

projections are given according to the criteria of Airy/Jordan and minimum maximum absolute linear distortion. For each optimal map projection, numerical values of the parameters are given together with a map showing the value and distribution of linear errors. Polynomial conformal projections of the 7th to 10th degree are exceptions, their values are given on the CD which is a part of the thesis. For the 10th degree of the polynomial conformal projections, a map showing the value and distribution of the linear errors is given.

The new results of this work are primarily new conformal map projections for Croatia. Better conformal map projections are found according to the imposed criteria. For example, some optimal projections have only 20% of the criterion value

in existing projections. Nevertheless, as it is emphasized in the conclusion, there are still possibilities of finding even more optimal projections for Croatia. The second contribution is the compendium of existing and new map projections for Croatia defined in a systematic manner and by the same criteria.

Based on reviewing and evaluating Dražen Tutić's PhD thesis, members of the Committee concluded that the author made a valuable contribution to modern Croatian cartography, which is especially true for the systematic comparison of existing and new optimal conformal map projections for Croatia based on same criteria and the same region.

M. Lapaine

Danko Markovinović, PhD in Technical Sciences

Danko Markovinović defended his dissertation *Gravimetric Reference System of the Republic of Croatia* at the Faculty of Geodesy of the University of Zagreb on October 16, 2009. The dissertation was defended in front of the committee: Prof. Dr. Mario Brkić, Prof. Dr. Tomislav Bašić (mentor) and Assist. Prof. Dr. Miran Kuhar from the Faculty of Civil Engineering and Geodesy of the University of Ljubljana.

Danko Markovinović was born in Vinkovci on July 27, 1967. After finishing elementary school, he attended the "Matija Antun Reljković" Education Centre in Vinkovci. In 1994, he graduated from the Faculty of Geodesy of the University of Zagreb, where he also received his MSc degree in 2001 by defending his master's thesis *First Order Gravimetric Grid and Gravimetric Calibration Base of the Republic of Croatia*. In 2006, he passed the state professional exam for adjunct of type I. He has been employed at the Faculty of Geodesy of the University of Zagreb since 1995.

The evaluation committee's report reads as follows.

The manuscript of the doctoral dissertation *Gravimetric Reference System of the Republic of Croatia* contains 210 A4 pages, the list of 111 references, 27 URL pages, abstracts in Croatian and English, the list of tables, the list of figures and the author's brief biography. The thesis is divided into ten basic chapters:

1. Introduction
2. Theory of the Earth's gravitational field
3. Methods of gravimetric measurement
4. Absolute gravimeters
5. Relative gravimeters
6. Gravimetric networks
7. Absolute gravimetric network of the Republic of Croatia
8. Basic gravimetric network of the Republic of Croatia
9. Gravimetric network of the City of Zagreb
10. Conclusion

After a brief description of the thesis's aim and content in the first chapter, the second chapter provides basic theories



of the Earth's gravitational field. It explains main terms related to the research – gravimetry, i.e. the theory of the Earth's gravitational field and gravity acceleration time changes from the gravity constant change in time to the effect of Earth's tidal waves and water masses.

The third chapter concerns gravimetric measurement methods. It explains absolute and relative gravimetric measurement methods, from methods which are bases of relative and absolute gravimeters to measured physical values and error effects and sources. It also explains the types, i.e. reasons to establish calibration bases for calibration of measuring equipment. A separate part explains the vertical gradient and presents methods of reducing gravity acceleration from the referent gravimeter height to the point itself.

The fourth chapter explains in detail the working mode of the most modern and reliable absolute gravimeter FG-5 and additionally compares FG5-L to the first truly portable gravimeter A-10 in the sense of accuracy and measurement replication. An overview was made of analyzing absolute gravimetric measurement and corrections which have to be taken into consideration.

The fourth chapter explains in detail the working mode of the most modern and reliable absolute gravimeter FG-5 and additionally compares FG5-L to the first truly portable gravimeter A-10 in the sense of accuracy and measurement replication. An overview was made of analyzing absolute gravimetric measurement and corrections which have to be taken into consideration.

