

## Damir Šantek, PhD in Technical Sciences

Damir Šantek was born in Glina on May 13, 1971, where he finished elementary and high school. He graduated and later finished master of engineering studies at the Faculty of Geodesy, University of Zagreb. He finished the Program for education of internal trainers in the State Geodetic Administration (Training for trainers, T4T), Management education program and IT operators education program.

He has been employed at the State Geodetic Administration since 1996. From 1996 until 2004, he was head of the branch cadastre office in Glina, from 2004 until 2008, he was the head of department in the Regional cadastre office Sisak, from 2008 until 2012, he was deputy director of the State Geodetic Administration and since then he has been the head of the branch cadastre office in Glina. Damir Šantek has been member of several bodies and committees representing State Geodetic Administration and nowadays he is a member of the Management Board of the Public Institute for Spatial Planning of the Sisačko-moslavačka County, head of the Working Group for Connecting NSDI and the e-Government Program, head of Committee for Digital Archive System (of State Geodetic Administration), member of the Croatian Geodetic Society Management board since 2012 and a member of the Croatian Chamber of Chartered Geodetic Engineers. He is also active in politics, being the president and member of the City Council and the City Government of the Town of Glina.

The doctoral thesis contains 151 page in A4 format, title, abstract and key words in Croatian and English, list of tables, pictures and abbreviations, as well as biography of the author.

Fast development of measurement techniques, first of all GNSS, logically imposes the question of how we can use those technologies in the optimal manner for modern cadastre and cartography regarding "standard" indicators of quality and quantity of measurements. In that context, research was undertaken under the title *Application of GNSS RTK in the Cadastral Survey with Increased Accuracy and Reliability of Measurements* in which this interdependencies were investigated. The flow and results of this research are given in the 9th chapter of this doctoral thesis

After the introduction, new geodetic datums and map projections of the Republic of Croatia are introduced in the opening chapters with an overview of old (in principle Austro-Hungarian) datum (second chapter), cadastre in Croatia with special overview on its origin and relevance (chapter

Damir Šantek, MSc, MEng in geodesy, defended his doctoral thesis *Application of GNSS RTK in the Cadastral Survey with Increased Accuracy and Reliability of Measurements* at the Faculty of Geodesy, University of Zagreb on January 13, 2015. The doctoral thesis was defended in front of the Committee for defence consisting of Prof. Dr. Drago Špoljarić, Prof. Dr. Tomislav Bašić and Assist. Prof. Milan Rezo. The Committee for evaluation of the doctoral thesis consisted of the same members. Prof. Dr. Željko Bačić was the mentor.

## Application of GNSS RTK in the Cadastral Survey with Increased Accuracy and Reliability of Measurements

The thesis is divided into following main chapters:

- 1 Introduction
- 2 New geodetic datum and map projections of Republic of Croatia
- 3 Cadastre
- 4 Cadastre survey and technical reambulation
- 5 Satellite positioning systems
- 6 Neretva pilot project
- 7 Croatian positioning system – CROPOS
- 8 Testing antenna and receiver error by Zero baseline and Short baseline tests
- 9 Conclusion
- 10 Literature



## Damir Šantek, doktor tehničkih znanosti

Damir Šantek, rođen u Glini, 13. svibnja 1971. gdje je završio osnovnu i srednju školu. Diplomirao je i magistrirao na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Završio je Program obrazovanja internih trenera Državne geodetske uprave (Trening za trenere, T4T), Program edukacije menadžmenta i Program edukacije IT operater.

Od 1996. do danas zaposlen je u Državnoj geodetskoj upravi: od 1996. do 2004. voditelj Ispostave, od 2004. do 2008. načelnik odjela u Područnom uredu za katastar Sisak, od 2008. do 2012. zamjenik ravnatelja, danas voditelj Odjela Glina. Bio je član više tijela i odbora u Državnoj geodetskoj upravi, a danas je član je Upravnog vijeća javne ustanove Zavoda za prostorno uređenje Sisačko moslavačke županije, voditelj radne skupine za povezivanje programa NIPP-a i e-Vlade, voditelj povjerenstva Sustava digitalne arhive, član Hrvatskoga geodetskog društva (Upravnog odbora od 2012.) i član Hrvatske komore ovlaštenih inženjera geodezije. Aktivno se bavi politikom, predsjednik je i član Gradskog vijeća i gradskog poglavarstva Grada Gline.

Rukopis doktorske disertacije sadrži 151 stranicu formata A4, naslov, sažetak i ključne riječi na hrvatskom i engleskom jeziku, popis tablica, popis slika, popis kratica i životopis autora.

Brzi razvoj mjernih tehnika, prije svega GNSS-a, logički nameće pitanje kako optimalno upotrijebiti te tehnologije u modernom katastru i kartografiji s obzirom na "standardne" pokazatelje kvalitete i kvantitete opažanja. U tom je kontekstu provedeno istraživanje pod nazivom *Primjena GNSS RTK u katastarskoj izmjeri uz povećanu preciznost i pouzdanost mjerenja* u kojem su ispitane te međuzavisnosti. Tijek i rezultati istraživanja dani su u doktorskoj disertaciji u devet poglavlja.

