

Milan Rezo, PhD in Technical Sciences

On October, 7th 2010, Milan Rezo defended his dissertation *The Meaning and the Application of Physical Parameters in Modern Approach in State Survey* at the Faculty of Geodesy of the University of Zagreb, and in front of the Commission consisting of Assoc. Prof. Dr. Željko Bačić, Prof. Dr. Tomislav Bačić (mentor), both from the Faculty of Geodesy, University of Zagreb, and Assist. Prof. Božo Soldo from the Faculty of Geotechnical Engineering Varaždin of University of Zagreb.



and Geophysical Geodesy. In September 2002, he became a research assistant at the Faculty of Geodesy. Since the summer semester of the academic year 2005/06, he has carried out lectures and exercises in the course Geodesy at the Faculty of Geotechnical Engineering Varaždin.

As author or co-author, he published 35 papers and was mentor of 48 diploma theses. During his work at the Faculty of Geodesy, he also participated in realisation of several scientific-expert projects

for the Croatian State Geodetic Administration, among which we single out *Defining of New Position Datum of the Republic of Croatia, Basic Gravity Network of the Republic of Croatia, Croatian Geomagnetic Networks and New Geoid HRG2009*. He is currently an associate at the scientific project of the Ministry of Science, Education and Sports of the Republic of Croatia titled *Geopotential and Geodynamics of Adria (Geo+ Adria)*.

The dissertation includes 264 pages in A4 format, 210 references, 18 URL addresses, Croatian and English abstract, index of tables, pictures and acronyms and brief curriculum vitae of the author. The dissertation is divided into 10 chapters:

- Introduction
- Theoretical Basics of Sea and Ocean Motion
- Reference Height Frames and Height Systems
- Vertical Deflections and Trigonometric Levelling
- Croatian Positioning System – CROPOS
- Tide Gauge Data Processing
- High Accuracy Levelling Data Processing and Analyzing
- Vertical Deflection Calculation and Application
- GNSS Signal Analysis and Implementation of T7D Transformation Model Along With HRG2009 Geoid Model in CROPOS
- Conclusion

After the goal, motivation and contents of dissertation are described in *Chapter One*, *Chapter Two* provides international and domestic knowledge about sea and ocean water level measuring with detailed theoretical description

Milan Rezo was born on May 30, 1967 in Rakitno-Sutina, county Posušje, Bosnia and Herzegovina, where he went to elementary school. In 1982, he started to attend high school "Civil Engineering School Centre", geodetic course, and in 1986 finished it in Mostar.

In academic year 1987/88, he enrolled the Faculty of Geodesy of the University of Zagreb, where he graduated in 1994, mentored by Assist. Prof. Milivoj Junašević with a diploma thesis *The Analysis of Leica Na2000 Digital Level Accuracy in Dependency of Number of Measurements and Levelling Rod Distance*. During his studies, he was a Student Assistant for courses Higher Geodesy I and II and Photogrammetry I. He enrolled the postgraduate scientific study, direction Satellite and Physical Geodesy at Faculty of Geodesy, University of Zagreb in academic year 1997/98. His Master thesis *The Analysis of 2D Network State and Application of Transformed GPS Data for Geoinformation Systems in Republic of Croatia* was defended in 2002.

In May 1994, he began working for the private company Geoservis Ltd. from Pula in which he was the Technical Director from 1995 to the end of 1996. At the beginning of 1997, he moved to Varaždin, where was also employed in the private company Vektra Ltd. and worked there until the end of June 1998. On July 1, 1998 he became an employee of the Faculty of Geodesy of the University of Zagreb, where he became a Young Research Assistant at the Institute of Higher Geodesy (today's Institute of Geomatics – Chair of State Survey). As a Young Research Assistant, he performed auditory exercises from the course Higher Geodesy (today's State Survey) and was entrusted with exercises from courses Marine Geodesy II and Satellite Geodesy at study of high education. In the Bologna teaching process, he performs exercises from courses Geodetic Reference Frames, Satellite Positioning, State Survey, Physical Geodesy, Navigation

