

POSTOPEK VZPOSTAVITVE IN TESTIRANJA LASTNE REFERENČNE GNSS-POSTAJE

PROCESS OF SETTING UP AND TESTING OUR OWN GNSS REFERENCE STATION

Nikolaj Šarlah, Gašper Štebe, Oskar Sterle

UDK: 528.021
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.04
Prispelo: 9.3.2015
Sprejeto: 24.8.2015

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2015.03.457-472
PROFESSIONAL ARTICLE
Received: 9.3.2015
Accepted: 24.8.2015

IZVLEČEK

V prispevku je opisan postopek vzpostavitve lastne referenčne GNSS-postaje, ki ponuja eno od možnosti za zajem in upravljanje prostorskih podatkov na lokalnem območju. Prikazan je način stabilizacije ter vsa potrebna programska in strojna oprema za vzpostavitev referenčne postaje, ki omogoča tudi pošiljanje popravkov RTCM v realnem času. Koordinate referenčne postaje so določene s komercialnim (Topcon) in profesionalnim (Bernese) programom za obdelavo opazovanj GNSS, prikazane so razlike pri rezultatih obdelave med obema programoma. Na primeru navezovalne mreže v okolici Celja so analizirana odstopanja med koordinatami točk, določenimi z navezavo sprejemnika GNSS na novo vzpostavljeno referenčno postajo in uporabo virtualne referenčne postaje v omrežju SIGNAL. Predstavljene so razlike med izmerjenimi koordinatami in danimi koordinatami navezovalne mreže. Na podlagi izračunanih odstopanj med izmerjenimi koordinatami točk navezovalne mreže je sklenjeno, da za zajemanje podatkov GJI lahko uporabimo navezavo na lastno referenčno postajo do oddaljenosti približno 15 kilometrov.

KLJUČNE BESEDE

GNSS, referenčna postaja GNSS, RTK, NTRIP, GJI, SIGNAL, VRS

ABSTRACT

In this paper, we describe the process of setting up a GNSS reference station. This is one option for capturing and managing spatial data in the local area. We demonstrate the method of mounting a reference station, as well as the required hardware and software for setting one up; the latter allows for real-time corrections that are transmitted in the RTCM. The coordinates of the reference station were determined using commercial (Topcon) and professional (Bernese) GNSS data-processing software. We demonstrate the differences between the results of both types of software. Taking example of the control points in the Celje area, we analyse the differences between the coordinates determined using our own GNSS reference station and the coordinates using the virtual reference station (from the SIGNAL network). We also discuss the differences between the coordinates measured using RTK (GNSS reference station and VRS/SIGNAL) and the control points. Based on our calculations of the deviations between the coordinates, we conclude that we can use our own reference station for baselines up to 15 km for the purposes of capturing utility data.

KEY WORDS

GNSS, GNSS reference station, RTK, NTRIP, GJI, SIGNAL, VRS

1 UVOD

Gospodarsko javno infrastrukturo (GJI) sestavljajo objekti gospodarske infrastrukture, ki so del prostora in so pomemben element pri razvoju vsakega okolja. Geodetska uprava RS zbira in vodi podatke o GJI na enem mestu, v zbirnem katastru gospodarske javne infrastrukture (ZKGJI). Pri fizičnih posegih v prostor so zanesljivi podatki o položaju obstoječih objektov GJI, predvsem tistih, ki ležijo pod zemljo, pomembna informacija. Zaradi tega je pri evidentiranju objektov GJI eden najpomembnejših atributov natančen in točen podatek o položaju objektov GJI v prostoru. Priporočena natančnost pri zajemu podatka o položaju objektov GJI je 4 centimetre, medtem ko je še minimalna dopustna natančnost 12 centimetrov, ki jo predstavlja daljša polos standardne elipse pogreškov (Šarlah et al., 2010).

Navadno se pri evidentiranju objektov v ZKGJI in obratnih katastrih (upravljaljskih oziroma lastniških katastrih gospodarske infrastrukture) v praksi uporablja klasična terestrična detajlna izmera v kombinaciji z izmero GNSS (angl. Global Navigation Satellite System). Danes poznamo več sistemov GNSS, in sicer ameriški GPS (angl. Global Positioning System), ruski GLONASS (rus. GLObal'naya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema), evropski Galileo in kitajski BeiDou.

