

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ**  
**Грађевински факултет**

## **НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Сање Туцикешаић

Одлуком бр. 380/12-16 од 16.07.2020. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Сање Туцикешаић дипл. инж. геод., под насловом:

### **МОДЕЛОВАЊЕ ТЕКТОНСКИХ ПОМЈЕРАЊА И КВАНТИФИКАЦИЈЕ ДЕФОРМАЦИЈА ЗЕМЉИНЕ КОРЕ КОРИШЋЕЊЕМ GNSS ТЕХНОЛОГИЈЕ**

Наслов на енглеском језику:

### **MODELLING TECTONIC MOVEMENTS AND QUANTIFICATION OF DEFORMATIONS OF THE EARTH'S CRUST USING GNSS TECHNOLOGY**

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидаткињом, Комисија је сачинила следећи

## **РЕФЕРАТ**

### **1. УВОД**

#### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидаткиња Сања Туцикешаић, дипл. инж. геод. пријавила је тему докторске дисертације 25.08.2016. године.

Одлуком Научно-наставног већа Грађевинског факултета бр. 380/3 од 30.09.2016. године, са седнице одржане 29.09.2016. године, одређена је Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације под насловом “Моделовање тектонских помјерања и квантификације деформација Земљине коре коришћењем GNSS технологије” у саставу:

- др Драган Благојевић, редовни проф., дипл. инж. геод.,
- др Олег Одаловић, ванредни проф., дипл. инж. геод.,
- др Ивана Васиљевић, ванредни проф., дипл. инж. геол. (са Рударско-геолошког факултета, Универзитета у Београду).

Позитиван извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације усвојен је на седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета одржаној 24.11.2016. године. Веће научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду на седници одржаној 22.12.2016. године, својом одлуком бр. 61206-6246/2-16 усвојило је предлог теме докторске дисертације кандидата Сање Туцикешић.

Кандидаткиња је урађену докторску дисертацију предала Служби за студентска питања Грађевинског факултета 09.07.2020. године. Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета Универзитета у Београду бр. 380/12-16 донетој на седници одржаној 16.07.2020. године, именована је Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Сање Туцикешић, дипл. инж. геод.

## 1.2. Научна област дисертације

Тема докторске дисертације припада научној области Геодезије и ужој научној области Геодетске референтне мреже која је дефинисана Статутом Грађевинског факултета Универзитета у Београду.

Радови публиковани у међународним часописима који квалификују ментора проф. др Драгана Благојевића за вођење докторске дисертације су:

1. Tucikešić S., **Blagojević D.** (2019). *Modelling of time series of GNSS coordinates and their interaction with average magnitude earthquakes*, Geodetski vestnik, Vol.63, No.4, pp.525-540, DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2019.04.525-540.
2. Todorović-Drakul Miljana, Samardžić-Petrović Mileva, Grekulović Sanja M, Odalović Oleg R, **Blagojević Dragan M** (2018) *Modelling extreme values of the total electron content: Case study of Serbia*, GEOFIZIKA, vol. 34, br. 2, str. 297-314 (Article; Proceedings Paper)
3. Todorović-Drakul Miljana, Čadež Vladimir M, Bajcetić Jovan B, Popović Luka C, **Blagojević Dragan M**, Nina Aleksandra (2016) *Behaviour of Electron Content in the Ionospheric D-Region During Solar X-Ray Flares*, Serbian Astronomical Journal, vol. 193, br. 0, str. 11-18 (Article)
4. **Blagojević Dragan M**, Todorović-Drakul Miljana, Odalović Oleg R, Grekulović Sanja M, Popović Jovan B, Joksimović Danilo (2016) *Variations of Total Electron Content Over Serbia During the Increased Solar Activity Period in 2013 and 2014*, Geodetski Vestnik, vol. 60, br. 4, str. 734-744 (Article)
5. Nikitović Vladimir, Bajat Branislav, **Blagojević Dragan M** (2016) *Spatial patterns of recent demographic trends in Serbia (1961-2010)*, GEOGRAFIE, vol. 121, br. 4, str. 521-543 (Article)
6. Luković Jelena B, **Blagojević Dragan M**, Kilibarda Milan S, Bajat Branislav (2015) *Spatial pattern of North Atlantic Oscillation impact on rainfall in Serbia*, SPATIAL STATISTICS, vol. 14, br. , str. 39-52 (Article)

