

Olga Bjelotomić, PhD in Technical Sciences

Olga Bjelotomić was born in Zagreb in 1985. After finishing elementary school, she enrolled the 10th Gymnasium and music high school Blagoje Bersa, which she graduated cum laude in 2003. She enrolled the Faculty of Geodesy of the University of Zagreb in the same year. She graduated cum laude under the mentorship of Prof. Dr. Tomislav Bašić with a diploma thesis *Analysis of the Earth's tide models on a Gravimetric network of City of Zagreb* in 2008.

After graduation, she started working in the Croatian Geodetic Institute in the Department for Fundamental Geodetic works. In September 2009, she started working as a research fellow on the project *Geopotential and Geodynamics of Adriatic Geo+Adria* at the Faculty of Geodesy of the University of Zagreb, Department for Geomatics, Chair for State Survey. She is a teaching assistant in the subjects *Physical Geodesy*, *Geophysical Geodesy* and *Geodetic Reference Systems*. She was a co-mentor on several MEng thesis made on Chair for State Survey. She is the author and coauthor of several scientific and professional articles in national and international journals and proceedings.

Olga Bjelotomić was an A-category scholar of University of Zagreb from 2005/06. In academic year 2007/08, she became a scholar of the University of Zagreb and won the Faculty Award for the best student of the generation. She also spent three months on an internship at Dephos z.o.o. company in Krakow, Poland as a laureat of IEASTE. During her PhD studies, she won the EUREF PhD Award and participated in PhD courses and research visits to Italy, Sweden and Turkey. She has been a member of the Croatian Chamber of Chartered Geodetic Engineers since 2012.

The doctoral thesis *High Resolution Geoid Modelling of Croatia* is written in English and contains 177 pages of A4 format, 62 tables, 72 figures, 176 bibliographic data, abstract in Croatian and English, and a short curriculum vitae.

The introductory chapter lists the related previous research, explains the motivation, hypothesis and research objectives, and briefly describes the content of the dissertation. The second chapter gives an overview of the basic theory of the Earth's gravity field, particularly of a deterministic approach in the modification of Stokes's formula, while the third chapter explains the most commonly used methods for computation of the geoid, gives an overview of such calculations in Croatia and especially analyses the Least Squares Modified Stokes' (LSMS) method.

Olga Bjelotomić defended her PhD thesis *High Resolution Geoid Modelling of Croatia* at the Faculty of Geodesy, University of Zagreb on May 15, 2015. The Defense Committee consisted of Assoc. Prof. Željko Hećimović from the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split, Prof. Dr. Tomislav Bašić (mentor) and Assist. Prof. Ramazan Alpay Abbak from Selcuk University in Konya, Turkey.

High Resolution Geoid Modelling of Croatia

The thesis is divided into following main chapters:

- 1 Introduction
- 2 Earth's Gravity Field
- 3 Geoid Modelling
- 4 Global Geopotential Models
- 5 Height Data
- 6 Gravity Data
- 7 Subcentimetre Geoid Computation
- 8 Centimetre Geoid Computation
- 9 Conclusion and Recommendations



Olga Bjelotomić, doktorica tehničkih znanosti

Olga Bjelotomić rođena je 1985. u Zagrebu. Nakon osnovne škole, upisuje X. gimnaziju i srednju glazbenu školu Blagoje Bersa, na kojima je maturirala 2003. godine s izvrsnim uspjehom. Iste godine upisuje dodiplomski studij na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Diplomirala je 2008. godine s izvrsnim uspjehom pod mentorstvom prof. dr. sc. Tomislava Bašića na temu *Usporedba modela Zemljinih plimnih valova na primjeru Gravimetrijske mreže Grada Zagreba*.

Po završetku studija zaposlila se u Hrvatskom geodetskom institutu u Odjelu za osnovne geodetske radove. U rujnu 2009. izabrana je za znanstvenu novakinju na projektu *Geopotencijal i geodinamika Jadrana Geo+Adria* na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, u Zavodu za geomatiku, Katedri za državnu izmjeru. U nastavi sudjeluje kao asistentica na predmetima *Fizikalna geodezija* i *Geofizička geodezija*, te *Geodetski referentni okviri*. Bila je voditeljica nekoliko diplomskih radova izrađenih na Katedri za državnu izmjeru. Autorica je i koautorica nekoliko znanstvenih i stručnih članaka predstavljenih i objavljenih u domaćim i međunarodnim časopisima i zbornicima. Boravila je u Italiji, Švedskoj i Turskoj u svrhu doktorskog usavršavanja. Stručni ispit položila je 2011. godine, a od 2012. godine članica je Hrvatske komore ovlaštenih inženjera geodezije.

Od ak. god. 2005/06. dobitnica je državne stipendije A kategorije. U ak. god. 2007/08. dobitnica je Sveučilišne stipendije Sveučilišta u Zagrebu i Nagrade fakulteta za najbolju studenticu generacije. Kao laureat IEASTE-a iste godine provodi tri mjeseca stažirajući u geodetskoj firmi Dephos z.o.o. u Krakovu u Poljskoj. Za vrijeme doktorskog studija dobila je nagradu EUREF PhD.

