

**НАУЧНО-НАСТАВНОМ ВЕЋУ
ГРАЂЕВИНСКОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

Одлуком Научно-наставног већа Грађевинског факултета у Београду бр. 333/11-14 од 08.09.2016. године, одређени смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације Миљане Тодоровић Дракул, дипломираног геодетског инжењера, под насловом:

“Моделовање јоносфере за потребе одређивања утицаја на ГПС сигнале у мрежном РТК окружењу”

После прегледа поднете дисертације, Комисија подноси Научно-наставном већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

Докторска дисертација Миљане Тодоровић Дракул, под напред наведеним насловом, садржи укупно 216 страна, од којих основни текст има 157 страну. У оквиру дисертације приказана је 165 слика, 15 табела, и употребљено је 60 скраћеница, као и већи број важнијих ознака, дефиниционих формула и нумерисаних израза. На крају дисертације дат је попис коришћене литературе, који садржи 137 библиографска наслова.

Предметна дисертација пријављена је 04.09.2014. године. На седници Научно-наставног већа Грађевинског факултета од 11.09.2014. године одређена је одлуком бр. 333/4 од 12.09.2014. године Комисија за пријем теме докторске дисертације чији је извештај прихваћен на седници Научно-наставног већа одржаној 16.10.2014. године о чему је донета одлука бр. 333/6 од 20.10.2014. године. На основу добијене сагласности Већа научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду од 09.12.2014. године, Научно-наставно веће Грађевинског факултета одобрило је кандидату рад на дисертацији.

Кандидат Миљана Тодоровић Дракул, дипл. геод. инж. предала је урађену докторску дисертацију Студентској служби Грађевинског факултета 30.08.2016. године.

Предмет дисертације представља примена података мерења временских серија на стално оперативним референтним GNSS станицама у циљу развоја одговарајућег модела за потребе предикције јоносферских корекција задовољавајуће тачности за мрежне GPS RTK (енг. Real Time Kinematic) апликације. Научна оправданост дисертације се огледа у томе што се предмет истраживања односи на јоносферски атмосферски омотач, који представља доминантни извор грешака код GNSS позиционирања, независно од методе рада. Имајући у виду изражену динамику јоносфере, као и просторну и временску варијабилност концентрације слободних електрона, може се рећи да њено моделовање представља комплексан задатак, у чему се и огледа актуелност предложене теме дисертације.

Основни циљ научног истраживања дисертације, сходно предмету истраживања, био је испитивање краткорочних временских карактеристика јоносфере на регионалном просторном нивоу, како би се квантификовало њено понашање током различитих сезонских и дневних периода. Овакво истраживање пружило је важне информације о променама у јоносфери, и у великој мери одговорило на питања колико често треба да се узоркује и колико добро се може моделовати на регионалном нивоу. На основу ове анализе испитивани су начини моделовања темпоралне варијабилности разлика јоносферског кашњења у мрежном RTK окружењу, и на тај начин потенцијално побољшале перформансе мрежне RTK методе позиционирања која је данас доминантна у извођењу премера.

Овако дефинисани задаци и циљеви научног истраживања представљају традиционални проблем у геодетском смислу, јер се баве могућностима моделовања, а самим тим и елиминације ефеката најзначајнијег извора грешака GNSS позиционирања у мрежном окружењу.

С обзиром на предмет и циљеве истраживања, дисертација припада области геодезије, односно ужим научним областима Референтне геодетске мреже и Премер и уређење земљишне територије, за које је матичан Грађевински факултет Универзитета у Београду.

2. БИОГРАФИЈА КАНДИДАТА

Миљана Тодоровић Дракул, дипл. инж. геод. рођена је 13.10.1980. године у Сарајеву, Босна и Херцеговина. Основну школу и средњу Геодетску техничку школу завршила је у Београду, Република Србија, са одличним успехом. Године 1999. године уписала се на Грађевински факултет у Београду, Одсек за геодезију, и све предвиђене испите положила са просечном оценом 8.32. Дипломски рад под насловом „Обележавање граница парцеле и спровођење промена у складу са законом на постојећим геодетским подлогама града Београда” одбранила је 2008. године са оценом 10 (десет), чиме је стекла звање дипломираног геодетског инжењера. Докторске студије на Грађевинском

факултету Универзитета у Београду, уписала је 2008. године и прописане испите положила са просечном оценом 10.