Postopkov za določitev položaja na podlagi sistemov GNSS je več (Kozmus in Stopar, 2003), v geodeziji pa se uporablja predvsem relativna fazna določitev položaja, in sicer zaradi visoke natančnosti ter določitve položaja točke v istem koordinatnem sistemu, v katerem je določena referenčna točka. Zaradi visoke priporočene natančnosti zajema podatkov GJI absolutna določitev položaja ni ustrezna, z izjemo metode PPP (Sterle et al., 2014), ki pa še ni povsem v praktični uporabi.

Relativna fazna določitev temelji na sestavljenih dvojnih faznih razlikah opazovanj, pridobljenih na dveh sprejemnikih v istem časovnem trenutku, s katerimi se številni vplivi odstranijo (pogrešek ure satelitov in sprejemnika) oziroma zmanjšajo (vpliv ionosfere, troposfere, pogreška položajev satelitov itd.) (Leick, 1995). Metoda omogoča določitev položaja tudi v realnem času in se pri navezavi na eno samo referenčno postajo GNSS imenuje RTK (angl. Real Time Kinematic), pri navezavi na omrežje stalno delujočih postaj pa mrežni RTK. Po uporabi pri nas prevladuje metoda RTK-VRS (angl. RTK Virtual Reference Station).

Na trgu se vse pogosteje pojavljajo enofrekvenčni sprejemniki GNSS z možnostjo diferencialne določitve položaja DGNSS (angl. Differential GNSS), ki so uporabni predvsem v aplikacijah GIS (angl. Geographic Information System). Ti sprejemniki so privlačni predvsem zaradi nizke cene in enostavne uporabe. Uporabljajo kodna ali pa s faznimi opazovanji glajena kodna opazovanja na samo enem nosilnem valovanju. Zaradi opazovanj ene same frekvence je odprava pogreška ionosfere težavnejša kot pri dvofrekvenčnih sprejemnikih. Pri uporabi faznih opazovanj težave povzročajo iskanje izpadov signala in določitev faznih nedoločenosti. Na podlagi testiranja po ISO-standardu 17123-8 je bilo ugotovljeno, da ročni GNSS-sprejemniki še ne ustrezajo zahtevani minimalni natančnosti za potrebe evidentiranja GJI, problematični pa so tudi zato, ker nekateri ne omogočajo natančnega centriranja nad geodetsko točko (Sterle et al., 2013). Zagotovo so neprimerni za geodetsko izmero.

2 POSTAVITEV LASTNE REFERENČNE GNSS-POSTAJE

Trajno postavljena in stalno delujoča referenčna postaja, ki omogoča uporabo metode DGNSS in RTK, ima opremo, s katero je mogoče izračunati popravke opazovanj in jih razpošiljati (Kozmus in Stopar, 2006). Pravilen način izbire mikrolokacije in stabilizacije referenčne točke, na kateri stoji referenčna postaja, je

pomemben zaradi zmanjšanja številnih vplivov na opazovanja (ne samo pri določitvi položaja točke), ki imajo izvor v bližnji okolici (Bruyninx, 2013; GI, 2012; IGS, 2013; Horváth et al., 2008; Topcon, 2008). Kakovostna stabilizacija na geološko stabilnih tleh omogoča stabilnost ocenjenega položaja točke skozi čas. Kakršnekoli spremembe položaja točk bi tako bile posledica globalne oziroma regionalne geodinamike in ne lokalnih vplivov. Zahtevana je predvsem lokalna geološka stabilnost terena, tako horizontalno kot višinsko. Pri izbiri mikrolokacije je tako treba paziti, da se izogibamo:

- območjem z aktivnimi lokalnimi deformacijami zemeljskega površja (območja z zaznavnim posedanjem, plazovita območja, erozivna območja),
- bližini večjih prometnic, železnic, letališč zaradi motečih vibracij.