Milan Rezo, doktor tehničkih znanosti

Milan Rezo obranio je 7. listopada 2010. na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu doktorsku disertaciju *Značenje i primjena fizikalnih parametara u modernom pristupu geodetskim radovima državne izmjere*. Doktorska disertacija obranjena je pred povjerenstvom u sastavu prof. dr. sc. Željko Bačić, prof. dr. sc. Tomislav Bašić (mentor) oba s Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i doc. dr. sc. Božo Soldo s Geotehničkog fakulteta Varaždin Sveučilišta u Zagrebu. Povjerenstvo za ocjenu doktorske disertacije bilo je u istom sastavu.

Milan Rezo rođen je 30. svibnja 1967. u Rakitnu-Sutina općina Posušje (BiH), gdje završava osnovnu školu. Srednju školu "Građevinski školski centar – GŠC", geodetski smjer upisuje 1982, a završava 1986. godine u Mostaru.

Na Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu upisao se ak. god. 1987/88, gdje je diplomirao 1994. pod mentorstvom doc. dr. Milivoja Junaševića s radom *Ispitivanje točnosti digitalnog nivelira Leica Na2000 u zavisnosti o broju mjerenja i udaljenosti letve*. Tijekom studija bio je demonstrator iz predmeta Niža geodezija I i II, te Fotogrametrija I. Poslijediplomski znanstveni studij, smjer Satelitska i fizikalna geodezija na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu upisuje ak. god. 1997/98. Magistarski rad *Analiza stanja položajne mreže i primjena transformiranih GPS podataka za potrebe geo-informacijskih sustava u Republici Hrvatskoj* obranio je 2002. godine.

U svibnju 1994. zapošljava se u privatnoj geodetskoj tvrtki Geoservis d.o.o. iz Pule, u kojoj od sredine 1995. pa sve do kraja 1996. obavlja funkciju tehničkog direktora. Početkom 1997. seli se u Varaždin, gdje se zapošljava u privatnoj geodetskoj tvrtki Vektra d.o.o. u kojoj radi do kraja lipnja 1998., a od 1. srpnja iste godine zapošljava se na Geodetskom fakultetu u Zagrebu, gdje je izabran za mlađeg asistenta u Zavodu za višu geodeziju, današnjem Zavodu za geomatiku, u Katedri za državnu izmjeru. Kao mlađi asistent obavlja auditorne vježbe iz predmeta Viša geodezija, današnja Državna izmjera, a povjerene su mu vježbe iz predmeta Pomorska geodezija II i Satelitska geodezija na studiju visoke stručne naobrazbe. U bolonjskom procesu nastave sudjeluje i na vježbama iz sljedećih predmeta: Geodetski referentni okviri, Satelitsko pozicioniranje, Državna izmjera, Fizikalna geodezija, Navigacija i Geofizička geodezija.

Od rujna 2002. izabran je u zvanje asistenta na Geodetskom fakultetu. Od ljetnog semestra 2005/06. pa sve do danas povjerena su mu predavanja i vježbe iz

predmeta Geodezija na Geotehničkom fakultetu Varaždin u Varaždinu.

Pristupnik je kao autor ili koautor do sada objavio 35 radova i bio je voditelj 48 diplomskih radova. Treba naglasiti da je u okviru svojega rada na Geodetskom fakultetu pristupnik sudjelovao u realizaciji nekoliko znanstveno-stručnih projekata za potrebe Državne geodetske uprave RH, među kojima izdvajamo *Definiranje novog položajnog datuma Republike Hrvatske, Osnovna gravimetrijska mreža Republike Hrvatske, Hrvatske geomagnetske mreže i Novi geoid HRG2009*, a trenutačno je suradnik na znanstvenom projektu *Geopotencijal i geodinamika Jadrana (Geo++Adria)*, koji se izvodi za Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske.

