

ISPITIVANJE CROPOS SUSTAVA NA KALIBRACIJSKOJ BAZI GEODETSKOG FAKULTETA

» Antonio Luketić » Matej Varga » Ivan Žižić

SAŽETAK. Na geodetskoj točki Kalibracijske baze Geodetskog fakulteta izvršena su GPS mjerenja, GNSS RTK metodom. Mjerenja su vršena u razdoblju od 8-17h (uobičajeno radno vrijeme geodeta na terenu) sa svrhom dobivanja koordinata uz pomoć kojih se vršila analiza točnosti CROPOS sustava. Izvršenim izjednačenjem, numeričkom i grafičkom analizom dobiveni su statistički pokazatelji te je zaključeno da je preporučeno vrijeme za mjerenje GNSS RTK metodom, CROPOS sustavom, od 8-11h.

KLJUČNE RIJEČI: CROPOS, RTK metoda, kalibracijska baza, VPPS



Slika 1. Trojac na Bazi

> 1. Priprema i izvođenje mjerenja

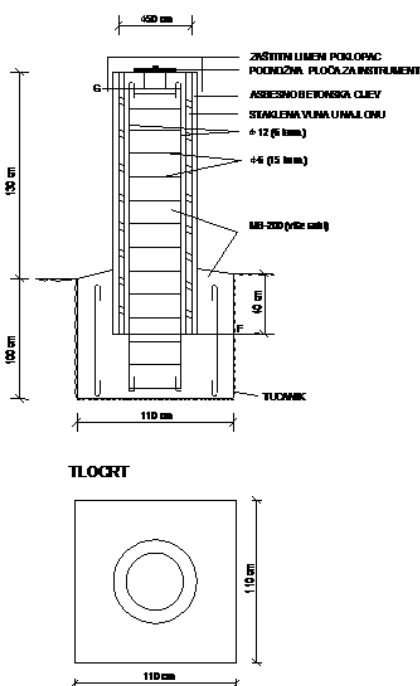
Ideja provjere točnosti CROPOS sustava u »idealnim« uvjetima, a opet iskustvost u praktičnoj geodeziji, tema je ovog članka.

Točka na kojoj su izvršena mjerenja je stabilizirani betonski stup (VIII. po redu) na Kalibracijskoj bazi Geodetskog fakulte-

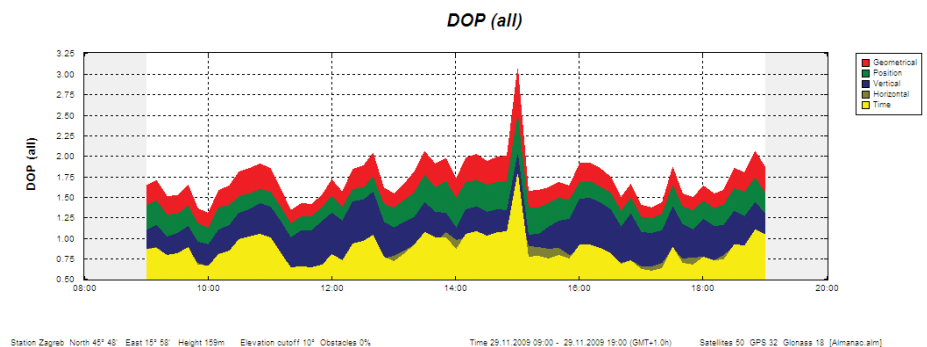
ta u Donjoj Lomnici. Baza je svojevrstna mikro-mreža sa 14 betonskih stupova s vijcima za prisilno centriranje. Izgrađena je 1982. godine, a smještena je na nasipu odteretnog kanala. Kalibracijska baza, primarno korištena za kalibraciju elektro-optičkih daljinomjera i preciznog geodetskog instrumentarija, idealno je mjesto za

obaviti GPS mjerenja s obzirom na zadatak i ciljeve ovog članka. Slika 2 prikazuje dimenzije, građu i stabilizaciju stupa.