In order to realize regional (gravimetric networks of one or several countries), local (city) or microgravimetric networks, relative gravimeters are used. Therefore, the fifth chapter contains a detailed review of the measuring system of the most modern relative gravimeter Scintrex AutoGrav CG-5, which was used to measure new gravimetric networks and the vertical gradient in Croatia. Working mode and gravity acceleration signal obtained with the instrument are analyzed in great detail. All essential corrections for relative gravimetric measurements are analyzed. There is a special overview of gravity acceleration correction due to Earth's tidal waves and subterranean waters in order to better understand gravity change in time.

The sixth chapter analyzes issues of defining gravimetric reference systems and dates. It also explains types of gravimetric networks and possibilities of their adjustment.

The seventh chapter concerns the state of the absolute gravimetric network of the Republic of Croatia. A comprehensive analysis was made of the available official material related to absolute measurement on the territory of Croatia for each absolute gravimetric point. Special attention was paid to data comparison in points where two measurement series were

disertacije. Za polinomne projekcije 10. stupnja daju se i karte s veličinom i rasporedom linearnih deformacija.

Novi rezultati ovoga rada su prvenstveno nove konformne kartografske projekcije za Hrvatsku. U smislu postavljenih kriterija dobivene su bolje konformne projekcije od postojećih. Primjerice, kod nekih optimalnih projekcija najmanje vrijednosti kriterija dostižu samo 20% vrijednosti istih kriterija u postojećim projekcijama. Međutim, kako je to u zaključku navedeno, mogućnosti za nalaženje još optimalnijih konformnih projekcija za Hrvatsku ipak ima. Drugi doprinos je sistematizirani i po

jedinstvenim kriterijima dobiveni pregled postojećih i novih konformnih kartografskih projekcija za Hrvatsku.

Na osnovi pregleda i vrednovanja doktorskog rada mr. sc. Dražena Tutića članovi Povjerenstva zaključili su da je pristupnik dao u svom radu vrijedan znanstveni doprinos suvremenoj hrvatskoj kartografiji, posebno da je po prvi put na temelju jedinstvenih kriterija i za isto područje na sustavan način usporedio dosadašnje i našao veći broj novih optimalnih konformnih kartografskih projekcija za područje Hrvatske.

M. Lapaine

Danko Markovinović, doktor tehničkih znanosti

Danko Markovinović obranio je 16. listopada 2009. na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu disertaciju *Gravimetrijski referentni sustav Republike Hrvatske*. Doktorski rad obranjen je pred povjerenstvom u sastavu prof. dr. sc. Mario Brkić, prof. dr. sc. Tomislav Bašić (mentor) i doc. dr. sc. Miran Kuhar s Fakultete za gradbeništvo in geodeziju Univerze v Ljubljani.

Danko Markovinović rodio se u Vinkovcima, 27. srpnja 1967. U Vinkovcima je nakon osnovne škole pohađao Centar usmjerenog obrazovanja "Matija Antun Reljković". Diplomirao je 1994. na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, gdje je i magistrirao 2001. obranom magistarskog rada *Gravimetrijska mreža I. reda i gravimetrijska kalibracijska baza Republike Hrvatske*. Godine 2006. položio je državni stručni ispit za pristava I. vrste. Od 1995. zaposlen je na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

U izvještaju Povjerenstva za ocjenu disertacije možemo pročitati sljedeće.