Rukopis doktorske disertacije sadrži 264 stranica formata A4, popis literature s 210 naslova, 18 URL stranica, sažetak na hrvatskom i engleskom jeziku, popis tablica, popis slika, popis kratica te kratki životopis pristupnika. Rad je podijeljen u deset poglavlja:

- Uvod
- Teorijske osnove gibanja mora i oceana
- Referentni visinski okviri i sustavi visina
- Otkloni vertikalne i trigonometrijski nivelman
- Hrvatski pozicijski sustav – CROPOS
- Obrada podataka mareografskih mjerenja
- Analiza i obrada podataka nivelmana visoke točnosti
- Računanje i primjena otklona vertikalne
- Analiza GNSS signala i implementacija transformacijskog T7D modela s geoidom HRG2009 u CROPOS
- Zaključak

Nakon što su u *prvom poglavlju* ukratko opisani cilj, motivacija i sadržaj doktorata, u *drugom poglavlju* se daju međunarodna i domaća saznanja o mjerenjima razine mora i ocena, te se detaljno opisuju teorijske osnove gibanja Zemljinih vodenih masa na čiju razinu djeluje niz fizikalnih sila i procesa koji su vidljivi u poludnevnom, dnevnom, polumjesečnim, mjesečnim i višegodišnjim promjenama izazvanima silom privlačenja Sunca i Mjeseca s jedne te Zemlje s druge strane. Zatim su pobrojane metode mjerenja srednje razine mora s detaljnim opisom principa rada mjernih instrumenata s posebnim naglaskom na satelitsku metodu određivanja srednje razine mora iz altimetrijskih mjerenja. Analizira se gravitacijsko

of Earth water mass motions, the level of which is influenced by physical forces and processes have influence on. Mentioned influences are seen in semi-diurnal, diurnal, half monthly, monthly and multiyear changes in water level caused by attracting force of Sun and Moon on one side, and Earth on the other. Methods of mean sea-level measuring along with detailed description of measuring systems are given with special attention to principle of satellite altimetry. Gravity attraction of Sun and Moon as the main cause of tide force, which is seen through two low and high diurnal tides is analysed. Due to need for sea zero-surface definition for measurements, calculations and interpretation of results through periodical motion of the pole, connection between precession and nutation with sea-level through period of 18.61 years is explained in theory. Furthermore, Chapter Two provides theoretical basics of tide waves and harmonic analysis terminology and explanation of main partial tides, tide wave amplitudes with used tide wave model by the development of spherical harmonic functions. The chapter ends with analysis and statistical test of measured tide gauge data.

Chapter Three describes inherited and new reference height systems and their differences when speaking of their definition and realisation approach and height transfer due to mean sea-level. A definition of the height system

on measured height differences, such as instrumental errors, levelling rod corrections, refraction, geomagnetic influence and Earth's curvature. In the final part of Chapter Three, the way of least square adjustment unknowns' indirect determination, based on directly measured height differences, which are functionally related with unknowns is explained. Processing and analysis of 2nd levelling of high accuracy measured data is done by using the *Columbus* software by the Best-Fit Computing Company. Columbus uses three statistical tests: the test of standard residuals, the test of standard residuals and *a priori* standard deviations and the test of observed residuals. Methods of rough errors determinations are explained as well. Chapter Three ends with the theory of tectonic plate motion and kinematic height model.

Chapter Four begins with absolute and relative vertical deflections and types of vertical deflections according to way of defining. Thus, three types are distinguished: by Molodensky, Helmert and Pizzeti. After types of vertical deflections, different methods of their determination are explained: astro-geodetic, topo-isostatic, astro-geodetic-gravimetric, gravimetric and combined satellite-terrestrial. The author points out the meaning of vertical deflections, through their application in: zenith distance reduction, horizontal and vertical angle reduction and reduction of measured distances.

