

UDK 528.28.087.2
Stručni članak

Ispitivanje CROPOS-a

Damir ŠANTEK – Glina¹

SAŽETAK. U radu je opisano ispitivanje CROPOS-a s obzirom na točnost sustava u “idealnim uvjetima”, vremenski interval potrebnoga prosječnog mjerenja, vremenski razmak između dvaju mjerenja te indikator kvalitete koordinata (RMS). Analiza je pokazala da “standardni” pokazatelji kvalitete i kvantitete opažanja (broj satelita, PDOP i RMS) nisu dostatni za izvođenje zaključka o tome jesu li rezultati mjerenja unutar proklamirane točnosti, odnosno da 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. Analiza je pokazala da je postotak rješenja koja ne zadovoljavaju postavljeni kriterij točnosti u korelaciji s razlikom vremena fiksiranja rješenja u odnosu na zadani interval opažanja. Ako su navedene razlike manje od 5 sekundi, postotak rješenja koja ne zadovoljavaju postavljeni kriterij točnosti kreće se oko 5%. Također je vidljivo da je moguće smanjiti potrebu za obavljanje dvostrukih (ponovnih) mjerenja ako se uzmu u obzir svi parametri koji definiraju kvalitetu točnosti mjerenja (PDOP, RMS, broj satelita, vremenski interval opažanja i dr.). Rezultati pokazuju da je ovisno o karakteru mjerenja, uz prihvaćanje praga signifikantnosti od 5%, moguće izbaciti ponovljena mjerenja na istoj točki nakon određenoga vremenskog razmaka ako su kriteriji prihvaćanja navedenih četiriju pokazatelja zadovoljena. Navedene hipoteze dodatno će se ispitati kako bi se mogle dokazati.

Ključne riječi: CROPOS, PDOP, točnost, RMS, pouzdanost.

1. Uvod

CROPOS (Hrvatski pozicijski sustav) državna je mreža referentnih GNSS stanica Republike Hrvatske. Svrha je CROPOS-a omogućiti određivanje položaja u realnom vremenu s točnošću od ± 2 cm u horizontalnom smislu te ± 4 cm u vertikalnom smislu na čitavom području države.

CROPOS čini 30 referentnih GNSS stanica na prosječnoj međusobnoj udaljenosti od 70 km, raspoređenih tako da prekrivaju cijelo područje Republike Hrvatske u svrhu prikupljanja podataka satelitskih mjerenja i računanja korekcijskih para-

¹ mr. sc. Damir Šantek, Državna geodetska uprava, Područni ured za katastar Sisak, Odjel za katastar nekretnina Glina, Trg bana Josipa Jelačića 3, HR-44400 Glina, e-mail: damir.santek@dgu.hr.

metara. Korekcijski parametri dostupni su korisnicima na terenu preko mobilnog Interneta (GPRS/GSM).

Koordinate referentnih stanica izračunate su u koordinatnom sustavu ITRF2005, epoha mjerenja 2008.83 (GPS tjedan 1503) te zatim transformirane u sustav ETRF00 (R05) (ETRS89). Koordinate točaka određene pomoću CROPOS-a u realnom vremenu ili naknadnom obradom podataka mjerenja iskazane su u sustavu ETRF00 (R05) (ETRS89).

Korisnicima su na raspolaganju tri servisa CROPOS-a, koji se međusobno razlikuju po metodi rješenja, načinu prijenosa podataka i vremenu dostupnosti te točnosti određivanja položaja i formatu podataka (DGU 2009, tablica 1):

- DSP – diferencijalni servis pozicioniranja u realnom vremenu – točnost ispod 1 m
- VPPS – visokoprecizni servis pozicioniranja u realnom vremenu – centimetarska točnost
- GPPS – geodetski precizni servis pozicioniranja – subcentimetarska točnost.

Tablica 1. *Tri servisa CROPOS-a.*

Servisi CROPOS-a	Metoda rješenja	Prijenos podataka	Točnost	Format podataka
DSP	Umreženo rješenje kodnih mjerenja u realnom vremenu	Wireless Internet (GPRS, UMTS) NTRIP protokol	0,3 m do 0,5 m	RTCM
VPPS	Umreženo rješenje faznih mjerenja u realnom vremenu	Wireless Internet (GPRS, UMTS) NTRIP protokol GSM	2 cm (2D) 4 cm (3D)	RTCM
GPPS	post-processing	Internet (FTP, e-mail)	1 cm (2D, 3D)	RINEX

Servisima CROPOS-a mogu se koristiti svi registrirani korisnici koji su na temelju ugovora s Državnom geodetskom upravom dobili korisničko ime i lozinku za pristup sustavu. Za uporabu podataka korisnik plaća stvarne troškove pojedinih servisa CROPOS-a sukladno Pravilniku o određivanju visine stvarnih troškova uporabe podataka dokumentacije državne izmjere i katastra nekretnina (Republika Hrvatska 2008 i 2009).

1.1. VPPS

Visokoprecizni servis pozicioniranja u realnom vremenu – VPPS (umreženo rješenje faznih mjerenja u realnom vremenu) namijenjen je za obavljanje sljedećih radova u okviru osnovnih geodetskih radova:

1. Uspostavljanje dopunske mreže GNSS točaka
 - referentna mreža 3. reda
2. Progušćenje postojeće dopunske mreže GNSS točaka
 - referentna mreža 3. reda

3. Mjerenje točaka trigonometrijske mreže u svrhu određivanja transformacijskih parametara i transformacije koordinata u HDKS.

Točke dopunske mreže GNSS točaka (referentna mreža 3. reda) potrebno je mjeriti u dva neovisna ponavljanja; jedno ponavljanje ima 3 uzastopna mjerenja – svako mjerenje u trajanju od 30 sekundi (30 epoha mjerenja) nakon inicijalizacije prijavnika (*fixed solution*) u vremenskom razmaku od najmanje 2 sata s elevacijskim kutom od 15°.

Stabilnost nosača GNSS uređaja i antene potrebno je dodatno osigurati tro-nožnim ili dvonožnim držačem tijekom obavljanja mjerenja. Tijekom mjerenja treba voditi odgovarajući zapisnik za obavljanje GNSS mjerenja primjenom VPPS usluge CROPOS-a.

Tehničko izvješće i elaborat primjene visokopreciznog servisa pozicioniranja u realnom vremenu – VPPS trebaju biti izrađeni u skladu s uputama za obavljanje GNSS mjerenja i obrade podataka mjerenja, uputama za izradu tehničkog izvješća i elaborata uspostavljanja stalnih točaka geodetske osnove i uputama za transformaciju koordinata.

