

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

Одлуком Научно-наставног већа Грађевинског факултета у Београду бр. 22/197-3 од 23.11.2015. године, одређени смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације мр Виолете Василић, дипломираног геодетског инжењера, под насловом:

**“Моделирање регионалних деформација земљине коре
и стабилности референтног система”**

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

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

Докторска дисертација мр Виолете Василић, под напред наведеним насловом, садржи укупно 262 стране, од којих основни текст има 252 стране. У оквиру дисертације приказана је 141 слика, 21 табела, и употребљено је 118 скраћеница, 77 важнијих ознака и дефиниционих формула, као и већи број нумерисаних израза. На крају дисертације дат је попис коришћене литературе, који садржи 182 библиографска наслова.

Предметна дисертација пријављена је 03.11.2009. године. На седници Научно-наставног већа Грађевинског факултета од 05.11.2009. године одређена је одлуком бр. 616/2 од 11.11.2009. године Комисија за пријем теме докторске дисертације чији је извештај прихваћен на седници Научно-наставног већа одржаној 24.12.2009. године о чему је донета одлука бр. 616/5 од 29.12.2009. године. На основу добијене сагласности Већа научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду од 24.02.2010. године, Научно-наставно веће Грађевинског факултета одобрило је кандидату рад на дисертацији.

Кандидат мр Виолета Василић, дипл. геод. инж. предала је урађену докторску дисертацију Студентској служби Грађевинског факултета 13.11.2015. године.

Предмет дисертације представља примена сателитских геодетских метода (а првенствено података временских серија мерења на стално оперативним референтним GNSS станицама) за квантитативно вредновање савремених хоризонталних померања и последичних деформација Земљине коре с једне стране, као и моделирање стабилности референтног система реализованог у принципу истим тим временским серијама мерења. Актуелност теме проистиче директно из актуелности фундаменталних задатака геодетске науке и праксе, који се поред одређивања облика, величине и спољашњег гравитационог поља земље састоје и у одређивању временских промена свих тих параметара.

Основни задатак научног истраживања дисертације, сагласно предмету истраживања, био је формулисање могућности мреже стално оперативних референтних GNSS станица за детекцију и квантитативно вредновање геодинамички и геодетски релевантних сигнала као што су деформације Земљине коре и локације и брзине тачака на физичкој површи Земље, а за потребе одређивања узрочних деформационих сила, односно механичких својстава Земљине коре, и утврђивања временске еволуције придруженог референтног система. У оквиру постављеног задатка идентификовано је неколико важних циљева научног истраживања, као што је формулисање математичког модела обраде опажања, испитивање природе сигнала присутних у временским серијама, истраживање могућности корелације геодинамичких сигнала са другим геоподацима и формулисање оптималног модела временске еволуције референтног система реализованог мрежом перманентних станица.

Овако дефинисани задаци и циљеви научног истраживања представљају директни проблем у геодетском смислу, али са геодинамичког становишта спадају у такозване инверзне или обрнуто постављене проблеме јер се баве одређивањем узрока на основу опажаних последица.

С обзиром на предмет и циљеве истраживања, дисертација припада области геодезије, односно ужој научној области Референтне геодетске мреже, за коју је матичан Грађевински факултет Универзитета у Београду.

2. БИОГРАФИЈА КАНДИДАТА

Мр Виолета Василић, дипл. геод. инж. рођена је 21.08.1968. године у Брусу, Република Србија. Основну и средњу школу завршила је у Брусу и Београду са одличним успехом. Године 1987. уписала се на Грађевински факултет у Београду, Одсек за геодезију, и све предвиђене испите положила са просечном оценом 8.28. Дипломски рад под насловом **Примена програмских пакета COGO-PC Plus, AutoCAD, Surfer и Windows апликација Excel и Word у инжењерској геодезији** одбранила је 1994. године са оценом 10 (десет). Последипломске студије на Грађевинском факултету Универзитета у Београду, смер Референтне геодетске мреже, уписала је 1994. године и прописане испите положила са просечном оценом 9.78. Магистарски рад под називом **“Анализа могућности метролошког обезбеђења геодетских GPS пријемника”** одбранила је у априлу 2009. године, чиме је стекла звање магистра техничких наука.

Мр Виолета Василић, дипл. геод. инж. запослена је на Одсеку за геодезију Грађевинског факултета у Београду од 1995. године, и то прво у својству инжењера сарадника, потом као стручни сарадник, а 2003. године изабрана је у звање асистента приправника за уже научне области Геодетске референтне мреже, Геодетска метрологија и Менаџмент и технологија геодетских радова. Године 2007. изабрана је у звање асистента приправника на Грађевинском факултету Универзитета у Београду за уже научне области Референтне геодетске мреже и Геодетска метрологија. Од октобра 2009. године има звање асистента, са поновним избором 2012. године за исте уже научне области.

