

## Mladen Zrinjski, PhD in Technical Sciences

Mladen Zrinjski defended his PhD thesis *Defining the Calibration Baseline Scale of the Faculty of Geodesy by Applying Precise Electro-Optical Distance Meter and GPS* at the Faculty of Geodesy of the University of Zagreb on April 8, 2010. The Defence Committee included Prof. Dr. Vedran Mudronja from the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture of the University of Zagreb, Prof. Dr. Tomislav Bašić (mentor 1) and Prof. Emeritus Nikola Solarić (mentor 2).

Mladen Zrinjski was born in Varaždin on June 7, 1972. He finished elementary school in Novi Marof. He attended the Civil Engineering Education Centre "Zvonko Brkić", Department of Geodetic Technicians, in Čakovec and graduated in 1991 with the grade point average A (he did not need to take the final examination due to his excellent achievement during the study). He participated in the state competition in mathematics in the fourth class of secondary school.

He enrolled the Faculty of Geodesy, University of Zagreb, studies of higher education, in 1991. During the studies, he was an active as student tutor in the courses

### *Defining the Calibration Baseline Scale of the Faculty of Geodesy by Applying Precise Electro-Optical Distance Meter and GPS*

of Surveying I and Surveying II at the Faculty of Geodesy and in the course of Geodesy at the Faculty of Civil Engineering, University of Zagreb. As a senior student, he worked in geodetic companies MG-geodetic branch office in Zagreb and Livel-Horvat in Makarska. He graduated on September 26, 1996 with the grade point average A after completing the diploma thesis *Establishment of GIS – Usage of Thematic Map as Database*, mentored by Prof. Dr. Teodor Fiedler.

He enrolled the university studies of the Faculty of Geodesy, University of Zagreb in October, 1996. During

the studies, he worked as a student tutor in the courses of Physical Geodesy I and Satellite Geodesy II. From the academic year 1996/1997 until the end of his studies, he received state scholarship of the Ministry of Science and Technology of the Republic of Croatia intended for exceptionally talented students. He completed his studies in the field of Satellite and Physical Geodesy and graduated on January 19, 2001 with the grade point average A after completing the diploma thesis *Processing and Adjustment of GPS Network of Našice*, mentored by Prof. Dr. Tomislav Bašić.

After graduating from the Faculty of Geodesy, he was employed in the geodetic company GIM Ltd. in Varaždin. Since 2001, he has been employed at the Faculty of Geodesy, University of Zagreb as a junior researcher – assistant. In 2002, he enrolled the postgraduate scientific studies to acquire his Master degree, majoring in Satellite and Physical Geodesy. After meeting all prescribed conditions, he enrolled the postgraduate scientific studies to acquire his PhD, majoring in Satellite and Physical Geodesy. He passed the state professional exam in January 2006.

His teaching activity includes the following subjects: Practical Geodesy I, Practical Geodesy II, Practical Geodesy III, Geodetic Instruments, Land Surveying and Field Measurements at the Faculty of Geodesy and Geodesy at the Faculty of Civil Engineering, University of Zagreb. He participated actively, as one of the heads in students practical training at studies of Satellite and Physical Geodesy in 2001 on the island Rab, and at the studies of Engineering Geodesy and Spatial Information Management in 2005 in Milna on the island Brač. He has mentored 16 diploma theses so far.

He was the best evaluated teacher according to the students' poll at the Faculty of Geodesy in the summer semester of the academic year 2005/06. He was also the best evaluated teacher according to the students' poll at the Faculty of Geodesy in the summer semester of the academic year 2006/07 (within 5% of the best evaluated teachers at the University of Zagreb).

He participated as a collaborator on scientific projects *Geodetic Measurement Methods and their Automation and Automated Geodetic Measurement Methods* by the Ministry of Science, Education and Sport of the

## Mladen Zrinjski, doktor tehničkih znanosti

Mladen Zrinjski obranio je 8. travnja 2010. na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu doktorsku disertaciju *Definiranje mjerila kalibracijske baze Geodetskog fakulteta primjenom preciznog elektrooptičkog daljinomjera i GPS-a*. Doktorska disertacija obranjena je pred Povjerenstvom u sastavu prof. dr. sc. Vedran Mudronja s Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, prof. dr. sc. Tomislav Bašić (1. mentor) i prof. emer. dr. sc. Nikola Solarić (2. mentor). Povjerenstvo za ocjenu doktorske disertacije bilo je u istom sastavu.