7. Bajat Branislav, **Blagojević Dragan M**, Kilibarda Milan S, Luković Jelena B, Tosić Ivana A (2015) Spatial analysis of the temperature trends in Serbia during the period 1961-2010, THEORETICAL AND APPLIED CLIMATOLOGY, vol. 121, br. 1-2, str. 289-301 (Article)
8. Luković Jelena B, Bajat Branislav, **Blagojević Dragan M**, Kilibarda Milan S (2014) Spatial pattern of recent rainfall trends in Serbia (1961-2009), REGIONAL ENVIRONMENTAL CHANGE, vol. 14, br. 5, str. 1789-1799 (Article)
9. Aleksić Ivan R, Odalović Oleg R, **Blagojević Dragan M** (2010) State Survey and Real Estate Cadastre in Serbia Development and Maintenance Strategy, SURVEY REVIEW, vol. 42, br. 318, str. 388-396 (Article)
10. Hengl Tomislav, Bajat Branislav, **Blagojević Dragan M**, Reuter Hannes I (2008) Geostatistical modeling of topography using auxiliary maps, COMPUTERS & GEOSCIENCES, vol. 34, br. 12, str. 1886-1899 (Article)
11. Vulić M, **Blagojević Dragan M** (2008) Recent vertical crustal movements of a part of the Balkan Peninsula derived from levelling data, SURVEY REVIEW, vol. 40, br. 309, str. 235-243 (Article)

### 1.3. Биографски подаци о кандидаткињи

Сања Туцикешић рођена је 13.05.1981. године у Бањој Луци. Основну и средњу школу завршила је у Бањој Луци.

Након завршене средње Грађевинске школе – смјер Геодезија у Бањој Луци, 2000. године уписује Грађевински факултет, Универзитета у Београду, Одсек за геодезију. Дипломирала је 29.02.2008. године, на тему “Одређивање гравиметријског геоида примјеном формуле Стокса“, са оценом 10 (десет).

Школске 2008/2009. године уписала је докторске академске студије модула геодезија на Грађевинском факултету у Београду и положила је све испите предвиђене планом и програмом са просечном оценом 9.75.

Од 2009. године, Сања Туцикешић запослена је као асистент на Архитектонско-грађевинско-геодетском факултету Универзитета у Бањој Луци. У марту 2013. године стекла је Геодетску лиценцу првог реда. У новембру 2013. године завршила је курс „Modern Geodesy and Land Management“, у организацији Департмана за грађевинарство и геодезију Факултета техничких наука у Новом Саду и University of Applied Sciences, TFH Georg Agricola, Vochum, Germany. Због остварених очекиваних резултата од фебруара 2015. године изабрана је у звање вишег асистента на Универзитету у Бањој Луци.

Учествовала је на неколико важних пројеката оскултација и деформационих мерења у својству руководиоца и сарадника на пројекту. Била је руководилац као и одговорни геодетски стручњак на више пројеката реконструкције постојеће и реализације нове геодетске основе.

Од априла 2014. године овлашћена је за Руководиоца пословне јединице ПЈ Веком Гео Бања Лука. У октобру 2014. године била је сарадник у реализацији прекограничног међулабораторијског поређења лабораторија за еталонирање димензионалних геодетских мерила. Од децембра 2014. године ангажована је на пословима заменика техничког руководиоца и руководиоца квалитета у лабораторији пословници (ПЈ Веком Гео Бања Лука), чија компетентност је потврђена акредитацијом лабораторије јануара 2016. године.

Сања Туцикешкић је аутор или коаутор више научних и стручних радова публикованих у часописима од међународног и националног значаја од којих три у часописима са SCI листе, као и у зборницима радова са скупова одржаних у земљи и иностранству.

Чита, пише и говори енглески језик.