In *Chapter Five*, the author describes GPS and GLONASS signal structure as two implemented positioning systems in the Croatian Positioning System (CROPOS). In addition, author analyses Galileo physical signal properties. Positioning error sources, which have an influence on signal propagation from satellite to receiver, such as troposphere, ionosphere, multipath, cycle slips and signal to noise ratio (SNR) are also described. Further in Chapter Five, the author speaks about the virtual reference station (VRS) working principle with a detailed description of NMEA and RTCM messages which allow differential corrections of position to be sent to a moving receiver in CROPOS. As RTCM message allows users to receive geoid undulation and position residuals of distortion model in the CROPOS, at the end of chapter, the author describes how the new geoid model for Republic of Croatia HRG2009 is calculated and how grid transformation is performed.

In *Chapter Six*, the author is focused on tide gauge data processing and describes ways of sea-level measuring during defining the Austrian vertical datum from 1875 (AVD1875) and Croatian new height (vertical) datum from epoch 1971 (HVD1971). The term *tide gauge datum* is explained in detail along with equations for Julian and Civil datum connection. Further, Chapter Six provides direct adjustment of measured values (mean value of daily registration of sea-level) with detailed description of results for tide gauges Dubrovnik, Bakar, Split and Rovinj. Using his own FORTRAN programs "unos" and "mareograf", the author calculated mean sea-levels of the

The Meaning and the Application of Physical Parameters in Modern Approach in State Survey

of the Republic of Croatia is pointed out, along with review of 2nd levelling of high accuracy network adjustment using regular adjustment of indirect measurements (uncorrelated) by least squares. Geometrical levelling independent of levelling path is described with special accent on acceleration of gravity which represents fundamental parameters for solving geodetic tasks when speaking of geometrical levelling. Also, by definition and realisation of the height (vertical) datum, height systems are described in detail: geopotential heights, dynamic, true orthometric, normal, ellipsoidal and normal orthometric heights. Procedure of normal orthometric correction (NOC) calculation due to GRS80 ellipsoid and height transformation between different height systems is shown. Furthermore, Chapter Three describes the reduction of acceleration of gravity by the Prey method and mean value of acceleration of gravity calculation methods by Helmert, Niethamer and Mader. Since 2nd levelling of high accuracy data are analyzed in the dissertation, possible error sources are also described which have an influence

djelovanje, tj. privlačna sila Mjeseca i Sunca kao glavnog uzroka nastanka sile plimnih valova vidljivih u dvije visoke i dvije niske vode u jednom danu. Zbog potrebe za definiranjem nulte plohe mora, mjerenja, računanja i interpretacija rezultata mjerenja kroz periodično gibanje pola, teorijski se objašnjava povezanost precesije i nutacije sa srednjim vrijednostima razine mora u period od 18,61 godine. U nastavku su dane teorijske osnove plimnih valova s osnovnim pojmovima harmonijske analize uz prikaz i objašnjenje glavnih parcijalnih tida, odgovarajućih perioda i amplitude plimnog vala s korištenim modelom plimnih valova dobivenih razvojem u red po sfernim funkcijama. Poglavlje završava statističkom analizom i statističkim testom mjerenih mareografskih podataka.