Rukopis doktorske disertacije *Gravimetrijski referentni sustav Republike Hrvatske* sadrži 210 stranica A4 formata, popis literature sa 111 naslova, 27 URL stranica, sažetak na hrvatskom i engleskom jeziku, popis tablica, popis slika te kratki životopis pristupnika. Rad je podijeljen u deset osnovnih poglavlja:

1. Uvod
2. Teorija Zemljina polja sile teže
3. Metode gravimetrijske izmjere
4. Apsolutni gravimetri
5. Relativni gravimetri
6. Gravimetrijske mreže
7. Apsolutna gravimetrijska mreža Republike Hrvatske
8. Osnovna gravimetrijska mreža Republike Hrvatske
9. Gravimetrijska mreža Grada Zagreba
10. Zaključak

Nakon što su u prvom poglavlju kratko opisani cilj i sadržaj doktorata, daju se u drugom poglavlju osnove teorije Zemljina polja ubrzanja sile teže. Objasneni su glavni pojmovi vezani uz područje poduzetih istraživanja – gravimetriju, odnosno

teoriju Zemljina polja ubrzanja sile teže te vremenske promjene ubrzanja sile teže i to od vremenski promjenljive gravitacijske konstante do utjecaja Zemljinih plimnih valova i vodenih masa.

Treće poglavlje bavi se metodama gravimetrijske izmjere. Objasnjene su metode apsolutne i relativne gravimetrijske izmjere, od metoda na kojima se zasniva konstrukcija relativnih i apsolutnih gravimetara do mjerenih fizikalnih veličina te utjecaja i izvora pogrešaka. Ovdje se objašnjavaju i vrste, odnosno razlozi za uspostavu kalibracijskih baza radi nužnog baždarenja mjerne opreme. Poseban dio obuhvaća objašnjenje vertikalnoga gradijenta, u okviru kojeg su prikazane metode redukcije ubrzanja sile teže s referentne visine gravimetra na samu točku.

U četvrtom poglavlju detaljno se objašnjava princip rada danas najmodernijeg i najpouzdanijeg apsolutnoga gravimetra FG-5, a dodatno se pregledno uspoređuju i FG5-L te prvi doista prenosivi apsolutni gravimetar A-10, i to u smislu točnosti i ponovljivosti mjerenja. Poseban se osvrt daje na obradu apsolutnih gravimetrijskih mjerenja i korekcije koje je pritom neophodno uzeti u obzir.

Za potrebe realizacije regionalnih (gravimetrijske mreže na razini jedne ili više država), lokalnih (na području grada) ili mikrogravimetrijskih mreža najviše se rabe relativni gravimetri. Stoga se u petom poglavlju nalazi detaljan pregled mjernog sustava danas najmodernijega relativnoga gravimetra Scintrex AutoGrav CG-5, koji je korišten za izmjeru novih gravimetrijskih mreža i vertikalnoga gradijenta u Hrvatskoj. Posebno detaljno obrađeni su princip rada i signal ubrzanja sile teže dobiven tim instrumentom. Analizirane su sve neophodne korekcije pri relativnim gravimetrijskim mjerenjima. Poseban osvrt dan je na korekciju ubrzanja sile teže zbog utjecaja Zemljinih plimnih valova i podzemnih voda radi boljeg razumijevanja vremenske promjenljivosti ubrzanja sile teže.

U šestom poglavlju analizira se problematika definiranja gravimetrijskih referentnih sustava i datuma. S tim u vezi objašnjane su vrste gravimetrijskih mreža te mogućnosti njihova izjednačenja.

Sedmo poglavlje bavi se stanjem apsolutne gravimetrijske mreže Republike Hrvatske. Napravljena je sveobuhvatna analiza dostupnoga službenog materijala vezanog uz apsolutna mjerenja na teritoriju Hrvatske, i to za svaku postojeću apsolutnu gravimetrijsku točku. Posebna je pozornost dana međusobnoj usporedbi podataka na točkama gdje su bile opažane dvije

executed by different foreign expert groups. Problems were observed and solved concerning defining gravity acceleration values at the reference height of the instrument, and new calculations were done in order to reduce gravity acceleration from the reference height to the point height using measured vertical gradients. Due to observed shortcomings, guidelines are given for the necessary complete content of numerical data in future absolute gravimetric measurements with a special overview of their archiving. The guidelines should enable better protection, easier and more efficient analysis, and a simpler data exchange with all relevant global institutions. In order to better preserve original measurements in absolute gravimetric points, it is necessary to establish special microgravimetric networks formed by 3-4 special auxiliary points near them. Therefore, the thesis contains a relative gravimetric measurement and analysis in all such locations in Croatia.