Удата је и мајка је троје деце, две кћери и једног сина.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Сање Туцикешкић под насловом “Моделовање тектонских помјерања и квантификације деформација Земљине коре коришћењем GNSS технологије” (на енглеском језику „Modeling tectonic movements and quantification of deformations of the Earth's crust using GNSS technology“) садржи укупно 271 страну, од којих је основни текст на 187 страна. Дисертација је писана на српском језику и подељена је у девет поглавља:

1. Уводна разматрања
2. Основни појмови о грађи и особинама Земље
3. Основни појмови о GPS систему
4. Геотектонска теорија и тектонски покрети
5. Временске серије GNSS координата
6. Спектрална анализа временских серија GNSS координата
7. Методе и могућности корелације резултата анализе временских серија GNSS координата и сеизмологије
8. Нумеричка истраживања
9. Закључак

Дисертација садржи 91 слику, 22 табеле и списак од 60 скраћеница, као и већи број важнијих ознака дефиниционих формула и нумерисаних израза. На крају дисертације је дат списак цитиране литературе који садржи 197 библиографских наслова. На почетку дисертације је дат резиме на српском и енглеском језику, са кључним речима и УДК бројем. Биографија аутора дата је на крају дисертације.

Дисертација је у потпуности обликована у складу са упутством Сената Универзитета у Београду од 19.11.2019. године (Упутство за формирање репозиторијума докторских дисертација) и посебним упутствима за обликовање штамане и електронске верзије дисертације, формирање образаца изјава и ауторских лиценци. Садржи обавезна поглавља и обрасце: изјава о ауторству, изјава о истоветности електронске и штампане верзије и изјава о коришћењу.

## 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У оквиру Поглавља 1 (уводна разматрања), кандидаткиња је дефинисала предмет дисертације са основним циљевима истраживања у којем је сагледана важност идентификације временски корелисаног шума при анализи временских серија GNSS координата у сврху објективне и тачне процене брзине и њене несигурности. У овом поглављу кандидаткиња је истовремено дефинисала полазне хипотезе (општу и посебну) својих истраживања и дала попис научних метода које ће користити у оквиру докторске дисертације. На крају Поглавља 1. представљена је структура тезе и њена организација по поглављима.

Поглавље 2 посвећено је кратком уводу и основним појмовима који се тичу грађе и особина Земље, са посебним акцентом на развој теорије тектонских плоча и узроке њихових померања. У овом поглављу дат је преглед просторних геодетских техника, које у данашње време представљају основне инструменте за проучавање величине, облика и деформације Земље.

Основе GPS/GNSS система, теоретски преглед GPS/GNSS сигнала, грешака и позиционирања, са кратким освртом на историју и успостављање GNSS мрежа за геодинамику, мерних кампања и континуираних GNSS мрежа, предмет су Поглавља 3.

Опис геотектонске теорије и тектонских покрета приказан је у Поглављу 4. Кандидаткиња је у овом делу дисертације описала сеизмички циклус, као везу између сеизмичког извора и резултујуће површинске деформације. У оквиру овог поглавља представљена је важна улога анализе деформација Земљине коре у истраживањима везаним за цели сеизмички циклус и процес опажања земљотреса пре, током и после његове појаве, те су уведени кључни појмови интерсеизмичке фазе, пресеизмичке фазе, косеизмичке фазе и постсеизмичке фазе.

Поглавље 5 је посвећено кратком опису временске серије GNSS координата и њеној анализи. Представљене су методе за анализу временских серија које су коришћене у овој дисертацији за моделовање тектонског померања и квантификације деформација Земљине коре. У овом поглављу истакнут је значај уопштених стохастичких процеса у областима геодинамичких истраживања. Представљени су појмови фракцијског Гаусовог шума (енгл. Gaussian noise) и фракцијског Брауновог кретања (енгл. Brownian noise) и разлике између њих. Посебна пажња је посвећена процени квалитета временског низа координата, као кључног задатка при идентификовању дисконтинуитета, одскачућих података, промена брзина и периодичних функција.

Опис спектралне анализе временских серија GNSS координата представљен је у Поглављу 6. У овом поглављу описана је метода на основу које се одређује спектрални садржај временске серије GNSS координата из коначног скупа мерења за потребе

разумевања унутрашњег механизма који утиче на тектонске покрете. Ово поглавље садржи опис процене спектралних индекса, а посебну пажњу кандидаткиња је посветила Lobm-Scargle моделу спектралне анализе за процену недостајућих података. У овом поглављу су представљени модели и извори шума временске серије GNSS координата и анализирани су карактеристике шума.