Миљана Тодоровић Дракул, дипл. геод. инж. запослена је на Одсеку за геодезију Грађевинског факултета у Београду од 2007. године. У току 2007. и 2008. године радила је као студент демонстратор на Грађевинском факултету у Београду на Одсеку за геодезију. Први пут у звање асистента за ужу научну област Премер и уређење земљишне територије на Катедри за геодезију и геоинформатику на Грађевинском факултету у Београду, изабрана је 12.02.2009. године. Други пут у звање асистента за ужу научну област Премер и уређење земљишне територије на Катедри за геодезију и геоинформатику на Грађевинском факултету у Београду, изабрана је 15.03.2012. године. Од 15.03.2016. године ангажована је као инжењер сарадник на Институту за Геодезију и Геоинформатику на Грађевинском факултету у Београду.

Током свог досадашњег ангажмана на Грађевинском факултету у Београду, Миљана Тодоровић Дракул, дипл. геод. инж. одржавала је вежбања из предмета Технике геодетских мерења, Геодетски премер 1, Геодетски премер 2, Геодетски премер 3, Оптимизација у геодетском премеу. Такође, била је ангажована је и на Практичној настави из геодетског премеу. У анкетама о вредновању рада наставника у извођењу наставе оцењивана је позитивно са врло добрим и одличним оценама.

Миљана Тодоровић Дракул, дипл. геод. инж. учествовала је до сада у научно-истраживачком раду у оквиру пројекта реализованог у сарадњи са Републичким министарством просвете, науке и технолошког развоја под називом "Унапређење геодетске инфраструктуре Србије за потребе савременог државног премеу" (2011-2016).

Аутор је или коаутор више научних и стручних радова публикованих у часописима од међународног и националног значаја као и зборницима радова са скупова одржаних у земљи и иностранству.

Миљана Тодоровић Дракул, дипл. геод. инж. користи у свом раду све стандардне рачунарске програмске пакете, као и специјализоване софтвере за обраду сателитских опажања.

Служи се енглеским језиком.

Удата је и има једно дете.

3. ТЕХНИЧКИ ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

Докторска дисертација **“Моделовање јоносфере за потребе одређивања утицаја на ГПС сигнале у мрежном РТК окружењу”** Миљане Тодоровић Дракул, дипл. инж. геод. садржи укупно 7 поглавља. Поред тога, у оквиру дисертације презентира се резиме дисертације на српском и енглеском језику, спискови скраћеница, табела, слика и најзначајнијих употребљених ознака, као и садржај дисертације.

Целокупна материја презентирана у дисертацији подељена је на поглавља која имају следеће наслове:

1. Увод
2. Елементи теорије и физике Земљине јоносфере
3. NAVSTAR GPS глобални позициони систем
4. GNSS и друге методе сондирања јоносфере
5. Анализа временских серија
6. Експериментална истраживања
7. Закључак

Након што су у уводу објашњени кључни појмови и постављен проблем са основним циљем истраживања, у другом поглављу дат је кратак увод у физику Земљине атмосфере, с посебним освртом на јоносферу, и Сунца. Објашњена је теорија формирања јоносферског омотача Земље и описана су три главна фотохемијска процеса: производња, нестанак и транспорт јона и електрона. Такође, дат је кратак увод у реално магнетно поље Земље које има централну улогу у процесу транспорта у јоносфери.

С обзиром на то да је основни циљ истраживања представљало изналажење начина моделовања варијабилности разлика јоносферског кашњења у мрежном GPS RTK окружењу, у трећем поглављу приказан је сателитски систем NAVSTAR GPS. Поред архитектуре система и основног принципа функционисања, ово поглавље детаљно разрађује моделске једначине кодних и фазних псеудодужина, са освртом на бројне изворе грешака које прате процес GPS мерења. На крају дат је приказ принципа позиционирања са детаљним описом релативног позиционирања.

У четвртном поглављу описане су методе сондирања јоносфере са акцентом на примени јоносонде и GNSS опажања. У овом поглављу посебно се разматра простирање GPS сигнала кроз јоносферу и њен утицај кроз посматрање Укупног Садржаја Електрона који игра централну улогу у детектовању промена у јоносфери. Описани су и различити типови јоносферских модела. Посебна пажња је посвећена сондирању D региона јоносфере, и дат је приказ начина детектовања и моделовања концентрације електрона D региона током појаве поремећаја, тј. X-флерова.

Пето поглавље је посвећено кратком опису и анализи метода временских серија које су коришћене у овој дисертацији за формулисање модела јоносферских корекција у циљу унапређења мрежног-RTK система. Описана је техника линеарне регресије која представља стандардну методу моделовања и интерполације јоносферских утицаја, али и савремени концепт примене неуронских мрежа које иначе спадају у методе машинског учења.