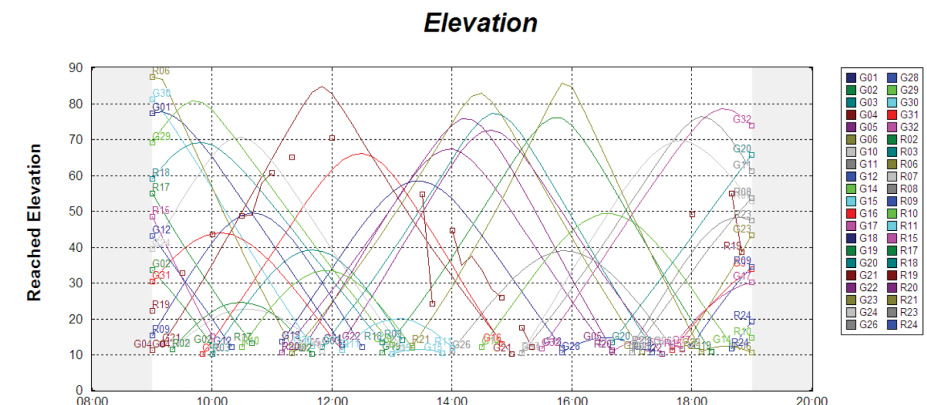
GPS mjerenja, GNSS RTK metodom, obavljena su 29.11.2009.godine u periodu od 8- 17h. Vremenski uvjeti su bili na granici idealnih (sunčano, temperaturna amplituda tijekom dana 10°C). Lokacija



Slika 3. Stabilizacija stupa



Slika 2. DOP za dan mjerenja



Slika 4. Elevacije satelita na dan mjerenja za Zagreb

Antonio Luketić, Preddiplomski studij geodezije i geoinformatike, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: aluketic@geof.hr

Matej Varga, Preddiplomski studij geodezije i geoinformatike, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: mvarga@geof.hr

Ivan Žižić, Preddiplomski studij geodezije i geoinformatike, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: izizic@geof.hr

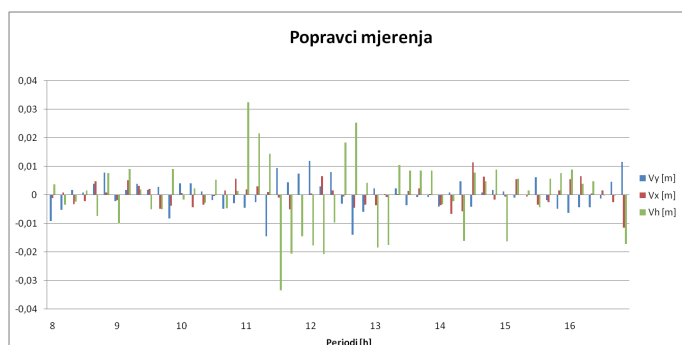
mjerenja je 4-5 metara povišena od okolnog terena (eliminacija multipath efekta), horizont je gotovo čist, a reflektirajućih površina, kao ni komunikacijskih vodova nema. Uvjeti za izvođenje mjerenja dostatni su za visoko precizne inženjerske radove, a u kojima se može postići točnost na mm (Bačić 2009).

Plan opažanja, za dan mjerenja, izrađen je u programskom paketu TGO v.1.63, a ono podrazumijeva prikazivanje dostupnosti GPS i GLONASS satelita (elevacija, broj satelita, vidljivost satelita, DOP). Pri tome, slika 3 prikazuje vrijednosti DOP-a tijekom dana mjerenja, a na slici 4 vidimo putanje satelita.

Obzirom na planiranje, a priori je moguće očekivati rezultate obzirom na doba dana, meteorološke uvjete i stanje troposfere i ionosfere.

Primjenjena je GNSS RTK metoda, koja se u suvremenom svijetu i nekim inženjerskim radovima, vrlo često koristi. To je relativna metoda što znači da se uz simultano opažanje najmanje 4 satelita može odrediti relativni vektor između dvije točke (»baze« sa poznatim koordinatama i rovera za kojega korisnik određuje koordinatu). Projektirani GNSS RTK sustavi imaju mogućnost određivanja cjelobrojnih ambiguiteta u pokretu bez potrebe za statičkom inicijalizacijom pa se često nazivaju i »on-the-fly« tehnike. Ograničavajući faktor GNSS RTK metode su sistavne pogreške nastale utjecajima troposfere i ionosfere. Danas se u svijetu razvijaju permanentne stanice koje uz primjenu Virtualnih referentnih stanica omogućavaju korištenje GNSS RTK metoda na udaljenostima između »baze« i rovera većoj do 50 km.

