

Bojan Barišić, MSc in Technical Sciences

Bojan Barišić, defended his master's thesis *Connecting Basic Gravimetric Networks of the Republic of Slovenia and the Republic of Croatia* at the Faculty of Geodesy of the University of Zagreb on March 18, 2009. His mentor was Prof. Dr. Tomislav Bašić, and the evaluation committee also included Prof. Dr. Nevio Rožić as the president and Assist. Prof. Dr. Miran Kuhar from the Faculty of Civil Engineering and Geodesy of the University of Ljubljana.

Bojan Barišić was born in Split in 1975 where he finished elementary school and secondary Civil Engineering–Geodetic Technical School. He enrolled the Faculty of Geodesy in Zagreb in 1993, and became a graduate engineer of geodesy in 1998 by defending his diploma thesis mentored by Prof. Dr. Ladislav Feil and titled *Processing of Precise Levelling Data in the Area of Hrvatsko Podunavlje*. During 2002, he specialized at the International Maritime Academy and after six months became a B category hydrographer.

Shortly after graduating, he began working in Geofizika in Zagreb as a junior engineer of magnetometry and gravimetry. He came to the Hydrographic Institute of the Republic of Croatia in Split in 2000 where he worked on hydrographic surveys. Since 2003, he has worked at the Croatian Geodetic Institute in Zagreb on basic geodetic works.

Concerning his master's thesis, he participated in the survey of the Slovenian 1st order gravimetric network. He also gained subject experience through active participation in realizing scientific-professional projects: *Project of EUVN Densification – Gravimetric Measurements, Finalising of the 1st Order Gravimetric Network of the Republic of Croatia – Positional and Height Determination, Extending the Fundamental Gravimetric Network to the Northern Adriatic Islands and 2nd Order Gravimetric Network of the Republic of Croatia*, all for needs of the State Geodetic Administration. He participated in preparation of the new *Regulations on Basic Geodetic Works*. He attended the International geoid school held in Budapest in 2005, and sponsored by the International Association of Geodesy (IAG). In co-authorship, he published several scientific and professional papers presented at national and international conferences.

The master's thesis contains 105 A4 pages, a list of references with 57 titles, 5 web pages addresses, summaries in Croatian and English, a list of tables, a list of figures, appendices in digital form and a brief biography. The thesis is divided into six chapters:

1. Introduction
2. Overview of gravimetric works
3. Theoretical basis
4. 1st order gravimetric network of the Republic of Slovenia
5. Computer processing results
6. Conclusion.

The introduction stresses the role of gravimetry in geodesy, and the importance of continuous gravimetric work on the development of a basic gravimetric network. Surveys in the 1st

order gravimetric network of the Republic of Slovenia are generally mentioned. There are also goals of the thesis, primarily survey processing of the Slovenian network and comparison with results obtained from the 1st order gravimetric network of the Republic of Croatia in four points connecting the two networks.

The second chapter contains a comprehensive overview of gravimetric work in our territory. It starts with first works of this kind carried out by the Military-Geographic Institute from Vienna at the end of 19th and the beginning of the 20th century, then stress is put on 1951 when first systematic scientifically and professionally based gravimetric works in the Croatian territory began. 1991 was a milestone, because Croatia became independent and lost most of the rich material related to gravimetric surveys during the period between 1951 and 1991. Finally, there is a detailed overview of the current state of gravimetric networks in Croatia and Slovenia.

The third chapter features the theoretical basis of absolute and relative gravimetric surveys and a detailed description and working principle of the relative gravimeter Scintrex CG-3M, which was used for surveying the Croatian and Slovenian 1st order gravimetric networks. The description of gravimeter's basic characteristics is followed by a description of monitoring its operation as an important factor in controlling the surveying system stability. Then there is a description of procedures to be followed when executing gravimetric surveys for such needs and detailed analyses of effects of various factors which have to be reduced from surveys, using associated formulae. The chapter ends with a description of basic divisions of gravimetric networks with their main characteristics and ways to process and adjust them.

The fourth chapter discusses the establishment of the 1st order gravimetric network of the Republic of Slovenia. It describes the network configuration produced on the basis of: revision of the existing state, defining conditions network points were required to meet, desired density and a geological study done for suggested locations. This is followed by a description of the survey plan, which included defining all connections to be surveyed between points and a day-by-day survey schedule. Then there is a description of the survey with a list of used equipment and accessories, way of transport, survey team composition and a surveying day description. The chapter continues with a relation of distances between points and time spent for transport on a particular gravimetric side. This relation is going to facilitate planning of a surveying day and harmonizing the extent of planned work for networks of similar dimensions on a daily basis. The chapter is concluded with a description of the surveying procedure on a gravimetric point, with an example of a field record and treatment of gravimeters after a measuring day is over.

