег точка возила у скретању. Нова геометријска форма, односно троцентрична кривина са врло специфичним односима суседних радијуса и углова, може се



применити са високом тачношћу, али под условом да се излазна тангента тако конципиране троцентричне кривине помери за 0.25 m ка унутра, тј. ка центру кривине.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

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

##### Категорија M23:

1. **Илић, V.**, Gavran, D., Fric, S., Trpčevski, F., Vranjevac, S., 2018. Vehicle swept path analysis based on GPS data, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 45(10), pp. 827-839, <https://doi.org/10.1139/cjce-2017-0245>.

##### Категорија M33:

2. **Илић, В.**, Гавран, Д., Фриц, С., Трпчевски, Ф., Врањевац, С., 2016. Критичка анализа постојећих метода симулације кретања возила при пројектовању површинских раскрсница. *Други Српски конгрес о путевима*, Српско друштво за путеве "Via-Vita" и ЈП Путеви Србије, Београд, Србија, 9. и 10. јун 2016., стр. 76-87, ISBN 978-86-88541-06-0.
3. **Илић, В.**, Гавран, Д., Фриц, С., Трпчевски, Ф., Врањевац, С., 2018. Експерименталне методе за одређивање граничних кривих проходности возила. *Трећи Српски конгрес о путевима*, Српско друштво за путеве "Via-Vita" и ЈП Путеви Србије, Београд, Србија, 14. и 15. јун 2018., стр. 134-145, ISBN 978-86-88541-10-7.

#### 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Избор меродавног возила и контрола проходности за изабрано возило представљају најважније улазне податке за пројектовање геометрије ситуационог плана површинске раскрснице. Као последица убрзаног развоја великог броја софтвера за пројектовање саобраћајне инфраструктуре и услед потребе за што бржом израдом пројектних решења, тежиште рада пројектаната помера се ка што већој аутоматизацији целог процеса пројектовања. Управо је потреба за што већом аутоматизацијом процеса пројектовања била један од основних мотива за израду докторске дисертације кандидата, односно, била је то тежња да се елиминише итеративни процес понављања неколико серија симулација кретања изабраног возила приликом анализа проходности, неопходних за обликовање геометрије ситуационог плана раскрснице.

Кандидат постављеном проблему прилази како са научног тако и са инжењерског аспекта. У дисертацији је приказана систематизација и анализа досадашњих сазнања из предметне области, сопствена експериментална истраживања везана за одређивање реалних граничних трајекторија повлачења за изабрана тестна возила, развој и тестирање математичких модела за прорачун трајекторија повлачења возила, као и развој нове и модификација постојеће геометријске форме троцентричне кривине. Резултати истраживања су публиковани у релевантном међународном часопису и домаћим публикацијама. Посматрано у целини, кроз дисертацију су остварени врло поуздани, научно засновани, резултати који ће имати велики значај у свакодневной грађевинској пракси и допринети даљем развоју потпуно затвореног аналитичког решења за параметарско пројектовање ситуационих планова површинских раскрсница са пресецањем саобраћајних струја.

На основу свега реченог, Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Владана Илића, маг. инж. грађ., под насловом „Аналитичка метода за контролу проходности и прорачун елемената ситуационог плана површинских раскрсница“ у потпуности испуњава све захтеване критеријуме и да је кандидат у свим фазама израде ове дисертације испољио способност за самосталан научно-истраживачки рад. Стога, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Грађевинског факултета Универзитета у Београду да прихвати Извештај Комисије и упутити захтев Већу научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду за давање сагласности за јавну одбрану докторске дисертације.

#### **ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ**

Београд, 24.05.2019.

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

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

.....  
доц. др Сања Фриц,  
Грађевински факултет Универзитета у Београду

.....  
проф. др Владан Тубић,  
Саобраћајни факултет Универзитета у Београду

.....  
проф. др Угљеша Бугарић,  
Машински факултет Универзитета у Београду