Korišten je CROPOS servis VPPS (Visoko precizni servis pozicioniranja u realnom vremenu) za koju DGU jamči centimetarsku točnost (2 cm- 2D i 4 cm-3D). Spomenuti je servis i jamčena točnost dovoljan za: katastarsku izmjeru, dio inženjerske geodezije, izmjeru državne granice, aerofotogrametriju i hidrografiju. Format podataka, koji GPS uređaj prima, jest RTCM 2.3. format, razvijen od GNSS Service Comitee, šalje korisniku podatke



Slika 6. Popravci mjerenja za svaki sat

tj. poruke. Neke od najvažnijih poruka, koje korisnik dobiva su: diferencijalni GPS korekcijski podaci (pseudodaljenost i brzina satelita), korigirane pseudodaljenosti (u odnosu na stari podatak putanje), koordinate referentne stanice (Y,X,Z), početnu poruku (kao zapis vremena), GPS efemeride, GPS parcijalne korekcije, GNSS RTK fazna mjerenja i pseudodaljenosti (korigirane i nekorrigirane)...

Mjerenja su izvršena Topconovim instrumentarijem iz GNSS RTK Hiper Pro serije. Pri tomu su najbitnije specifikacije instrumenta:

- 40 kanalni: 20 GPS L1+L2 (dvo-frekvencijski GPS), GPS L1 + GLONASS (jednofrekvencijski GPS+GLONASS), 20 GPS L1+L2/GLONASS (dvo-frekvencijski GPS+GLONASS),
- preciznost: H: 10 mm + 1 ppm, V: 15 mm + 1 ppm (RTK).

Kampanja je podijeljena u 9 serija mjerenja. Svaka serija mjerenja trajala je 60 minuta, tako da je podijeljena u 6 sesija od po 10 minuta. Za svaku sesiju dobivene su koordinate y, x i h transformirane iz elipsoidnih koordinata u WGS84 sustavu.

GPS uređaj prisilno je centriran. Visina instrumenta, budući da je bio direktno priključen na betonski stup, je 0,00 m.

> 2. Analiza i obrada mjerenja

Nakon mjerenja, obrada podataka izvedena je u programskom paketu MS Office Excelu 2007.

Dobiveno je 6 setova koordinata (y, x i h) za svaki sat vremena mjerenja (ukupno 9 sati). Običnom aritmetičkom sredinom određene su:

- srednje vrijednosti koordinata za svaki sat i
- srednja vrijednost koordinate svih mjerenja.

Pomoću navedene srednje vrijednosti koordinata za svaki sat i srednje vrijednosti za sva mjerenja određena su popravke mjerenja (v_y , v_x i v_h). Uz to, računata su i referentna standardna odstupanja te standardno odstupanje nepoznanica. Navedeni postupak, u poglavlju Izjednačenje direktnih mjerenja, detaljno je objašnjen u knjizi Računska obrada geodetskih mjerenja (Rožić 2007). U provedenom izjednačenju matrica težina mjerenja je jedinična što pojednostavljuje postupak izjednačenja i pretpostavlja da su sve koordinate dobivene mjerenjima iste točnosti. U položajnom

i visinskom smislu rasponi minimalnih i maksimalnih vrijednosti su:

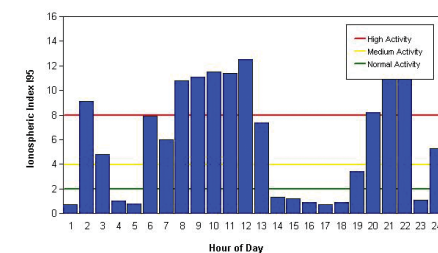
	V _y [m]	V _x [m]	V _h [m]
min.	-0,014	-0,011	-0,034
max.	0,012	0,011	0,032

Tablica 2. Minimalni i maksimalni popravci koordinata

Evidentno je da je daleko najveći raspon između minimalne i maksimalne vrijednosti popravke izražen u vertikalnoj komponenti (6,6 cm).