Nakon uvoda, u početnim poglavljima prikazani su novi geodetski datumi i kartografske projekcije Republike Hrvatske s osvrtom na stari (u osnovi Austro-ugarski) datum (drugo poglavlje), katastar u Hrvatskoj s posebnim osvrtom na njegovo nastajanje i značenje katastra danas (treće poglavlje), katastarske izmjere i tehničke reambulacije u Republici Hrvatskoj s posebnim osvrtom na radove koji se danas provode i pregled zakonskih propisa (zakona, uredbi, pravilnika, odluka, tehničkih specifikacija) koji se koriste prilikom katastarskih izmjera (četvrto poglavlje).

Peto poglavlje opisuje sustave za satelitsku navigaciju: GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU, QZSS i IRNSS te proširene sustave WAAS i EGNOS. Objasnjene su osnovni pojmovi o

Mr. sc. Damir Šantek, dipl. ing. geod. obranio je 13. siječnja 2015. na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu doktorsku disertaciju pod naslovom *Primjena GNSS RTK u katastarskoj izmjeri uz povećanu preciznost i pouzdanost mjerenja*. Doktorska disertacija obranjena je pred povjerenstvom u sastavu prof. dr. sc. Drago Špoljarić, prof. dr. sc. Tomislav Bašić i doc. dr. sc. Milan Rezo. Povjerenstvo za ocjenu doktorske disertacije bilo je u istom sastavu. Mentor doktorske disertacije je bio prof. dr. sc. Željko Bačić.

## Primjena GNSS RTK u katastarskoj izmjeri uz povećanu preciznost i pouzdanost mjerenja

Doktorski rad podijeljen je na ova osnovna poglavlja:

1. Uvod
2. Novi geodetski datumi i ravninske kartografske projekcije Republike Hrvatske
3. Katastar
4. Katastarska izmjera i tehnička reambulacija
5. Sustavi satelitskog pozicioniranja
6. Pilot projekt Neretva
7. Hrvatski pozicijski sustav – CROPOS
8. Ispitivanje pogreške antene i prijemnika pomoću testa nulte i kratke bazne linije
9. Zaključak
10. Literatura

three), cadastre survey and technical reambulations in the Republic of Croatia with a special overview of works executed nowadays and legislation (laws, directives, bylaws, decisions and technical specifications) which are relevant for cadastral surveys (chapter four).

The fifth chapter describes satellite navigation systems: GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU, QZSS and IRNSS, as well as augmented systems WAAS and EGNOS. Fundamental concepts and terms of GNSS technology are explained, as well as methods and measurement errors occurring in GNSS usage.

Systematic dealing with this problem, research and system testing regarding measurement errors are described in the sixth, seventh and eighth chapter. Problem investigation started with work on the pilot project in the valley of the Neretva River (sixth chapter) where new technology for cadastral survey (GNSS RTK EFB) was introduced. Method, advantages and disadvantages of mentioned technology are presented. Results originating from the pilot project survey in 2005 and results originating from the 2008–2009 survey are compared.

CROPOS testing was conducted regarding system accuracy under "ideal conditions" including necessary average measurement time interval, time gap between two measurements and the coordinate quality indicator (Root Mean Square, RMS) and presented in the seventh chapter. RMS is used as a principal unit for error presentation in measurement with GNSS receivers. The analysis showed that "standard" quality and quantity measurement indicators (satellite number, PDOP and RMS) alone are not sufficient for making a conclusion if measurement results are within proclaimed accuracy, respectively there are situations in which those indicators are satisfactory and the result is not. Therefore, further analysis was conducted in which solution fixing time interval was investigated respectively to given time interval (necessary measurement time interval, double measurement necessity, quality of data, PDOP, RMS, satellite number, etc.).

GNSS measurement errors are more thoroughly investigated in the eighth chapter. Short Baseline and Zero Baseline tests were conducted. With the first test, preconditions were created for decreasing or eliminating atmospheric errors, influence of geometry and multipath. The influence of antenna phase centre was eliminated with the Zero Baseline test, and in the case of integrated antenna and receiver, receiver clock error was also eliminated (reduced). This measurement provided better results in comparison to previously conducted

tests, while analysis of results showed influence of errors eliminated in such a way. These tests also showed that with today's declared settings (acceptance criteria) for GNSS VPPS measurements (initialization time (number of epochs), satellite number, PDOP, level of acceptable RMS), there is no absolute certainty that results will be within declared accuracy values. Indicator values satisfying declared accuracy were defined from empirical values resulting from conducted tests.

A synthesis of results is presented in the ninth chapter (conclusion) and main guidelines which should be implemented in future GNSS VPPS measurements are provided.

## Application of GNSS RTK in the Cadastral Survey with Increased Accuracy and Reliability of Measurements

The dissertation concludes with the tenth chapter, which contains an overview of used literature sources (120 titles and 21 URL).