Po završetku studija zaposlio se u geodetskoj tvrtki GIM d. o. o. u Varaždinu. Od 2001. godine zaposlen je na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu u zvanju znanstvenog novaka – asistenta. U siječnju 2002. upisao se na poslijediplomski znanstveni studij za stjecanje magisterija znanosti, usmjerenje Satelitska i fizikalna geodezija. Ispunivši propisane uvjete, u lipnju 2003. upisao se na poslijediplomski znanstveni studij za stjecanje doktorata znanosti, usmjerenje Satelitska i fizikalna geodezija. Državni stručni ispit položio je u siječnju 2006.

Mladen Zrinjski rođen je 7. lipnja 1972. u Varaždinu. Osnovnu školu završio je u Novome Marofu. Građevinski obrazovni centar "Zvonko Brkić", smjer geodetski tehničar, pohađao je u Čakovcu i maturirao 1991. s izvrsnim uspjehom (bio je oslobođen polaganja mature zbog uspjeha tijekom školovanja). U četvrtom razredu srednje škole ostvario je plasman na državno natjecanje iz matematike.

Na Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, studij više stručne spreme, upisao se 1991. godine. Tijekom studija bio je demonstrator iz kolegija Niža geodezija I i Niža geodezija II na Geodetskom fakultetu te Geodezija na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Kao apsolvent radio je u geodetskim tvrtkama MG-geodetska poslovnica u Zagrebu te Livel-Horvat u Makarskoj. Diplomirao je 1996. s izvrsnim uspjehom na temu *Izradba GIS-a – uporaba tematskog zemljovida kao baze podataka*, pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Teodora Fiedlera.

Na sveučilišni dodiplomski studij Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu upisao se u listopadu 1996. Tijekom studija bio je demonstrator iz kolegija Fizikalna geodezija I i Satelitska geodezija II. Od ak. god. 1996/97. pa do kraja studija primao je državnu stipendiju Ministarstva znanosti i tehnologije Republike Hrvatske za iznimno nadarene studente. Studij je završio na usmjerenju Satelitska i fizikalna geodezija. Diplomirao je 2001. s izvrsnim uspjehom na temu *Obrada i izjednačenje GPS mreže Našica*, pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Tomislava Bašića.

U nastavi obavlja vježbe iz kolegija: Praktična geodezija I, Praktična geodezija II, Praktična geodezija III, Geodetski instrumenti, Izmjera zemljišta i Terenska mjerenja na Geodetskom fakultetu te Geodezija na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Aktivno je sudjelovao, kao jedan od voditelja, na studentskim praksama usmjerenja Satelitska i fizikalna geodezija 2001. godine u Rabu, te usmjerenja Inženjerska geodezija i upravlja-

***Definiranje mjerila kalibracijske baze Geodetskog fakulteta primjenom preciznog elektrooptičkog daljinomjera i GPS-a***

nje prostornim informacijama 2005. godine u Milni na otoku Braču. Do sada je bio voditelj 16 diplomskih radova.

Najbolje je ocijenjeni nastavnik u studentskoj anketi na Geodetskom fakultetu u ljetnom semestru ak. god. 2005/06. Najbolje je ocijenjeni nastavnik u studentskoj anketi na Geodetskom fakultetu u ljetnom semestru ak. god. 2006/07. (unutar 5% najbolje ocijenjenih nastavnika na Sveučilištu u Zagrebu).

Republic of Croatia. He also participated as a collaborator on the international scientific project *CERGOP-2, a Multipurpose and Interdisciplinary Sensor Array for Environmental Research in Central Europe (CERGOP-2/ENVIRONMENT)*. He currently collaborates on the scientific project *Geopotential and Geodynamics of the Adriatic Area (Geo++Adria)*, carried out for the Ministry of Science, Education and Sport of the Republic of Croatia, and led by Prof. Dr. Tomislav Bašić. He also participates in scientific and professional projects needed by the State Geodetic Administration. He published 14 scientific and professional articles alone and as a co-author, as well as 24 contributions. He is the technical editor of the scientific periodical *Geodetski list*.