Pri izbiri mikrolokacije referenčne postaje je treba upoštevati reliefne, vegetacijske in klimatske danosti ter druge vplivne dejavnike. Možnost kakovostnega izvajanja GNSS-meritev na referenčni točki je eno od ključnih meril za izbor lokacije referenčne točke. Za nemoteno in kakovostno GNSS-izmero je treba nujno zagotoviti:

- čim bolj odprt horizont, zaželeno vidnost neba nad višinskim kotom 5° , kar zahteva:
 - primeren relief v neposredni pa tudi širši okolici referenčne točke,
 - odsotnost visoke vegetacije v bližini referenčne točke (gozd, visoka drevesa in grmovje) in
 - odsotnost višjih objektov v neposredni bližini referenčne točke;
- odsotnost virov elektromagnetnega valovanja, ki lahko povzročajo motnje v sprejemu GNSS-opazovanj zaradi interference (na primer daljnovodi, transformatorske postaje, radijski in televizijski oddajniki, oddajniki GSM-omrežij ipd.);
- odsotnost večjih ravnih površin v neposredni bližini referenčne točke, ki bi lahko povzročale odboj GNSS-signalov in s tem pojav večpotja (ravne utrjene ali vodne površine, kovinske strehe, steklene stene ipd.).

Zaradi zagotavljanja neprestanega delovanja sprejemnika in morebitnega razpošiljanja opazovanj GNSS po spletu je treba upoštevati tudi nekatere pogoje, ki so vezani na zagotavljanje električne energije in povezave na svetovni splet:

- možnost priključitve na električno omrežje (zaradi nemotenega delovanja GNSS-sprejemnika, strežnika, UPS-enote itd.),
- možnost priključitve na telekomunikacijska omrežja in
- dostopnost točke zaradi zagotavljanja hitrih intervencij.

Pri sami postavitvi GNSS-antene na referenčni točki je treba zagotoviti možnost neprekinjenega kakovostnega izvajanja meritev tudi v oteženih razmerah, zato je treba najti ustrezne rešitve na mikrolokaciji tudi zaradi morebitnih snežnih padavin, žleda, vetrov, udara strele ipd. Možnosti za stabilizacijo, ki jih najdemo v literaturi, so stebri, drogovi in različne konstrukcije. Na visokih objektih se stabilizacija zaradi morebitne nestabilnosti objekta načelno odsvetuje.

2.1 Stabilizacija

Če je mogoče, naj bi bila referenčna točka stabilizirana z globoko in masivno temeljenim betonskim stebrom (UNAVCO, 2014). V praksi se pri izbiri lokacije pogosto pojavijo težave, povezane z lastniškimi razmerji in varnostjo na nepremičninah. Zaradi zgornjih razlogov smo za stabilizacijo izbrali masiven

opuščen dimnik lokalnega komunalnega podjetja, ki je fizično povezan z objektom. Na dimnik je pritrjen kovinski nosilec z vijakom z ustreznim navojem, ki omogoča prisilno centriranje antene. Referenčna GNSS-točka je južno od vseh pomembnih višinskih ovir (oddaljena vsaj 400 metrov). S tem smo izpolnili pogoj najmanjše oddaljenosti od ovir, da bi bile te pod višinskim kotom pod 5° (Horváth et al., 2008) ali še nižje. Ni pa se nam uspelo izogniti vegetaciji na zahodnem delu, oddaljeni približno 50 metrov (dve drevesi). Poleg navedenih meril za postavitev referenčne točke smo skušali upoštevati merila bolj uporabniško naravnane EUPOS-omrežja. Na sliki 1 sta prikazana stabilizacija in prisilno centriranje vzpostavljene referenčne GNSS-postaje.



Slika 1: Stabilizacija referenčne točke z masivnim betonskim dimnikom in prikaz prisilnega centriranja antene GNSS na vijak z ustreznim navojem.