Za razliku od obavljanja GNSS mjerenja statičkom metodom, za GNSS mjerenja primjenom visokopreciznog servisa pozicioniranja u realnom vremenu – VPPS potrebno je dostaviti i sljedeće podatke:

- dostava ispisa tzv. *log* ili *report* datoteke GNSS uređaja u kojoj se nalaze rezultati mjerenja s ocjenom točnosti mjerenja
- dostava datoteke projekta mjerenja koja je registrirana u mjernom uređaju ili kontroleru (tzv. *job* datoteke)
- dostava popisa koordinata točaka određenih u ponovljenim mjerenjima i pojedinih mjerenjima
- dostava popisa konačnih vrijednosti koordinata određenih na temelju svih pojedinih mjerenja s ocjenom točnosti.

Servisima CROPOS-a mogu se koristiti svi registrirani korisnici koji su na temelju ugovora s Državnom geodetskom upravom dobili korisničko ime i lozinku za pristup sustavu. Za korištenje podacima korisnik plaća stvarne troškove pojedinih servisa CROPOS-a sukladno Pravilniku o određivanju visine stvarnih troškova uporabe podataka dokumentacije državne izmjere i katastra nekretnina (Republika Hrvatska 2008 i 2009).

2. CROPOS

Svrha je VPPS-a primjena u katastru, odnosno zadovoljavanje postavljenoga kriterija točnosti za određivanje međnih/detaljnih točaka. Poznat je kriterij iz članka 23. Pravilnika o katastarskoj izmjeri i tehničkoj reambulaciji koji kaže da je dopušteno maksimalno odstupanje izmjerenih položajnih koordinata lomnih točaka međa i drugih granica između dvaju neovisnih mjerenja 0,2 m na zemljištu u građevinskom području i građevinskom zemljištu izvan građevinskog područja, odnosno 0,4 m na ostalom zemljištu. Unutar granica

građevinskog područja naselja koja su sjedišta velikih gradova, kao i unutar građevinskog područja naselja koja su u zaštićenom obalnom području, dopušteno maksimalno odstupanje izmjerenih položajnih koordinata lomnih točaka međa i drugih granica između dvaju neovisnih mjerenja je 0,1 m (Republika Hrvatska 2008).

U tom je kontekstu neupitno da kriteriji točnosti postavljeni CROPOS-u za određivanje položaja u realnom vremenu s točnošću od ± 2 cm u horizontalnom smislu te ± 4 cm u vertikalnom smislu na čitavom području države trebaju zadovoljiti taj zahtjev uz 95-postotnu (2σ) vjerojatnost.

S obzirom na to da je pitanje specifikacija primjene GNSS tehnologije preko CROPOS-a ključno za pravilnu implementaciju GNSS-a u katastarskom sustavu, u proteklom je razdoblju učinjen poseban napor da se izrade Tehničke specifikacije za određivanje koordinata točaka u koordinatnom sustavu RH. Tehničke specifikacije objavljene su na službenim stranicama Državne geodetske uprave i stavljene u uporabu Odlukom ravnatelja Državne geodetske uprave od 10. listopada 2011. godine, no njihova je primjena poslije odgođena (odluka ravnatelja Državne geodetske uprave od 10. veljače 2012. godine).

Navedeno je izazvalo značajne polemike pri čemu je jedno od temeljnih pitanja bilo je li potrebno provoditi dvostruka mjerenja pri korištenju ove tehnologije u katastarske svrhe.

Na temelju iskustava u prethodnim radovima (Šantek 2005, Rezo i Novak 2005, Jacobs 2005, Roberts 2005, Yilmaz i dr. 2005, Cina i dr. 2005, Subari i Anuar 2004, Wakker i dr. 2003, Šantek 2002, Nassif 2002, Yang i Kim 2000, Lepetyuk i dr. 2000) provedena su daljnja sveobuhvatna istraživanja s ciljem ovisnosti ulaznih parametara i izlaznih pokazatelja rezultata mjerenja u odnosu na postizanje zadane točnosti i iznalaženja kriterija prihvatljivosti odnosno odbacivanja rezultata s konačnim ciljem utvrđivanja je li potrebno provoditi dvostruka mjerenja ili ne.

3. Točnost sustava u idealnim uvjetima

U ovom poglavlju obavljeno je ispitivanje CROPOS-a s obzirom na točnost sustava u “idealnim uvjetima”. Pod idealnim se uvjetima smatra:

- nesmetana vidljivost neba; preporučeni minimalni kut elevacije je 15°
- minimalni utjecaj višestaznih (multipath) učinaka
- izbjegnuti ometajući izvori zračenja (npr. odašiljači, usmjereni radio-prijamnik, visokonaponski vodovi)
- PDOP maksimalno 6.

Ispitivan je vremenski interval potrebnoga prosječnog mjerenja, vremenski razmak između dvaju mjerenja te utjecaj indikatora kvalitete koordinata (RMS).

Uređaj Trimble R8-2 (s/n: 4831156151) bio je postavljen na jednu stalnu točku geodetske osnove 48 sati. Stabilnost nosača GNSS uređaja i antene

dodatno je osigurana dvonožnim držačem tijekom obavljanja mjerenja. Ukupno je mjereno četiri dana u vremenskom razdoblju od 7.00 sati do 23.00 sata svakog dana. Svakog punog sata obavljene su četiri vrste mjerenja na jednoj točki:

- mjerenje u trajanju 5 sekundi
- mjerenje u trajanju 30 sekundi
- mjerenje u trajanju 90 sekundi
- mjerenje u trajanju 150 sekundi.

Prilikom mjerenja korišten je VPPS servis CROPOS-a za koji DGU osigurava centimetarsku točnost (GNSS RTK metoda). Spomenuti je servis dovoljan za: katastarsku izmjeru, dio inženjerske geodezije, izmjeru državne granice, aerofotogrametriju i hidrografiju. Vremenski uvjeti bili su različiti (sunčano, kišno s vremenskom amplitudom od 10 °C tijekom dana). Horizont je bio gotovo čist, nije bilo reflektirajućih površina ni komunikacijskih vodova. Sva su opažanja obavljena u koordinatnom sustavu HTRS96.

Prikazana su odstupanja po koordinatnim osima u centimetrima, vrijednost PDOP-a, broj satelita i vrijednost RMS-a. RMS je temeljna jedinica za pogrešku kod GPS-a (Gregory 1996). RMS predstavlja 68-postotnu vjerojatnost ($2RMS = 95$ -postotna vjerojatnost).