Within the scope of his professional activity, he works on tasks related to satellite and applied geodesy. He participated in testing and calibration of about fifty geodetic instruments and devices in the Laboratory for Measurements and Measuring Techniques at the Faculty of Geodesy. We worked as a collaborator of the National Genealogical Centre on preparing the Encyclopaedia of Croatian Family Names.

Mladen Zrinjski is a member of the Croatian Geodetic Society – Association of Surveyors in the Varaždinska County, of the Croatian Chamber of Chartered Engineers of Geodesy, of the Croatian Mathematical Society, and of the Society of University Teachers, Scholars and other Scientists. He is a member of the State Committee for competitions and festivals of pupils of civil engineering and geodetic schools in the Republic of Croatia. He is the president of the Committee for Preparing Tasks for the State Competition of Pupils of Geodetic Schools in the Republic of Croatia and the author of tasks. Mladen Zrinjski is a member of the Technical Committee 172 – Optics and Optical Instruments in the Croatian Standards Institute. He is the vice-head of the Laboratory for Measurements and Measuring Techniques at the Faculty of Geodesy. He is the main representative of the Independent Union of Research and Higher Education Employees of Croatia at the Faculty of Geodesy.

The manuscript of the doctoral thesis contains 186 pages in the A4 format, title, abstract and keywords in Croatian and English, list of tables, list of figures, brief curriculum vitae of the author and a CD. The thesis is divided into 11 basic chapters:

- Introduction
- Review of previous works and experiences
- Calibration baseline of the Faculty of Geodesy, University of Zagreb
- Distance measurement with electro-optical distance meter
- Vector measurement with GPS
- Practical measurements
- Measuring data processing

- Analysis of processing results
- Recommended further research
- Conclusion
- References

The first chapter describes the idea and motivation which initiated the work on the doctoral thesis. The goal is also defined and the research plan is described briefly. The definition of precise distance measurement as measuring procedure is given and presented by means of relative accuracy. The chapter presents methods of precise distance measurements used in geodesy nowadays. Several precise electro-optical distance meters are described. The importance of legal commitment of periodical adjustment/calibration of the calibration baseline of the Faculty of Geodesy, University of Zagreb is pointed out as the base for the calibration of electro-optical distance meters, GNSS instruments and other distance measuring devices.

A review of previous works and experiences in the Republic of Croatia and in the world is given in the second chapter. Works in which the adjustment/calibration of the calibration baseline at the Faculty of Geodesy by applying classical terrestrial methods and GPS technology are considered briefly. Two works in this field which have been published in the world are also presented.

The third chapter describes in detail the calibration baseline at the Faculty of Geodesy, University of Zagreb, where all measurements were done. A list of the most famous calibration baselines with pillars is presented in a table along with their lengths.

The errors of distance meter affecting precise distance measurements are explained in detail in the fourth chapter. Mathematical expressions for the corrections and reductions are given, which need to be taken into account when measuring distances with precise electro-optical distance meter at the calibration baseline.

The fifth chapter explains the influence of multipath effects on GPS measurements and provides mathematical expressions for computing MP1 and MP2. A theoretical presentation of the eccentricity of the antenna phase centre is also given, as well as its variations. Since these GPS measurements have been done with Zephyr Geodetic GPS antennae, the physical properties, working method and characteristics of the antennae are explained thoroughly.