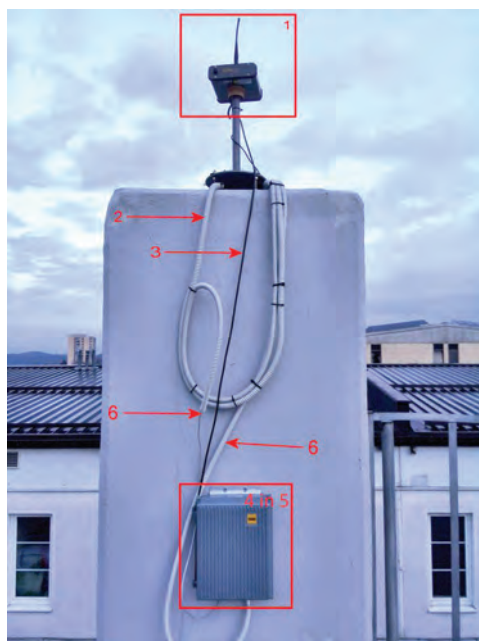
2.2 Oprema GNSS-referenčne postaje

Zahtevane lastnosti GNSS-sprejemnika in antene so različne, danes se večinoma zahteva dvofrekvenčni sprejemnik, ki lahko sprejema signale vsaj satelitov GPS in GLONASS, in antena z zaščito pred vplivi večpotja (z uporabo antenskih ali dušilnih obročev). Na referenčni točki je postavljen geodetski 40-kanalni GNSS-sprejemnik Topcon HiPer Pro GNSS. Je dvofrekvenčen in lahko sprejema signale satelitov sistemov GPS in GLONASS. Omogoča zunanje napajanje in prenos podatkov prek komunikacijskih vmesnikov USB, RS232 in brezžičnega vmesnika Bluetooth. Sprejemnik ima vgrajen radijski modem, ki prav tako omogoča komuniciranje z odjemalcem podatkovnega toka. Proizvajalec instrumentov Topcon za podani instrument GNSS navaja natančnost določitve položaja (Topcon, 2006):

- 3 mm + 0,5 ppm (horizontalne koordinate), 5 mm + 0,5 ppm (višina) – statična izmera,
- 10 mm + 1 ppm (horizontalne koordinate), 15 mm + 1 ppm (višina) – kinematična izmera.

Nemoteno delovanje referenčne postaje omogočajo (glej sliko 2):

1. GNSS-sprejemnik Topcon HiPer Pro GNSS,
2. napajalni kabel,
3. kabel za podatkovni prenos RS232 (Topcon serial cable p/n 14-008005-03),
4. mini računalnik Intel Desktop Board D2500CC – 4 GB RAM, SSD 120 GB,
5. vodotesno ohišje mini napajalnika in matične plošče (Box Alu IP65 CPE),
6. napajalni in UTP-kabel do mini računalnika.



Slika 2: Oprema GNSS-referenčne postaje.

3 DOLOČITEV KOORDINAT REFERENČNE POSTAJE V IZBRANEM KOORDINATNEM SISTEMU

Obdelava GNSS-opazovanj nam omogoča določitev koordinatnih neznank in pripadajoče informacije o natančnosti njihove ocene. Bazne vektorje in položaj referenčne postaje smo pridobili s statično metodo izmere, izravnave opazovanj v geodetski mreži in transformacije položajev iz koordinatnega sistema GNSS-izmere v državni koordinatni sistem, ki ga definirajo znane koordinate točk državnega omrežja stalno delujočih postaj v Sloveniji SIGNAL (SlovenIja-Geodezija-NAvigacija-Lokacija; <http://www.gu-signal.si/>, 28. 7. 2014).

GNSS-mrežo je poleg nove referenčne postaje sestavljalo pet stalnih GNSS-postaj omrežja SIGNAL, razporejenih v okolici nove točke. Uporabili smo referenčne postaje Brežice, Celje, Maribor, Trebnje in Slovenj Gradec. Naknadno obdelavo opazovanj GNSS smo izvedli s programskima paketoma Topcon Tools 8.1 in Bernese GPS Software, Version 5.0 (Dach et al., 2007). Programski paket Bernese GPS Software, Version 5.0, zagotavlja rezultate obdelave opazovanj GNSS z najvišjo natančnostjo, medtem

ko smo programski paket Topcon Tools 8.1 uporabili, da smo preverili, s kakšno točnostjo je sposoben pridobiti rezultate obdelave opazovanj GNSS komercialni programski paket.