Rukopis doktorskog rada *Modeliranje geoida visoke rezolucije na području Hrvatske* napisan je na engleskom jeziku, sadrži 177 stranica formata A4, 62 tablice, 72 slike, 176 bibliografska podataka, sažetak na hrvatskom i na engleskom jeziku te kratki životopis.

U uvodnom prvom poglavlju navode se prethodna istraživanja, obrazlaže se motivacija, hipoteze i ciljevi istraživanja, te ukratko opisuje sadržaj doktorskog rada. Drugo poglavlje daje prikaz osnovne teorije Zemljina polja ubrzanja sile teže, posebno determinističkog pristupa u modifikaciji Stokesove formule, dok su u trećem poglavlju objašnjene najčešće upotrebljavane metode računanja geoida, dan pregled takvih računanja u Hrvatskoj i posebno analizirana metoda modifikacije Stokesa po najmanjim kvadratima.

Olga Bjelotomić obranila je 15. svibnja 2015. na Geo-detskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu doktorsku disertaciju *Modeliranje geoida visoke rezolucije na području Hrvatske*. Doktorski rad obranjen je pred povjerenstvom u sastavu izv. prof. dr. sc. Željko Hećimović s Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu, prof. dr. sc. Tomislav Bašić i Assist. Prof. Ramazan Alpay Abbak sa Sveučilišta Selcuk u Konyi u Turskoj. Mentor je bio prof. dr. sc. Tomislav Bašić.

Modeliranje geoida visoke rezolucije na području Hrvatske

Doktorski rad podijeljen je na ova osnovna poglavlja:

1. Uvod
2. Zemljino polje ubrzanje sile teže
3. Modeliranje geoida
4. Globalni geopotencijalni modeli
5. Visinski podaci
6. Podaci ubrzanja sile teže
7. Određivanje subsentimetarskog geoida
8. Određivanje centimetarskog geoida
9. Zaključak i smjernice za buduća istraživanja

The fourth chapter contains the evaluation of the quality of available global geopotential models in Croatia and abroad. A detailed analysis of all available files containing heights for the Croatian mainland and depths of the Adriatic Sea is in the fifth chapter, while the sixth chapter gives an outline and analysis of gravity data quality on the mainland and Croatian islands, gravity data for the Adriatic, as well as the methodology of creating a combined gravity data set for further computation. Within the data acquisition for the creation of the gravity and height database for the entire area of Croatia, which includes continental part and the territorial sea and the islands, due to the complexity of the collision areas of the mainland and the sea, the fourth, fifth and sixth chapter determine the need for comparative analysis, followed by the need for the usage of the recognition and identification of gross errors and outliers in order to preserve the necessary level of the geodetic base stations's data quality, as well as for the data taken over but without the knowledge of its origin.

The seventh chapter represents the original methodology and the possibility of determining the millimetre geoid for the local area and the influence of the density of available gravity data on the accuracy of the geoid. The millimetre geoid determined in Bjelovarsko-Bilogorsko area defines rules and procedures of all parameters needed in order to determine a high accuracy geoid, and it represents a scientific contribution as an example for future work on determining a millimetre geoid on the entire Croatian area as a future vertical reference system of national height datum. A study over the impact of the density and distribution of terrestrial gravity data on the accuracy of the calculated geoid is made in the second part of the seventh chapter. By the scientific contribution of this chapter, an optimal spatial resolution of the necessary number of gravity data in order to achieve a highly accurate millimetre geoid in optimal proportion with highly accurate absolute orientation of the same geoid is defined.

In the eighth chapter, for the purpose of calculating a high resolution centimetre geoid, the parameters for the optimal combination of global models and integration area of terrestrial and topographic data for the LSMS method with Additional Corrections (AC) were defined. In addition, a new geoid HRG2015 was computed and analyzed by terms of its quality (accuracy) on the GNSS/levelling data and by comparison with the previous version of the Croatia geoid

HRG2009. The new Croatian geoid HRG2015 was determined using the LSMS method, including additional corrections (topographic correction, atmospheric correction, downward continuation correction and ellipsoidal correction) which was applied for the first time over the Croatian territory. Accuracy of the HRG2015 geoid is 3.9 cm and its absolute accuracy assessment is 4.7 cm, which justifies the theoretical reliability of the methodology and the geoid of high accuracy is established for the Croatian area. The new Croatian geoid HRG2015 was computed in high resolution of 30×30 arc seconds, which equals to less than 1 kilometre in reality, and therefore it is the most detailed geoid model ever determined over the Croatian area.