У Поглављу 7 кандидаткиња описује методе и могућности корелације резултата анализе временских серија GNSS координата и сеизмологије, а посебан акценат је на високим брзинама GNSS узорковања и напредак који се овом врстом података може остварити у моделовању земљотреса.

Поглавље 8 садржи експериментални део истраживања и у њему је кандидаткиња обухватила претходно представљене поступке моделовања и нумеричких одређивања за потребе анализе временске серије GNSS координата. У овом поглављу дата је и анализа резултата експерименталних истраживања временских серија GNSS координата.

У Поглављу 9 представљени су закључци и најзначајнији резултати нумеричких истраживања. Кандидаткиња је идентификовала могуће правце и смернице за будући рад, које су важне за развој и примену временских серија GNSS координата у областима сеизмологије у будућности.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### **3.1. Савременост и оригиналност**

У последњих двадесет година, успостављен је на локалном, регионалном и глобалном нивоу велики број стално оперативних GNSS станица са примарном сврхом да обезбеде реализацију референтног оквира потребног за практичне циљеве позиционирања и навигације. Веома рано препознат је њихов висок потенцијал за геодинамичка истраживања, имајући у виду да обезбеђују дугачке временске серије координата, чија анализа може резултирати објективним вредностима параметара који описују унутрашње механизме померања Земљине коре и њених деформација.

Комплексни геодинамички процеси резултирају најразличитијим појавним облицима деформација Земљине коре. То се посебно односи на сеизмичке догађаје чије је разумевање изузетно важно са становишта последица по околину и људско друштво. Из тог разлога је испитивање њихове природе, узрока, објективно квантификовање интензитета, као и карактеристика у временском и фреквенцијском домену не само научно оправдано, већ и континуирано представља савремену и актуелну тему научног истраживања.

У оквиру докторске дисертације предочена је пре свега обимна литература која кроз досадашња научна истраживања широм света приказује актуелно стање ствари када је у питању истраживана тема. Прегледом литературе може се закључити да не доминира ни један приступ појединачно. Таква ситуација очигледно ствара простор за нове

предлоге анализе временских серија и могућности њихове инкорпорације у хибридне геодетско-геофизичке моделе.

На основу наведеног, може се закључити да је од интереса сваки покушај формулације једног интегралног приступа вредновању пресеизмичких, косеизмичких и постсеизмичких деформација Земљине коре. Овај приступ, ограничен на косеизмичке деформације, уствари представља предмет истраживања ове дисертације.

У оквиру реализације истраживања у овом раду предложен је концепт оцењивања параметара временских серија GNSS координата перманентних станица и оцењивање спектралних индекса у оквиру њихове спектралне анализе. Посебна пажња посвећена је систему детекције присуства одскачућих резултата који би потенцијално могли фалсификовати резултате анализе и идентификације оних систематских померања која су резултат сеизмичких догађаја.

Предлог методологије снажно је подупрт експерименталним истраживањем. За потребе експеримента у овој дисертацији коришћени су подаци прикупљени са интервалом регистрације од 30 s, у периоду који обухвата осам година, и то на укупно шест стално оперативних GNSS станица на локацијама Београд (BEOG), Охрид (ORID), Сарајево (SARA), Пореч (PORE), Задар (ZADA) и Сплит (SPLI). То значи да је кандидаткиња располагала подацима заступљеним у различитим временским категоријама (дневна, ноћна, сезонска, годишња) и са различитим техничким карактеристикама станичних пријемника и антена. Подручје истраживања карактерише се умереном до релативно јаком сеизмичком активношћу на југоисточном обалском подручју Јадрана. У овој зони има много активних раседа и тектонских блокова. Сеизмичност подручја је у равнотежи са њеним тектонским положајем који се односи на сучељавање Јадранске микроплоче са спољашњим Динаридима. Поред тога, анализа је обухватила косеизмичке деформације које су последица низа сеизмичких догађаја различите дубине и растојања епицентра од коришћених перманентних станица, који су наступили током испитиваног осмогодишњег периода. Имајући то у виду, може се констатовати одлична репрезентативност коришћеног узорка.