U *trećem poglavlju* opisuju se naslijeđeni i novi referentni visinski okvir s obzirom na njihovu različitost u pristupu definiranja i realizacije te prijenosu visina u odnosu na srednju razinu mora. Istaknuta je definicija visinskog sustava Republike Hrvatske s pregledom tijekom izjednačenja mreže II. NVT-a koje je obavljeno primjenom funkcijskog modela regularnih posrednih mjerenja (nekoreliranih) i metode najmanjih kvadrata. Opisuje se geometrijski nivelman neovisan o putu niveliranja s posebnim naglaskom na ubrzanje sile teže, koje je temeljni parametar za određivanje geodetskih zadaća kod geometrijskog nivelmana. Uz definiciju i realizaciju visinskog (vertikalnog) datuma objašnjene su vrste visinskih sustava u kojima će se određivati visine točaka: geopotencijalne kote, dinamičke, prave ortometrijske, normalne, elipsoidne i normalne ortometrijske visine s prikazom računanja normalne ortometrijske popravke (NOP) za referentni elipsoid GRS80. Zatim slijedi detaljan opis s prikazom mogućih transformacija između sustava visina. U nastavku poglavlja opisuje se redukcija ubrzanja sile teže po metodi Preya, te Helmertova, Niethamerova i Maderova metoda za računanje srednje vrijednosti ubrzanja sile teže uzduž težišnice. S obzirom na to da se u radu obrađuju podaci II. NVT-a opisani su izvori mogućih pogrešaka: instrumentalne pogreške, korekcije letve, te utjecaji refrakcije, geomagnetizma i zakrivljenosti Zemlje na mjerene visinske razlike. U završnom dijelu poglavlja objašnjava se posredan način određivanja nepoznanica na temelju direktno mjerenih visinskih razlika koje su funkcijski povezane s nepoznanicama. Analiza, obrada i izjednačenje nivelmanskih mjerenja obavljena je uporabom programskog paketa *Columbus* (Best Fit-Computing, 2009) koji u analizi obrade koristi tri testa: test standardnih odstupanja, test standardnih odstupanja i *a priori* standardnih devijacija, te test opažanih odstupanja. Prikaz tih testova s metodama otkrivanja grubih pogrešaka također je objašnjen u radu. Na kraju poglavlja objašnjeni su teorija i gibanje litosfernih ploča i kinematički model za visine.

U *četvrtom poglavlju* detaljno se objašnjavaju relativni i apsolutni otkloni vertikala, te vrste otklona prema načinu definiranja po: Molodenskom, Helmertu i Pizzetiju. Uz vrste, objašnjene su i metode određivanja otklona

vertikale: astronomsko-geodetske, topografske, topozostatske, astrogeodetsko-gravimetrijske i gravimetrijske, kao i metoda određivanja otklona vertikale iz kombiniranih satelitsko terestičkih podataka. Značenje otklona vertikale autor ističe kroz njihovu primjenu u trigonometrijskom nivelmanu, točnije redukcijama zenitnih duljina, veretikalnih i horizontalnih kutova i mjerenih dužina.

U *petom poglavlju* opisuje se struktura signala kod GPS-a i GLONASS-a kao dvaju integriranih i implementiranih sustava u hrvatski pozicijski sustav CROPOS. Također autor ne zaobilazi opisati fizikalna svojstva signala nadolazećega sustava Galileo. Opisani su izvori pogrešaka koji djeluju na rasprostiranje signala od satelita do prijavnika kao što su troposfera, ionosfera, multipath, cycle slip i odnos signala i šuma. Objašnjen je princip i procedura rada virtualnih stanica s detaljnim popisom i formatom NMEA i RTCM poruka koje omogućuju slanje diferencijalnih korekcija prema pokretnim uređajima u CROPOS-u. Zbog nastojanja da se kroz odaslane poruke prema korisnicima nalaze i podaci vezani uz geoidnu undulaciju i odstupanja distorzijanskog modela, opisan je način računanja novoga geoida HRG2009 i grid transformacija.

U *šestom poglavlju* autor se fokusira na obradu podataka mareografskih mjerenja gdje objašnjava vrijeme

Značenje i primjena fizikalnih parametara u modernom pristupu geodetskim radovima državne izmjere

trajanja i načine mjerenja razine mora prilikom definiranja austrijskog visinskog datuma iz 1875 (AVD1875) i novoga hrvatskog visinskog datuma za epohu 1971 (HVD1971). Objašnjeni su osnovni pojmovi i mareografska konstanta te se detaljno iznose jednadžbe koje povezuju Julijanski i civilni datum. Nadalje u radu se opisuje izjednačenje direktno mjerenih veličina (srednja razina dnevnih registracija) s detaljnim opisom rezultata za mareografe Dubrovnik, Split, Bakar i Rovinj. Autor uz pomoć vlastito izrađenih programa "unos" i "mareograf" računa srednje razine Jadranskog mora za epohe od 1963,5 do 1996,5, što znači da je u analizu uključeno 230 996 podataka (6794 podataka × 34 godine) po svakome mareografu. Značajniji dio toga poglavlja otpada na računanje utjecaja plimnih valova na definiranu srednju razinu dobivenu izjednačenjem direktnih mjerenja za epohu 1971,5 i 1996,5, gdje je korišten Hartman-Wenzelov model iz 1995. godine, kao najpouzdaniji model s obzirom na broj od 12 935 parcijalnih tida.