The fifth chapter is dedicated to computer processing results. First, there are all reductions used for survey processing, then a representation of the effect of rate on the survey, then a selection of model to be used to eliminate the effect of rate from the survey. Considering all gravimetric sides in the network were surveyed on both sides, there is a table represent-

Bojan Barišić, magistar tehničkih znanosti

Bojan Barišić obranio je 18. ožujka 2009. na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu magistarski rad pod naslovom *Povezivanje osnovnih gravimetrijskih mreža Republike Slovenije i Republike Hrvatske*. Mentor je bio prof. dr. sc. Tomislav Bašić, a u Povjerenstvu za ocjenu i obranu rada bili su još i prof. dr. sc. Nevio Rožić kao predsjednik te doc. dr. sc. Miran Kuhar s Fakulteta za građevinarstvo i geodeziju Sveučilišta u Ljubljani.



Bojan Barišić rođen je u Splitu 1975. gdje je pohađao osnovnu školu i srednju Graditeljsko – geodetsku tehničku školu. Geodetski fakultet u Zagrebu upisuje 1993., a titulu diplomiranog inženjera geodezije stječe 1998. obranom diplomskog rada pod mentorstvom prof. dr. sc. Ladislava Feila na temu *Obrada podataka nivelmana visoke točnosti na području Hrvatskog Podunavlja*. Tijekom 2002. usavršava se na Međunarodnoj pomorskoj akademiji te nakon polugodišnjeg obrazovanja stječe zvanje hidrografa B kategorije.

Zaposlio se neposredno nakon diplomiranja u zagrebačkoj Geofiziци gdje je radio kao mlađi inženjer magnetometrije i gravimetrije. U Hrvatski hidrografski institut u Splitu prelazi 2000. godine, gdje radi na poslovima vezanim uz hidrografsku izmjeru. Od 2003. godine zaposlen je u Hrvatskom geodetskom institutu u Zagrebu na poslovima iz područja osnovnih geodetskih radova.

Vezano uz magistarski rad, sudjelovao je u izmjeri slovenske gravimetrijske mreže prvoga reda. Iskustva stiče i kroz aktivno sudjelovanje na realizaciji znanstveno-stručnih projekata: *Projekt progušćenja EUVN mreže – gravimetrijska mjerenja, Dopršenje gravimetrijske mreže prvog reda RH – položajno i visinsko određivanje, Proširenje osnovne gravimetrijske mreže na otoke sjevernog Jadrana te Gravimetrijska mreža drugog reda Republike Hrvatske*, sve za potrebe Državne geodetske uprave. Sudjelovao je u pripremi novoga *Pravilnika o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova*. Pohađao je međunarodnu školu geoida održanu 2005. godine u Budimpešti pod pokroviteljstvom *International Association of Geodesy (IAG)*. Kao koautor objavio je veći broj znanstvenih i stručnih radova prezentiranih na domaćim i međunarodnim skupovima.

Magistarski rad sadrži 105 stranica formata A4, popis literature s 57 naslova, adrese 5 web stranica, sažetak na hrvatskom i engleskom jeziku, popis tablica, popis slika, priloge na digitalnom mediju te kratki životopis autora. Rad je podijeljen u šest osnovnih poglavlja:

1. Uvod
2. Pregled dosadašnjih gravimetrijskih radova
3. Teorijska osnova
4. Gravimetrijska mreža I. reda Republike Slovenije
5. Rezultati računске obrade
6. Zaključak.

U izvještaju Povjerenstva za ocjenu magistarskog rada možemo pročitati sljedeće.

U uvodnom dijelu rada naglašava se uloga gravimetrije u geodeziji, važnost kontinuiteta gravimetrijskih radova na razvoju osnovne gravimetrijske mreže te se govori općenito o mjere-njima u gravimetrijskoj mreži prvog reda Republike Slovenije. Nadalje, navedeni su ciljevi rada od kojih su najvažniji: obrada mjerenja slovenske mreže te usporedba rezultata s rezultatima gravimetrijske mreže prvoga reda Republike Hrvatske na četiri točke kojima su te dvije mreže povezane.