Practical measurements are described in detail in the sixth chapter. Two independent methods were used for the adjustment/calibration of the calibration baseline of the Faculty of Geodesy. Measurements were made with the Leica TCA2003 precise electro-optical distance meter, Trimble 5700/R7 GPS receivers and Zephyr Geodetic antennae. Automated measurement of atmospheric parameters and their processing during precise distance measurement at the calibration baseline was applied for

Bio je suradnik na domaćim znanstvenim projektima *Geodetske metode mjerenja i njihove automatizacije* te *Automatizirane geodetske metode mjerenja*, koji su se izvodili za Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske. Također je bio suradnik na međunarodnom znanstvenom projektu *CERGOP-2, a Multipurpose and Interdisciplinary Sensor Array for Environmental Research in Central Europe (CERGOP-2/ENVIRONMENT)*. Trenutačno je suradnik na znanstvenom projektu *Geopotencijal i geodinamika Jadrana (Geo++Adria)*, koji se izvodi za Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske, voditelj kojega je prof. dr. sc. Tomislav Bašić. Sudjeluje i na znanstvenostručnim projektima za potrebe Državne geodetske uprave. Do sada je samostalno i u koautorstvu objavio 14 znanstvenih i stručnih članaka u časopisima i zbornicima te 24 priloga. Tehnički je urednik znanstvenog časopisa *Geodetski list*.

U stručnom radu obavlja poslove na području satelitske i primijenjene geodezije. Sudjelovao je u ispitivanju i umjeravanju pedesetak geodetskih instrumenata i uređaja u Laboratoriju za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta. Bio je enciklopedijski suradnik Nacionalnoga rodoslovnog centra pri izradi Enciklopedije hrvatskih prezimena.

Mladen Zrinjski član je Hrvatskoga geodetskog društva – Udruge geodeta Varaždinske županije, Hrvatske komore ovlaštenih inženjera geodezije, Hrvatskoga matematičkog društva te Društva sveučilišnih nastavnika i drugih znanstvenika. Član je Državnog povjerenstva za provedbu natjecanja i smotri učenika graditeljskih i geodetskih škola Republike Hrvatske. Predsjednik je Povjerenstva za sastavljanje zadataka za državno natjecanje učenika geodetskih škola Republike Hrvatske i autor je zadataka. Član je Tehničkog odbora 172 – Optika i optički instrumenti u Hrvatskom zavodu za norme. Zamjenik je voditelja Laboratorija za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta. Glavni je sindikalni povjerenik Nezavisnog sindikata znanosti i visokog obrazovanja Republike Hrvatske na Geodetskom fakultetu.

Rukopis doktorske disertacije sadrži 186 stranica formata A4, naslov, sažetak i ključne riječi na hrvatskom i engleskom jeziku, popis tablica, popis slika, kratki životopis autora i CD. Rad je podijeljen u 11 osnovnih poglavlja:

- Uvod
- Pregled dosadašnjih radova i iskustava
- Kalibracijska baza Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu
- Mjerenje duljina elektrooptičkim daljinomjerom
- Mjerenje vektora GPS-om
- Praktična mjerenja
- Obrada podataka mjerenja
- Analiza rezultata obrade

- Poželjna daljnja istraživanja
- Zaključak
- Literatura

U prvom poglavlju opisane su ideja i motivacija za izradu doktorske disertacije. Definiran je cilj disertacije i ukratko je opisan plan za provedbu istraživanja. Dana je definicija preciznog mjerenja duljina kao mjernog postupka, a iskazana je s pomoću relativne točnosti. Prikazane su metode preciznog mjerenja duljina koje se danas primjenjuju u geodeziji. Dan je pregled nekoliko preciznih elektrooptičkih daljinomjera. Objašnjene su važnost i zakonska obveza periodičnog umjeravanja kalibracijske baze Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, kao osnove za umjeravanje elektrooptičkih daljinomjera, GNSS-instrumenata i drugih mjerila za duljine.

Pregled dosadašnjih radova i iskustava u Republici Hrvatskoj te u svijetu dan je u drugom poglavlju. Ukratko su obrađeni radovi u kojima su opisana umjeravanja kalibracijske baze Geodetskog fakulteta primjenom klasičnih terestričkih metoda i GPS-tehnologije. Prikazana su i dva rada iz tog područja koja su objavljena u svijetu.

U trećem poglavlju detaljno je opisana kalibracijska baza Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu na kojoj su obavljena sva mjerenja. Tablično je prikazan popis najpoznatijih kalibracijskih baza sa stupovima u svijetu i uz to su dane njihove duljine.