Adriatic Sea from epoch 1963.5 to 1996.5. This means that the analysis included 230 996 data (6794 data × 34 years) by each tide gauge. A large part of this chapter is calculation of tide wave's influence on defined mean sea-level for epoch 1971.5 and 1996.5 (defined by adjustment of direct measurements), using the Hartman-Wenzel tide wave model from 1995 with 12 935 partial tides, which is the most accurate model.

An exceptionally significant part of this dissertation is devoted to 2nd levelling of high accuracy data analysis in *Chapter Seven*. In pre-processing of levelling data, several rating accuracies are given: disagreement of levelling polygons closure, reference square error and reference probability error for all levelling polygons in the Republic of Croatia, Slovenia and Bosnia and Herzegovina and partially for levelling figures in Serbia and Montenegro. Further, the author brings results of analysing dependency of reference probability error on the number of levelling figures and levelling polygons of different length. A unique adjustment of 2nd levelling of high accuracy network due to fixed heights of five tide gauge stations in epoch 1971.5 is implemented. 6720 measured height differences, corrected for normal orthometric correction and 6705 unknowns were included in the so-called *a priori* adjustment. The analysis of adjusted and official normal orthometric heights of benchmarks in 2nd levelling of high accuracy is given. The analysis confirmed the quality of earlier adjustments and the author correctly defined data for further analyses and calculation in dissertation. Further, a calculation is given of most probable values of unknowns, by introducing length, number of stations and standard deviations used for weight definition. Also, an analysis of influence of error in geodetic latitude on definitive values of normal orthometric corrections at middle heights of: 100, 200, 500, 750 and 1000 m is given as well. It is extremely important to point out the calculation of geopotential heights for all benchmarks of 2nd levelling of high accuracy where used acceleration of gravity is predicted by the least square collocation (LSC). For this calculation, approximately 3000 new values of acceleration of gravity were used along with the digital terrain model. Also, in this part of the dissertation, the author performs an analysis of influence of acceleration of gravity on geopotential heights and geopotential height differences. After adjusting network in normal height system, the influence of acceleration of gravity on normal heights is analysed, as well as the need for acceleration of gravity reduction to 1.65 m horizontal built-in benchmarks. Calculation of true orthometric heights along with mean value of acceleration of gravity, calculated by Helmert's method, was implemented. The final analysis in this chapter includes the comparison of orthometric correction calculation when using measured and interpolated values of acceleration of gravity at 25 levelling figures with the length of 2175.2 km. Also, the influence of density change in Earth's crust on mean value of acceleration

of gravity was tested. The chapter ends with calculation of kinematic height model of benchmark motions (214) from two epochs of measurement.

Vertical deflection calculation is implemented and its application to trigonometric height determination is introduced in *Chapter Eight*. The author methodically correctly showed the possibility of vertical deflection calculation by using recent global geopotential model, digital terrain model and by calculating the topographic reduction and terrain correction, isostatic reduction and finally residual terrain model. Calculations were made by using the newest results of researches in recent years in that field in the Republic of Croatia. By using a sample of 123 points with astronomical and geodetic measurements of position which represent the field of geoid points in the Republic of Croatia, the comparison of calculated and measured vertical deflection was made. For the first time, the author calculates vertical deflection in 30"×45" grid with application of modern strategy for gravity field determination at local level. Along with Croatian geopotential model HRGM2010, Croatian vertical deflection model HROV2010 is also defined.