Шесто поглавље садржи експериментални део истраживања. Дат је опис мреже стално оперативних референтних GNSS станица под називом АГРОС (Активна Геодетска Референтна Основа Србије) и њеног тренутног оперативног статуса јер је ова мрежа коришћена као тест полигон свих истраживања. У овом поглављу је приказана и

анализа временске и просторне варијације јоносфере изнад територије Републике Србије кроз одређивање VTEC величине из GPS мерења и поређењем са подацима јоносонде. Формиране су и приказане карте VTEC величине за територију Републике Србије и то за тестиране периоде. Затим је представљено квантификовање временских карактеристика јоносферског кашњења у истом региону. У овом поглављу дата је и анализа утицаја D региона јоносфере на укупан TEC како би се добио увид у јоносферске услове Србије као претходницу за развој јоносферског модела погодног за подршку мрежном-РТК систему за побољшање АГРОС инфраструктуре. Након тога представљено је моделовање јоносфере у циљу обезбеђивања јоносферских корекција. Тестирана су и истражена два различита приступа моделовања како би се обезбедио предиктивни метод за рачунање јоносферског кашњења, што би онда омогућило интерполацију корекција у домену времена.

Сумарни преглед најважнијих резултата, основни закључци и препоруке, отворена питања и могући правци даљих истраживања, дати су у седмом поглављу. Поред тога, пописана је цитирана и коришћена литература са списком од укупно 137 библиографских података.

Техничка обрада свих наведених поглавља, као и дисертације у целини, на веома високом је нивоу. Редослед излагања материје логичан је и веома јасан и концизан, а спроведен је уз поштовање принципа да сваки текстуално образложен став буде по могућству поткрепљен, односно илустрован одговарајућим нумеричким вредностима, табелама, дијаграмима, цртежима или фотографијама.

4. СТРУКТУРА И САДРЖАЈ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Композиција, обим и садржај предочене и прегледане докторске дисертације у потпуности одговарају савременој форми научно-истраживачких радова.

Дисертација је у логичном смислу подељена на три дела.

У првом делу, који обухвата првих пет поглавља, јасно су дефинисани сви појмови од значаја за истраживање и материја неопходна за разумевање, при чему су детаљно и систематизовано представљене теоријске основе истраживања и дата је општа слика Земље јоносфере, NAVSTAR GPS система, метода сондирања јоносфере и метода анализе временских серија.

Треба напоменути да се кандидаткиња у теоријском и експерименталном смислу ограничила на податке опажања сателитског система NAVSTAR GPS имајући у виду да је то први и најдуже потпуно оперативни глобални навигациони сателитски систем. Принцип примене истоветан је код осталих сателитских система који су се у међувремену појавили или постали потпуно оперативни.

Други део дисертације односи се на шесто поглавље, у којем је приказано сопствено истраживање кандидата кроз вишемесечни нумеричко-експериментални, рад на математичкој обради обимног мерног материјала изведеној у циљу провере теоријских

поставки и верификације решења. У том процесу задатак се састојао у решавању бројних проблема који су се односили на тачност, поузданост и општу погодност и просторни распоред расположивих података, да би се на тај начин обезбедили резултати мерења који су неопходног квалитета. За реализацију истраживања усвојена је стратегија која обухвата три етапе.