U drugom poglavlju dan je opširan pregled gravimetrijskih radova na području Hrvatske. Kreće se s prvim radovima takve vrste koje je izveo Vojno-geografski institut iz Beča krajem 19. i početkom 20 stoljeća, zatim se naglašava 1951. godina u kojoj su započeli prvi sustavni te znanstveno i stručno utemeljeni gravimetrijski radovi u Hrvatskoj. Kao prekretnica istaknuta je 1991. godina kada se stjecanjem samostalnosti izgubila većina bogate građe vezane uz gravimetrijska mjerenja u razdoblju 1951-1991. Na kraju je detaljan prikaz trenutnog stanja po pitanju razvoja gravimetrijskih mreža u Hrvatskoj i Sloveniji.

U trećem poglavlju dana je teorijska osnova apsolutnih i relativnih gravimetrijskih mjerenja i detaljnije su opisane konstrukcija i princip rada relativnog gravimetra Scintrex CG-3M koji je upotrijebljen pri izmjeri kako hrvatske tako i slovenske gravimetrijske mreže prvoga reda. Nakon opisa osnovnih karakteristika gravimetra, slijedi opis pristupa praćenja njegova rada kao važnog čimbenika pri kontroli stabilnosti mjernoga sustava. Slijedi opis postupaka koje treba poštivati pri izvođenju gravimetrijskih mjerenja za takve potrebe te detaljne analize utjecaja raznih faktora koje treba iz mjerenja reducirati s pomoću odgovarajućih formula. Zatim su opisane osnovne podjele gravimetrijskih mreža s njihovim glavnim karakteristikama te načinima njihove obrade i izjednačenja.

U četvrtom poglavlju razmatra se uspostava gravimetrijske mreže prvoga reda Republike Slovenije. Opisuje se konfiguracija mreže nastala na temelju: revizije naslijeđenog stanja, definiranja uvjeta koje su točke mreže trebale zadovoljiti, željene gustoće te geološke studije izrađene za predložene lokacije. Slijedi opis plana mjerenja koji je uključivao definiciju svih veza koje se među točkama željelo izmjeriti te detaljno po danima razrađen raspored mjerenja. Slijedi opis izvedbe mjerenja s popisom instrumentarija i pribora, način transporta, sastav mjerne ekipe te izgled mjernoga dana. U nastavku je dan odnos udaljenosti među točkama i vremena utrošenog za transport na pojedinoj gravimetrijskoj strani. Taj odnos olakšat će planiranje mjernog dana te usklađivanje obujma planiranih radova po danima za mreže sličnih dimenzija. Na kraju je opisan postupak mjerenja na gravimetrijskoj točki, dan je primjer terenskog zapisnika i postupanje s gravimetrima nakon završetka mjernoga dana.

Peto poglavlje posvećeno je rezultatima računске obrade. Na početku su dane sve redukcije koje su upotrijebljene pri obradi mjerenja, zatim je prikazan utjecaj hoda na mjerenja, pa je nakon toga napravljen odabir modela koji će se koristiti pri eliminaciji hoda iz mjerenja. Budući da su sve gravimetrijske strane u mreži

ing surveying values in both directions and means with a corresponding accuracy grade for both gravimeters. On the basis of differences between double surveys, two gravimetric sides were detected whose surveys contain blunders and that were excluded from the further process. The chapter continues with other accuracy grades prior to adjustment derived from disagreements of closing of figures and differences between the two gravimeters' surveys. On the basis of reference standard deviation values from the *a priori* accuracy grade, the conclusion was that surveys were done with suitable accuracy, and with some minor systematic errors. It was also concluded from the difference of the two gravimeters' surveys that further processing has to eliminate the effect of the scale difference of the two gravimeters which is systematic. The next problem was the effect of weight selection on the end result. Gravity was compared in each network point, after free adjustment by applying four weight models. An observation was made about the

same surveying methods and instruments of same type were applied in both networks.

The sixth chapter summarizes main conclusions of all research carried out within the scope of this master's thesis. It is stressed that Slovenia and Croatia are in similar situations concerning the inherited state in their territories. Mentioned are key moments in processing the Slovenian gravimetric network which include the effect of weight selection on the end results of adjustment and the selection of adjustment method. Also commented is the achieved accuracy by comparing values of reference standard deviations before and after adjustment. Singular, regular and regular adjustment with an introduced scale unknown are compared and the importance of a scale unknown in the adjustment is stressed. Furthermore, there is a comparison of gravity end values in four points of the Croatian 1st order gravimetric network. The conclusion is that relative surveys in both

Connecting Basic Gravimetric Networks of the Republic of Slovenia and the Republic of Croatia