Mjerenje je podijeljeno na tri dijela sa svrhom dobivanja saznanja u kojem dijelu dana postizemo »najisplativije« rezultate.

Slika 6 ukazuje da GNSS RTK mjerenje u idealnim uvjetima najbolje vršiti u razdoblju od 8h do 10h kada možemo postići optimalne rezultate. Obzirom na ponašanje ionosfere u jutarnjim satima (Slika 5) i činjenicu da ionosferske anomalije u relativnim mjerenjima na kratkim udaljenostima od baze najviše utječu na točnost mjerenja, to je iznenađujuće. Također se zaključuje da x komponenta ima najmanje oscilacije od referentnog mjerenja za razliku od h komponente koja je nestabilna tijekom dana.

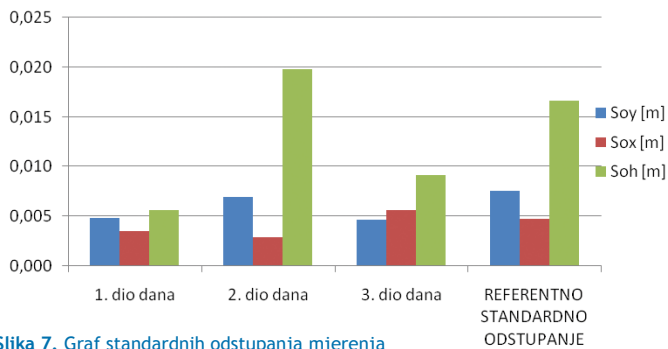


Slika 5. Indeks ionosferske refrakcije

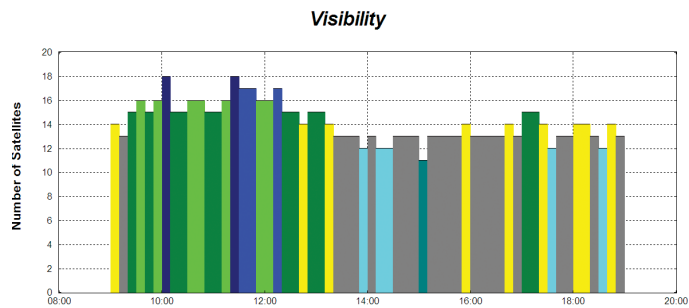
> 3. Zaključak

Iako danas izrada plana opažanja nije toliko zastupljena zbog razvoja tehnologije i povećanja broja satelita u orbiti istaknuli bi njegovu važnost prilikom izvođenja preciznih radova. Na temelju podataka mjerenja i izvršene ocjene točnosti uočili smo primjetne razlike u rezultatima (koordinatama) tijekom dana. Naime, iz podataka o vidljivosti satelita, njihovom broju, DOP (Dilution of precision) faktoru apriori smo očekivali najgore rezultate u razdoblju od 11h do 14h (drugi dio dana). Analizom dobivenih rezultata ustanovili smo kako su se naša očekivanja ostvarila. Tijekom drugog dijela dana došlo je do najviših oscilacija između mjerenja.

Graf standardnih odstupanja mjerenja (Slika 7) prikazuje kako se podaci referentnih standardnih odstupanja mjerenja mijenjaju tijekom dana te usporedbu s referentnim standardnim odstupanjem određenim na osnovu najvjerojatnije vri-



Slika 7. Graf standardnih odstupanja mjerenja



Slika 8. Broj vidljivih satelita

jednosti svih mjerenja (obična aritmetička sredina). Zbog jednostavnije usporedbe rezultata podijelili smo period mjerenja na tri dijela u razdobljima od 8h do 11h, od 11h do 14h te od 14h do 17h. Važno je istaknuti nepouzdanost koordinata koja je najviše izražena u h komponenti. Na osnovu toga možemo ustanoviti kako RTK metoda, CROPOS sustavom (VPPS servis), nije pogodna za precizna visinska mjerenja ili iskolčenja točaka.