Током свог досадашњег ангажмана на Грађевинском факултету у Београду, мр Виолета Василић, дипл. геод. инж. одржавала је вежбања из предмета Виша геодезија, Геодетска метрологија, Основе геодетских референтних мрежа, Практична настава из геодезије, Теорија сателитског позиционирања, Геодетска астрономија, Мерне методе физичке геодезије, Обезбеђење квалитета геодетских мерења, Рачун изравнања 1 и Рачун изравнања 2, као и из више изборних предмета. У периоду од 2003. године до 2006. године, одржавала је и вежбања из предмета Рачун изравнања 1, Рачун изравнања 2 и Рачун изравнања 3 на Одсеку за геодезију Грађевинског факултета у Подгорици.

Мр Виолета Василић, дипл. геод. инж. учествовала је до сада у научно-истраживачком раду у оквиру више пројеката реализованих у сарадњи са Републичким министарством просвете, науке и технолошког развоја, Савезним министарством за привреду и Републичким геодетским заводом. Учествовала је на два међународна пројекта у оквиру COST акција. Године 2013 остварила је сарадњу са француским институтом IGN, добијајући стипендију Француске амбасаде и Француског института у Србијинамењене српским истраживачима за научна истраживања у лабораторијама у Француској.

У оквиру SIDA пројекта са Републичким геодетским заводом мр Виолета Василић, дипл. геод. инж. била је члан групе за остваривање Контролног центра националне GPS референтне мреже. Такође, била је члан Комисије за стандардизацију географских имена као представник Института за геодезију и геоинформатику Грађевинског факултета.

Аутор је или коаутор више научних и стручних радова публикованих у зборницима радова са скупова одржаних у земљи и иностранству.

Мр Виолета Василић, дипл. геод. инж. користи у свом раду све стандардне рачунарске програмске пакете, као и специјализовани софтвер BERNESI и CATREF за обраду сателитских опажања и изравнање геодетских референтних мрежа.

Служи се француским и енглеским језиком.

Удата је и има двоје деце.

3. ТЕХНИЧКИ ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

Докторска дисертација **“Моделирање регионалних деформација земљине коре и стабилности референтног система”** мр Виолете Василић, дипл. инж. геод. садржи укупно 11 поглавља. Поред тога, у оквиру дисертације презентира се предговор (увод) са кључним документацијским информацијама, резиме дисертације на српском и енглеском језику, спискови скраћеница, табела, слика и најзначајнијих употребљених ознака, садржај и кратка биографија кандидата.

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

1. Структурна грађа Земље
2. Састав Земљине коре
3. Референтни оквири за описивање вертикалних кретања литосфере
4. Референтни системи времена
5. Референтни системи и референтни оквири
6. Сателитски GPS систем
7. Реализација Терестричког референтног система Републике Србије
8. Математичке основе Структурне геологије
9. Математичке основе деформације и напона
10. Деформација Земљине коре
11. Закључак и препоруке

Након што су у уводу објашњени кључни појмови и постављен проблем са основним циљем истраживања, у првом, уводном поглављу дат је приказ структурне грађе Земље, са основним дефиницијама везаним за физички и хемијски састав, геолошке временске скале и литосферу. У наставку, друго поглавље ближе описује карактеристике стенског и минералогског материјала, који диминирају у саставу Земљине коре.

У трећем поглављу кандидат приказује референтне оквири специфичне за решавање геодинамичких проблема. У том смислу нагласак је дат на референтне површи и појмове као што су Ојлеров и Лагранжов референтни оквир, као и референтна литосфера, а који су од суштинског значаја за правилну интерпретацију вертикалних литосферних померања.

Четврто и пето поглавље посвећени су референтним системима и оквирима времена и референтним системима и оквирима координата. У погледу времена као физичке категорије, истакнут је значај како за геодинамичка истраживања, тако и за дефиницију и реализацију референтних система у геодезији у оквиру такозваних параметара оријентације Земље. Поред дефиниције инерцијалних и терестричких референтних система, пето поглавље посвећује пажњу и њиховој реализацији сателитским, односно космичким методама као што су VLBI, SLR, GPS и DORIS. Посебно је истакнута реализација савремених терестричких референтних система у виду референтних оквира ITRF2005 и ITRF2008.

С обзиром на то да се успостављање савремених референтних система и праћење њихове временске еволуције данас врши преваходно уз помоћ сателитских метода мерења, у шестом поглављу приказан је сателитски систем NAVSTAR GPS. Поред архитектуре система и основног принципа функционисања, поглавље детаљно разрађује моделске једначине кодних и фазних псеудодужина, са посебним освртом на бројне изворе грешака које прате процес GPS мерења, а које су од примарног значаја за правилно разумевање и објективну интерпретацију детектованих промена на површи Земље.