164

negligible difference between processing done with weights determined on the basis of time or route, and the decision was supported to determine weights on the basis of time, because it was no difficulty to determine the weights practically from the time of each particular gravimetric reading recorded in surveying file. The next step was to adjust the Slovenian 1st order gravimetric network. First featured was the free adjustment for each gravimeter separately, which confirmed the doubt that gravimeter scales are in fact somewhat uncoordinated. This was followed by a mutual free adjustment and a comparison of gravity in seven zero-order points with values from absolute gravimetric surveys. Of notice were relatively large deviations in points 100, 200 and 600, and a decision was made to use all zero-order points anyway as a force in regular adjustment. After the regular adjustment that will be used to compare it with the regular adjustment of the Croatian network and for discussing the achieved accuracy, final values were given of the point gravity values, calculated on the basis of regular adjustment by introducing a new unknown – the scale. Values of the reference standard deviations on the basis of three mutual adjustments were also discussed. Finally, one of the most important contribution of this thesis is the comparison of parts of 1st order gravimetric networks of Slovenia and Croatia. The conclusion was that there are scale-related differences, the most probable cause of which lies in the instability of the calibration range or a faulty instrument calibration in one of the national survey campaigns. The represented values of reference standard deviations from statistics of unknown accuracy grades for both networks show fairly good accordance, which was expected considering

networks were done with great care and professional. Also discussed is the clear effect of scale, with no doubt being one of instabilities of the used calibration range or the distribution and reliability of zero-order points in both networks. Several solutions for the problem are offered: stability testing of the calibration range, application of one of reliable international calibration bases or covering the territory with a sufficient number of absolute points the network would lean on. The author also refers to the lack of absolute gravimetric surveys in both countries, which can be addressed by acquiring an absolute gravimeter or a regular and quality international collaboration. He continues to suggest essential work which should be done in Croatia if a gravimetric basis according to contemporary standards is to be established. This work includes expanding the network to islands, finishing the 2nd order gravimetric network and examining the effect of subterranean waters on gravity acceleration. The final conclusion is that a gravimetric network's quality is mostly affected by: monitoring gravimeters, good calibration on a reliable calibration basis, a quality survey plan and execution and an updated and stable zero-order network.

The evaluation committee concluded the applicant's thesis provided a valuable contribution to gravimetric development of the Republic of Croatia through a detailed analysis of the current state and a specific detection of a potential problem in the national 1st order network. The importance of this thesis is also reflected in the guidelines for solving the noticed problem and a proposal of future work in the area of gravimetry which would help to reach international standards.

Prepared by M. Lapaine

mjerene obostrano, tablično su prikazane vrijednosti mjerenja u oba smjera i sredine s pripadnom ocjenom točnosti za oba upotrijebljena gravimetra. Na osnovi razlika dvostrukih mjerenja uočene su dvije gravimetrijske strane čija mjerenja sadrže grube pogreške i koje su isključene iz daljnjeg tijeka obrade. Slijede i ostale ocjene točnosti prije izjednačenja izvedene na osnovi nesuglasica zatvaranja figura i razlika mjerenja dvaju gravimetara.

Na temelju vrijednosti referentnih standardnih odstupanja iz *a priori* ocjene točnosti dan je zaključak da su mjerenja izvedena s primjerenom točnošću uz prisustvo manjih utjecaja sustavnih pogrešaka. Osim toga, iz razlike mjerenja dvaju gravimetara zaključeno je da u daljnjoj obradi treba eliminirati utjecaj razlike mjerila dvaju gravimetara koji ima sustavni karakter. Sljedeći obrađeni problem bio je utjecaj odabira težina na krajnje rezultate obrade. U tom dijelu napravljena je usporedba vrijednosti ubrzanja sile teže na svakoj točki mreže nakon slobodnog

prilično dobra slaganja što je i očekivano budući da su u obje mreže mjerene istim metodama i instrumentima istoga tipa.

U šestom poglavlju sažeti su glavni zaključci svih istraživanja poduzetih u okviru ovog magistarskog rada. Ističe se činjenica da su Slovenija i Hrvatska u sličnoj situaciji po pitanju naslijeđenog i aktualnog stanja na svojim područjima. Navode se ključni momenti pri obradi slovenske gravimetrijske mreže koji uključuju utjecaj izbora težina na konačne rezultate izjednačenja te odabir načina izjednačenja. Također se komentira i postignuta točnost uspoređujući vrijednosti referentnih standardnih odstupanja prije i nakon izjednačenja. Uspoređuje se singularno, regularno te regularno izjednačenje s uvedenom nepoznanicom mjerila te naglašava važnost nepoznanice mjerila pri izjednačenju. Nadalje, uspoređuju se konačne vrijednosti ubrzanja sile teže na četiri točke koje se nalaze u sastavu hrvatske gravimetrijske mreže prvoga reda te zaključuje da su relativna mjerenja