On the basis of the audit and evaluation of doctoral thesis of candidate Damir Šantek, MSc, MEng in geodesy, members of the Evaluation committee concluded the candidate made several valuable contributions to the field of geodesy. Conducted investigations indicate that GNSS with redefinition of acceptance criteria (number of initialization epochs, RMS, PDOP, satellite number) contains potential for exclusion of repeated measurements after expiration of two or more hours. In order to unambiguously accept the mentioned conclusion in practice and change GNSS measurement regulations, it is necessary to also test other types of receivers and program packages to define testing procedures.

Željko Bačić ■

GNSS tehnologiji te metode i pogreške mjerenja koje nastaju upotrebom GNSS-a.

Sustavno bavljenje problemom, istraživanje i testiranje sustava u odnosu na pogreške mjerenja opisano je u šestom, sedmom i osmom poglavlju. Istraživanje problema započeto je radovima na pilot projektu u dolini rijeke Neretve (šesto poglavlje) gdje je primijenjena nova tehnologija u katastarskoj izmjeri (GNSS RTK EFB). Prikazana je metoda rada, prednosti i nedostaci navedene tehnologije. Uspoređeni su rezultati koji su nastali izmjerom na pilot projektu 2005. godine i rezultati koji su nastali katastarskom izmjerom 2008–2009 godine.

U sedmom poglavlju opisano je ispitivanje CROPOS-a s obzirom na točnost sustava u "idealnim uvjetima", vremenski interval potrebnog prosječnog mjerenja, vremenski razmak između dva mjerenja te indikator kvalitete koordinata (*Root Mean Square*, RMS). RMS se koristi kao osnovna jedinica za iskazivanje pogrešaka pri mjerenju GNSS uređajima. Analiza je pokazala da "standardni" pokazatelji kvalitete i kvantitete opažanja (broj satelita, PDOP i RMS) sami nisu dostatni za izvođenje zaključka o tome jesu li rezultati mjerenja unutar proklamirane točnosti, odnosno postoje situacije u kojima su ti pokazatelji zadovoljavajući, a rezultat nije. Stoga su provedene daljnje analize pri čemu je ispitivan vremenski interval fiksiranja rješenja u odnosu na zadano vrijeme opažanja (potrebni vremenski interval opažanja, potreba za dvostrukim mjerenjima te kvaliteta podataka, PDOP, RMS, broj satelita i dr.).

U osmom poglavlju detaljnije su proučene pogreške koje se javljaju kod GNSS mjerenja. Provedena su mjerenja pomoću testa (vrlo) kratke bazne linije (*Short Baseline Test*) i testa nulte bazne linije (*Zero Baseline Test*). Prvim testom stvorene su pretpostavke za umanjene ili eliminaciju atmosferskih pogrešaka, utjecaja geometrije i višestruke refleksije signala. Testom nulte bazne linije eliminiran je pak utjecaj pogrešaka faznog centra antene, a u slučaju suspregnute antene i prijamnika i pogreška sata prijemnika. Provedena mjerenja dala su bolje rezultate u odnosu na prethodne testove, a analiza rezultata testiranja pokazala je utjecaj eliminiranih pogrešaka. Ipak i ti su testovi pokazali da sa danas deklariranim postavkama (kriterija prihvaćanja) za GNSS VPPS mjerenja (vrijeme inicijalizacije (broj epoha), broj satelita, PDOP, razina

prihvatljivog RMS-a) ne postoji apsolutna sigurnost da će rezultat biti unutar deklariranih vrijednosti točnosti. Iz empiričkih vrijednosti testiranja definirane su vrijednosti postavki pri kojima su rezultati mjerenja zadovoljili deklarirane vrijednosti.

U devetom poglavlju (zaključku) predočena je sinteza rezultata istraživanja i dane glavne smjernice koje bi trebale imati svoju primjenu u budućim GNSS VPPS mjerenjima.

Desetim poglavljem, koje sadrži pregled literature (120 naslova i 21 URL), završava disertacija.

## Primjena GNSS RTK u katastarskoj izmjeri uz povećanu preciznost i pouzdanost mjerenja

Na osnovi pregleda i vrednovanja doktorske disertacije pristupnika mr. sc. Damira Šanteka, dipl. ing. geodezije, članovi povjerenstva za ocjenu doktorske disertacije zaključili su da je pristupnik dao više vrijednih doprinosa u području geodezije. Provedena istraživanja ukazuju da GNSS uz redefiniranje kriterija prihvaćanja (broj epohe inicijalizacije, RMS, PDOP, broj satelita) u sebi ima potencijal za neprovođenjem ponovljenih (dvostrukih) mjerenja nakon proteka od dva ili više sati. Za jednoznačno prihvaćanje navedenog zaključka u praksi, dakle moguću izmjenu propisa o mjerenju s GNSS-om, potrebno je prethodno ispitati i druge tipove uređaja i programskih paketa, odnosno definirati postupke testiranja.

Željko Bačić ■