У седмом поглављу детаљно је разрађен општи облик математичког модела изравнања на основу временских серија координата станица у оквиру стално оперативне референтне GNSS мреже Републике Србије. Изравнање је извршено помоћу CATREF научног софтверског пакета који је пројектован за ригорозну анализу и обраду временских серија четири просторне геодетске мерне технологије (VLBI, SLR, GPS и DORIS) у сврху генерисања решења међународног терестричког референтног оквира ITRF.

Као кључно поглавље целине о референтним системима, седмо поглавље садржи резултате реализације референтног оквира ITRF2008 у Републици Србији које је кандидат назвала ITRF2008_SRB_UoB, затим оцене вредности положаја и брзина станица, као и резултате упоређења овако добијеног референтног оквира са реализацијом европског EUREF референтног оквира под називом EPN_SRB_UoB. Приказане су математичке оцене стабилности параметара дефиниције референтног система, и представљено је поље хоризонталних брзина које карактерише подручје Републике Србије.

Осмо, девето и десето поглавље, која се могу груписати у једну логичну целину, дају преглед доминантних деформација Земљине површине одређених на основу резултата директних геодетских мерења која су иначе већ доказала свој потенцијал у области деформационе анализе Земљине коре.

У осмом поглављу дате су математичке основе структурне геологије, док је девето поглавље посвећено математичким основама деформација и напона, као и њихових међусобних односа. Поглавље десет, као кључно поглавље ове целине, описује математички модел деформације и презентује оцењене резултате регионалних деформација Земљине коре на територији Републике Србије. У овом поглављу је такође дат приказ доступних података догођених земљотреса у последњих 35 година, карте догођених земљотреса у Републици Србији на основу базе глобалних података института GFZ, The World Stress Map Project, Европске сеизмичке карте хазарда, пројекат SHARE, карте сеизмичког хазарда Републике Србије, као и података геолошког модела Неотектонске карте Србије. На основу добијених резултата извршена је подела области истраживања на четири зоне, према интензитету брзина деформација Земљине коре, и у односу на доминантне деформације екстензионог и компресионог карактера.

Сумарни преглед најважнијих резултата, основни закључци и препоруке, отворена питања и могући правци даљих истраживања, дати су у једанаестом поглављу. Поред тога, пописана је цитирана и коришћена литература са укупно 182 библиографска

податка, од којих су готово сви најновијег датума. На крају дисертације дат је списак коришћених интернет адреса.

Техничка обрада свих наведених поглавља, као и дисертације у целини, на 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 поткрепљен, односно илустрован одговарајућим нумеричким вредностима, табелама, дијаграмима, цртежима или фотографијама.

4. СТРУКТУРА И САДРЖАЈ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Композиција предочене и прегледане дисертације у потпуности одговара савременој форми научно-истраживачких радова.

Дисертација је у логичном смислу подељена на пет делова.

У првом делу, који обухвата прво, друго и треће поглавље, јасно су дефинисани сви појмови од значаја за истраживање, и дата је општа слика Земље и Земљине коре као објекта геодинамичких истраживања и физичке структуре која реализује терестрички референтни систем.

Други део са четвртим, петим и шестим поглављем представља систематизовану и детаљно приказану теоријску основу везану за питање дефиниције и реализације референтних система. Четврто поглавље посвећено је референтним системима времена. Пето поглавље описује референтне системе координата са нагласком на терестричке референтне системе, њихову дефиницију, реализацију различитим космичким и сателитским мерним методама. Шесто поглавље посвећено је сателитском систему NAVSTAR GPS као доминантној техници за успостављање референтних система и прикупљање података о просторним положајима тачака, чије промене наговештавају могућност одигравања неког геодинамичког процеса.

У трећем делу дисертације које се састоји од седмог поглавља, приказано је 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 ITRF у Републици Србији усвојена је стратегија која обухвата две етапе. У првој је извршено комбиновање индивидуалних GPS недељних серија координата станица чиме је добијена реализација терестричког референтног система под називом ITRF2008_SRB_UoB. У другој етапи извршено је упоређење решења терестричког референтног система ITRF2008_SRB_UoB са реализацијом терестричког референтног система EPN_SRB_UoB. Висока тачност просторних координата од 0.3 mm и компоненти брзина од 0.2 mm/у омогућила је статистичку потврду хоризонталних

брзина Земљине коре на територији Републике Србије у правцу североистока, у износу од 2.75 cm/y.