Povezivanje osnovnih gravimetrijskih mreža Republike Slovenije i Republike Hrvatske

165

izjednačenja, a primjenom četiri različita modela težina. Zapažena je zanemariva razlika između obrada s pomoću težina određenih na osnovi vremena ili puta, te je potkrijepljena odluka da se težine određuju na osnovi vremena budući da ih je vrlo praktično odrediti iz vremena svakoga pojedinog gravimetrijskog očitavanja koje je zapisano u datoteci mjerenja. U narednom koraku opisano je izjednačenje slovenske gravimetrijske mreže prvog reda. Za početak je dano slobodno izjednačenje za svaki gravimetar odvojeno pri čemu je potvrđena sumnja da su mjerila gravimetara ipak u manjoj mjeri neusklađena. Zatim je napravljeno zajedničko slobodno izjednačenje i uspoređene su dobivene vrijednosti ubrzanja sile teže na sedam točaka nultoga reda s vrijednostima dobivenim iz apsolutnih gravimetrijskih mjerenja. Primijećena su relativno veća odstupanja na točkama 100, 200 i 600, ali je odlučeno da ipak sve točke nultoga reda budu upotrijebljene za prisilu pri regularnom izjednačenju. Nakon regularnog izjednačenja koje će poslužiti za usporedbe s regularnim izjednačenjem hrvatske mreže te za komentar postignute točnosti s ocjenom točnosti prije izjednačenja, dane su konačne vrijednosti ubrzanja sile teže na točkama, izračunane na osnovi regularnog izjednačenja uvođenjem dodatne nepoznanice – mjerila. Komentirane su i vrijednosti referentnih standardnih odstupanja na osnovi tri provedena zajednička izjednačenja. Jedan od najvažnijih doprinosa ovoga rada je usporedba dijelova gravimetrijskih mreža prvog reda Slovenije i Hrvatske na temelju koje se može zaključiti da postoje razlike vezane uz mjerilo. Najvjerojatniji uzrok toga leži u nestabilnosti upotrijebljenoga kalibracijskog raspona ili u neispravnoj kalibraciji instrumenata u jednoj od nacionalnih mjernih kampanja. Prikazane vrijednosti referentnih standardnih odstupanja te statistika ocjene točnosti nepoznanica za obje mreže pokazuju

u obje mreže izvedena s velikom pažnjom i stručnošću. Također se komentira evidentan utjecaj mjerila pri čemu se iskazuje sumnja na nestabilnost upotrijebljenoga kalibracijskog raspona ili na raspored i pouzdanost točaka nultog reda u obje mreže. Nudi se više rješenja za primijećeni problem: ispitivanje stabilnosti kalibracijskog raspona, upotreba neke od pouzdanih međunarodnih kalibracijskih baza ili pokrivanje teritorija s dovoljnim brojem apsolutnih točaka na koje bi se mreža oslonila. Upućuje se na problem nedostatka apsolutnih gravimetrijskih mjerenja na teritoriju objiju država koji se može riješiti nabavkom apsolutnoga gravimetra ili redovitom i kvalitetnom međunarodnom suradnjom. U nastavku se predlažu radovi koje bi u Hrvatskoj neophodno trebalo obaviti ukoliko se želi uspostaviti gravimetrijsku osnovu koja je u skladu sa suvremenim standardima. Ti radovi obuhvaćaju proširenje mreže na otoke, dovršetak razvoja gravimetrijske mreže drugoga reda te ispitivanje utjecaja podzemnih voda na vrijednost ubrzanja sile teže. Konačno, zaključuje se da na kvalitetu neke gravimetrijske mreže u najvećoj mjeri utječu: praćenje rada gravimetara, dobra kalibracija na pouzdanju kalibracijskoj bazi, kvalitetan plan i izvedba mjerenja te aktualna i stabilna mreža nultog reda.

Povjerenstvo za ocjenu magistarskog rada zaključilo je da je pristupnik u radu dao vrijedan doprinos razvoju gravimetrije u Republici Hrvatskoj kroz detaljnu analizu postojećeg stanja te konkretnu detekciju potencijalnih problema u nacionalnoj mreži prvog reda. Važnost ovoga rada ogleda se i u smjernicama koje su iznesene za rješavanje primijećenoga problema te prijedloga budućih radova u području gravimetrije kojima bi se dosegli međunarodni standardi.

Pripremio M. Lapaine