Bitno je napomenuti kako za najpovoljnijih uvjeta tijekom mjerenja (čisti horizont) u razdoblju od 11h do 14h povremeno nije moguće odrediti fiksno rješenje. Uzrok tomu je loša konstelacija i manji broj satelita koja ne omogućuje povoljan presjek za određivanje fiksnog rješenja što je vidljivo na slici 8. Primjeti se obrnuta proporcionalnost DOP faktora u odnosu na broj satelita.

»Gubljenje« signala kao i ponovna

inicijalizacija instrumentarija (npr. otvaranje novog direktorija) uzrokuje razlike između rezultata istih mjerenja odnosno utječe na točnost određivanja koordinata.

S obzirom na položajnu i visinsku točnost koju nam pruža korišteni VPPS i rezultata provedenih analiza došli smo do zaključka kako CROPOS sustavom zadovoljavamo potrebe većine geodetskih zadataka. Primjenom CROPOS-a brzo i efikasno možemo doći do koordinata poligonskih točaka, što znači da nije potrebno tražiti njihove koordinate u katastarskim uredima, nositi puno opreme za potrebe mjerenja, »razvlačiti« poligonske vlakove kako bi se približili detalju, a što sve uvelike olakšava proces izmjere. U kombinaciji s terestričkim metodama osiguravamo temeljno načelo kojem trebamo težiti, a to je da budemo *točni* i *ekonomični*.

Zahvaljujemo Geodetskom fakultetu

i Zavodu za geomatiku na ustupljenom instrumentariju. Također, zahvaljujemo asistentu Mladenu Zrinjskom koji nas je u nedjelju u 7h ujutro strpljivo telefonski navodio do kalibracijske baze.

> Literatura

- » Bačić, Ž., Bačić, T. (1999): Satelitska geodezija II, interna skripta, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- » Rožić, N. (2007): Računska obrada geodetskih mjerenja. Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet.
- » CROPOS konferencija, Zbornik radova (2009): Bačić Ž., Učinkovita primjena tehnologija i razvoj znanja – preduvjet moderne geodezije; Marjanović M., Milić I., Vičić V.
- » URL-1: <http://www.cropos.hr/> (15.01.2010).
- » URL-2: <http://www.geocentar.hr/> (16.01.2010).E

Sesija	y	x	h	POPRAVKA IZRAČUNATA POMOĆU SREDNJE VRIJEDNOSTI KOORDINATA SVAKOG SATA			REFERENTNO STANDARDNO ODSUPANJE			STANDARDNO ODSUPANJE NEPOZNANICA			POPRAVKA IZRAČUNATA POMOĆU SREDNJE VRIJEDNOSTI KOORDINATA SVIH MJERENJA		
				V _y [m]	V _x [m]	V _h [m]	S _{oy}	S _{ox}	S _{oh}	S _y	S _x	S _h	V _y	V _x	V _h
E8-9															
E8_1	5063003,715	5579046,287	159,500	-0,009	-0,001	0,004	0,006	0,003	0,005	0,003	0,001	0,002	-0,007	0,000	0,012
E8_2	5063003,711	5579046,285	159,507	-0,005	0,001	-0,003							-0,003	0,002	0,005
E8_3	5063003,704	5579046,289	159,506	0,002	-0,003	-0,002							0,004	-0,002	0,006
E8_4	5063003,705	5579046,288	159,502	0,001	-0,002	0,002							0,003	-0,001	0,010
E8_5	5063003,702	5579046,281	159,511	0,004	0,005	-0,007							0,006	0,006	0,001
E8_6	5063003,698	5579046,285	159,496	0,008	0,001	0,008							0,010	0,002	0,016
E8	5063003,706	5579046,286	159,504												
E9-10							S _{oy}	S _{ox}	S _{oh}	S _y	S _x	S _h			
E9_1	5063003,707	5579046,286	159,526	-0,002	-0,002	-0,010	0,004	0,004	0,008	0,002	0,002	0,003	0,001	0,001	-0,014
E9_2	5063003,703	5579046,279	159,507	0,002	0,005	0,009							0,005	0,008	0,005
E9_3	5063003,701	5579046,281	159,514	0,004	0,003	0,002							0,007	0,006	-0,002
E9_4	5063003,703	5579046,282	159,521	0,002	0,002	-0,005							0,005	0,005	-0,009
E9_5	5063003,702	5579046,289	159,521	0,003	-0,005	-0,005							0,006	-0,002	-0,009
E9_6	5063003,713	5579046,288	159,507	-0,008	-0,004	0,009							-0,005	-0,001	0,005
E9	5063003,705	5579046,284	159,516												
E10-11							S _{oy}	S _{ox}	S _{oh}	S _y	S _x	S _h			
E10_1	5063003,716	5579046,290	159,509	0,004	0,001	-0,002	0,004	0,004	0,004	0,002	0,001	0,001	-0,008	-0,003	0,003
E10_2	5063003,716	5579046,295	159,505	0,004	-0,004	0,002							-0,008	-0,008	0,007
E10_3	5063003,719	5579046,294	159,510	0,001	-0,003	-0,003							-0,011	-0,007	0,002
E10_4	5063003,722	5579046,291	159,502	-0,002	0,000	0,005							-0,014	-0,004	0,010
E10_5	5063003,725	5579046,289	159,512	-0,005	0,002	-0,005							-0,017	-0,002	0,000
E10_6	5063003,723	5579046,285	159,506	-0,003	0,006	0,001							-0,015	0,002	0,006
E10	5063003,720	5579046,291	159,507												