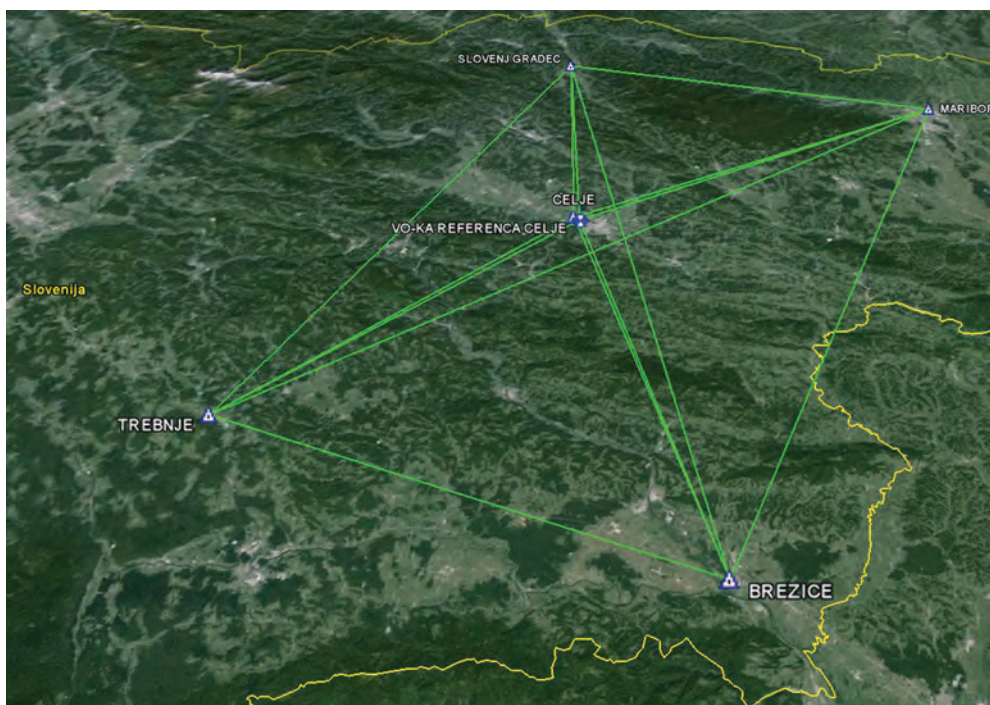
Pri določitvi koordinat referenčne postaje smo izvedli opazovanja v sedmih zaporednih dneh, od 22. do 28. oktobra 2013. Prvi dan smo začeli okoli 14. ure, zadnji dan pa končali ob 8. uri zjutraj, tako da smo skupaj zagotovili polnih šest dni opazovanj, kar pomeni približno 140 ur. Interval registracije je bil nastavljen na 30 sekund pri višinskem kotu 12° . Kadar se opazovanja obdelajo s tako imenovanimi profesionalnimi programskimi orodji (Bernese GPS Software, Gamit/Globk, Gipsy-Oasis II), ki poleg določitve koordinat točk omogočajo tudi modeliranje parametrov troposfere, je priporočljivo minimalni višinski kot za izvedbo meritev GNSS nastaviti čim nižje, na primer na 1° – 5° . Pri komercialnih programskih paketih pa je optimalna nastavev minimalnega višinskega kota 10° – 15° (Savšek et al., 2010). Raziskave kažejo na visoko kakovost in primerljivost izhodnih količin komercialnih programov (Topcon Tools, Trimble Total Control, Leica Geo Office) z rezultati znanstvenih programskih paketov (Golob, 2008).

3.1 Obdelava GNSS-opazovanj v programskem paketu Topcon Tools 8.0

Priprava na obdelavo v programskem paketu Topcon Tools 8.0 je vključevala izbiro in pripravo preciznih satelitov efemerid (<ftp://igsb.jpl.nasa.gov/igsb/product/>), določitev baznih vektorjev, nadzor izmerjene višine in vrste anten na opazovanih točkah, izbiro modela za določitev neznanega števila celih valov, način sestave faznih razlik, določitev meril za izločanje grobih pogreškov in izbiro minimalnega višinskega kota opazovanj. Vpliv troposfere na vrednost opazovanih količin smo modelirali z izbranim modelom troposfere Goad&Goodman.