High Resolution Geoid Modelling of Croatia

The ninth and final chapter briefly summarizes the obtained results and their contribution, based on which the author presents recommendations for possible improvements and further research. Based on an analysis over the required density distribution of terrestrial gravity data in order to determine the millimetre geoid, within this doctoral dissertation methodology, concepts and principles needed for the determination of the millimetre geoid are presented and high resolution centimetre geoid is determined for the entire territory of Croatia, including sea and islands. Research and analyses carried out in this dissertation confirmed the assumptions of the impact of geodynamic active regions on the accuracy of the geoid on the Croatian territory and established a concept and guidelines for the improvement of the quality of the reference geodetic base stations needed for geoid orientation.

Tomislav Bašić ■

Četvrto poglavlje sadrži ocjenu kvalitete raspoloživih globalnih geopotencijalnih modela na području Hrvatske i šire. Detaljna analiza svih raspoloživih datoteka s visinama za kopno Hrvatske i dubinama za Jadransko more nalazi se u petom poglavlju, dok šesto poglavlje donosi prikaz i analizu kvalitete gravimetrijskih podataka na kopnenom dijelu i otocima Hrvatske, gravimetrijskih podataka za Jadran kao i metodologiju kreiranja kombiniranog skupa podataka za daljnja računanja. U sklopu pripreme gravimetrijske i visinske baze podataka za kompletno područje Hrvatske koje obuhvaća kontinentalni dio te teritorijalno more i otoke, zbog kompleksnosti područja kolizije kontinenta i mora, kroz peto, šesto i sedmo poglavlje utvrđena je nužnost komparativne analize i primjene rekognosciranja i identifikacije grubih pogrešaka kako podataka točaka geodetske osnove tako i preuzetih podataka nepoznatog porijekla u svrhu očuvanja potrebne razine kvalitete podataka.

U sedmom poglavlju prikazana je originalna metodologija i mogućnost određivanja milimetarskog geoida u lokalnom području te utjecaj gustoće raspoloživih gravimetrijskih podataka na točnost geoida. Milimetarski geoid koji je određen na Bjelovarsko-Bilogorskom području definira pravila i postupke obuhvata svih parametara neophodnih za određivanje geoida visoke točnosti, te predstavlja znanstveni doprinos u svrhu daljnjeg realiziranja milimetarskog geoida na cjelokupnom području Hrvatske kao budućeg visinskog referentnog sustava nacionalnoga visinskog datuma. U drugom dijelu sedmog poglavlja provedeno je ispitivanje utjecaja gustoće i distribucije terestričkih gravimetrijskih podataka na točnost izračunanog geoida. Znanstvenim doprinosom ovog poglavlja definirana je optimalna prostorna rezolucija neophodnog broja diskretnih gravimetrijskih podataka u svrhu određivanja visoko točnog milimetarskog geoida optimalnog srazmjera s visoko točnom apsolutnom orijentacijom istog geoida.

U osmom poglavlju, za potrebe računanja centimetarskog geoida visoke rezolucije definirani su parametri optimalne kombinacije globalnog modela i područja integracije terestričkih i topografskih podataka za metodu modifikacije Stokesove formule po najmanjim kvadratima s dodatnim korekcijama, izračunan je novi geoid HRG2015 te analiziran po pitanju njegove kvalitete (točnosti) s pomoću GNSS/nivelmanskih podataka i usporedbe s ranijom verzijom geoida Hrvatske HRG2009. Novi hrvatski geoid HRG2015 determini-

ran je metodom modificiranog Stokesa po najmanjim kvadratima (eng. Least squares modified Stokes – LSMS) uključujući sve dodatne korekcije (topografska korekcija, atmosferska korekcija, korekcija radi kontinuiteta prema dolje, te elipsoidna korekcija), koja je po prvi puta provedena pri određivanju hrvatskoga nacionalnog geoida, a određen je s unutarnjom točnošću od 3,9 cm i apsolutnom od 4,7 cm, čime je empirijski raščlanjena i opravdana teorijska pouzdanost metodologije i uspostavljen novi geoid visoke točnosti za područje Hrvatske. Novi hrvatski geoid HRG2015 određen je u visokoj rezoluciji od 30"×30", što odgovara manje od 1 kilometra u stvarnosti, čime je postao najdetaljnijim geoidom ikad određenim za područje Hrvatske.

Modeliranje geoida visoke rezolucije na području Hrvatske

Posljednje deveto poglavlje sumira ukratko postignute rezultate i njihov doprinos te temeljem toga daje preporuke za moguća unaprjeđenja i daljnja istraživanja u budućnosti. Na temelju provedenih analiza o potrebnoj gustoći distribucije terestričkih gravimetrijskih podataka u svrhu određivanja milimetarskog geoida, u doktorskoj disertaciji prikazani su metodologija, koncept i načela potrebna za uspostavu milimetarskog geoida te je određen centimetarski geoid visoke rezolucije za čitavo područje Republike Hrvatske, uključujući more i otoke. Ispitivanja i analize provedene u sklopu doktorskog rada potvrdili su pretpostavke utjecaja geodinamički aktivnih područja na točnost određivanja geoida na području Hrvatske te utvrdili koncept i smjernice za realiziranje poboljšanja kvalitete referentne geodetske osnove za orijentiranje geoida.

Tomislav Bašić ■