У оквиру дисертације су анализирани подаци расположивих GNSS перманентних станица, извршена је њихова категоризација, основна математичка обрада, и примењена је спектрална анализа односно оцењивање спектралних индекса са истовременом детекцијом одскачућих резултата и идентификацијом систематских померања сеизмичког порекла. Добијени резултати су категорисани, вредновани, критички су дискутовани и упоређени са постојећим резултатима приказаним у литератури. Доказана је објективност резултата, и на тај начин створена је могућност да се поступак који предлаже кандидаткиња примени самостално или заједно са геофизичким методама за објективну квантификацију деформација Земљине коре и дубље разумевање унутрашњих тектонских односно сеизмичких механизма. Сагледавајући ове чињенице, може се закључити да резултати дисертације имају практичну вредност и резултат су оригиналног научног истраживања.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Попис цитиране литературе коришћене у изради ове докторске дисертације садржи 197 библиографских наслова, углавном актуелних иностраних извора.

Сва поглавља дисертације се ослањају на велики број референтних иностраних радова и књига, а већину референци чине радови објављени у врхунским међународним часописима, као што су *Geophysical Journal International*, *Journal of Geophysical Research*, *Journal of Geodynamics*, *GPS Solutions*, као и радови објављени на значајним међународним конференцијама из области Геодезије.

Кандидаткиња је у значајној мери користила савремену литературу. Највећи број приказаних референци је новијег датума, од чега 72 између 2000. и 2009. године. и 60 између 2010. и 2020. године.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Кандидаткиња је рад у дисертацији реализовала паралелном применом теоријског приступа ослоњеног на коришћену литературу и практичног приступа заснованог на сопственом експерименталном истраживању.

За сагледавање постојећих сазнања из предметне области, кандидаткиња је извршила синтезу досадашњих истраживања применом компаративне анализе објављених резултата, док је за планирање и анализу резултата експерименталног истраживања примењена хипотетичко-дедуктивна метода. Сходно томе, коришћене су како опште (планирање експеримента, дедуктивна метода), тако и основне (математичко планирање, анализа и обрада резултата мерења), односно специфичне (спектрална анализа) научне методе. У анализи сопствених и постојећих резултата коришћена је компаративна метода истраживања.

Наведене методе истраживања су савремене и у потпуности примерене за примену у предметном истраживању. Закључци изведени из резултата истраживања морају се сматрати потпуно валидним, јер су изведени анализом обимног експерименталног мерног материјала.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати добијени у оквиру истраживања доказују, пре свега, неопходност формулисања интегралног приступа оцењивању параметара у временским серијама перманентних GNSS станица у случајевима сеизмичких догађаја. Кандидаткиња је као оптимално решење предложила строгу спектралну анализу временских серија, и показала обимним експерименталним истраживањем оправданост и применљивост таквог приступа.

Кандидаткиња је формулисањем приступа истраживања и резултатима експерименталног рада добила између осталог и репрезентативне нумеричке вредности



за хоризонтална и вертикална померања Земљине коре која су последица сеизмичке активности и довела у везу величине тих померања са неким параметрима земљотреса. Овакви резултати тим пре добијају на важности имајући у виду да су у временским серијама присутне варијације чије је порекло у дистрибуцији површинских маса (атмосфера, океан, снег, влажност тла), климатском дисању Земљине коре и вештачким осцилацијама везаним за коришћену технологију (термичке промене GNSS антена, кретање фазног центра антена, несигурности тропосферског модела и слично). Вертикалне компоненте временских серија посебно су осетљиве на сезонске варијације, тако да њихов неодговарајући третман резултира порастом аутокорелисаног и временски корелисаног шума, што кључно утиче на формулацију стохастичког модела оцењивања.

Оцењивањем спектралних индекса временских серија GNSS координата, кандидаткиња је развила довољно прецизан модел за који је показала да може значајно помоћи разумевању унутрашњих механизма који утичу на тектонска померања. У ту сврху посебна пажња посвећена је развоју алгоритама за елиминацију одскачућих резултата присутних у временским серијама, и детекцију систематских помераја (офсета) чије порекло није у промени мерне опреме или другим вештачким утицајима, већ су резултат сеизмичке активности. Кандидаткиња је показала да од поузданости ових алгоритама зависе оцене брзина станица и њихове несигурности.