Sesija	y	x	h	POPRAVKA IZRAČUNATA POMOĆU SREDNJE VRIJEDNOSTI KOORDINATA SVAKOG SATA			REFERENTNO STANDARDNO ODSTUPANJE			STANDARDNO ODSTUPANJE NEPOZNANICA			POPRAVKA IZRAČUNATA POMOĆU SREDNJE VRIJEDNOSTI KOORDINATA SVIH MJERENJA			
				V _y [m]	V _x [m]	V _h [m]	S _{oy}	S _{ox}	S _{oh}	S _y	S _x	S _z	V _y	V _x	V _h	
E11-12																
E11_1	5063003,713	5579046,283	159,498	-0,004	0,002	0,032	0,009	0,003	0,026	0,004	0,001	0,011	-0,005	0,004	0,014	
E11_2	5063003,711	5579046,282	159,509	-0,002	0,003	0,022							-0,003	0,005	0,003	
E11_3	5063003,723	5579046,284	159,516	-0,014	0,001	0,014							-0,015	0,003	-0,004	
E11_4	5063003,699	5579046,286	159,564	0,010	-0,001	-0,034							0,009	0,001	-0,052	
E11_5	5063003,704	5579046,290	159,551	0,005	-0,005	-0,020							0,004	-0,003	-0,039	
E11_6	5063003,701	5579046,285	159,545	0,008	0,000	-0,014							0,007	0,002	-0,033	
E11	5063003,709	5579046,285	159,531													
E12-13							S _{oy}	S _{ox}	S _{oh}	S _y	S _x	S _h				
E12_1	5063003,690	5579046,283	159,546	0,012	0,001	-0,018	0,010	0,004	0,019	0,004	0,002	0,008	0,018	0,004	-0,034	
E12_2	5063003,699	5579046,277	159,549	0,003	0,007	-0,021							0,009	0,010	-0,037	
E12_3	5063003,694	5579046,282	159,538	0,008	0,002	-0,010							0,014	0,005	-0,026	
E12_4	5063003,705	5579046,284	159,510	-0,003	-0,001	0,018							0,003	0,003	0,002	
E12_5	5063003,716	5579046,288	159,503	-0,014	-0,004	0,025							-0,008	-0,001	0,009	
E12_6	5063003,708	5579046,287	159,524	-0,006	-0,003	0,004							0,000	0,000	-0,012	
E12	5063003,702	5579046,284	159,528													
E13-14							S _{oy}	S _{ox}	S _{oh}	S _y	S _x	S _h				
E13_1	5063003,701	5579046,290	159,530	0,002	-0,004	-0,019	0,002	0,002	0,014	0,001	0,001	0,006	0,007	-0,003	-0,018	
E13_2	5063003,703	5579046,287	159,529	0,000	-0,001	-0,018							0,005	0,000	-0,017	
E13_3	5063003,701	5579046,286	159,501	0,002	0,000	0,010							0,007	0,001	0,011	
E13_4	5063003,707	5579046,285	159,503	-0,004	0,001	0,008							0,001	0,002	0,009	
E13_5	5063003,704	5579046,284	159,503	-0,001	0,002	0,008							0,004	0,003	0,009	
E13_6	5063003,704	5579046,286	159,503	-0,001	0,000	0,008							0,004	0,001	0,009	
E13	5063003,703	5579046,286	159,512													
E14-15							S _{oy}	S _{ox}	S _{oh}	S _y	S _x	S _h	0,000	0,000	0,000	
E14_1	5063003,715	5579046,288	159,517	-0,004	-0,004	-0,003	0,004	0,007	0,009	0,001	0,003	0,004	-0,007	-0,001	-0,005	