The main scientific contribution of the research is described in the eighth chapter. It analyzes the relative gravimetric survey in the Basic Gravimetric Network of the Republic of Croatia which was planned in great detail. Such comprehensive relative gravimetric measurements have been executed independently for the first time in Croatia at the same time with three most modern relative gravimeters (two Scintrex CG-3M and a CG-5). Measurements connected 0 and 1st order gravimetric networks into the Basic Gravimetric Networks of the Republic of Croatia. In this way, an independent gravity acceleration measurement set was obtained which also enabled monitoring and controlling gravimeter behaviour and stability as gravimeter drift and instrumental noise. Therefore, linear and square gravimeter drift was calculated in each gravimeter day, as well as the complete drift through the entire measuring period as a single drift. In order to find the best method of adjustment and obtaining definite values of gravity acceleration in points of the Basic Gravimetric Network of the Republic of Croatia, numerous versions of adjustments were made and analyzed in detail. The input was gravimetric differences obtained with each gravimeter individually, as well as combinations of two gravimeters and finally, measurement data for all three gravimeters together. Each adjustment was modelled in such a way that measurement weights were standard deviations of gravimetric differences, as well as distance between points and the number of gravimetric sides, a comparison of them was given, and finally, the best solution was defined. It is a practical realization of the new gravimetric reference system of the Republic of Croatia.

A special scientific contribution of the research is such an analysis of the Basic Gravimetric Network in which the Earth's tidal waves model normally incorporated in the gravimeter is replaced in subsequent analysis with seven other Earth tidal wave models in the world. The research and result comparison resulted in a proposal that the Hartmann-Wenzel model be used for these purposes as the best available model.

The chapter also gives an overview of the possibility and negative effect of earthquakes during measuring gravimetric network. Fortunately, such cases were not observed in the case of the Croatian Basic Network.

Since a horizontal calibration base was indirectly established during the measurement of the Basic Gravimetric Network of the Republic of Croatia, it was represented from the aspect of taking into account changes of gravity due to changes of latitude, thus a proposal was additionally made to establish

the vertical calibration base of the Republic of Croatia. The thesis continues with transformation parameters calculation results between IGSN71 and the Potsdam gravity system which are based on 25 identical points in both systems. The final part of the chapter concerns planning the expansion of the Basic Gravimetric Network to larger Adriatic islands.

The ninth chapter contains a complete representation of research, calculation and analyzing the Gravimetric Network of the City of Zagreb, with the basic goal of additional research of the effect of change in level of subterranean waters on relative gravimetric measurements, since objectively they could not have been executed on the entire territory of the Republic of Croatia. The chapter also presents measurement and analysis of the city network, comparison between various adjustment versions, using the linear and square drift models, and the measured – real and normal vertical gradient, as well as various models of Earth's tidal waves for temporal correction of the gravity acceleration.

Special scientific contribution was made by research the effect of subterranean water level on gravimetric measurements, thus the successfully modelled connection in selected locations between daily and several day changes of subterranean water level with the gravity acceleration value changes which can be expected during measurements. Since the effect is larger than measurement noise, this is something to be kept in mind in future.

Gravimetric Reference System of the Republic of Croatia

The tenth chapter states most important results and most significant conclusions made on the basis of the several years of research.

On the basis of reviewing and evaluating the PhD thesis made by MSc Danko Markovinić, graduate engineer of geodesy, members of the committee concluded that several contributions were made in the thesis in the field of state survey and physical geodesy, especially gravimetry. This particularly refers to the author's scientific contribution in defining and establishing the new gravimetric reference system of the Republic of Croatia HGRS03. This of course includes planning, measuring and scientifically analyzing relative gravimetric measurements as realizations of the new gravimetric system of the country which were bases for definite values of gravity acceleration in points of the Basic Gravimetric Network, as well as official transformation parameters between IGSN71 and the Potsdam gravity system. In addition, an extraordinary contribution is defining gravity acceleration in all auxiliary points of absolute gravimetric points as a necessary insurance of expensive absolute gravimetric measurements. A special scientific contribution is the elaborated analysis of the effect of change in subterranean water level on the measured signal of gravity acceleration in the City of Zagreb network.