- Прва етапа обухватала је истраживање дневних и сезонских варијација јоносферског VTEC изнад региона, за две године током четири различита сезонска периода. Скуп од 30 АГРОС станица лоцираних широм државе је коришћен као тест полигон за ову анализу. Двофреквентна GPS опажања су прикупљена из сваке станице и применом софтвера "*GPS TEC analysis*" добијене су временске серије VTEC вредности. Период тестирања је обухватио дане равнодневица, краткодневица и дугодневица за 2013. и 2014. годину, као и дане када је примећена појачана соларна активност. Добијене вредности VTEC из двофреквентних GPS опажања су поређене са вредностима VTEC добијеним јоносондом која је смештена у Гроцкој у просторијама Геомагнетског завода. За одређивање вредности VTEC из података јоносонде коришћен је јоносферски модел *Iri_2012*. На основу добијених VTEC података извршена је анализа и приказ дневних варијација јоносфере изнад АГРОС станице Гроцка као и анализа просторно-временских варијација јоносфере изнад Србије.
- Друга етапа истраживања састојала се из анализе краткорочних варијација у променама јоносферског кашњења. Посматрани су оригинални подаци јоносферског кашњења добијени из VTEC на станици Гроцка. Добијено је да током мирних јоносферских периода јоносферско кашњење остаје испод прага од ± 5 cm у току 3 минута, док током активних периода овај праг се достиже за мање од 90 секунди. Такође у овом делу прелиминарних истраживања анализиране су промене садржаја електрона у D-региону изазване соларним X-флеровима. Прво, анализиране су временске промене TEC_D и њихов удео у укупном TEC, као и удео делова различитих хоризонталних слојева D-региона током сметњи изазваних изабраним X-флером. Метод истраживања базиран је на основу података добијених од DHO VLF сигнала емитованог у Немачкој и евидентираног од стране VLF пријемника који се налази у Србији. За TEC су коришћени подаци дати на сајту <http://www.bath.ac.uk/elec-eng/in-vert/iono/rti.html>. Друго, анализирани су ефекти интензитета X-флера на промене у TEC_D и њихов удео у варијацији TEC.
- У трећој етапи приступљено је развоју одговарајућег модела за потребе предикције јоносферских корекција задовољавајуће тачности погодног за мрежне RTK примене на територији Републике Србије. Тестиране су две предиктивне шеме базиране на методи линеарне регресије и примени неуронских мрежа. Као средство за процену учинка сваког модела коришћен је критеријум тачности од ± 5 cm који одговара захтевима квалитета у поступку општег премера. Поређени су узорци података различитих величина и тестирани су у циљу сазнања који узорак даје најбоље резултате, као и да се утврди која величина узорка је оптимална. Подаци коришћени за ову анализу су исти као за периоде тестирања из претходних истраживања. За потребе обраде и тестирања

података коришћен је софтвер Weka3 (енг. Waikato Environment for Knowledge Analysis).

Трећи део дисертације садржи седмо, односно завршно поглавље, у којем је дат преглед резултата са закључцима и препорукама. Осим тога у овом делу представљена су и отворена питања и могући правци даљих истраживања.

Добијени резултати потврђују да је кандидаткиња у највећој мери успела да квантификује понашање једног тако комплексног медијума као што је јоносферски омотач Земље изнад испитиваног подручја, и то са квалитетом који дозвољава успешну предикцију јоносферских ефеката за потребе обезбеђења сервиса мрежног РТК окружења.

Изложена композиција дисертације омогућила је да се у потпуности истакне њена вредност, што се првенствено односи на четврто и шесто поглавље. Наглашена је и повезаност са најзначајнијим референтним изворима и коришћеном литературом, у оквиру које су били присутни наслови из најновијег времена. Добијени резултати у оквиру дисертације, као и изведени закључци, заснивају се на примени научних метода анализе и синтезе експерименталних и аналитичких величина.

Треба напоменути да је кандидаткиња, између осталог, обезбедила резултате који се могу користити као почетне вредности у даљим истраживањима понашања јоносферског омотача, а нарочито са аспекта интеграције са резултатима јоносферских истраживања добијених јоносондом. Поред тога, оцењени параметри варијабилности концентрације електрона могу се искористити у независном пројекту чији би резултат биле побољшане перформансе мреже перманентних станица Републике Србије, чиме је нарочито наглашен практичан аспект дисертације.

Докторска дисертација о којој је овде реч урађена је у складу са темом на коју је релевантно Стручно веће Универзитета у Београду дало сагласност.

5. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ И СПОСОБНОСТИ КАНДИДАТА ЗА САМОСТАЛНИ НАУЧНИ РАД

Анализом резултата истраживања презентираних у докторској дисертацији Миљане Тодоровић Дракул под насловом **“Моделовање јоносфере за потребе одређивања утицаја на ГПС сигнале у мрежном РТК окружењу”**, може се закључити да предметна дисертација представља резултат напорног и посвећеног истраживачког рада, конципираног првенствено на експерименталној основи и признатим научним методама. Добијени резултати и закључци изведени у оквиру дисертације се стога морају прихватити као потпуно валидни.

Научни резултати који су релевантни за оцену квалитета дисертације односе се пре свега на чињеницу да је кандидаткиња унапредила методологију моделовања ефеката јоносферског кашњења и предикције тих утицаја у условима мрежног РТК окружења.