E14_2	5063003,710	5579046,291	159,516	0,001	-0,007	-0,002							-0,002	-0,004	-0,004	
E14_3	5063003,706	5579046,290	159,530	0,005	-0,006	-0,016							0,002	-0,003	-0,018	
E14_4	5063003,715	5579046,273	159,506	-0,004	0,011	0,008							-0,007	0,014	0,006	
E14_5	5063003,710	5579046,278	159,509	0,001	0,006	0,005							-0,002	0,009	0,003	
E14_6	5063003,709	5579046,286	159,505	0,002	-0,002	0,009							-0,001	0,001	0,007	
E14	5063003,711	5579046,284	159,514													
E15-16							S _{oy}	S _{ox}	S _{oh}	S _y	S _x	S _h				
E15_1	5063003,704	5579046,291	159,510	0,001	0,000	-0,016	0,004	0,003	0,009	0,001	0,001	0,004	0,004	-0,004	0,002	
E15_2	5063003,706	5579046,285	159,488	-0,001	0,006	0,006							0,002	0,002	0,024	
E15_3	5063003,705	5579046,291	159,492	0,000	0,000	0,002							0,003	-0,004	0,020	
E15_4	5063003,699	5579046,294	159,498	0,006	-0,003	-0,004							0,009	-0,007	0,014	
E15_5	5063003,707	5579046,293	159,488	-0,002	-0,002	0,006							0,001	-0,006	0,024	
E15_6	5063003,710	5579046,289	159,486	-0,005	0,002	0,008							-0,002	-0,002	0,026	
E15	5063003,705	5579046,291	159,494													
E16-17							S _{oy}	S _{ox}	S _{oh}	S _y	S _x	S _h				
E16_1	5063003,715	5579046,283	159,496	-0,006	0,006	0,009	0,007	0,007	0,009	0,003	0,003	0,004	-0,007	0,004	0,016	
E16_2	5063003,713	5579046,282	159,501	-0,004	0,007	0,004							-0,005	0,005	0,011	
E16_3	5063003,713	5579046,288	159,500	-0,004	0,001	0,005							-0,005	-0,001	0,012	
E16_4	5063003,710	5579046,287	159,505	-0,001	0,002	0,000							-0,002	0,000	0,007	
E16_5	5063003,704	5579046,291	159,505	0,005	-0,002	0,000							0,004	-0,004	0,007	
E16_6	5063003,697	5579046,300	159,522	0,012	-0,011	-0,017							0,011	-0,013	-0,010	
E16	5063003,709	5579046,289	159,505													
E	5063003,708	5579046,287	159,512													
ARITMETIČKA SREDINA SVIH MJERENJA				min =	-0,014	-0,011	-0,034						min =	-0,017	-0,013	-0,052
				max =	0,012	0,011	0,032						max =	0,018	0,014	0,026

LEGENDA

	Popravka mjerenja, standardna odstupanja mjerenja i standardna odstupanja nepoznanica za pojedine sate
	Popravka mjerenja, standardna odstupanja mjerenja i standardna odstupanja nepoznanica svih mjerenja
	Najvjerovatnije vrijednosti mjerenja pojedinog sata
	Najvjerovatnije vrijednosti svih mjerenja

Tablica 1. Numerička obrada mjerenja