С обзиром на висок степен конзистентности приступа анализи временских серија GNSS координата, очекује се да методологија коју кандидаткиња предлаже буде у потпуности применљива не само изоловано, већ и у хибридном геодетско-геофизичким истраживањима тектонике и сеизмичности.

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

Кандидаткиња се у оквиру своје докторске дисертације бавила изучавањем и критичком анализом доступне релевантне литературе, као и планирањем, спровођењем, обрадом и анализом резултата веома обимног експерименталног истраживања. Систематичним приступом постављеном проблему, повезујући различите сегменте научно-истраживачког рада, кандидаткиња је успешно решила постављене задатке истраживања и доказала да поседује вештине и способност за самостални научно-истраживачки рад.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру докторске дисертације Сање Туцикешаћ могу се издвојити следећи специфични научни доприноси:

- Установљено је да се предложеном методологијом може остварити веома висока тачност оцена хоризонталних и вертикалних брзина GNSS станица у износу од 0.02 mm/год, односно 0.07 mm/год.

- Оценом спектралних индекса временских серија GNSS координата развијен је веома прецизан модел за разумевање унутрашњих механизма који утичу на тектонска померања.
- Показано је да предложена методологија обезбеђује спектрални индекс стационарног Гаусовог шума, а да се појава шума треперења може повезати са унутрашњим компонентама GNSS система, као и са грешкама у GNSS опажањима односно у њиховом моделовању.
- Доказано је да примена спектралне анализе обезбеђује поуздану детекцију систематских померања која су сеизмичког порекла.

Поред тога, могу се идентификовати и следећи доприноси општег карактера:

- Проширен је фонд релевантних сазнања и информација о природи косеизмичких деформација Земљине коре.
- Омогућено је објективно оцењивање параметара временских серија GNSS координата у присуству сеизмичких догађаја.

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Истраживачки рад Сање Туцикешић, дипл. инж. геод. показао је да примена методе спектралне анализе временских серија GNSS координата представља оптималан избор за објективно оцењивање косеизмичких деформација Земљине коре.

Истраживани приступ заснивао се на полазној хипотези да се временске серије GNSS координата могу користити у наукама о земљотресима за мерење површинских деформација Земљине коре, при чему анализе деформација Земљине коре имају важну улогу у истраживањима везаним за цели сеизмички циклус. Проблем са анализом временских серија GNSS координата састоји се у томе што подаци показују изразиту варијабилност различитих периода односно фреквенција. Користан сигнал у предметном истраживању представљају тренд и сезонске варијације које карактеришу тектонске процесе, као и систематски помераји који су резултат сеизмичких догађаја. Присуство обојеног шума и читавог низа утицаја који потичу од коришћене технологије и немоделираних ефеката значајно отежавају екстракцију корисног сигнала, због чега је потпуно научно оправдан мотив кандидаткиње да тежиште истраживања усмери на могућност њиховог објективног оцењивања.

Предложена методологија тестирана је на статистички адекватном узорку који је обухватао резултате GNSS мерења изведених у широком дијапазону времена и простора, на сеизмички интересантном подручју. За све временске серије остварена је висока прецизност од 0.02 mm/год за хоризонталне брзине и 0.07 mm/год за вертикалне. Одговарајуће стандардне девијације крећу се од 1.79 mm до 2.19 mm за хоризонталну компоненту, и од 5.09 mm до 6.30 mm за вертикалну. Откривене су и велике вредности од 25 mm за вертикалну компоненту које су резултат геофизичких

аномалија и познате су из литературе. Установљено је да су хоризонталне брзине испитиваног подручја од 26 mm/год до 29 mm/год што је у пуној сагласности са глобалним моделом брзина тектонских плоча.

Оценом спектралних индекса временских серија GNSS координата развијен је прецизни модел за разумевање унутрашњих механизма који утичу на тектонска померања. За анализу спектра снаге коришћене је метода Lomb-Scargle која не захтева равномерно распоређене податке. Средња вредност спектралних индекса износи -0.81 за северну компоненту, -0.99 за источну и -0.61 по висини, што указује на то да не постоји значајна разлика у спектралном карактеру шума. Откривено је да је у временским серијама присутна мешавина белог шума и шума треперења, при чему су амплитуде шума највеће по висини.