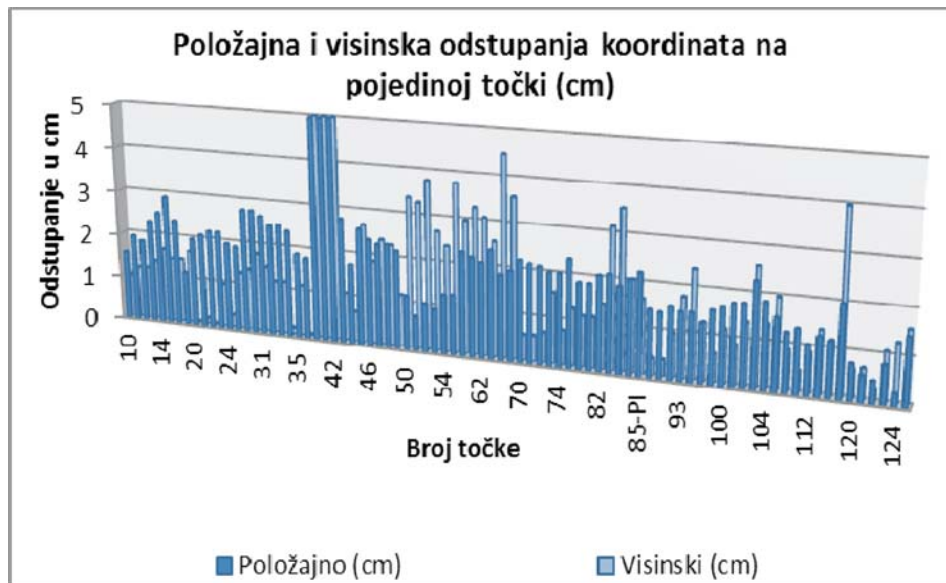
Odstupanja po koordinatnim osima prikazana su tako da je na jednoj koordinatnoj osi ime točke (10, 20,...), a druga koordinatna os pokazuje odstupanje u centimetrima.

Sva mjerenja obavljena su u sljedećim danima tjedna: nedjelja, ponedjeljak, utorak i srijeda. Točke koje su mjerene nedjeljom nemaju oznaku dana ispred imena točke, a točke koje su mjerene ponedjeljkom imaju oznaku P ispred imena točke (npr. P-205), utorkom imaju oznaku U (npr. U-400) te srijedom imaju oznaku S (npr. S-513).

3.1. Ispitivanje/testiranje 15. travnja 2012.

U nedjelju, 15. travnja 2012. godine, obavljana su mjerenja u vremenskom razdoblju od 11.05 sati do 23.06 sati, svakog punog sata, u trajanju intervala od 5 sekundi, 30 sekundi, 90 sekundi i 150 sekundi.

Položajno odstupanje nalazi se unutar 3 cm, osim na točkama: 40 (11,66 cm), 41 (13,93 cm) i 42 (11,05 cm). Visinsko odstupanje nalazi se unutar 4 cm, osim na točkama: 40 (34,67 cm), 41 (44,77 cm) i 42 (33,67 cm). Vrijednost PDOP-a ne prelazi 3. Minimalni broj satelita je 10. Vrijednost RMS-a je do 30, osim na točkama 40 (54,583), 41 (142,661), 42 (98,405) i 43 (127,386). Iz toga se može zaključiti da se unatoč dobroj vrijednosti PDOP-a (manjoj od 3) i dovoljnom broju satelita (minimalno 10) ne smije zanemariti vrijednost RMS-a. Na navedenim točkama izražena je pojačana vrijednost RMS-a što je imalo i utjecaj na položajno i visinsko odstupanje koordinata.



Slika 1. Položajna i visinska odstupanja koordinata na pojedinoj točki.

Analizirajući na grafu (slika 1) položajna i visinska odstupanja koordinata na pojedinoj točki, bez točaka 40, 41 i 42, zaključujemo da nema izraženijeg trenda odstupanja koordinata pojedinih točaka.

Kao ocjena točnosti izračunata je srednja pogreška po koordinatnim osima, koja iznosi (bez točaka 40, 41 i 42): $m_y = \pm 1,84$ cm; $m_x = \pm 0,64$ cm; $m_z = \pm 1,88$ cm.

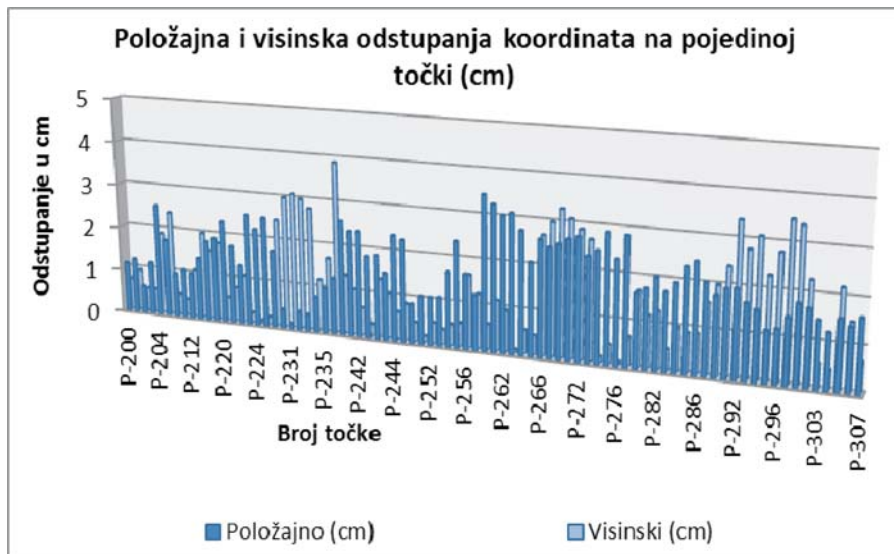
3.2. Ispitivanje/testiranje 16. travnja 2012.

U ponedjeljak, 16. travnja 2012. godine, obavljena su mjerenja u vremenskom razdoblju od 07.04 sata do 19.22 sata, svakog punog sata, u trajanju intervala od 5 sekundi, 30 sekundi, 90 sekundi i 150 sekundi.

Položajno odstupanje nalazi se unutar 3 cm, osim na točkama: P-260 (3,49 cm), P-261 (3,29 cm), P-262 (3,07 cm) i P-263 (3,13 cm). Vremenski interval mjerenja je 5 sekundi na točkama P-260, P-261 i P-262 te 30 sekundi na točki P-263. Visinsko odstupanje nalazi se unutar 4 cm. PDOP-a ne prelazi vrijednost od 3. Minimalni broj satelita je 10. Vrijednost RMS-a je do 40, osim na točkama P-306 (44,332) i P-307 (59,906). Nije vidljiv utjecaj vrijednosti RMS-a na odstupanje koordinata.

Analizirajući na grafu (slika 2) položajna i visinska odstupanja koordinata na pojedinoj točki, zaključujemo da nema izraženijeg trenda odstupanja koordinata pojedinih točaka.

