

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

Одлуком Научно-наставног већа Грађевинског факултета у Београду бр. 203/18-08 од 30.06.2017. године, одређени смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације мр Рајка Савановића, дипломираног геодетског инжењера, под насловом:

**“Анализа могућности дефинисања и реализације
државног просторног геодетског референтног система
на бази глобалног терестричког референтног система”**

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

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

Докторска дисертација мр Рајка Савановића, дипл.инж.геод. под напред наведеним насловом, садржи укупно 261 страну, од којих основни текст има 213 страна. У оквиру дисертације приказана је 91 слика, 23 табела, и употребљено је 77 скраћеница, као и велики број важнијих ознака, дефиниционих формула и нумерисаних израза. На крају дисертације дат је попис коришћене литературе, који садржи 52 библиографска наслова.

Предметна дисертација пријављена је 17.03.2008. године. На седници Научно-наставног већа Грађевинског факултета од 03.04.2008. године одређена је одлуком бр. 203/2 од 11.04.2008. године Комисија за пријем теме докторске дисертације чији је извештај прихваћен на седници Научно-наставног већа одржаној 15.09.2008. године, о чему је донета одлука бр. 203/5 од 19.09.2008. године. На основу добијене сагласности Већа научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду од 18.11.2008. године, Научно-наставно веће Грађевинског факултета одобрило је кандидату рад на дисертацији.

Мр Рајко Савановић, дипл.инж.геод. предао је урађену докторску дисертацију Студентској служби Грађевинског факултета 15.06.2017. године.

Предмет научног истраживања докторске дисертације представља дефинисање новог просторног геодетског референтног система на подручју Републике Србије и анализа могућности његовог повезивања са постојећим просторним геодетским референтним системом. Међусобно повезивање ових референтних система је могуће реализовати применом различитих трансформационих модела, при чему због практичних потреба проистеклих из чињенице да је у Републици Србији још увек у употреби стари геодетски референтни систем, кроз научно истраживање требало је дефинисати прелаз из новог у стари просторни геодетски референтни систем. Како је предметом истраживања неопходно обухватити више различитих трансформационих модела, било је такође потребно и дефинисати критеријуме за оцену квалитета сваког од примењених модела као и критеријуме за њихово међусобно упоређење.

Циљ научног истраживања, сагласно предмету, био је да се на основу савремених иностраних достигнућа у овој области анализира постојећи просторни геодетски референтни систем у Србији и дефинише нови систем, утврди методологија повезивања референтних система, и кроз експерименталну проверу различитих модела предложи методологија која сходно дефинисаним критеријумима даје најбоље резултате, тј. представља најквалитетнији трансформациони модел. Тиме је уједно требало доказати и оправданост увођења новог просторног геодетског референтног система на подручју Републике Србије.

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 Рајко Савановић, дипл.инж.геод. рођен је у Омољици, општина Панчево, Република Србија 1966. године. Завршио је основну школу 1980. године у Омољици и добитник је Вукове дипломе. Звање геодетског техничара стекао је завршивши средњу грађевинску школу-геодетски смер “25. мај” у Панчеву 1984. године, и то као најбољи ученик у генерацији, и носилац Вукове дипломе.

Одмах по завршетку средње школе, мр Рајко Савановић, дипл.инж.геод. запослио се као геометар-приправник 1984. године у Геодетском заводу “Георад” Панчево у коме је радио све до 2001. године. Грађевински факултет, одсек за геодезију, уписао је 1994. године, са укупно 10 година радног стажа у звању геометра запосленог у Републичком геодетском заводу. Војни рок је одслужио у периоду од 1985 до 1986. године у Школи резервних официра у Задру.

Мр Рајко Савановић, дипл.инж.геод. дипломирао је 2000. године на Одсеку за геодезију, Грађевинског факултета у Београду, са просечном оценом 8,98. Дипломски рад под насловом **“Израда дигиталног катастарског плана на основу података**

графичког премера” одбранио је са оценом 10, чиме је стекао звање дипломираног геодетског инжењера.

Последипломске студије на Грађевинском факултету Универзитета у Београду, профил Геоинформациони системи у катастру и уређење земљишне територије, уписао је 2000. године и све испите положио са просечном оценом 9,78. Магистарски рад под називом **“Истраживање модела трансформације координата тачака премера из стереографске у Гаус-Кригерову пројекцију на подручју Војводине”** одбранио је 2005. године, чиме је стекао звање магистра техничких наука-област геодезија.

Од октобра 2001. године мр Рајко Савановић, дипл.инж.геод. запослен је на Високој грађевинско-геодетској школи у Београду. У периоду од 2001. године до данас ангажован је као наставник практичне наставе, предавач и виши предавач за уже научне области Геодетске мреже и Практична и инжењерска геодезија. Аутор је уџбеника Практична геодезија 2 у издању Високе грађевинско-геодетске школе у Београду.