Vzpostavitev geodetske mreže izhaja iz potrebe po zagotovitvi nadštevilnosti opazovanj v matematičnem modelu določitve koordinat neznane točke (referenčne postaje). Geodetsko mrežo v našem primeru sestavlja 15 baznih vektorjev, ki povezujejo novo in dane točke, kar je prikazano na sliki 3. Z danimi položaji petih stalnih postaj GNSS državnega omrežja SIGNAL, ki ostanejo v postopku izravnave opazovanj v geodetski mreži nespremenjene, imamo določen tudi datum geodetske mreže. Izsledki obdelave opazovanj so podani v dveh korakih: bazni vektorji med točkami s pripadajočimi natančnostmi in cenilkami kakovosti v prvem koraku in koordinate nove točke s pripadajočimi natančnostmi ter merili kakovosti in zanesljivosti v drugem koraku. Končno oceno kakovosti pridobimo z izravnavo baznih vektorjev v okviru geodetske mreže (drugi korak), kjer komponente baznih vektorjev obravnavamo kot opazovanja (Stopar in Pavlovič, 2007).

Za potrebe geodetske izmere je nujna določitev baznih vektorjev s faznimi nedoločenostmi, določenimi v območju celih števil, saj le tako pridobimo ocenjene koordinate z najvišjo natančnostjo. V našem primeru so imeli vsi bazni vektorji fazne nedoločenosti v območju celih števil. Srednja vrednost RMS (angl. Root Mean Square) natančnosti baznih vektorjev 11,5 milimetra za horizontalne komponente in 19,3 milimetra za višinske komponente baznih vektorjev, izračunana na podlagi popravkov opazovanj, kaže na kakovostne podatke opazovanj ter natančne in zanesljive rezultate – ocenjene komponente baznih vektorjev. Za kontrolo uporabimo izračun odstopanj pri zapiranju 40 likov, kjer aritmetična sredina odstopanj znaša 4,7 milimetra, največje odstopanje znotraj posameznega lika pa je 16,4 milimetra. Koordinate nove točke dobimo na podlagi 15 baznih vektorjev, ki povezujejo šest točk, kjer je pet točk danih in ena točka nova. Natančnost določitve koordinat nove točke je podana s 7,5 milimetra koordinate E, 7,4 milimetra koordinate N in 10,5 milimetra višine. Ocenjene koordinate točk so predstavljene v preglednici 4.



Slika 3: Bazni vektorji v okviru geodetske mreže.

3.2 Obdelava GNSS-opazovanj v programskem paketu Bernese GPS Software, Version 5.0

Vzpostavitev koordinat referenčne točke, ki bo izhodišče za nadaljnja geodetska dela, pomeni določitev koordinat referenčne točke z najvišjo natančnostjo in je nujna obdelava opazovanj GNSS po navodilih službe IGS (CODE, 2012) ali EPN (EPN, 2013), kjer je sama obdelava opazovanj GNSS opisana v Dach et al. (2007). V obdelavo smo vzeli opazovanja GNSS različnih stalno delujočih postaj:

- postaj omrežja IGS: BOR1, GRAS, GRAZ, JOZE, MATE, MEDI, PADO, PENC, POTS, WTZR in ZIMM,
- postaj omrežja SIGNAL: BREZ (Brežice), CELJ (Celje), MARI (Maribor), SLOG (Slovenj Gradec), TREB (Trebnje) in
- referenčne postaje VO_KA Celje.

Postaje omrežja IGS so vključene v obdelavo, ker imajo podane kakovostne koordinate in vektorje hitrosti v aktualnem koordinatnem sestavu ITRF08 (angl. International Terrestrial Reference Frame 2008), ki so podane na seznamu na naslovu http://itrf.eng.ign.fr/ITRF_solutions/2008/doc/ITRF2008_GNSS.SSC.txt. Točke IGS so podane v istem koordinatnem sestavu, v katerem so tudi precizne efemeride. Točke omrežja SIGNAL nam z danimi koordinatami podajajo dostop do državnega koordinatnega sistema. Na sliki 4 je prikazana geografska razporeditev točk, uporabljenih v obdelavi.