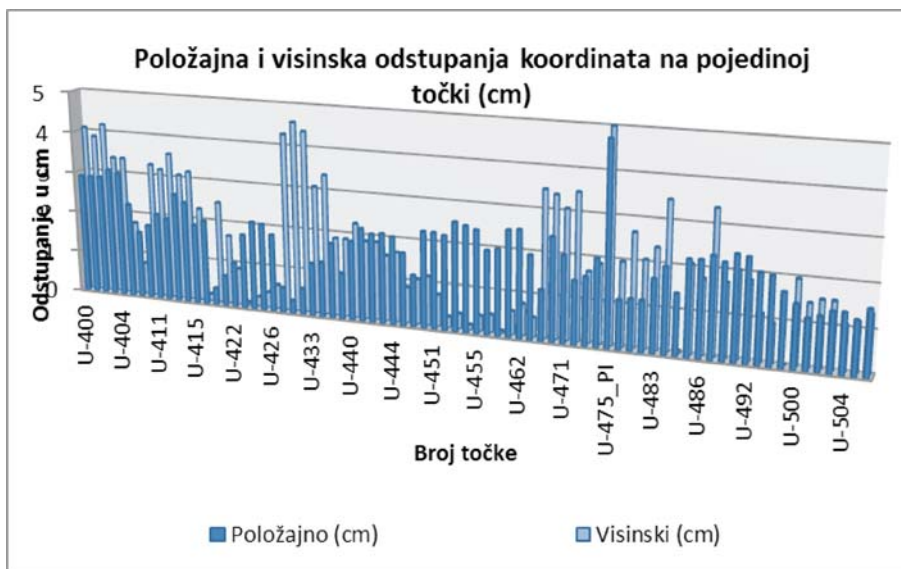
Kao ocjena točnosti izračunata je srednja pogreška po koordinatnim osima koja iznosi: $m_y = \pm 1,75$ cm; $m_x = \pm 0,91$ cm; $m_z = \pm 1,74$ cm.



Slika 2. Položajna i visinska odstupanja koordinata na pojedinoj točki.

3.3. Ispitivanje/testiranje 17. travnja 2012.

U utorak, 17. travnja 2012. godine, obavljena su mjerenja u vremenskom razdoblju od 07.01 sat do 19.38 sati, svakog punog sata, u trajanju intervala od 5 sekundi, 30 sekundi, 90 sekundi i 150 sekundi.



Slika 3. Položajna i visinska odstupanja koordinata na pojedinoj točki.

Položajno odstupanje nalazi se unutar 3 cm, osim na točki U-475-PI (4,79 cm). Visinsko odstupanje nalazi se unutar 4 cm, osim na točkama: U-400 (4,07 cm), U-402 (4,17 cm), U-430 (4,27 cm), U-431 (4,57 cm), U-432 (4,37 cm) i U-475-PI (9,97 cm). Vremenski interval mjerenja je 5 sekundi na točkama U-400, U-402, U-430, U-431, U-432 te 30 sekundi na točki U-475-PI. Vrijednost PDOP-a ne prelazi 3. Minimalni broj satelita je 10. Vrijednost RMS-a je do 50, osim na točki U-475-PI, gdje uređaj nije registrirao vrijednost RMS-a (nepoznata vrijednost) i to je imalo velik utjecaj na odstupanje koordinata. Iz obrađenih podataka vidljiv je velik skok vrijednosti RMS-a na pet prethodno mjerenih točaka što je imalo utjecaj i na kvalitetu visinskog odstupanja na navedenim točkama (U-470, U-471 i U-472).

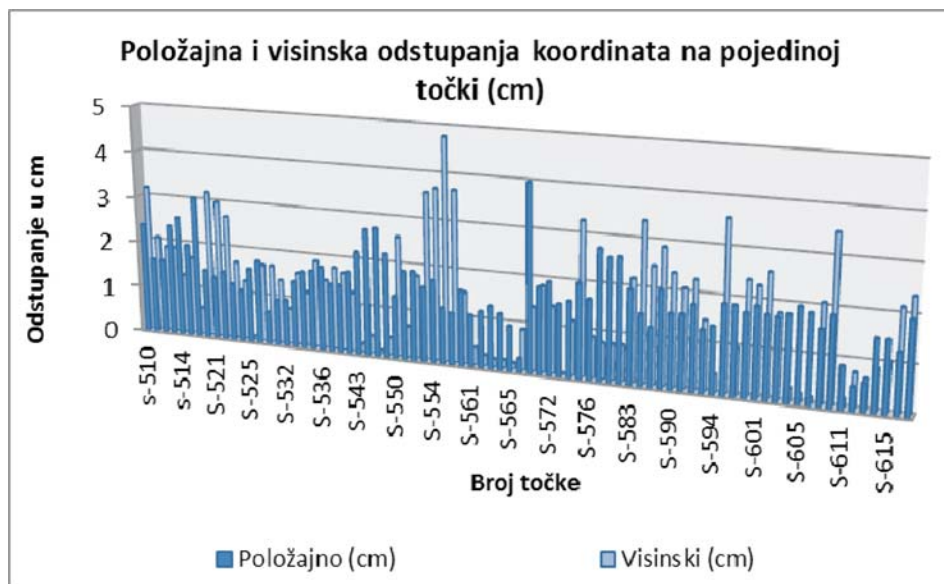
Analizirajući na grafu (slika 3) položajna i visinska odstupanja koordinata na pojedinoj točki, zaključujemo da nema izraženijeg trenda odstupanja koordinata pojedinih točaka.

Kao ocjena točnosti izračunata je srednja pogreška po koordinatnim osima koja iznosi: $m_y = \pm 1,84$ cm; $m_x = \pm 0,74$ cm; $m_z = \pm 2,29$ cm.

3.4. Ispitivanje/testiranje 18. travnja 2012.

U srijedu, 18. travnja 2012. godine, obavljena su mjerenja u vremenskom razdoblju od 07.37 sati do 19.18 sati, svakog punog sata, u trajanju intervala od 5 sekundi, 30 sekundi, 90 sekundi i 150 sekundi.

Položajno odstupanje nalazi se unutar 3 cm, osim na točki S-570 (4,02 cm). Visinsko odstupanje nalazi se unutar 4 cm, osim na točki S-555 (4,77 cm). Vremenski interval mjerenja je 5 sekundi na točkama S-570 i S-555. Vrijednost PDOP-a ne



Slika 4. Položajna i visinska odstupanja koordinata na pojedinoj točki.