Објављени радови, научна активност као и област интересовања мр Рајка Савановића, дипл.инж.геод., усмерени су пре свега на проблематику везану за геодетске мреже. У свакодневном раду користи стандардне комерцијалне софтверске пакете опште намене, као и специфичне програме намењене превасходно решавању задатака из области геодезије.

Мр Рајко Савановић, дипл.инж.геод. објавио је 2 научна рада у периодичним публикацијама и укупно 5 радова у зборницима са домаћих и међународних научних скупова.

Користи енглески и руски језик.

Ожењен је супругом Маријом, и има два сина, Луку и Стефана.

3. ТЕХНИЧКИ ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

Докторска дисертација **“Анализа могућности дефинисања и реализације државног просторног геодетског референтног система на бази глобалног терестричког референтног система”** мр Рајка Савановића, дипл.инж.геод. садржи укупно 7 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, садржај и кратка биографија кандидата.

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

1. Увод
2. Координатни системи у геодезији

3. Геодетски датум и датумска трансформација
4. Моделирање дисторзије
5. Могућности примене различитих модела трансформације на подручју Србије
6. Упоредба различитих модела трансформације
7. Закључак и препоруке

У **првом** поглављу је укратко дато образложење теме, дефинисан је предмет и циљ истраживања, полазне хипотезе и начин решавања постављеног проблема истраживања. Поред тога наведени су очекивани резултати истраживања, њихов значај и могућност примене у пракси. Укратко је образложен научни допринос истраживања и представљен садржај докторске дисертације. У наставку овог поглавља приказано је стање у области истраживања на примеру примењених трансформационих модела у више европских земаља, као и у земљама у окружењу, у којима су карактеристике старих и нових просторних референтних система биле сличне стању ових система у Републици Србији.

Теоријске основе различитих координатних система у геодезији су приказане у **другом** поглављу дисертације. Пре преласка на приказ координатних система према International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS) дата је дефиниција референтног система и референтног оквира, с обзиром на то да се ови концепти примењују кроз све дискусије о координатним системима у геодезији. У наставку је дат детаљан приказ терестричких, небеских и орбиталних координатних система. Посебна пажња посвећена је приказу терестричких координатних система, који служе за дефинисање координата тачака на физичкој површи Земље, и као такви могу бити геоцентрични и топоцентрични системи. Како би позиције тачака у било ком од ових система могле бити једнозначно одређене бројним вредностима, уведен је појам геодетског датума уз основно дефинисање параметара положајног и висинског датума.

Успостављање везе између просторних података дефинисаних у различитим координатним системима се реализује кроз поступак датумске трансформације. Управо је из тог разлога у **трећем** поглављу дефинисан геодетски датум и приказана његова реализација за случај када се дефинише као класичан терестрички геодетски датум, и као савремени сателитски геодетски датум. На основу образложене потребе за извођењем датумских трансформација приказани су важнији трансформациони модели, и то: фамилија афине трансформације, фамилија Хелмертове трансформације сличности, полиномске трансформације и колокација по методи најмањих квадрата.

Како се у пракси најчешће користе модели Хелмертове трансформације сличности они су у овом поглављу детаљно обрађени уз анализу различитих утицаја као што је утицај тачности висина тачака, утицај апроксимације тригонометријских функција и утицај тачности трансформационих параметара. Свака датумска трансформација се заснива на оцени трансформационих параметара, те је као стандардна метода у овом поступку, приказано оцењивање по методи најмањих квадрата.

У **четвртом** поглављу су дате теоријске основе различитих модела који се могу користити након извођења датумске трансформације у циљу моделовања дисторзија геодетске мреже. Наиме, након сваке датумске трансформације, на основу трансформисаних и датих координата заједничких тачака, могу се утврдити вредности

резидуала по координатним осама. У циљу побољшања квалитета трансформације потребно је моделовати дисторзије и на основу примењеног модела одредити поправке по координатним осама за сваку заједничку тачку геодетске мреже. Због свега наведеног детаљно су обрађени следећи модели: модел грид трансформације, TIN модел – мрежа троуглова, колокација по методи најмањих квадрата (LSC), површ минималне закривљености (MCS), трансформација поделом подручја на коначне елементе (FEM) и трансформација по моделу уклапања пројекције – FIT модел.