In *Chapter Nine* of this dissertation, GNSS signals registered at CROPOS stations along with influence of different disturbances on quality of exported user data are analysed. This is a comprehensive research done on 30 permanent stations, done for the first time and which provided valuable information about the quality of selected locations and problems in GNSS signal registration. Also, in this chapter, the implementation of T7D transformation model along with the new HRG2009 geoid in CROPOS was performed. Testing of CROPOS with implemented T7D transformation model was made.

The conclusion, i.e. final review of achieved results is given in *Chapter Ten*. It is important to say that this chapter provides answers to questions mentioned in introduction of dissertation and that the author did extensive research and analyses made in the Republic of Croatia for the first time. It is extremely important to point out the definition of the new vertical deflection model in 30"×45" grid and the analysis of GNSS signal at CROPOS stations along with the implementation of T7D transformation model in CROPOS. A special contribution of this work is scientific knowledge for CROPOS upgrade, which will create prerequisites for practical usage of Croatian reference frame for all types of geodetic measurements.

The dissertation ends with a table of references and figures, a list of acronyms, appendix and brief curriculum vitae of the author. Based on examination and valuation of the dissertation by MSc Milan Rezo, members of the Commission for Dissertation Review concluded that the author provided valuable contributions to the field of state survey, satellite and physical geodesy.

Iznimno značajan dio disertacije autor posvećuje analizi podataka II. NVT-a danju u sedmom poglavlju. U predbradi nivelmanskih mjerenja dana je ocjena točnosti i to: nesuglasica zatvaranja nivelmanskih poligona, referentnom srednjom kvadratnom pogreškom, odnosno referentnom vjerojatnom pogreškom za sve nivelmanske poligone na prostoru Republike Hrvatske, Slovenije, Bosne i Hercegovine, te dijelom za nivelmanske figure u Srbiji i Crnoj Gori. Nadalje, navode se rezultati ispitivanja ovisnosti referentne vjerojatne pogreške o broju nivelmanskih vlakova i nivelmanskih poligona različite duljine. Provedeno je jedinstveno zajedničko izjednačenje cijele nivelmanske mreže II. NVT-a u odnosu na fiksne visine pet mareografskih repera definiranih u epohi 1971,5. U tzv. *a priori* izjednačenje uključeno je 6720 mjerenih visinskih razlika prethodno korigiranih za normalnu ortometrijsku popravku i 6705 nepoznanica. Provedena je analiza izjednačenja u odnosu na službene normalne ortometrijske visine repera iz II. NVT-a, i potvrđena kvaliteta prethodnih izjednačenja, a autor je ispravnim pristupom definirao podatke za daljnju analizu i računanja koje provodi u radu. Nadalje, u radu je provedeno računanje najvjerojatnije vrijednosti nepoznanica, uvođenjem dužine, broja stajališta i standardnih devijacija za težinu. Također je u radu provedena analiza utjecaja pogreške u geodetskoj širini na definitivne vrijednosti normalnih ortometrijskih popravki i to na srednjim visinama od 100, 200, 500, 750 i 1000 metara. Iznimno je bitno istaknuti novo računanje geopotencijalnih kota svih repera II. NVT-a gdje je korišteno ubrzanje sile teže izračunano predikcijom/kolokacijom po najmanjim kvadratima. Za to računanje korišteni su najnoviji podaci o mjerenim vrijednostima ubrzanja sile teže (približno 30 000), te detaljni digitalni model reljefa. Autor i u tom dijelu analizira utjecaj ubrzanja sile teže na geopotencijalne kote i geopotencijalne visinske razlike. Nakon izjednačenja mreže u sustavu normalnih visina analizira se utjecaj ubrzanja sile teže na normalne visine, te potreba redukcije ubrzanja sile teže na visinu horizontalno ugrađenih repera do 1,65 metara. U nastavku je provedeno računanje pravih ortometrijskih visina s izračunanim srednjim vrijednostima ubrzanja sile teže po Helmertovoj metodi i provedena analiza ortometrijskih korekcija izračunanih s mjernim i interpoliranim vrijednostima ubrzanja sile teže na 25 nivelmanskih vlakova ukupne duljine 2175,2 km, kao i utjecaj promjene gustoće na srednju vrijednost ubrzanja sile teže. Poglavlje završava računanjem kinematičkog modela vertikalnog gibanja repera (214) iz dviju epoha mjerenja.