Pogreške daljinomjera, koje utječu na precizno mjerenje duljina, detaljno su objašnjene u četvrtom poglavlju. Dani su matematički izrazi za korekcije i redukcije koje je potrebno uzeti u račun prilikom mjerenja duljina preciznim elektrooptičkim daljinomjerom na kalibracijskoj bazi.

U petom poglavlju objašnjen je utjecaj multipath efekta na GPS-mjerenja i dani su matematički izrazi za računanje MP1 i MP2. Dan je teorijski prikaz ekscentriciteta faznog središta antene te njegove varijacije. Kako su sva GPS-mjerenja obavljena GPS-antena Zephyr Geodetic, detaljno su objašnjena fizikalna svojstva, način rada i karakteristike takvih antena.

Praktična mjerenja opisana su vrlo detaljno u šestom poglavlju. Za umjeravanje kalibracijske baze Geodetskog fakulteta primijenjene su dvije neovisne metode. Mjerenja su obavljena preciznim elektrooptičkim daljinomjerom Leica TCA2003 te GPS-prijamnicima Trimble 5700/R7 i antena Zephyr Geodetic. U disertaciji je prvi puta primijenjeno automatizirano mjerenje atmosferskih parametara i njihova obrada prilikom preciznog mjerenja duljina na kalibracijskoj bazi. Atmosferski parametri mjereni su s pomoću dva senzora Väisälä WXT510. Za automatizirano prikupljanje, pohranjivanje i obradu atmosferskih parametara primijenjen je softver WeatherTransmitter. Izrađen je isključivo za potrebe ove disertacije i buduća umjeravanja na kalibracijskoj bazi Geodetskog



the first time in this dissertation. Atmospheric parameters were measured by means of two Väisälä WXT510 sensors. In order to collect, store and process atmospheric parameters automatically, the Weather Transmitter software was used. It was made for the purpose of this dissertation and for future measurements at the calibration baseline of the Faculty of Geodesy. The 1st order trigonometric point Brusnik was included into the measurement, so that the length needed to test GNSS instruments could be prolonged. The Brusnik point was selected because it is the point with the most precisely determined positional coordinates in the Republic of Croatia. Two reports are also given about seismic activities in the Republic of Croatia that happened during GPS observations.

Complete measurement data processing is presented in the seventh chapter. The influence of multipath effect MP1 and MP2 was tested for the purpose of GPS measurements, as well as the number of registered observations with GPS satellites. The distances between the pillars of the calibration baseline and the standard deviations of the distance means were calculated by means of processing GPS vectors. Pillar coordinates of the calibration baseline and Brusnik were determined by applying CROPOS and its service GPPS. The final result were pillar coordinates of the calibration baseline and Brusnik in ETRS89 ( $e=1989.0$ ), the official positional datum of the Republic of Croatia. Pillar coordinates at the calibration baseline of the Faculty of Geodesy were determined for the first time in the official national datum by applying CROPOS. Presentation of the results of processing atmospheric parameters is given for the time period in which distances were measured with electro-optical distance meter. The periodical error of the distance meter was determined and taken into account in the adjustment of the distances at the calibration baseline, as well as in calculating the addition correction. Distances between pillars of the calibration baseline calculated from the measurements obtained with TCA2003 are presented as well. The automated calibration of the frequency counter with GPS signals was made in the Laboratory for Measurements and Measuring Technique of the Faculty of Geodesy, as well as the measurement of frequency in electro-optical distance meter TCA2003 yielding the multiplication constant.

The eighth chapter presents the analysis of the processing results. The final distances between the calibration baseline pillars measured with electro-optical distance meter TCA2003 and GPS were compared. Differences between TCA2003 and GPS smaller than 1 mm were obtained for all measured distances between the baseline pillars. At 1000 m, the difference was 0.39 mm, which indicates the determination of the calibration baseline scale with the accuracy better than 1 mm. In addition, the obtained results reveal that the baseline distance measured with precise electro-optical distance meter can be controlled very well with GPS measurements, and with certainty that there are no larger systematic errors in the measurements with distance meter. The sign with all

distance differences is minus, which means the distances obtained with GPS are larger than the same distances obtained with TCA2003. Statistical testing of mean distance values of two measured sequences (GPS and TCA2003) was made by applying the  $t$ -test. The test demonstrated that both measuring sequences have the same mean value, which was to be expected, because all differences of mean distance values (TCA2003–GPS) are smaller than 1 mm. The analysis of pillar movements at the calibration baseline of the Faculty of Geodesy is also presented for the period between 1996 and 2009. Uncertainty estimations of A and B type of distance measurement are given, from 0.3 mm to 1000 m, when measuring at the calibration baseline with TCA2003.