Пето поглавље представља експериментални део докторске дисертације. У складу са дефинисаним полазним хипотезама научног истраживања утврђен је полазни скуп од 4509 заједничких тригонометријских тачака чије су координате одређене у оба референтна система, новом и постојећем државном референтном систему. Провера квалитета преузетих података је реализована применом статистичког тестирања грубих грешака на основу вредности стандардне девијације хоризонталног положаја сваке заједничке тачке, добијене након примене Хелмертове трансформације сличности. Експериментална провера различитих трансформационих модела је реализована на два различита начина. Први начин се односио на моделовање дисторзија у заједничким тачакама геодетске мреже након примене Хелмертове T7D трансформације сличности, док је по другом начину дисторзије моделоване након примене FIT модела трансформације. У оба случаја моделовање дисторзија је реализовано применом Briggs MCS модела, LSC модела и TIN модела.

Експериментални део докторске дисертације је даље приказан у **шестом** поглављу у коме је извршено упоређење различитих модела трансформације. Како моделовање дисторзија применом Briggs MCS модела, LSC модела и TIN модела представља нове трансформационе моделе, они су међусобно упоређени у циљу дефинисања новог модела који обезбеђује најбољи квалитет трансформације. Како је у Републици Србији у службеној употреби трансформациони модел GRIDER, на бази истог скупа заједничких тачака, извршена је провера квалитета овог модела трансформације. Добијени резултати су омогућили међусобно упоређење нових трансформационих модела са службеним трансформационим моделом GRIDER.

Седмо поглавље се односи на закључна разматрања која су проистекла из примене различитих трансформационих модела и добијених резултата. У складу са добијеним резултатима за практичне примене у пракси, предложен је трансформациони модел који даје најбољи квалитет трансформације података, односно, модел којим се успоставља најбоља веза између новог и постојећег геодетског просторног референтног система. Такође, дате су препоруке које би биле корисне за наредне студије, набројана су важнија отворена питања и предложени општи правци даљих истраживања у овој области. Поред тога, пописана је цитирана и коришћена литература са укупно 52 библиографска податка, од којих су готово сви најновијег датума.

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 четири дела.

У **првом** делу дисертације, који обухвата уводно прво поглавље, јасно су дефинисани сви појмови од значаја за истраживање, и дата је општа слика проблема. У овом делу кандидат је посебно обратио пажњу на стање истраживања у свету, и веома детаљно приказао решења која се примењују у Немачкој, Великој Британији, Аустрији, Аустралији, Шведској и Републици Србији.

Други део дисертације састоји се од другог и трећег поглавља. Он представља детаљно систематизовану и приказану теоријску основу везану за питање дефиниције и реализације референтних система. Друго поглавље посвећено је координатним системима различитог типа који се користе у геодезији као основне компоненте референтних система. Треће поглавље описује геодетске датуме и више типова трансформације између њих, са посебним освртом на фамилију Хелмертове трансформације. У том смислу, кандидат је детаљније представио важније аспекте Хелмертове трансформације, уз опште напомене о методи најмањих квадрата као доминантној техници оцењивања непознатих параметара у трансформационим моделима.

Трећи део дисертације који се састоји од четвртог поглавља, представља кључни теоријски део рада, јер се бави методама анализе резидуала преосталих након примене неког од глобалних модела трансформације. Значај анализе резидуала огледа се пре свега у чињеници да њихов интензитет, правац, смер и просторни распоред рефлектују дисторзије присутне у референтним оквирима између којих се дефинише математичка веза, тако да квалитет те везе директно зависи од облика модела предикције резидуала на произвољној локацији. Стога је кандидат у трећем делу дисертације детаљно описао карактеристике најважнијих модела статистичке просторне интерполације. Са трећим делом је такође заокружена теоријска основа дисертације.

У **четвртом** делу дисертације, који се састоји од петог и шестог поглавља, приказано је сопствено истраживање кандидата кроз вишемесечни нумеричко-експериментални рад на математичкој обради обимног материјала, изведеног 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 који су неопходног квалитета. За потребе експерименталне провере различитих примењених модела, извршено је истраживање моделирања дисторзија у два правца: након примењене Хелмертове T7D седмопараметарске трансформације сличности, и након примењене FIT методе директне пројекције. Овај део експерименталних истраживања реализован је у петом поглављу.

У шестом поглављу извршено је упоређење различитих модела трансформације и предикције резидуала. Веома детаљно упоређење нумеричких вредности, као и графички прикази резултата, показују да се оптимална комбинација трансформационог модела и модела предикције резидуала састоји од FIT методе директне пројекције и колокације по методи најмањих квадрата са корелационом дужином од 30 km. Нумеричке вредности стандардних девијација које карактеришу квалитет овог поступка износе 0.044 m и 0.041 m по координатним осама. Осим тога, у оквиру спроведеног рачунања, кандидат је по први пут за територију Републике Србије оценио параметре FIT методе директне пројекције: лонгитуду централног меридијана, размеру дуж централног меридијана, као и координате координатног почетка:

$$\begin{aligned}\lambda &= 20^{\circ} 59' 51.3297228674'' \\ k &= 0.999899181325 \\ x &= -502.4644 \text{ m} \\ y &= 7500240.9356 \text{ m}\end{aligned}$$

Посебно треба истаћи да је квалитет предложеног оптималног решења два пута бољи од GRIDER решења које се службено користи у Републици Србији, а по којем нумеричке вредности стандардних девијација по координатним осама износе 0.084 m и 0.080 m респективно.