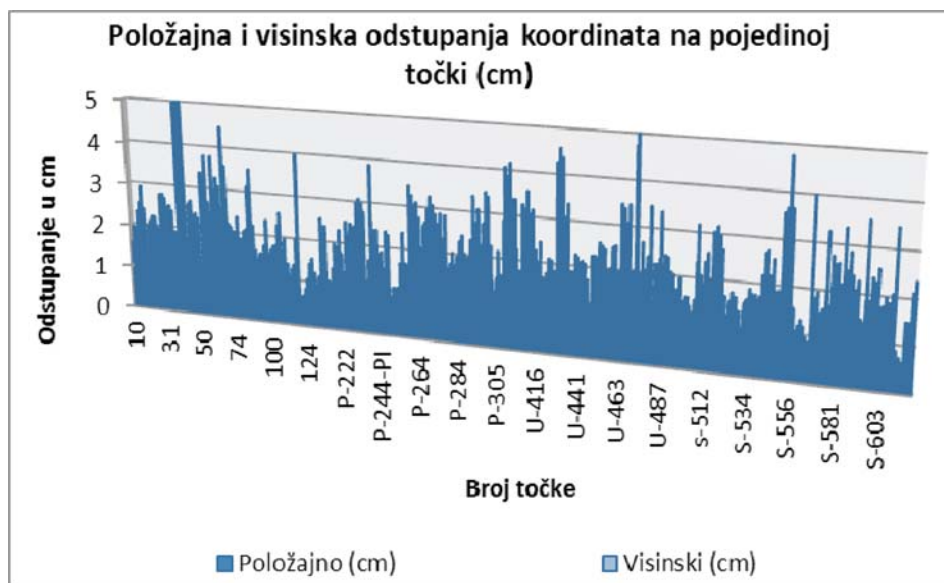
prelazi 3. Minimalni broj satelita je 10. Vrijednost RMS-a je do 50. Nagli skokovi vrijednosti RMS-a imaju utjecaj na visinsko odstupanje koordinate.

Analizirajući na grafu (slika 4) položajna i visinska odstupanja koordinata na pojedinoj točki, zaključujemo da nema izraženijeg trenda odstupanja koordinata pojedinih točaka.

Kao ocjena točnosti izračunata je srednja pogreška po koordinatnim osima koja iznosi: $m_y = \pm 1,66$ cm; $m_x = \pm 0,69$ cm; $m_z = \pm 1,92$ cm.

4. Analiza rezultata ispitivanja CROPOS-a

Na temelju podataka mjerenja i izvedene ocjene točnosti uočene su primjetne razlike u rezultatima (koordinatama) tijekom mjerenja. Na slici 5 prikazano se kako se podaci referentnih standardnih odstupanja mjerenja mijenjaju tijekom proteka vremena. Važno je istaknuti nepouzdanost koordinata, koja je najizraženija u "h"-komponenti te se stoga može zaključiti kako GNSS RTK metoda primjenom CROPOS-a (VPPS servis) nije pogodna za precizna visinska mjerenja ili iskolčenja točaka.



Slika 5. Položajna i visinska odstupanja koordinata na pojedinoj točki.

U tablici 2 prikazani su rasponi minimalnih i maksimalnih vrijednosti popravaka koordinata u položajnom i visinskom smislu.

Evidentno je da je daleko najveći raspon između minimalne i maksimalne vrijednosti popravke izražen u vertikalnoj komponenti (48,30 cm).

S obzirom na vremenski interval potrebnoga prosječnog mjerenja, u ispitivanju su primijenjena četiri različita vremenska intervala: mjerenje u intervalu od 5

Tablica 2. Minimalne i maksimalne vrijednosti popravaka koordinata.

	v_y (cm)	v_x (cm)	v_h (cm)
Minimalna	-0,30	-4,70	-3,53
Maksimalna	12,80	5,50	44,77

sekundi, 30 sekundi, 90 sekundi i 150 sekundi. Iz prakse je poznato da svi intervali duži od 30 sekundi, na terenu prilikom RTK mjerenja, izgledaju kao “vječnost”, unatoč tomu što je pri “klasičnom” mjerenju potrebno centrirati instrument, upisati metapodatke i dr. Također, poznato je da mjerenje u vremenskom intervalu od 30 sekundi za geometriju znači isto što i deset mjerenja u vremenskom intervalu od 3 sekunde. Kod GPS-a sateliti se kreću brzinom od 4 kms^{-1} , tako da se svake 3 sekunde nalaze 12 km dalje i nakon 30 sekundi 120 km dalje. U provedenim ispitivanjima u prethodnom poglavlju vidljivo je da vremenski interval mjerenja na točkama od 5 sekundi i 30 sekundi daje lošije rezultate.

Ako izuzmemo “h”-komponentu u vremenskom intervalu većem od 30 sekundi, vidi se “ujednačenost” položajnih koordinata, nema velikih skokova i položajna je točnost unutar tri (3) cm. Dakle, s obzirom na provedena ispitivanja možemo zaključiti da mjerenja koja imaju vremenski interval duži od 30 sekundi imaju ravnomjerniju krivulju položajnih koordinata, tj. mjerenja su točnija.

Kako je prije navedeno, mjerenja su obavljana u vremenskim intervalima od 5 sekundi, 30 sekundi, 90 sekundi i 150 sekundi. Ukupno je obavljeno 317 mjerenja tijekom četiri dana. U uređaju su bili zadani vremenski intervali mjerenja (u tablici 3 prikazana su vremena potrebna za fiksiranje rješenja) i ona su grupirana u pet grupa. Prva grupa obuhvaća ona mjerenja u kojima je odstupanje od zadanog intervala bilo između -5 sekundi i -43 sekunde. Druga grupa obuhvaća mjerenja u kojima je odstupanje od zadanog intervala bilo između 0 sekundi i -5 sekundi. U trećoj su grupi mjerenja u kojima nije bilo odstupanja u sekundama od zadanoga vremenskog intervala. Četvrta grupa obuhvaća mjerenja u kojima je odstupanje od zadanog intervala bilo između 0 i 5 sekundi, a peta grupa mjerenja u kojima je odstupanje bilo između 5 i 20 sekundi. Dobiveni su podaci da se u odstupanjima u intervalu od -5 sekundi do 5 sekundi nalazi 95,27% svih mjerenja. Najveće odstupanje od zadanoga vremenskog intervala je -43 sekunde, što znači da je mjerenje trajalo 43 sekunde duže u odnosu na zadani interval, dok je kod odstupanja od 20 sekundi mjerenje trajalo 20 sekundi kraće nego što je iznosio zadani interval.

Statistički gledajući, iz uzorka u tablici 3 je vidljivo da se u intervalu od -5 sekundi do 5 sekundi nalazi 95,27% svih mjerenja i iz te grupe mjerenja 11,32% ne zadovoljava zadanu točnost. U ostalim intervalima koji su veći od 5 sekundi nalazi se 4,73% svih mjerenja i iz te grupe mjerenja 57,14% ne zadovoljava zadanu točnost.

Iz toga se može zaključiti da fokus treba biti na onim mjerenjima koja traju duže od zadanog. S aspekta mjerenja jednoznačno se na terenu može tomu posvetiti posebna pozornost i u tom kontekstu potrebno je razraditi upute za primjenu GNSS tehnologije. Također, možemo zaključiti da ona mjerenja koja zadovoljavaju kriterije anticipiramo kao točna s određenim pragom signifikantnosti. Takvim postupkom bilo bi moguće ponavljanje mjerenja (dvostruka mjerenja) drastično smanjiti, ali ne i eliminirati.