Prepared by M. Lapaine

serije mjerenja koje su izvele različite ekipe stranih stručnjaka. Pritom su uočeni i riješeni problemi definiranja vrijednosti ubrzanja sile teže na referentnoj visini instrumenta, te su izvedena nova računanja radi redukcija ubrzanja sile teže s referentne visine na visinu točke uz pomoć izmjerenih vertikalnih gradijenata. Radi uočenih nedostataka daju se smjernice za izgled potrebnog kompletnog sadržaja numeričkih podataka kod budućih apsolutnih gravimetrijskih mjerenja s posebnim osvrtom na njihovo arhiviranje. Te smjernice trebale bi omogućiti bolje čuvanje, lakšu i učinkovitiju obradu, te jednostavniju razmjenu podataka sa svim relevantnim svjetskim institucijama. Radi boljeg očuvanja izvornih mjerenja na apsolutnim gravimetrijskim točkama nužna je uspostava posebnih mikrogravimetrijskih mreža koje čini 3–4 posebna ekscentra u blizini svake od njih. Stoga je u radu prikazana provedena relativna gravimetrijska izmjera i obrada mjerenja na svim takvim lokacijama u Hrvatskoj.

Glavni znanstveni doprinos poduzetih istraživanju opisan je u osmom poglavlju. U njemu se razrađuju vrlo detaljno planirana i izvedena relativna gravimetrijska mjerenja u Osnovnoj gravimetrijskoj mreži Republike Hrvatske. Takva sveobuhvatna relativna gravimetrijska mjerenja po prvi su puta uopće samostalno poduzeta na teritoriju Hrvatske, i to istodobno s tri najmodernija relativna gravimetra (dva Scintrex CG-3M i jedan CG-5). Mjerenjima su povezane Gravimetrijske mreže 0. i I. reda u Osnovnu gravimetrijsku mrežu Republike Hrvatske. Na taj je način dobiven neovisni skup mjerenja ubrzanja sile teže, koji je pored ostaloga omogućio praćenje i kontrolu ponašanja i stabilnosti gravimetara u obliku hoda gravimetra i instrumentalnoga šuma. Zbog toga je računani linearni i kvadratni hod gravimetra u svakom gravimetrijskom danu, ali i kompletni hod tijekom cjelokupnog mjernog razdoblja u obliku jedinstvenoga hoda. U svrhu iznalaženja najbolje metode izjednačenja i dobivanja definitivnih vrijednosti ubrzanja sile teže na točkama Osnovne gravimetrijske mreže Republike Hrvatske obavljene su i detaljno analizirane brojne verzije poduzetih izjednačenja, pri čemu su se za ulazne vrijednosti koristile gravimetrijske razlike dobivene svakim gravimetrom zasebno, zatim kombinacije dobivene s dva gravimetra i u konačnici podaci mjerenja sa sva tri gravimetra zajedno. Svako je izjednačenje modelirano tako da su za težine mjerenja korištene standardne devijacije gravimetrijskih razlika, zatim međusobna udaljenost između točaka, kao i broj zaposjedanja gravimetrijskih strana, te je dana njihova međusobna usporedba i na koncu temeljem argumenata definirano najbolje rješenje. Ono je praktična realizacija novoga gravimetrijskog referentnog sustava Republike Hrvatske.