Изложена композиција дисертације омогућила је да се у потпуности истакне њена вредност, што се првенствено односи на експериментална истраживања. 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 кандидат, између осталог, обезбедио резултате који се могу користити у даљим геодетским истраживањима оптималне комбинације поступака трансформације између терестричког и сателитског референтног оквира, јер је остварио дубљи увид у природу дисторзија присутних у постојећој референтној основи 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 мр Рајка Савановића, дипл.инж.геод. под насловом **“Анализа могућности дефинисања и реализације државног просторног геодетског референтног система на бази глобалног терестричког 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 кандидат унапредио у извесној мери методологију повезивања традиционалних терестричких и савремених сателитских референтних координатних оквира у нашим условима, и довео ту методологију у склад са савременим поступцима који се заснивају на оптималној комбинацији различитих метода.

Осим тога, кандидат је искористио богати опаљачки материјал у форми података за неколико хиљада тригонометријских тачака равномерно распоређених по целој територији Републике Србије, да по први пут примени специфичне моделе трансформације, и докаже компатибилност добијених резултата за наше услове. На тај начин је такође директно допринео бољем разумевању дисторзија и деформација присутних унутар постојећег терестричког референтног оквира као резултат систематских утицаја током мерења и поступака математичке обраде резултата мерења. Индиректни значај добијених резултата огледа се у могућностима примене још адекватнијих трансформационих модела у практичном повезивању старог и новог државног референтног оквира, и њихове евентуалне интеграције у инфраструктуру мреже перманентних сателитских станица Републике Србије у виду сервиса који би се нудио корисницима у реалном времену.

Сходно резултатима спроведених истраживања, а имајући у виду доступност великог броја података који се односе на такозване заједничке тачке, кандидат истиче потребу даљих истраживања, и експлицитно предлаже следеће важније правце у којима она треба да се одвијају:

- Истраживање погодности геоида односно квазигеоида за дефинисање прецизних висина тригонометријских тачака, а за потребе побољшања квалитета просторне међудатумске трансформације,
- Испитивање оптималних метода филтрирања резидуала преосталих након глобалне трансформације, како би различити поступци моделирања дисторзија могли бити упоредиви,
- Испитивање различитих аналитичких модела којима би се апроксимирале емпиријске функције коваријанси у општем поступку предикције колокацијом по методи најмањих квадрата,
- Испитивање могућности дефинисања типа и формата података којима би се датумска трансформација инкорпорирала у рад мреже перманентних сателитских станица и изводила у реалном времену,
- Дефинисање правног и организационог оквира за решавање важног струковног проблема трансформације постојећих геодетских подлога у нови државни референтни оквир.

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

6. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

У својој докторској дисертацији **“Анализа могућности дефинисања и реализације државног просторног геодетског референтног система на бази глобалног терестричког референтног система”**, мр Рајко Савановић, дипл.инж.геод. дао 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 методологију повезивања терестричких и сателитских референтних оквира, и у потпуном је складу са савременом теоријом. Мр Рајко Савановић, дипл. инж. геод. је истовремено допринео бољем разумевању природе дисторзија присутних у постојећем терестричком референтном оквиру Републике Србије, и на тај начин отворио могућност дефинисања још адекватнијих модела трансформације. Закључци изведени на бази спроведених истраживања посебно су значајни због чињенице да су формиран на основу реализације експерименталних истраживања која су подразумевала коришћење података великог броја тригонометријских тачака распоређених по целој територији Републике Србије. Стога су, посматрано у целини, кроз дисертацију практично остварени врло поуздани и научно засновани резултати.

На основу претходно изложеног, може се констатовати да докторска дисертација **“Анализа могућности дефинисања и реализације државног просторног геодетског референтног система на бази глобалног терестричког референтног система”** мр Рајка Савановића, дипл.инж.геод. представља вредан научни, и посебно практични допринос у области референтних система, 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, 21. 08. 2017. год.

Чланови комисије

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

Проф. др Иван Алексић, дипл.инж.геод.

В. проф. др Милорад Јанић, дипл.геод.инж.
(Шумарски факултет – Београд)