Tablica 3. *Grupiranje odstupanja pojedinih mjerenja s obzirom na zadani vremenski interval.*

Ukupno opažanja	Ukupan broj opažanja	Postotak %	Broj opažanja u grupi koja ne zadovoljavaju točnost	Postotak %
Interval od -5 sekundi do -43 sekunde	7	2,21	4	57,14
Interval od 0 sekundi do -5 sekundi	230	72,56	13	5,65
Interval od 0 sekundi	31	9,78	1	3,23
Interval od 0 sekundi do 5 sekundi	41	12,93	1	2,44
Interval od 5 sekundi do 20 sekundi	8	2,52	0	0,00

Vežano uz položajnu točnost koordinata proizlazi da sva mjerenja koja su imala odstupanja u intervalu većem od ± 5 sekundi imaju položajnu točnost manju od 3 cm: točke 40 (-23 sekunde), 41 (-7 sekundi), 42 (-10 sekundi), U-475-PI (-15 sekundi). Te točke imale su povećanu vrijednost RMS-a (tablica 4).

Tablica 4. *Položajna točnost koordinata s obzirom na vremensko odstupanje od zadanih intervala mjerenja.*

Broj točke	Odstupanje (sekunde)	Položajna točnost (cm)	RMS
40	-23	11,66	54,583
41	-7	13,93	142,661
42	-10	11,05	98,405
P-260	-1	3,49	14,780
P-261	-1	3,29	15,369
P-262	-1	3,07	15,941
P-263	-1	3,13	23,946
U-403	-1	3,11	33,667
U-404	-1	3,04	24,893
U-475_PI	-15	4,79	?
s-516	0	3,07	21,733
S-570	-1	4,02	13,213

Za točke koje su imale odstupanja u intervalu unutar ± 5 sekundi, a imaju položajnu točnost manju od 3 cm [točke: P-260 (-1 sekunda) i S-570 (-1 sekunda)] karakterističan je broj satelita (broj satelita je 10). Za te dvije točke naglo je pao broj satelita s 15 na 10, što je u konačnici imalo utjecaj na kvalitetu koordinata.

Vežano uz visinsku točnost koordinata proizlazi da sva mjerenja koja su imala odstupanja u intervalu većem od ± 5 sekundi imaju visinsku točnost manju od 4 cm [točke: 40 (–23 sekunde), 41 (–7 sekundi), 42 (–10 sekundi), U-475-PI (–15 sekundi)]. Te točke imale su povećanu vrijednost RMS-a (tablica 5).

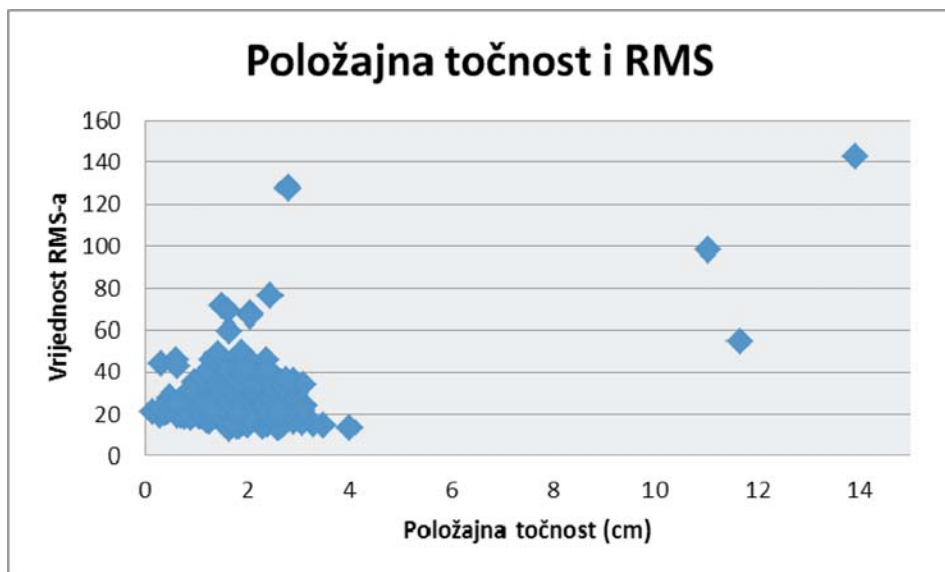
Tablica 5. *Visinska točnost koordinata s obzirom na vremensko odstupanje od zadanog intervala mjerenja.*

Broj točke	Odstupanje (sekunde)	Visinska točnost (cm)	RMS
40	–23	34,67	54,583
41	–7	44,77	142,661
42	–10	33,67	98,405
64	–1	4,47	22,829
U-400	–2	4,07	32,579
U-402	–2	4,17	35,822
U-430	–1	4,27	45,690
U-431	–1	4,57	44,142
U-432	–2	4,37	42,948
U-475_PI	–15	9,97	?
S-555	1	4,77	18,108

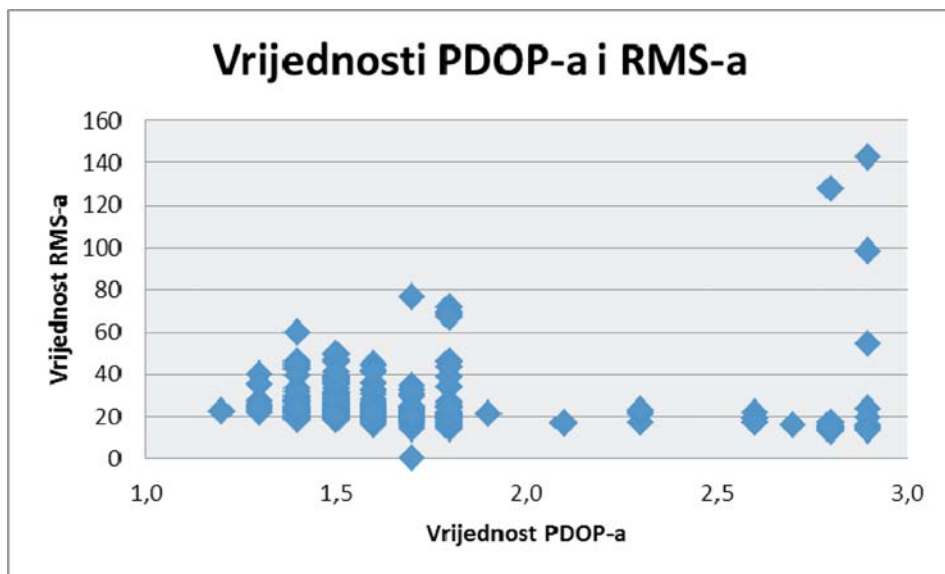
Točke 64 (–1 sekunda) i S-555 (1 sekunda) nalaze se u grupi točaka s odstupanjem unutar ± 5 sekundi te iz podataka mjerenja promatranog uzorka nije vidljiv razlog visinske točnosti manji od 4 cm. Točke U-430 (–1 sekunda), U-431 (–1 sekunda) i U-432 (–2 sekunde) nalaze se u grupi točaka s odstupanjem unutar ± 5 sekundi te je iz podataka mjerenja promatranog uzorka vidljivo da je visinska točnost manja od 4 cm, zbog toga što je vremenski interval opažanja bio 5 sekundi. Na ostalim vremenskim intervalima od 30 sekundi, 90 sekundi i 150 sekundi visinska je točnost unutar postavljene granice od 4 cm.

“Dvostruko mjerenje” (mjerenje iste točke u dva različita vremenska intervala) u geodetskoj je praksi postalo uobičajena procedura. Registriraju se: grube pogreške, krivi odabir točke koja se mjeri, kontrolira se izmjerena visina antene, multipath i dr. Može se zaključiti da nije potrebno drugo kontrolno mjerenje uz uvjet da su ispunjeni uvjeti iz teorije (PDOP, RMS, broj satelita i dr.). Iz rezultata mjerenja vidljivo je da broj satelita ni u jednom trenutku tijekom četiri dana nije bio manji od deset. Posebnu pozornost treba posvetiti RMS-u (Root Mean Square) koji daje grube procjene kvalitete koordinata. Manja vrijednost RMS-a daje bolju vrijednost koordinate. RMS ne isključuje vanjske utjecaje kao što su multipath, krivo centriranje i sl. Na slikama 6, 7 i 8 vidi se veza položajne točnosti, PDOP-a, broja satelita, epoha mjerenja i vrijednosti RMS-a. Na temelju promatranog uzorka vidljivo je da je vrijednost RMS-a koja je bila veća od 80 imala utjecaj na položajnu točnost. Dalje, kod povećane vrijednosti PDOP-a (u promatranom uzorku maksimalna vrijednost je 2.9) vrijednost RMS-a imala je maksimalne vrijednosti. Iz pro-

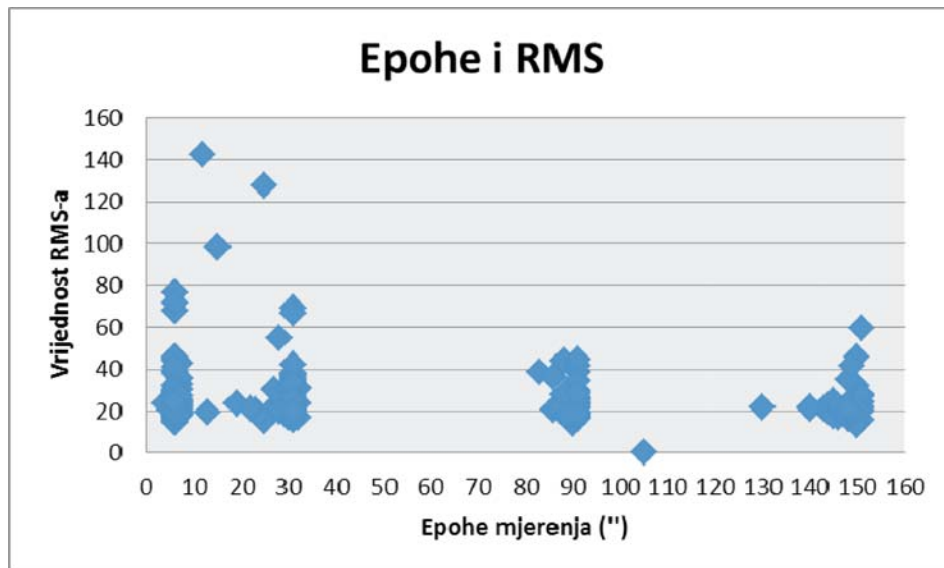
matranog uzorka vidljivo je, također, da je kod minimalnog broja satelita (minimalna vrijednost u promatranom uzorku je 10) vrijednost RMS-a maksimalna. Vrijednost RMS-a daje grubu procjenu određivanja položaja i kao takva je dobar indikator za “izbacivanje” loših mjerenja.



Slika 6. Položajna točnost i RMS.



Slika 7. Vrijednosti PDOP-a i RMS-a.



Slika 8. *Epohe mjerenja i vrijednost RMS-a.*

Poznato je da točnost određivanja koordinata točaka pomoću GNSS-a ovisi o točnosti elemenata putanje satelita i mjerenih veličina, ali isto tako i o konfiguraciji satelita. Geometrijsko mjerilo za kvalitetu konfiguracije satelita je volumen tijela što ga formiraju jedinični vektori sa stanice prema opažanim satelitima. Što je veći volumen, bolja je geometrija. Kriterij je PDOP (manji PDOP – bolja geometrija – veća točnost). Vrijednost je PDOP-a jako dobra ako se kreće u intervalu 1–3, dobra u intervalu 4–5, granična ako je 6 i nezadovoljavajuća ako je veća od 6. Iz rezultata koji su prikazani vidljivo je da PDOP nije prelazio vrijednost 3 bez obzira na to što je mjerenje trajalo ukupno četiri dana. Iz prikazanih rezultata mjerenja dade se zaključiti da se kao granična vrijednost PDOP-a može uzeti vrijednost 3.

Umjesto zaključka proizlazi nekoliko činjenica. Na položajnu i visinsku točnost koordinate utječu vrijednost PDOP-a, broj satelita, broj epoha opažanja i RMS. Na slikama 6, 7 i 8 vidljivo je da je osnovni indikator kvalitete mjerenja vrijednost RMS-a, koja je bila najveća pri najvećoj vrijednosti PDOP-a, najmanjem broju satelita i pri najmanjem broju epoha mjerenja.

Stoga je potrebno prilikom mjerenja uz primjenu GNSS uređaja (mjerenja na terenu) sve te parametre uzeti u obzir. Ako je vrijednost svih parametara u optimalnim (propisanim) teorijskim uvjetima, možemo zaključiti da nije potrebno obavljati ponovno (dvostruko) kontrolno mjerenje. Unatoč tomu što GNSS uređaji pohranjuju podatke o točki, ako je neki od parametara izvan dopuštene (teorijske) vrijednosti, potrebno je posebnu pozornost posvetiti kvaliteti dobivenih koordinata. Kao jedino moguće rješenje nameće se ponovna inicijalizacija i ponovno mjerenje točke ako je neki od navedenih parametara tijekom mjerenja “izišao” izvan dopuštenog odstupanja. To je u konačnici jednostavnije, brže i efikasnije nego točku mjeriti nakon proteka dva sata ili na neki drugi način (tablica 6).

Tablica 6. Položajna točnost manja od 3 cm i visinska točnost manja od 4 cm.