U *osmom poglavlju* provedeno je računanje otklona vertikalne i analizirana njegova primjena na određivanje visina metodom trigonometrijskog nivelmana. Pristupnik je metodički ispravno prikazao mogućnost računanja otklona vertikalne, od uporabe globalnog geopotencijalnog modela, preko primjene digitalnog modela reljefa, odnosno računanja topografske redukcije i korekcije

reljefa te izostatske redukcije i konačno utjecaja rezidualnog modela reljefa primjenjujući najnovija saznanja i istraživanja koja su provedena u proteklom godinama na tom području za teritorij Republike Hrvatske. Koristeći uzorak od 123 točke na kojima su provedena geodetska i astronomska mjerenja otklona vertikalne i koje predstavljaju polje geoidnih točaka Hrvatske provedena je usporedba mjerenih i računanih otklona vertikalne. Nadalje, autor po prvi puta računa otklone vertikalne u gridu 30"×45" uz primjenu moderne strategije određivanja Zemljinog polja ubrzanja sile teže u lokalnom području, te je uz hrvatski geopotencijalni model HRG2010 definiran i model otklona vertikalne HROV2010.

U *devetom poglavlju* analizirani su GNSS signali registrirani na permanentnim stanicama CROPOS-a i utjecaj različitih smetnji na kvalitetu izlaznog podatka koji je na raspolaganju korisnicima CROPOS-a. Riječ je o sveobuhvatnom istraživanju na 30 permanentnih stanica, koje je po prvi puta provedeno i daje vrijedne podatke o kvaliteti odabranih lokacija i detektira prisutne smetnje. Iako prikazano s nekoliko slika i tablica, riječ je o opsežnoj analizi koja je dala vrijedne rezultate i spoznaje o problemima u registraciji prisutnim na stanicama CROPOS mreže. Nadalje, u istom su poglavlju povezana sva prethodna istraživanja u cjelinu, te je provedena implementacija geoida HRG2009 i transformacijskog modela T7D u CROPOS. Provedeno je testiranje CROPOS-a s implementiranim modelom T7D.

Zaključak, odnosno završni osvrt u svezi rada, postignutih rezultata, primjene istraživanja fizikalnih parametara u radovima državne izmjere i praktična primjena spoznaja u uporabi hrvatskoga pozicijskog sustava CROPOS, dani su u desetom poglavlju. Treba istaknuti da su u zaključku dani odgovori na sva postavljena pitanja i ciljeve rada navedene u Uvodu disertacije, kao i da je pristupnik za potrebe rada obavio opsežna istraživanja i analize, dio kojih do ove radnje uopće nisu bili realizirani u Hrvatskoj. Posebno je bitno istaknuti definiciju novoga modela otklona vertikalne u rasteru 30"×45" te analizu ulaznih signala GNSS stanica mreže CROPOS-a i integraciju modela T7D u CROPOS. To je poseban doprinos ovoga rada jer daje znanstvene spoznaje potrebne za nadogradnju CROPOS-a, koji će stvoriti pretpostavke za efikasno uvođenje novoga hrvatskog referentnog okvira u praktičnu uporabu za sve vrste geodetskih mjerenja.

Na kraju se nalazi popis literature, popis tablica, popis slika, rječnik kratica, dodatak s priložima i kratki životopis pristupnika. Na osnovi pregleda i vrednovanja doktorske disertacije mr. sc. Milana Reze, članovi Povjerenstva za ocjenu zaključili su da je pristupnik u svom radu dao više vrijednih doprinosa u području državne izmjere, satelitske i fizikalne geodezije

Tomislav Bašić