Poseban znanstveni doprinos provedenih istraživanja je takva obrada Osnovne gravimetrijske mreže pri kojoj je model Zemljinih plimnih valova koji se standardno nalazi ugrađen u gravimetru zamijenjen u naknadnoj obradi podataka sa sedam drugih modela Zemljinih plimnih valova koji trenutačno postoje u svijetu. To istraživanje i usporedba rezultirala je prijedlogom da se ubuduće za te potrebe koristi Hartmann-Wenzelov model kao najbolji.

U tom je poglavlju dan i osvrt na moguću pojavu i negativan utjecaj potresa prilikom izmjere gravimetrijske mreže. U slučaju hrvatske Osnovne mreže nisu, na svu sreću, uočeni takvi problemi.

Kako je prilikom izmjere Osnovne gravimetrijske mreže RH uspostavljena na indirektnan način i horizontalna kalibracijska baza, ona je prikazana s aspekta obuhvaćanja promjene

ubrzanja sile teže s promjenom geografske širine, pa je dodatno dan prijedlog za buduću uspostavu vertikalne kalibracijske baze RH. U nastavku su rezultati računanja transformacijskih parametara između IGSN71 i Potsdamskog sustava za silu težu koji se temelje na 25 identičnih točaka u oba sustava. Posljednji dio poglavlja bavi se planiranim proširenjem Osnovne gravimetrijske mreže na veće jadranske otoke.

Deveto poglavlje sadrži kompletni prikaz poduzetih mjerenja, računanja, obrade i analize Gravimetrijske mreže Grada Zagreba, s osnovnim ciljem dodatnog ispitivanja utjecaja promjene razine podzemnih voda na relativna gravimetrijska mjerenja budući da ona iz objektivnih razloga nisu mogla biti poduzeta za kompletni teritorij RH. I ovdje je prikazana izmjera i obrada gradske mreže, analizirana je usporedba različitih verzija izjednačenja, koristeći linearni i kvadratni model za hod, te mjereni – realni i normalni vertikalni gradijent, kao i različite modele Zemljinih plimnih valova za vremensku korekciju ubrzanja sile teže.

Poseban znanstveni doprinos predstavlja istraživanje utjecaja razine podzemnih voda pri gravimetrijskim mjerenjima, pa je u nastavku na odabranim lokacijama ove mreže uspješno modelirana veza između dnevne i višednevne promjene razine podzemnih voda s promjenama vrijednosti ubrzanja sile teže koje se mogu očekivati prilikom mjerenja. S obzirom na to da se radi o utjecaju koji je veći od šuma prilikom mjerenja, o tome će u budućnosti svakako trebati voditi računa.

U desetom poglavlju navode se najvažniji rezultati i najbitniji zaključci koji su proizašli iz obavljenih višegodišnjih istraživanja.

Gravimetrijski referentni sustav Republike Hrvatske

Na temelju pregleda i vrednovanja doktorske disertacije mr. sc. Danka Markovinića, dipl. ing. geod., članovi povjerenstva zaključili su da je pristupnik u svome radu dao više vrijednih doprinosa u području državne izmjere i fizikalne geodezije, posebno gravimetrije. To se naročito odnosi na njegov znanstveni doprinos pri definiranju i uspostavi novoga gravimetrijskog referentnog sustava Republike Hrvatske HGRS03. Tu svakako spada: planiranje, izmjera i znanstvena obrada relativnih gravimetrijskih mjerenja kao realizacije novoga gravimetrijskog sustava države, iz čega su proizašle definitivne vrijednosti ubrzanja sile teže na točkama Osnovne gravimetrijske mreže kao i službeni parametri transformacije između IGSN71 i Potsdamskog sustava za silu težu. Također izuzetan je doprinos kandidata u definiranju službenih vrijednosti ubrzanja sile teže na svim ekscentrima apsolutnih gravimetrijskih točaka, kao nužnom osiguranju skupih apsolutnih gravimetrijskih mjerenja. Poseban znanstveni doprinos predstavlja složena analiza utjecaja promjene razine podzemnih voda na mjereni signal ubrzanja sile teže u mreži Grada Zagreba.

Pripremio M. Lapaine