Осим тога, кандидаткиња је искористила богати опаљачки материјал да изнад територије Републике Србије по први пут одреди понашање јоносферског омотача, и докаже компатибилност добијених резултата са релевантним методама које користе резултате мерења јоносондом. На тај начин је директно допринела повећаним могућностима моделирања јоносферских утицаја на регионалном нивоу и у домену времена, и бољем разумевању процеса који за последицу имају њихову просторно-временску расподелу. Индиректни значај добијених резултата огледа се у могућностима примене предложене методологије прогнозе јоносферских утицаја за потенцијално побољшање перформанси методе позиционирања у оквиру мреже перманентних станица.

Уверење о могућности да се истражени предикциони поступак имплементира у рад мреже перманентних станица Републике Србија заснива се на чињеници да је кандидаткиња доказала да се квалитетна прогноза понашања јоносферских утицаја може обезбедити чак и за године које представљају такозвани јоносферски максимум у једанаестогодишњем циклусу Сунчевих активности.

Сходно резултатима спроведених истраживања, а имајући у виду доступност континуираних временских серија мерења у оквиру мреже перманентних станица, кандидаткиња истиче неопходност додатних испитивања и предлаже експлицитно следеће:

- С обзиром на то да су током истраживања примећене аномалије у виду инверзија које значе бржу промену јоносферских кашњења ноћу него дању, ово питање, као и евентуална повезаност са нередовним и изненадним јоносферским варијацијама мора се истражити са повећаним обимом података проширеним на више узастопних година које би обухватиле како периоде максималне, тако и периоде минималних јоносферских активности.
- Имајући у виду општу комплексност понашања јоносферског система, потребно је више пажње посветити просторној предикцији јоносферских кашњења у регионалним размерама, јер још увек не постоје задовољавајући модели прогнозе који би обезбедили квалитет у свим јоносферским условима.
- Откривено је да промене јонизације у D региону изазване соларним X флеровима јесу важне приликом моделовања простирања GNSS сигнала и примене у мерењима током флера. Сходно томе, потребно је усмерити даља истраживања ка бољем разумевању овог ефекта кроз свеобухватну анализу проширену на већи узорак података и различите класе флерова.

Све напред наведено, укупно посматрано, представља вредне научне и практичне доприносе у области која је истраживана, а приступ проблему, аналитичка обрада постојеће литературе, нумеричка обрада, интердисциплинарна сарадња, спроведене анализе и изведени закључци сведоче о способности кандидаткиње за самостални научно-истраживачки рад.

6. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

У својој докторској дисертацији **“Моделовање јоносфере за потребе одређивања утицаја на ГПС сигнале у мрежном РТК окружењу”**, Миљана Тодоровић Дракул, дипл. инж. геод. дала је вредан допринос у области која је перманентно актуелна, како са научно-истраживачког аспекта, тако и са аспекта практичне примене. Реч је о раду који у нашим условима унапређује моделовање и предикцију комплексног понашања јоносфере, и у потпуном је складу са савременом теоријом и мерним методама. Миљана Тодоровић Дракул, дипл. инж. геод. је истовремено добијеним резултатима отворила могућност да се у сарадњи са надлежним Републичким органом предузме посебно истраживање чији би резултати допринели бољим перформансама инфраструктуре мреже перманентних станица када је у питању позиционирање за потребе премера. На тај начин би у потпуности дошла до изражаја практична димензија дисертације. Закључци изведени на бази спроведених истраживања посебно су значајни због тога што се односе на експериментална истраживања која су обухватала обиман мерни материјал и бројна прецизна сателитска опажања, због чега су, посматрано у целини, кроз дисертацију остварени поуздани и научно засновани резултати.

На основу претходно изложеног, може се констатовати да докторска дисертација **“Моделовање јоносфере за потребе одређивања утицаја на ГПС сигнале у мрежном РТК окружењу”** Миљане Тодоровић Дракул, дипл. геод. инж. представља вредан допринос у области референтних геодетских мрежа и премера и уређења земљишне територије, и да има све неопходне елементе докторске дисертације. Стога Комисија предлаже Научно-наставном већу Грађевинског факултета Универзитета у Београду да ову дисертацију прихвати и одобри њену јавну одбрану.

Београд, 11. 10. 2016. год.

Чланови комисије

Проф. др Драган Благојевић, дипл.инж.геод.

Проф. др Иван Алексић, дипл.инж.геод

В. проф. др Олег Одаловић, дипл.геод.инж.

В. проф. др Ивана Васиљевић, дипл.инж.геол.
(Рударско-геолошки факултет – Београд)

Др Александра Нина, дипл. физ.
(Институт за физику – Београд)