Четврти део дисертације састоји се од осмог и девог поглавља, и посвећен је краћем уводу у структурну геологију и теоријским основама деформација и напона. Четири потпоглавља девог поглавља третирају математичку основу и дефиниције вектора померања у деформабилном телу, компоненти спољашњих и унутрашњих сила као и тензора напона, док су последња два потпоглавља сконцентрисана на односе напона и деформација у конкретном случају литосферних маса.

Пети део дисертације обухвата десето поглавље, и представља експериментално истраживање деформација Земљине коре на територији Републике Србије. Као улазни подаци коришћене су вредности брзина станица одређене у делу дисертације који се бавио питањем стабилности референтног система. У раду је употребљен метод коначних елемената при чему су коначне елементе представљали троуглови са тежиштем у којем је директним начином срачунат градијент тензора брзина. На тај начин извршена је дискретизација простора истраживања. Оптимално генерисање троуглова изведено је по правилима Delaunay триангулације. Саме брзине деформације Земљине коре одређене су на основу резидуалних брзина у теменима троуглова, добијених након елиминације брзине евроазијске литосферне плоче помоћу параметара из ITRF2008 апсолутног модела кретања плоча. Упоредба са геолошким подацима показује да су главни правци геодетски одређених брзина компресије и екстензије сагласни са геолошким подацима неотектонских раседа који ограничавају крупне неотектонске јединице и веће неотектонске блокове и зоне, или ограничавају мање неотектонске блокове на подручју истраживања.

Добијени резултати потврђују да је кандидаткиња у потпуности успела да квантификује деформације Земљине коре на испитиваном подручју, и то са квалитетом који у интердисциплинарној сарадњи може суштински допринети разумевању процеса који се одигравају у Земљиној кори.

Изложена композиција дисертације омогућила је да се у потпуности истакне њена вредност, што се првенствено односи на седмо и десето 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 или граничне вредности у даљим геодетским истраживањима стабилности референтног система, као и у деформационој анализи великих објеката, изради општих урбанистичких планова, пројектовању и слично, 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 мр Виолете Василић под насловом **“Моделирање регионалних деформација земљине коре и стабилности референтног система”**, 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 праћења временске еволуције референтног система у нашим условима, и довела ту методологију у склад са савременим поступцима заснованим на анализи дугогодишњих серија сателитских мерења.

Осим тога, кандидаткиња је искористила богати опаљачки материјал да за територију Републике Србије по први пут одреди савремена хоризонтална померања Земљине коре, и докаже компатибилност добијених резултата са релевантним геолошким моделима. На тај начин је такође директно допринела повећаним могућностима геодинамичких истраживања и бољем разумевању ендеогених и егзогених процеса који за последицу имају деформације површинског дела Земљине коре. Индиректни значај добијених резултата огледа се у могућностима примене динамичког приступа испитивању стабилности државног референтног оквира.

Сходно резултатима спроведених истраживања, а имајући у виду доступност континуираних временских серија координата станица, кандидаткиња истиче дугорочност референтног оквира као кључни фактор за његову стабилност, и експлицитно предлаже следеће:

- Осигурање конзистентности поступака за обезбеђење дугорочности референтних оквира,
- Одржавање реализације референтног система на регуларној основи преко кумулативних недељних решења, чиме се посебно доприноси стабилности координатног почетка и размере,
- Синергија две претходне активности и извођење решења за референтни оквир по математичком моделу имплементираном у коришћеном софтверском пакету CATREF,
- Мултидисциплинарно истраживање деформација Земљине коре, одређених из истих временских серија координата, након детекције и елиминације офсета и сезонских, периодичних ефеката.

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

6. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

У својој докторској дисертацији **“Моделирање регионалних деформација земљине коре и стабилности референтног система”**, мр Виолета Василић, 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 значајно унапређује методологију успостављања и праћења временске еволуције националног референтног система, и у потпуном је складу са савременом теоријом и мерним методама. Мр Виолета Василић, дипл. инж. геод. је истовремено кроз интердисциплинарну сарадњу допринела много бољем разумевању процеса који доводе до деформација површинског дела Земљине коре на територији Републике Србије, и на тај начин отворила могућност примене динамичког приступа у истраживању стабилности националног терестричког референтног оквира. Закључци изведени на бази спроведених истраживања посебно су значајни због чињенице да су формиран на основу реализације експерименталних истраживања која су подразумевала коришћење вишегодишњих серија перманентних прецизних сателитских опажања. Стога су, посматрано у целини, кроз дисертацију остварени врло поуздани и научно засновани резултати.

На основу претходно изложеног, може се констатовати да докторска дисертација **“Моделирање регионалних деформација земљине коре и стабилности референтног система”** мр Виолете Василић, дипл. геод. инж. представља вредан научни и практични допринос у области референтних система и геодинамичких одређивања, 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, 19. 01. 2016. год.

Чланови комисије

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

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

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