Укључивањем сеизмичких догађаја у анализу временских серија GNSS координата показано је да су на испитиваном подручју косеизмичка померања величине 10 mm по компонентама карактеристична за сеизмичке догађаје плитких дубина хипоцентра (до 5 km). Максималне косеизмичке деформације добијене су на локацијама на отвореном мору раседа Јабука-Андрија, и оне показују корелисаност са дубином хипоцентра, магнитудом и удаљеношћу од перманентних станица чиме је практично потврђена посебна хипотеза постављена у раду.

Моделовање косеизмичких деформација је веома сложено јер зависи од локалних топографских и геолошких карактеристика подручја. Кандидаткиња констатује да су коришћене перманентне станице стабилне и поуздане, али предлаже да се за потпуније моделирање успостави гушћа мрежа економски исплативијих GNSS сеизмометара, који могу допринети повећању поузданости раног упозорења и бржег реаговања на земљотресе.

На основу анализе обимног мерног материјала, може се констатовати да је кандидаткиња доказала да се применом спектралне анализе са развијеним алгоритмима детекције одскачућих резултата и идентификације систематских офсета чије је порекло искључиво сеизмичко, добијају поуздане оцене параметара временских серија GNSS координата, и да резултати истраживања потврђују да егзистира истинитост полазних хипотеза постављених у уводном поглављу ове докторске дисертације.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

У току израде дисертације, Сања Туцикешкић је међународној и домаћој, научној и стручној јавности представила свој рад кроз следеће публикације:

##### Категорија M23:

12. **Tucikešić S., Blagojević D. (2019).** *Modelling of time series of GNSS coordinates and their interaction with average magnitude earthquakes*, Geodetski vestnik, Vol.63, No.4, pp.525-540, DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2019.04.525-540.
13. **Tucikešić S., Božić B., Mulić M. (2020).** *Absolute Time Series GNSS Point Positioning - Data Cleaning and Noise Characterization*, Tehnički vjesnik/Technical Gazette, Vol. 27, No. 4, pp. 1229-1236, DOI: 10.17559/TV-20190625140656.

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

У оквиру докторске дисертације под насловом „Моделовање тектонских помјерања и квантификације деформација Земљине коре коришћењем GNSS технологије“ истражена је могућност формулације поступка анализе временских серија за потребе квантификације косеизмичких деформација Земљине коре. У ту сврху предложена је, као оптимална, спектрална анализа са посебним освртом на алгоритме детекције одскачућих резултата и идентификације систематских померања. Предложени поступак успешно је тестиран у оквиру експерименталних истраживања на веома репрезентативном узорку резултата мерења перманентних GNSS станица.

Експериментални резултати и анализе остварени при изради ове докторске дисертације представљају оригиналан и вредан научни допринос у области примене сателитских метода позиционирања у геодинамичким истраживањима јер дефинишу приступ који омогућава објективну квантификацију деформација Земљине коре у случајевима сеизмичких догађаја малог интензитета. Посебно се истиче велики експериментални мерни узорак, чијом је анализом кандидаткиња остварила резултате и закључке који се морају сматрати валидним. Осим тога, резултати и закључци дисертације се у потпуности могу применити у хибридном геодетско-геофизичким моделима квантификације косеизмичких деформација Земљине коре. Комисија сматра да урађена докторска дисертација кандидаткиње Сање Туцикешкић, дипл. инж. геод. у потпуности испуњава све захтеване критеријуме и да је кандидаткиња испољила способност за самосталан научно-истраживачки рад у свим фазама израде ове дисертације.

Комисија предлаже Наставно-научном већу да се докторска дисертација под насловом „Моделовање тектонских помјерања и квантификације деформација Земљине коре коришћењем GNSS технологије“ кандидаткиње Сање Туцикешкић, дипл. инж. геод. прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду, као и да након завршетка ове процедуре позове кандидата на усмену одбрану дисертације пред Комисијом у истом саставу.

Београд, 14.09.2020.

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Проф. др Драган Благојевић, дипл. инж. геод.  
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

В. проф. др Олег Одаловић, дипл. инж. геод.  
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

В. проф. др Ивана Васиљевић, дипл. инж. геол.  
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет