

MOGUĆNOSTI PRIMJENE PPP METODE ZA POTREBE KATASTARSKE IZMJERE

Danijel Šugar¹, Željko Bačić¹ Nikola Kraljić²

¹Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Hrvatska (e-mail: dsugar@geof.hr; zbacic@geof.hr)

²Građevinarstvo i proizvodnja d.d. Krk, Hrvatska (e-mail: nikola.kraljic@gp-krk.hr)

Sažetak

Precise Point Positioning (PPP) apsolutna je metoda određivanja koordinata točaka primjenom Globalnih Navigacijskih Satelitskih Sustava (GNSS). Uobičajeno se danas u geodetskoj praksi određivanje koordinata točaka izvodi pomoću mrežne RTK (Real Time Kinematic) metode, a za uspostavu geodetske osnove za potrebe katastarskih izmjera koristi se i statička relativna metoda. Primjena navedenih metoda u praksi pretpostavlja postojanje permanentne GNSS mreže uobičajeno uspostavljene na nacionalnoj razini. Kada takva mreža ne postoji ili njezini servisi nisu dostupni, koordinate točaka mogu se odrediti PPP metodom za što je potreban samo jedan dvofrekvencijski GNSS prijamnik, podaci preciznih efemerida i podaci satova satelita. Danas je PPP metoda dostupna putem internetskih servisa (npr. CSRS-PPP, Trimble RTX, magicGNSS, APPS, GAPS) ili offline alata (npr. gLAB). Ispitane su mogućnosti određivanja koordinata pomoću navedenih servisa i alata na osnovi podataka opažanja CROPOS stanice u Bjelovaru (BJEL). Koristeći podatke iz dvije trosatne i dvije šestosatne sesije preuzetih u RINEX formatu izračunata su rješenja. Dobiveni rezultati analizirani su i uspoređeni s referentnim vrijednostima koordinata određenima u ETRF2000(R05), $e = 2008.83$ koje su zbog pravilne usporedbe i analize rezultata transformirane u referentni okvir preciznih efemerida ITRF2014 i aktualnu epohu opažanja 2017.96. Dodatno, analizirani su rezultati dobiveni iz opažanja trosatnih i šestosatnih sesija te je procijenjeno vrijeme konvergencije potrebno da bi se postigli rezultati sa zadovoljavajućom točnošću.

Ključne riječi: PPP, GNSS, internetski servisi, offline alat, vrijeme konvergencije.

1. UVOD

U geodetskoj operativi u Republici Hrvatskoj danas se za potrebe određivanja koordinata točaka primjenom metoda satelitskog pozicioniranja često koriste servisi CROPOS-a: VPPS (Visokoprecizni servis pozicioniranja) i GPPS (Geodetski precizni servis pozicioniranja). VPPS predstavlja umreženo rješenje faznih opažanja omogućavajući određivanje koordinata u realnom vremenu s cm točnošću (2D), 4 cm (3D)), dok GPPS nudi statičke podatke opažanja za naknadnu obradu omogućavajući sub-cm točnost (URL-1). Tehničkim specifikacijama za određivanje koordinata točaka u koordinatnom sustavu Republike Hrvatske (URL-2) uređen je način određivanja koordinata za potrebe katastra zemljišta, nekretnina i vodova. Tako se koordinate pomoćnih i detaljnih točaka određuju korištenjem CROPOS-a (VPPS i GPPS) te GNSS metodama mjerenja. Pri određivanju koordinata pomoćnih točaka treba ispuniti uvjet točnosti propisan za IV razred preciznosti položaja geodetske osnove kako je i propisano *Pravilnikom o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova* (NN 11/2017). Minimalno trajanje opažanja za određivanje detaljnih točaka primjenom VPPS-a je 5 sekundi (epoha) u jednom neovisnom mjerenju (URL-2). Istim je *Pravilnikom* propisano uspostavljanje i održavanje stalnih točaka geodetske osnove za potrebe uspostavljanja i održavanja katastra nekretnina. Hrvatski terestrički referentni sustav (HTRS) sastoji se od mreže GNSS točaka koja se nadalje dijeli na osnovnu (državna mreža referentnih GNSS stanica – CROPOS, referentne mreže 0., 1. i 2. reda) i dopunsku ili popunjavajuću mrežu (referentna mreža 3. reda). Referentna mreža 3. reda predstavlja točke geodetske osnove za obavljanje katastarskih izmjera, a određuju se metodom statičkih GNSS mjerenja u odnosu na referentne točke viših redova, korištenjem VPPS ili GPPS CROPOS-a primjenom metoda i postupaka mjerenja potrebnih da se zadovolji zahtijevana točnost. Točnost horizontalnih koordinata točke iskazuje se radijusom 95% kružnice povjerenja, a za točke geodetske osnove Republike Hrvatske definirano je 5

razreda preciznosti uz 95% povjerenja. Tako je za IV razred preciznosti predviđen standard položajne točnosti (horizontalne i vertikalne) u intervalu 0.02 – 0.05 m (uz 95% razinu povjerenja). Dopunska ili popunjavajuća mreža (referentna mreža 3. reda) upravo odgovara IV razredu preciznosti. Postupak obavljanja GNSS mjerenja korištenjem CROPOS-a u okviru osnovnih geodetskih radova opisan je u Prilogu 3 (URL-3) gdje stoji da se radovi uspostavljanja i progušćenja referentne mreže GNSS točaka (referentna mreža 3. reda) mogu obavljati primjenom VPPS i GPPS CROPOS-a. Za potrebe katastarskih izmjera *Pravilnik* nalaže da uspostavljena geodetska osnova treba zadovoljiti klasu preciznosti IV što navedena metodologija za određivanje koordinata VPPS-om i GPPS-om može osigurati.

Sve do sada navedeno pretpostavlja postojanje referentne mreže permanentnih GNSS stanica (npr. CROPOS u Republici Hrvatskoj ili BiHPOS u Bosni i Hercegovini). Međutim, ako takva mreža ne postoji i ako na raspolaganju imamo samo jedan GNSS uređaj, tada primjena relativnih ili diferencijalnih tehnika (npr. *Real-Time Kinematik* (RTK) ili *Network RTK* (NRTK)) nije primjenjivo. Kroz vrijeme se razvila tehnika PPP (engl. *Precise Point Positioning*) koja omogućava određivanje koordinata točaka cm-razine točnosti što samo po sebi može biti alternativna tehnika za uspostavu geodetske osnove za potrebe katastarske izmjere. U ovome su radu nastalom iz diplomskog rada (Kraljić 2019) izrađenom na Katedri za satelitsku geodeziju Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu ispitane mogućnosti i točnosti određivanja koordinata točaka primjenom programskih rješenja za PPP. Na primjeru trosatnih, odnosno šestosatnih sesija opažanja vremenski centriranih na lokalno podne, odnosno lokalnu ponoć za CROPOS-ovu stanicu u Bjelovaru (BJEL), preuzeti su podaci opažanja u formatu RINEX 2.11 (engl. *Receiver Independent Exchange*) (interval pohrane 30 sekundi) sa servera GPPS-a (URL-4). Radi se o realnim podacima opažanja prikupljenima GNSS prijarnikom *Trimble NetR5* i antenom *Zephyr GNSS Geodetic II with dome* (TZGD). Podaci su obrađeni dostupnim *online* servisima za obradu mjerenja PPP tehnikom kao i jednim *offline* alatom instaliranim na osobnom računaru. Dobiveni podaci su analizirani te uspoređeni s referentnim koordinatama točke BJEL čime je dana ocjena točnosti pojedinih rješenja te posljedično njihove primjenjivosti za potrebe katastarskih izmjera. Testirani *online* servisi dali su samo jedno (definitivno) rješenje, dok je *offline* alat dao rješenja za svaku epohu opažanja što je omogućilo određivanje vremena konvergencije opažanja i postizanje zadovoljavajuće razine točnosti.

2. PRECISE POINT POSITIONING - PPP

PPP je apsolutna metoda određivanja koordinata koja koristi nediferencirane podatke opažanja kodova i faza prikupljenih samo jednim prijarnikom na jednoj ili više nosećih frekvencija. Pored navedenog, koriste se i podaci o preciznim orbitama i pogreškama satova satelita, a sve s ciljem postizanja koordinata cm-razine točnosti (Thaler i dr. 2011). Začeci razvoja PPP metode sežu u razdoblje prije lansiranja prvog GPS satelita kada su precizne orbite Transit satelita (poznat i kao NNSS – *Navy Navigation Satellite System*) i Dopplerovska opažanja korištena za točnije određivanje koordinata točke (Anderle 1976). Kasnije, 1995. godine istraživači *Natural Resources Canada* (NRCAN) uspjeli su smanjiti položajnu pogrešku od nekoliko 10-aka metara na razinu nekoliko metara koristeći kodna mjerenja te precizne podatke orbita i satova satelita u uvjetima postojanja Selektivne dostupnosti (engl. *Selective Availability* – SA). Nakon toga je JPL (*Joint Propulsion Laboratory*) uveo PPP kao metodu koja značajno reducira vrijeme računanja za velike statičke mreže. Kada je SA ukinuta u svibnju 2000. godine te su pogreške satelita mogle biti puno lakše modelirane, a PPP tehnika je postajala znanstveno i komercijalno popularna za neke precizne primjene (Bisnath i dr. 2018). Kroz zadnja dva desetljeća, dvofrekvencijski PPP je intenzivno istraživano te je razvijeno nekoliko softverskih paketa za PPP, a pokazano je da je određivanje točke s cm-razinom točnosti dostižno u naknadnoj obradi za statički prikupljena opažanja, ali potencijalno i za kinematičke primjene (Rizos i dr. 2012). Za razliku od statičkog relativnog pozicioniranja i RTK, konvencionalni PPP ne koristi dvostruko diferenciranje kodnih i faznih mjerenja između referentnog i pokretnog uređaja (rover) kako bi se u velikoj mjeri reducirali ili eliminirali mnogi izvori pogrešaka (Bisnath i dr. 2018). Eliminacija pogrešaka opažanja kroz postupak diferenciranja je zamijenjeno njihovim preciznim modeliranjem. Koordinate točaka se određuju u odnos na orbite satelita, slično kao i kod apsolutnog pozicioniranja, međutim ovdje su orbite

poznate s visokom razinom točnosti (unutar nekoliko cm). Kako bi PPP tehnika postigla cm-razinu točnosti, potrebno je poznavati orbite satelita s subdm-razinom točnosti te satove satelita s točnosti razine sub-nanosekunde (Rizos i dr. 2012). Primjerice, najtočnije IGS (*International GNSS Service*) precizne efemeride (*Final orbits*) daju pozicije GPS satelita s točnošću ~ 2.5 cm i podatke o satovima satelita (~75 ps RMS; ~20 ps StDev), a dostupne su nakon 12 - 18 dana. Pozicije satelita daju se za svakih 15 minuta, a korekcije sata satelita za svakih 30 sekundi (URL-5). Najveća točnost može se postići korištenjem IGS konačnih proizvoda gdje se točnost proizvoda povećava kroz vrijeme (*Broadcast, Ultra rapid, Rapid, Final*). To je jedan od razloga zašto su visoko točni rezultati mogući samo u naknadnoj obradi. Rezultati u realnom vremenu ili blizu realnog vremena su mogući, međutim točnost rješenja i pouzdanost tehnike ne zadovoljavaju razine geodetskih primjena (Weston i Schwieger 2014). PPP zahtijeva primjenu nekoliko korekcija kako bi se uzele u obzir cm varijacije kod nediferenciranih kodnih i faznih pogrešaka mjerenja. Nadalje, korekcije zbog *phase wind-up*, korekcije zbog varijacije faznog centra antene satelita, korekcije plimnih valova krute Zemlje kao i korekcije plimnih valova mora i oceana (engl. *ocean loading effect*) su potrebne za pouzdano PPP rješenje, međutim to se ne uzima u obzir kod diferencijalnih tehnika. Usporedni prikaz izvora pogrešaka (satelit, prijammnik, medij rasprostiranja signala (atmosfera) i geofizički modeli Zemlje) kao i njihovi utjecaji detaljnije opisani su u Rizos i dr. (2012) ili u Weston i Schwieger (2014). Glavna prednost PPP u odnosu na diferencijalne i relativne tehnike je mogućnost dobivanja točne pozicije u globalnom referentnom okviru bilo gdje na svijetu koristeći samo jedan GNSS prijammnik. Najznačajniji nedostatak PPP metode je dugo vrijeme konvergencije potrebno za rješavanje ambiguiteta i postizanje cm-razine točnosti.

3. PPP SERVISI I APLIKACIJE

Do sada je razvijeno više *online* servisa za naknadnu obradu mjerenja PPP metodom (engl. *Post-Processed PPP, PP-PPP*) kod kojih korisnici šalju podatke opažanja u RINEX formatu, a rješenja (za statičke ili kinematičke) pozicije GNSS prijammnika se automatski računaju te povratno dostavljaju korisniku. U ovome su radu za računanje PPP rješenja statički prikupljenih podataka korišteni sljedeći slobodno dostupni online servisi:

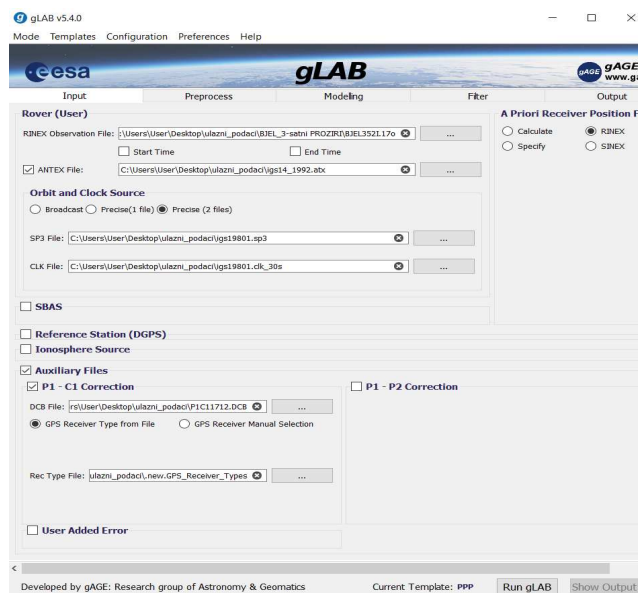
- *Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning (CSRS-PPP)* (URL-6). Za korištenje ovog servisa potrebno je otvoriti korisnički račun, odabrati način rada (statički ili kinematički), odabrati referentni okvir rješenja, učitati RINEX datoteku opažanja, a rješenje se dostavlja korisniku putem e-pošte.
- *Trimble CenterPoint RTX Post-Processing Service* (URL-7). Nakon registracije korisnika moguće je učitati podatke opažanja u Trimbleovim vlastitim ili RINEX formatima. Servis podržava opažanja svih GNSS-a (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou). Minimalno trajanje opažanja je 60 minuta, a rješenja se korisniku dostavljaju putem e-pošte.
- *MagicGNSS* (URL-8). Radi se o nekoliko servisa od kojih je ovdje zanimljiv *PPP by mail Service* gdje korisnik putem e-pošte dostavlja RINEX datoteku s podacima opažanja.
- *Automatic Precise Positioning Service – APPS* (URL-9). Podaci s opažanjima se učitavaju preko web sučelja, a kao rezultat se generira izlazna datoteka s rješenjima. Nedostatak ovog servisa je taj što nije moguće obraditi podatke opažanja koji prelaze u novi dan.
- *GNSS Analysis and Positioning Software – GAPS* (URL-10). Servis je razvijen na *University of New Brunswick* kako bi se korisnicima pružao slobodan online PPP alat za određivanje koordinata i procjenu ostalih parametara. Podaci opažanja se učitavaju preko web sučelja, a rezultati se dostavljaju putem unesene adrese e-pošte korisnika. Nedostatak ovog servisa je taj što nije moguće obraditi podatke opažanja koji prelaze u novi dan.

Pored gore navedenih online servisa, za računanje PPP rješenja korištena je i aplikacija *gLAB*. Radi se o programskom rješenju razvijenom u suradnji *Europske svemirske agencije* (ESA) i *Reserach Group of Astronomy and Geomatics* (gAGE) katalonskog sveučilišta iz Barcelone (*Universitat Politecnica de*

Catalunia - UPC). Softver nudi nekoliko predložaka za obradu podataka, u ovome su radu prikazani rezultati dobiveni korištenjem PPP predloška. Svaki predložak omogućuje nekoliko načina rada (pozicioniranje, analiza, konverzija, usporedba orbita i satova, prikaz orbita i satova). Za računanje rješenja korišten je način rada *Positioning* čiji je ekran (kartica *Input*) prikazan na slici 1.

Način *Positioning* predloška PPP sastoji se od nekoliko kartica (*Input*, *Preprocess*, *Modelling*, *Filter* i *Output*) kroz koje je omogućeno učitavanje ulaznih datoteka, njihova predobrada, odabir parametara modeliranja, korištenje filtera te odabir veličina koje će biti sadržane u izlaznoj datoteci s rezultatima. Za razliku od online servisa koji pored učitanih podataka opažanja (RINEX) za potrebe računanja PPP rješenja dodatne podatke dohvaćaju automatski s odgovarajućih servera, u gLAB-u korisnik treba sve tražene podatke učitati kroz karticu *Input* kako bi se omogućilo dobivanje PPP rješenja. Potrebno je učitati sljedeće podatke (slika 1):

- RINEX datoteke opažanja (verzije 2.11 i 3.00)
- ANTEX datoteka s podacima o kalibraciji antene
- SP3 datoteka preciznih efemerida satelita
- CLK datoteka s podacima korekcija satova satelita
- P1-C1 DCB (engl. *Differential Code Bias*): radi se o sistematskim pogreškama između kodnih opažanja na istoj ili različitim frekvencijama. DCB je potreban za kodno pozicioniranje, za ekstrakciju ionosferskog TEC-a (engl. *Total Electron Content* (TEC) te druge primjene (URL-11)
- *Receiver Type* datoteka: podaci o prijammniku, anteni, proizvođaču opreme i modelu.



Slika 1. *Input* kartica '*Positioning*' predloška gLAB-a (Kraljić 2019)

Nakon pokretanja računanja, rezultati se ispisuju u izlaznoj datoteci, a dodatnu je analizu dobivenih rezultata moguće obaviti kroz način rada *Analysis*.

4. PODACI OPAŽANJA I TRANSFORMACIJA KOORDINATA

Podaci opažanja obrađeni pomoću online servisa kao i *offline* alata (gLAB) u kojima je implementirana PPP metoda preuzeti su s GPPS CROPOS-a za permanentnu GNSS stanicu u Bjelovaru (BJEL). Najprije su odabrani podaci iz trosatnih dnevnih, odnosno trosatnih noćnih prozora opažanja približno centriranih na lokalno podne odnosno lokalnu ponoć točke opažanja. Na taj se način htjelo ispitati postoji li razlika u rezultatima dobivenih iz dnevnih i noćnih sesija opažanja. Naknadno su navedeni trosatni vremenski

prozori simetrično povećani na šestosatne sesije kako bi ispitaio utjecaj produljenja vremenskog prozora (i količine prikupljenih podataka) na točnost rješenja i pouzdanije odredilo vrijeme konvergencije rezultata. Preuzete su četiri RINEX datoteke opažanja formata 2.11 koje sadrže podatke opažanja GPS i GLONASS satelita s intervalom pohrane 30 sekundi. U tablici 1. prikazani su podaci o sesijama opažanja.

Tablica 1. Vremenski prozori opažanja za točku BJEL (18. i 19. 12. 2017.)

| Trajanje sesije | Vremenski prozor opažanja |
|-----------------|--|
| 3 sata | 9:30 – 12:30 GPST (engl. GPS Time) 21:30 – 00:30 GPST |
| 6 sati | 8:00 – 14:00 GPST 20:00 – 02:00 GPST |

Nekoliko je razloga zašto su korišteni podaci opažanja točke BJEL: dostupnost podataka, nepostojanje pogrešaka centriranja i horizontiranja između sesija te pouzdano određene referentne koordinate. Koordinate izračunane pomoću PPP online servisa i gLAB-a u pravilu se prikazuju u referentnom okviru preciznih efemerida i aktualnoj epohi opažanja što je u ovom slučaju ITRF2014 (engl. *International Terrestrial Reference Frame*) i epoha opažanja 2017.96. Međutim, referentne koordinate stanica CROPOS-a određene su u ETRF00 (R05), $e = 2008.83$ te je zbog ispravne usporedbe i interpretacije rezultata dobivenih PPP metodom bilo potrebno obaviti transformaciju koordinata točke BJEL iz ETRF00 (R05), $e = 2008.83$ u ITRF2014, $e = 2017.96$. Transformacija je obavljena pomoću online alata za ETRF/ITRF transformaciju (URL-12) razvijenog od strane EUREF *Permanent GNSS Network* (EPN). Nadalje, zbog jednostavnosti daljnje analize, svi su dobiveni rezultati prikazani u obliku ravninskih koordinata (E, N) u poprečnoj Mercatorovoj projekciji i elipsoidnih visina (h) (elipsoid GRS80).

5. ANALIZA REZULTATA OBRADE

Sva dobivena PPP rješenja su uspoređena s referentnim vrijednostima, a razlike su izračunane kao 'IMA-TREBA' čime dobivene vrijednosti poprimaju karakter pogrešaka. Ovdje se pretpostavlja da su referentne vrijednosti izračunane s vrlo visokom točnosti, kao i sama transformacija čime dobivena odstupanja rezultata mogu biti smatrana pravim pogreškama. U tablici 2 prikazane su pogreške rezultata dobivenih pomoću svih korištenih online servisa i alata gLAB za svaku sesiju opažanja. Iz razlika položajnih koordinata (ΔE i ΔN) izračunana je položajna pogreška (Δd), a iz nje i visinske pogreške (Δh) izračunano je prostorno odstupanje $\Delta(E, N, h)$. S obzirom na to da servisi APPS i GAPS ne mogu obraditi podatke opažanja prikupljene kroz više dana, u tablici 2 su dani rezultati samo za dnevne sesije opažanja.

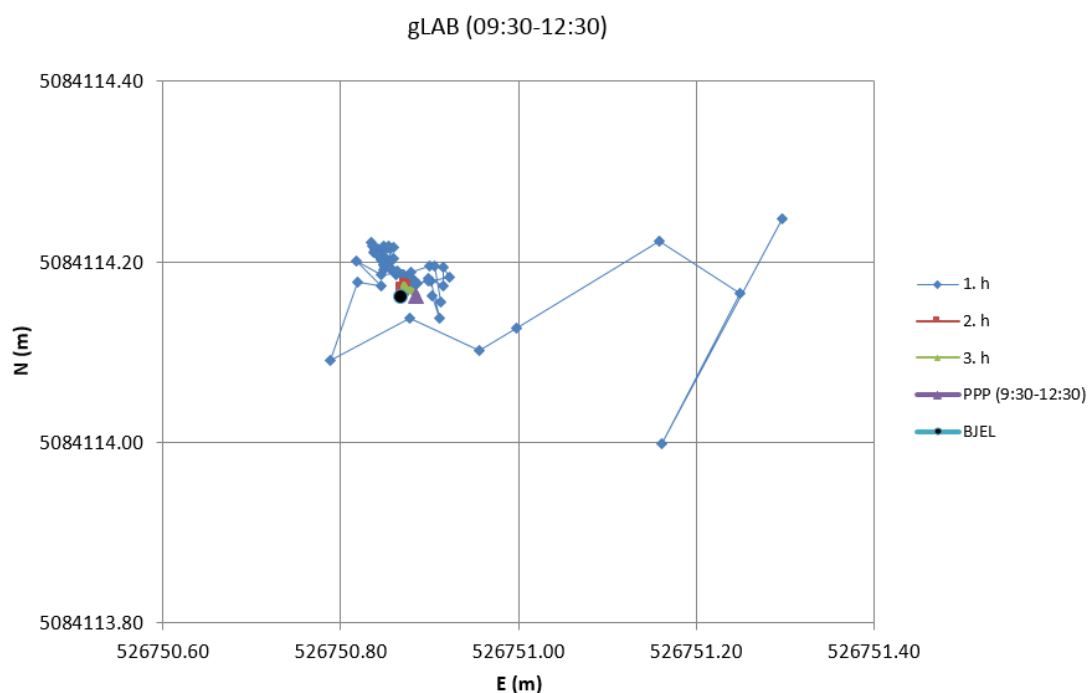
Tablica 2. Rezultati dobiveni primjenom PPP servisa i alata prikazani kao razlike (IMA-TREBA) u odnosu na referentne vrijednosti

| Servis/alat | Sesija (GPST) | ΔE [m] | ΔN [m] | Δd [m] | Δh [m] | $\Delta(E, N, h)$ [m] |
|-------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|
| CSRS | 09:30 - 12:30 | 0.008 | 0.010 | 0.013 | -0.019 | 0.023 |
| | 21:30 - 00:30 | -0.010 | 0.003 | 0.010 | -0.007 | 0.013 |
| | 08:00 - 14:00 | 0.006 | 0.008 | 0.010 | -0.021 | 0.023 |
| | 20:00 - 02:00 | 0.001 | 0.004 | 0.004 | -0.014 | 0.015 |
| RTX-PP | 09:30 - 12:30 | 0.011 | 0.008 | 0.014 | -0.010 | 0.017 |
| | 21:30 - 00:30 | 0.008 | 0.004 | 0.009 | -0.010 | 0.013 |
| | 08:00 - 14:00 | 0.009 | 0.005 | 0.010 | -0.013 | 0.017 |
| | 20:00 - 02:00 | 0.010 | 0.005 | 0.011 | -0.014 | 0.018 |

| | | | | | | |
|------------|---------------|--------|--------|-------|--------|-------|
| magic GNSS | 09:30 - 12:30 | 0.003 | 0.015 | 0.015 | -0.034 | 0.037 |
| | 21:30 - 00:30 | -0.025 | -0.006 | 0.026 | -0.043 | 0.050 |
| | 08:00 - 14:00 | 0.001 | 0.010 | 0.010 | -0.016 | 0.019 |
| | 20:00 - 02:00 | -0.001 | -0.002 | 0.002 | -0.028 | 0.028 |
| APPS | 09:30 - 12:30 | 0.012 | 0.009 | 0.015 | -0.016 | 0.022 |
| | 08:00 - 14:00 | 0.011 | 0.009 | 0.014 | -0.020 | 0.025 |
| GAPS | 09:30 - 12:30 | 0.002 | 0.013 | 0.013 | -0.013 | 0.018 |
| | 08:00 - 14:00 | 0.006 | 0.014 | 0.015 | -0.014 | 0.021 |
| gLAB | 09:30 - 12:30 | 0.017 | 0.001 | 0.017 | 0.000 | 0.017 |
| | 21:30 - 00:30 | -0.008 | 0.000 | 0.008 | 0.001 | 0.008 |
| | 08:00 - 14:00 | 0.011 | 0.005 | 0.012 | -0.011 | 0.017 |
| | 20:00 - 02:00 | -0.001 | 0.000 | 0.001 | -0.007 | 0.007 |

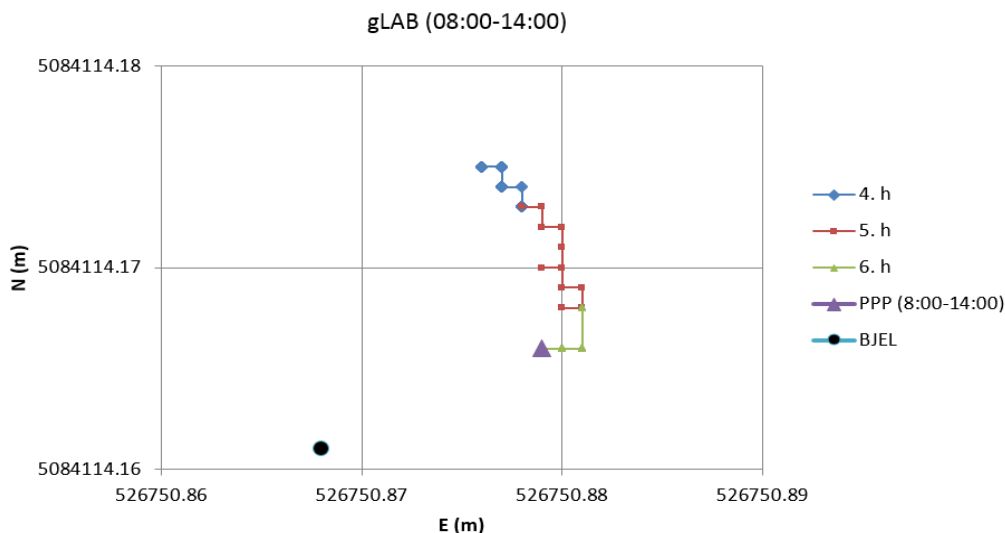
Iz tablice 2 slijedi da je gLAB općenito dao bolje rezultate od online servisa među kojima se RTX-PP pokazao kao najpouzdaniji. Vrijednosti položajne pogreške kreću se od minimalno 0.001 m (gLAB) do maksimalno 0.026 m (magicGNSS), dok se visinske pogreške kreću po apsolutnim vrijednostima u rasponu od minimalno 0.000 m (gLAB) do maksimalno 0.050 m (magicGNSS).

Na slici 2 prikazani su rezultati postignuti pomoću alata gLAB za trosatnu dnevnu sesiju (09:30-12:30). Za svaku epohu opažanja (30 sekundi) izračunano je rješenje te su odvojeno prikazana rješenja postignuta kroz 1., 2. i 3. sat opažanja kao i konačno rješenje te referentna vrijednost točke BJEL. Uočljivo je kako se s protekom vremena rezultati sve više približavaju konačnoj vrijednosti koja od referentne vrijednosti odstupa 17 mm.



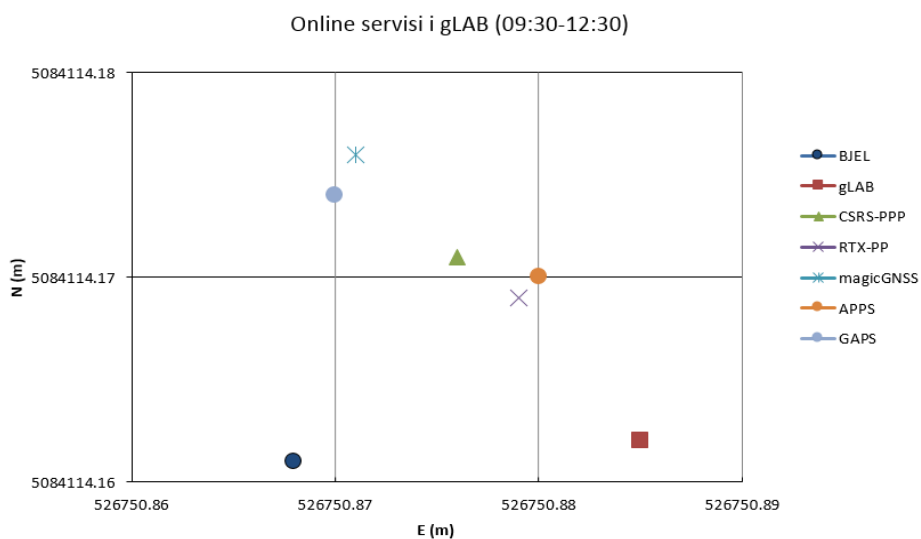
Slika 2. Rezultati (E, N) dobiveni pomoću alata gLAB za trosatnu dnevnu sesiju (09:30 - 12:30)

Približavanje izračunanih rješenja za svaku epohu prema konačnoj vrijednosti je uočljivo i na slici 3. gdje su prikazani rezultati dobiveni samo za zadnja tri sata šestosatne dnevne sesije (08:00 – 14:00). Konačna vrijednost izračunanih koordinata od referentnih vrijednosti odstupa položajno 12 mm.



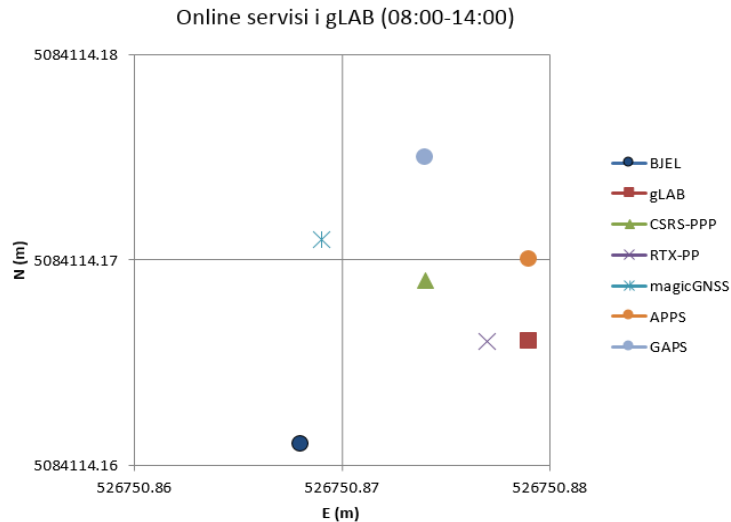
Slika 3. Rezultati (E, N) dobiveni pomoću alata gLAB za šestosatnu dnevnu sesiju (08:00 - 14:00)

Usporedba rezultata PPP računanja postignutih pomoću online servisa i alata gLAB za trosatnu dnevnu sesiju (09:30-12:30) prikana je na slici 4. Od referentne vrijednosti minimalno odstupa rješenje postignuto pomoću servisa CSRS (13 mm), a maksimalno pomoću alata gLAB (17 mm).



Slika 4. Rezultati (E, N) postignuti pomoću online servisa i alata gLAB za trosatnu dnevnu sesiju (09:30-12:30).

Rezultati iz šestosatne dnevne sesije (08:00 – 14:00) postignuti pomoću online servisa i alata gLAB prikazani su na slici 5. Maksimalno odstupanje od referentnih vrijednosti pokazuje rješenje postignuto pomoću servisa GAPS (15 mm) dok je minimalno odstupanje postignuto pomoću servisa CSRS, RTX-PP i magicGNSS (10 mm).

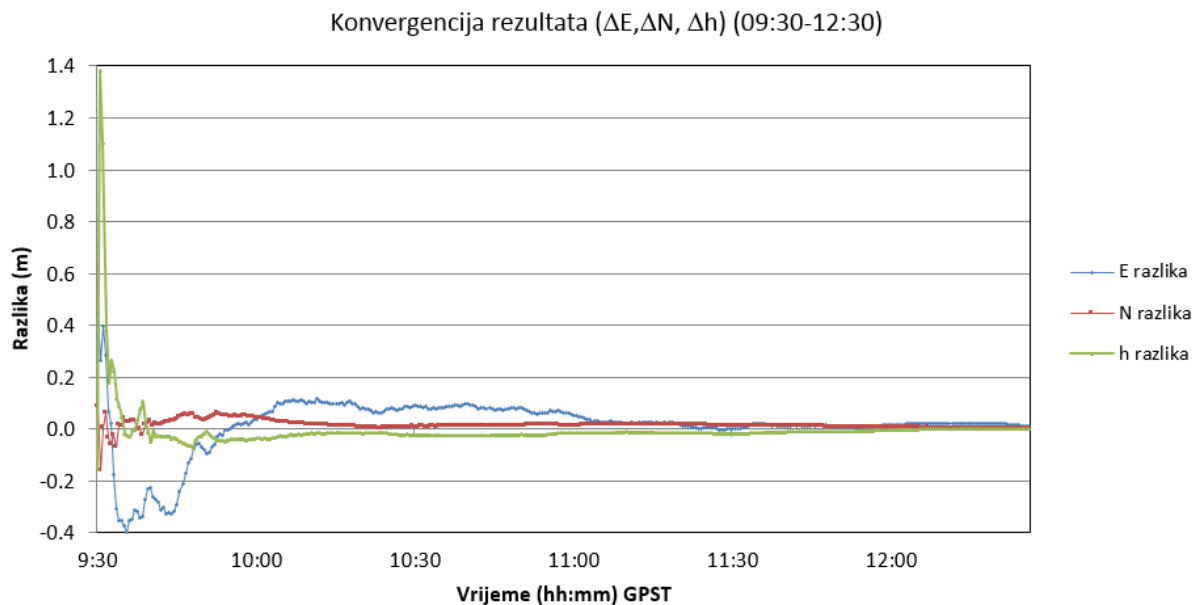


Slika 5. Rezultati (E, N) postignuti pomoću online servisa i alata gLAB za trosatnu dnevnu sesiju (08:00 - 14:00).

Ako se usporede rezultati iz trosatne sesije (slika 4) i šestosatne sesije (slika 5) uočava se određeno međusobno približavanje postignutih rezultata, ali i njihovo zajedničko približavanje referentnoj vrijednosti.

5. KONVERGENCIJA REZULTATA

Mogućnost alata gLAB da prikazuje vrijednosti koordinata za svaku epohu opažanja iskorišteno je za određivanje vremena konvergencije koja se ovdje definira kao postupno približavanje rezultata određenoj vrijednosti. Poznato je da je najveća prepreka široj upotrebi PPP metode upravo dugo vrijeme konvergencije, odnosno duge sesije opažanja kako bi se postigli rezultati cm-razine točnosti. Grafički prikaz odstupanja izračunanih koordinata (ΔE , ΔN , Δh) od referentnih vrijednosti za trosatnu dnevnu sesiju (09:30 – 12:30) dan je na slici 6.



Slika 6. Odstupanja (ΔE , ΔN , Δh) od referentnih vrijednosti kroz trosatnu dnevnu sesiju (09:30 - 12:30)

Na osnovi dobivenih rezultata za svaku epohu opažanja dala se procjena vremena konvergencije. Drugim riječima, radi se o proteklom vremenu tj. broju epoha od početka sesije nakon kojih se rezultati dviju uzastopnih epoha razlikuju manje od neke unaprijed definirane vrijednosti. Razlike izračunanih vrijednosti (ΔE , ΔN , Δh) određuju se za svaku razliku dviju uzastopnih epoha tj. za svaki $\Delta T = T_{(i+1)} - T_i$, $i = 1, 2, \dots, n$ gdje T označava epohu, a n je broj epoha. Empirijski je određeno da trenutak prestanka konvergencije bude ona epoha pri kojoj su vrijednost (ΔE , ΔN , Δh) manje od 3 mm, pod uvjetom da u bilo kojoj od sljedećih epoha vrijednost mora također biti manja od 3 mm. Na taj su način određena vremena konvergencije za svaku koordinatu (E , N , h) u sve četiri sesije opažanja, a rezultati su prikazani su tablici 3.

Tablica 3. Vremena konvergencije za sve sesije opažanja izražene u minutama

| Sesija (GPST) | vrijeme za E [min] | vrijeme za N [min] | vrijeme za h [min] |
|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 09:30-12:30 | 47.5 | 37.5 | 55 |
| 21:30-00:30 | 36.5 | 42.5 | 45 |
| 08:00-14:00 | 49 | 29.5 | 35.5 |
| 20:00-02:00 | 37 | 37 | 41 |
| prosjeck | 42.5 | 36.6 | 44.1 |

Iz tablice 3. može se zaključiti da su općenito dulja vremena konvergencije za visinu (h) dok se prosječna vrijednost konvergencije može procijeniti na 45 minuta. Međutim, s obzirom na to da je maksimalno vrijeme konvergencije od 55 minuta određeno za visinu (h), može se doći do empirijske preporuke da sesije opažanja trebaju trajati sat vremena kako bi se postigli pouzdani rezultati. Na taj se način može objasniti preporuka online servisa RTX-PP da za optimalne rezultate obrade, trajanje opažanja treba biti minimalno 60 minuta (URL-7).

6. ZAKLJUČAK

Podaci opažanja prikupljeni kroz četiri sesije na stanici BJEL CROPOS-a te obrađeni pomoću pet *online* PPP servisa i jednim *offline* alatom (gLAB) pokazali su da ne postoje značajnije razlike u rješenjima između trosatnih i šestosatnih sesija kao ni između rješenja dnevnih i noćnih sesija. Karakteristika PPP rješenja je da su ona dana u globalnom referentnom okviru u kojem su i dane precizne efemeride koje se koriste prilikom računanja koordinata. Usporedbom rješenja dobivenih pomoću pet online servisa i jednog offline alata za četiri sesije opažanja (ukupno 20 rješenja) može se zaključiti da se položajna odstupanja od referentnih vrijednosti nalaze u rasponu 1-26 mm, visinski se odstupanja nalaze u rasponu -43 – 1 mm što daje raspon prostornih razlika 7-50 mm. Od ispitanih programskih PPP rješenja općenito najmanja odstupanja od referentnih vrijednosti pokazao je gLAB dok je kod online servisa to RTX-PP. Od korištenih online servisa najbolje rezultate je pokazao magicGNSS s maksimalnim prostornim odstupanjem 50 mm. Ako se izuzme potonji online servis, sva su PPP rješenja dala prostorna odstupanja manja ili jednaka 25 mm. Ako se navedena odstupanja usporede s IV razredom preciznosti (standard položajne točnosti (horizontalne i vertikalne) u intervalu 0.02 – 0.05 m (uz 95% razinu povjerenja)) za točke geodetske osnove, tada se može zaključiti da bi se PPP metoda mogla koristiti za potrebe katastarske izmjere. Međutim, ostaje upitna primjenjivost PPP metode za navedene potrebe budući da ista nije prepoznata odgovarajućom važećom regulativom (pravilnici, tehničke specifikacije itd.). Glavni nedostatak metode je potrebno vrijeme konvergencije za postizanje rezultata cm-razine točnosti, a budući da se oni iskazuju u globalnom referentnom okviru preciznih efemerida (uobičajeno ITRF) nužno je za potrebe katastarske izmjere osigurati transformaciju u nacionalni referentni koordinatni sustav. Na osnovi rezultata dobivenih pomoću gLAB-a, empirijski je utvrđeno vrijeme konvergencije od 60 minuta potrebno kako bi se prikupilo dovoljno opažanja i omogućila zadovoljavajuća razina točnosti.

LITERATURA

- Anderle, R., J. (1976): *Point positioning concept using precise ephemeris*, Proc. Int. Geodetic Symposium on Satellite Doppler Positioning, Las Cruces, New Mexico, 12-14 October, 47-75.
- Bisnath, S., Aggrey, J., Seepersad, G., Gill, M. (2018): *Precise Point Positioning: Where Are We Now, and Where Are We Going?*, GPS World 2018, vol. 29, br. 3.
- Kraljić, N. (2019): *Testiranje programskih rješenja za precizno pozicioniranje točke*, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Zagreb.
- Narodne Novine (2017): *Pravilnik o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova*, 112, Zabreb.
- Rizos, C., Janssen, V., Roberts, C., Grinter, T. (2012): *Precise point positioning: is the era of differential GNSS positioning drawing to an end?*, FIG Working Week 2012, Rome, Italy.
- Thaler, G., Karabatić, A., Weber, R. (2011): *Precise Point Positioning – Toward Real-Time Applications*, Austrian Society for Surveying and Geoinformation, Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation, 2, 171-179, Beč, Austrija.
- Weston, N., D., Schwieger, V. (2014): *Cost Effective GNSS Positioning Techniques*, FIG publication No. 49, Commission 5 Publication, 2nd Edition, International Federation of Surveyors (FIG), Copenhagen, Danska.
- URL-1: <https://www.cropos.hr/servisi>, servisi CROPOS-a, 31. 7. 2019.
- URL-2: <https://dgu.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/Pristup%20informacijama/Zakoni%20i%20ostali%20propisi/Specifikacije/TEHNI%20C4%8CKE%20SPECIFIKACIJE%20-%20ODLUKA.pdf>, Tehničke specifikacije za određivanje koordinata točaka u koordinatnom sustavu Republike Hrvatske, 31. 7. 2019.
- URL-3: https://dgu.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/Pristup%20informacijama/Zakoni%20i%20ostali%20propisi/Pravilnici/Prilozi_1_9.pdf, prilozi Pravilnika o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova, 31. 7. 2019.
- URL-4: <http://195.29.198.194/Map/SensorMap.aspx>, CROPOS GNSS REFERENCE STATION WEB SERVER, 31. 7. 2019.
- URL-5: <https://www.igs.org/products>, proizvodi IGS-a, 31. 7. 2019.
- URL-6: <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php?locale=en>, CSRS-PPP, 31. 7. 2019.
- URL-7: <https://www.trimblertx.com/UploadForm.aspx>, Trimble RTX, 31. 7. 2019.
- URL-8: <https://magicgnss.gmv.com/>, MagicGNSS servisi, 31. 7. 2019.
- URL-9: <http://apps.gdgps.net/>, Automatic Precise Positioning Service, 31. 7. 2019.
- URL-10: <http://gaps.gge.unb.ca/>, GNSS Analysis and Positioning Software, 31. 7. 2019.
- URL-11: https://cdis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS/gnss_differential_code_bias_product.html, Differential Code Bias, 31. 7. 2019.
- URL-12: http://www.epncb.oma.be/productsservices/coord_trans/, ETRF/ITRF Transformation, 31. 7. 2019.

POSSIBILITIES OF PPP METHOD APPLICATION IN CADASTRAL SURVEYING

Abstract.

Precise Point Positioning is an absolute Global Navigation Satellite System (GNSS) positioning method. Today, coordinates determination is commonly carried out by a Network RTK (Real Time Kinematic) method, a static relative positioning method is used for setup of the geodetic network used for cadaster surveying. The applicability of mentioned methods entails the existence of permanent GNSS network typically established at national level. When such a network is not established or its services are not available, the coordinates can be determined by PPP method using a single two-frequencies GNSS receiver along with the precise ephemerides and satellite clock data. Currently, PPP method is available via internet services (e.g. CSRS-PPP, Trimble RTX, magicGNSS, APPS, GAPS) or via offline tools (e.g. gLAB). The capability of coordinates determination by mentioned services and tool have been assessed on data collected at CROPOS station in Bjelovar (BJEL). The coordinates were calculated from data gathered in two three-hours lasting and two six-hours lasting sessions. The results were analysed and compared to the reference coordinates originally determined in ETRF2000(R05), $e = 2008.83$. Those coordinates were transformed in precise ephemerides reference frame ITRF2014, $e = 2017.96$ allowing the comparison with the results obtained by PPP method. Additionally, results obtained from three- and six hours-lasting sessions were analysed and the convergence times needed for the achievement of acceptable accuracy were estimated.

Key words: PPP, GNSS, Internet services, offline tool, convergence time.