Broj točke	Odstupanje epohe (sekunde)	PDOP	RMS	Broj satelita	Položajna točnost (cm)	Visinska točnost (cm)
40	-23	2,9	54,583	10	11,66	34,67
41	-7	2,9	142,661	10	13,93	44,77
42	-10	2,9	98,405	10	11,05	33,67
U-400	-2	1,6	32,579	12	2,91	4,07
U-402	-2	1,6	35,822	12	2,92	4,17
U-475_PI	-15	1,7	?	14	4,79	9,97

Tablica 6 pokazuje da je uzmemo li u obzir sva četiri navedena pokazatelja kvalitete točnosti (epohe mjerenja, PDOP, RMS i broj satelita) te usporedimo položajnu i visinsku točnost koordinata (usporedimo zajedno zato što GNSS uređaji daju 3D koordinatu), iz promatranog uzorka vidljivo da je ili položajna ili visinska točnost izvan dopuštenog odstupanja ako je neki od navedena četiri pokazatelja bio “izvan” svojih teorijskih ili prije zadanih vrijednosti.

Od ukupno 317 točaka koje su mjerene tijekom četiri dana svakog sata u vremenskim razdobljima od 12 sati proizašlo je da jedna točka (U-475_PI) nije imala vrijednost RMS-a, tri točke (40, 42, 42) imale su duže mjerenje od zadanoga (do -23 sekunde), a dvije su točke imale duže mjerenje od 2 sekunde i povećani RMS i one se nalaze na granici dopuštenog odstupanja.

5. Zaključak

Samo kvalitetnom analizom podataka mjerenja prilikom GNSS mjerenja na terenu možemo sa sigurnošću reći koordinate kojih točaka se nalaze unutar dopuštenih odstupanja i za koje nije nužno potrebno ponovno mjerenje te tako postići efikasnu i kvalitetnu uporabu GNSS uređaja. Analiza provedenih testiranja pokazuje da veliki postotak GNSS mjerenja zadovoljava postavljene kriterije točnosti te da postoji veza s brojem korištenih GNSS-a, brojem opažanih satelita te elevacijskom maskom, a (danas) u manjoj mjeri s DOP faktorom (koji je i funkcija prethodnih parametara). Također, takvim pristupom bilo bi moguće ponavljanje mjerenja (dvostruka mjerenja) drastično smanjiti, ali ne i eliminirati. U doktorskoj disertaciji dat će se cjeloviti prikaz dobivenih rezultata sa zaključcima.

Literatura

- Cina, A., Manzano, A. M., Roggero, M. (2005): RTK Positioning in Cadastral GIS Updating, Department of Georesource and Territory, Torino, Italy.
- Državna geodetska uprava (2009): CROPOS priručnik za korisnike, Državna geodetska uprava, Zagreb.
- Gregory, T. F. (1996): Understanding the GPS – What It Is and How It Works, GeoResearch, Inc.
- Jacobs, G. P. (2005): Assessing RTK GPS for a Suburban Survey Practice, University of Southern Queensland, Faculty of Engineering and Surveying, Australia.
- Lepetyuk, B., Lyashchenko, A., Karpinsky, J., Kulik, V. (2000): State and prospects of development of Geoinformation mapping in Ukraine, Ministry of Environment and Natural Resources of Ukraine, Ukraine.
- Nassif, E. N. (2002): A Radical Solution for the Cadastre Problem in Egypt Using Integrated GPS-GIS System, Survey Research Institute, Giza, Egypt.
- Republika Hrvatska (2008): Pravilnik o katastarskoj izmjeri i tehničkoj reambulaciji, Narodne novine, br. 147/08.
- Republika Hrvatska (2008 i 2009): Pravilnik o određivanju visine stvarnih troškova uporabe podataka dokumentacije državne izmjere i katastra nekretnina, Narodne novine, br. 148/08, 75/09.
- Rezo, M., Novak, Z. (2005): Primjena i točnost RTK metode, Godišnjak geodetskog društva Herceg-Bosne, Mostar.
- Roberts, C. (2005): GNSS for Cadastral Surveying – Practical Considerations, Spatial Sciences Institute, Melbourne.
- Subari, M. D., Anuar, K. (2004): Experiencing the Use of GPS-RTK for Cadastre Surveys in Malaysia, 3rd FIG Regional Conference, Jakarta, Indonesia.
- Šantek, D. (2002): Primjena RTK GNSS mjerenja u katastarskoj izmjeri, magistarski rad, Zagreb.
- Šantek, D. (2005): Zajednički projekt tehničke suradnje između Savezne Republike Njemačke i Državne geodetske uprave – Pilot projekta Neretva – primjena novih tehnologija u katastarskoj izmjeri, Državna geodetska uprava, Zagreb.
- Wakker, W. J., Molen, P., Lemmen, C. (2003): Land registration and cadastre in the Netherlands, and the role of cadastral boundaries: The application of GPS technology in the survey of cadastral boundaries, Netherland's Cadastre and Land Registry Agency, Apeldoorn, Netherlands.
- Yang, C., Kim, S. (2000): The current status of GNSS network, Datum transformation and Real Time Kinematic GNSS positioning in Korea, Ministry of Government and Home Affairs, Department of Cadastre, Korea.
- Yilmaz, I., Tiryakioglu, I., Taktak, F., Uysal, M. (2005): Using RTK GPS Method in creation of Digital Terrain Model, Department of Geodesy and Photogrammetry, Afyonkarahisar, Turkey.

Testing of CROPOS

ABSTRACT. The paper describes the testing of CROPOS with considering to the accuracy of the “ideal conditions”, the time interval required average measurement, span between two measurements and quality indicator coordinates (RMS). The analysis showed that the “standard” indicators of quality and quantity of observations (number of satellites, PDOP and RMS) alone are not sufficient for the conclusion that the results of measurements within proclaimed accuracy, that there are situations in which the data is satisfactory, and the result is not. Therefore, further analyses were conducted with the studied time interval fixing solutions in relation to the specified time observations. The analysis showed that the percentage of solutions that do not meet the criterion of accuracy correlated with the difference of time fixing solutions in relation to the default interval observations. If these differences are less than 5 seconds, the percentage of solutions that do not meet the criterion of accuracy is around 5%. It is also evident that it is possible to reduce the need to perform double (repeated) measurements if we take into account all the parameters that define the quality of the measurement accuracy (PDOP, RMS, number of satellites, the time interval of observations, etc.). The results indicate that, depending on the nature of measurement, the acceptance threshold of significance of 5%, you can throw out repeated measurements at the same point after a period of time if the acceptance criteria listed four indicators met. This hypothesis will be further examined in order to be able to prove it.

Keywords: CROPOS, PDOP, accuracy, RMS, reliability.

Primljeno: 2013-09-26

Prihvaćeno: 2013-10-16