A detailed description of recommended further research in the field of calibration, development and maintenance of the calibration baseline of the Faculty of Geodesy, University of Zagreb is given in the ninth chapter.

The tenth chapter features all conclusions derived from the research carried out during the work on the dissertation. Recommendations for future baseline calibration using GPS (GNSS) are also given. Special scientific contribution of this dissertation is its detailed research and confirmation referring to the fact that baseline calibration (calibrated with TCA2003) can be controlled using a completely independent method, by means of GPS, and very soon more accurately with GNSS, for large distances from 100 m to 1000 m. It will prevent very expensive international comparisons of calibration baselines. Calibration of the baseline of the Faculty of Geodesy, University of Zagreb needs to be carried out every two years, according to the Act on Measurement and related Provisions. Two independent methods should be applied: precise electro-optical distance meter and GPS (GNSS).

A list of references with 116 titles and 18 URL addresses is given in the eleventh chapter. At the end of the dissertation, there is a list of tables, a list of figures, brief curriculum vitae of the author and a CD.

After reviewing and assessing the doctoral dissertation made by candidate Mladen Zrinjski, graduate engineer of geodesy, members of the Committee for Assessment came to the conclusion that the candidate offered several valuable scientific contributions in the field of satellite and applied geodesy. A special scientific contribution of this dissertation is its detailed research and confirmation of the fact that two completely independent methods can be applied to calibrate the baseline: precise electro-optical distance meter and GPS (GNSS). In this way, baseline length can be controlled with two completely independent measuring methods. Such a calibrated baseline of the Faculty of Geodesy, University of Zagreb can be used as the basis for periodical calibrations of electro-optical distance meters and GNSS instruments, as well as of other distance measurement instruments and devices.

*Tomislav Bašić, Nikola Solarić*

fakulteta. U mjerenje je uključena i trigonometrijska točka I. reda Brusnik, kako bi se povećala duljina za ispitivanje GNSS-instrumenata. Odabrana je točka Brusnik, jer je to točka s najpreciznije određenim položajnim koordinatama u Republici Hrvatskoj. Također su dana dva izvješća o seizmičkim aktivnostima na području Republike Hrvatske, koje su se dogodile za vrijeme GPS-opažanja.

Cjelokupna obrada podataka mjerenja izložena je u sedmom poglavlju. Za GPS-mjerenja obavljeno je ispitivanje utjecaja multipath efekta MP1 i MP2 te broja registriranih opažanja s GPS-satelita. Obradom GPS-vektora izračunane su duljine između stupova kalibracijske baze i standardna odstupanja sredina duljina. Koordinate stupova kalibracijske baze i Brusnika određene su primjenom CROPOS-a i njegovog servisa GPPS. Kao konačan rezultat dobivene su koordinate stupova kalibracijske baze i Brusnika u sustavu ETRS89 ( $e=1989.0$ ), službenom položajnom datumu Republike Hrvatske. U disertaciji su po prvi put određene koordinate stupova kalibracijske baze Geodetskog fakulteta u službenome nacionalnom datumu primjenom CROPOS-a. Prikaz rezultata obrade atmosferskih parametara dan je za vremensko razdoblje mjerenja duljina elektrooptičkim daljinomjerom. Određena je periodijska pogreška daljinomjera i uzeta je u račun pri izjednačenju duljina na kalibracijskoj bazi, kao i pri računanju adicijske korekcije. Dan je prikaz računanja raspona između stupova kalibracijske baze iz mjerenja dobivenih s pomoću TCA2003 te su izračunana standardna odstupanja mjerenja duljina i standardna odstupanja određivanja raspona stupova. U Laboratoriju za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta napravljeno je automatizirano umjeravanje frekvencmetra s pomoću GPS-signala i mjerenje frekvencije u elektrooptičkom daljinomjeru TCA2003, čime je izračunana multiplikacijska konstanta.

U osmom poglavlju prikazana je analiza rezultata obrade. Dana je usporedba konačnih duljina između stupova kalibracijske baze, koje su izmjerene elektrooptičkim daljinomjerom TCA2003 i GPS-om. Za sve mjerene duljine raspona stupova baze dobivene su razlike TCA2003–GPS manje od 1 mm. Na 1000 m ta razlika bila je 0,39 mm, što ukazuje da je mjerilo kalibracijske baze Geodetskog fakulteta određeno s točnošću boljom od 1 mm. Osim toga, iz dobivenih rezultata vidi se da se GPS-mjerenjima može dobro kontrolirati duljinu baze, izmjerenu preciznim elektrooptičkim daljinomjerom, i biti siguran da u mjerenjima s daljinomjerom nema većih sustavnih pogrešaka. Predznak kod svih razlika duljina je minus, što znači da su sve duljine dobivene GPS-om veće od onih dobivenih s pomoću TCA2003. Statističko testiranje srednjih vrijednosti duljina dvaju mjernih nizova (GPS i TCA2003) napravljeno je primjenom  $t$ -testa. Taj je test pokazao da oba mjerna niza imaju iste srednje

vrijednosti, što je bilo i za očekivati, jer su sve razlike srednjih vrijednosti duljina (TCA2003–GPS) manje od 1 mm. Prikazana je analiza pomaka stupova na kalibracijskoj bazi Geodetskog fakulteta, za razdoblje od 1996. do 2009. godine. Dana je procjena nesigurnosti A i B vrste mjerenja duljine, od 0,3 mm na 1000 m, pri mjerenju na kalibracijskoj bazi s pomoću TCA2003.

Detaljan popis poželjnih daljnjih istraživanja na području umjeravanja te održavanja i razvoja kalibracijske baze Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu naveden je u devetom poglavlju.

U desetom poglavlju navedeni su svi zaključci koji su proistekli iz istraživanja provedenih u doktorskoj disertaciji. Također su navedene preporuke za buduća umjeravanja kalibracijske baze primjenom GPS-a (GNSS-a). Poseban znanstveni doprinos ove disertacije je u tome što je u njoj detaljno istraženo i potvrđeno da se umjeravanje kalibracijske baze (umjerene s TCA2003) može kontrolirati potpuno neovisnom metodom, s pomoću GPS-a, a uskoro još točnije GNSS-om, za velike duljine od 100 m do 1000 m. To omogućuje da se više neće morati izvoditi često vrlo skupe međunarodne usporedbe između kalibracijskih baza. Umjeravanje kalibracijske baze Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu potrebno je provoditi svake dvije godine, što je i obveza prema Zakonu o mjeriteljstvu i donesenim Naredbama. Pritom je potrebno primijeniti dvije neovisne metode: precizni elektrooptički daljinomjer i GPS (GNSS).

Popis literature sa 116 naslova i 18 URL-adresa dan je u jedanaestom poglavlju. Na kraju disertacije dan je popis tablica, popis slika, kratki životopis autora i CD.

Na osnovi pregleda i vrednovanja doktorske disertacije pristupnika Mladena Zrinjskog, dipl. ing. geod., članovi Povjerenstva za ocjenu zaključili su da je pristupnik u svojoj disertaciji dao više vrijednih znanstvenih doprinosa u području satelitske i primijenjene geodezije. Poseban znanstveni doprinos te doktorske disertacije je u tome što je u njoj detaljno istraženo i potvrđeno da se za umjeravanje kalibracijske baze mogu primijeniti dvije potpuno neovisne metode: precizni elektrooptički daljinomjer i GPS (GNSS). Na taj se način može s dvije potpuno neovisne mjerne metode kontrolirati duljinu baze. Tako umjerena kalibracijska baza Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu služi kao osnova za periodična umjeravanja elektrooptičkih daljinomjera i GNSS-instrumenata, ali i drugih mjernih instrumenata i uređaja za mjerenje duljina.

Tomislav Bašić  
Nikola Solarić