Opazovanja vseh točk smo obdelali ločeno za vsak dan posebej, tako da smo za vsako vključeno točko s slike 5 pridobili sedem trojic koordinat s pripadajočimi natančnostmi v koordinatnem sestavu ITRF za

sredino dneva. Končne koordinate v sestavu ITRF smo pridobili kot utežno sredino vseh dnevnih rešitev koordinat. Cenilka natančnosti dobljenih koordinat je predstavljena s standardnim odklonom odstopanj dnevnih rešitev koordinat posamezne točke od srednjih vrednosti koordinat – s ponovljivostjo koordinat. Preglednica 1 vsebuje statistične lastnosti ponovljivosti za vse točke in ločeno še za točko VO_KA. Povprečje je povprečna vrednost ponovljivosti, MIN in MAX pa največja oziroma najmanjša vrednost ponovljivosti. Ponovljivost koordinat je predstavljena v lokalnem geodetskem koordinatnem sistemu, v smereh SJ (N), VZ (E) in v smeri višine (h).



Slika 4: Stalne postaje, ki so bile uporabljene v obdelavi s programskim paketom Bernese GPS Software, Version 5.0.

Preglednica 1: Prikaz ponovljivosti koordinat točk geodetske mreže GNSS, ki so predstavljene s standardnimi odkloni odstopanj dnevnih rešitev koordinat od srednjih koordinat posamezne točke.

	σ_E [mm]	σ_N [mm]	σ_h [mm]
POVPREČJE	1,4	1,8	3,6
MIN	0,6	0,7	1,5
MAX	3,3	4,2	5,4
VO_KA	0,6	1,6	4,6

Točnost pa se meri z odstopanji ocenjenih srednjih koordinat točk od danih koordinat ITRF-točk omrežja IGS, ki so predstavljena v preglednici 2. Odstopanja so predstavljena v lokalnem geodetskem koordinatnem sistemu s standardnim odklonom in z ekstremnima vrednostma (največjo in najmanjšo) odstopanja. Izsledki kažejo na visoko natančnost (preglednica 1) in visoko točnost (preglednica 2).

Prehod iz koordinatnega sestava ITRF v državni koordinatni sistem poteka v prvem koraku prek koordinatnega sestava ETRF. Na spletni strani http://www.epncb.oma.be/_productsservices/coord_trans/index.php je aplikacija, ki transformira koordinate iz aktualnega sestava ITRF v sestav ETRF89. Vklp točke VO_KA v državni koordinatni sistem pa pomeni, da morajo biti koordinate točke VO_KA in

koordinate točk omrežja SIGNAL skladne z najvišjo mero natančnosti. Ta se dobi tako, da se dobljene ETRF89-koordinate točk omrežja SIGNAL in točke VO_KA transformirajo na dane koordinate točk omrežja SIGNAL s 7-parametrično transformacijo. Preglednica 3 prikazuje odstopanja ocenjenih koordinat točk omrežja SIGNAL z danimi koordinatami istih točk po izvedeni transformaciji.

Preglednica 2: Statistične lastnosti odstopanj srednjih koordinat od danih koordinat točk omrežja IGS

	σE [mm]	σN [mm]	σh [mm]
STANDARDNI ODKLON	1,8	1,3	2,6
NAJMANJŠE	- 2,6	- 2,1	- 5,2
NAJVEČJE	3,0	1,5	3,6

Preglednica 3: Odstopanja med danimi koordinatami točk omrežja SIGNAL in transformiranimi ocenjenimi koordinatami v ETRF

POSTAJA	σE [mm]	σN [mm]	σh [mm]
BREZ	- 1,0	- 0,0	- 3,5
CELJ	1,3	- 18,0	2,9
MARI	- 3,4	0,2	2,7
SLOG	- 0,8	12,5	- 4,5
TREB	3,7	5,3	2,4

Rezultati v preglednici 3 prikazujejo, da so dane koordinate točk omrežja SIGNAL po geometriji skladne s pravimi koordinatami na ravni okrog centimetra, saj znašajo standardni odkloni odstopanj 9,2 mm, 2,2 mm in 3,0 mm za koordinate N, E in h. Končne koordinate točke VO_KA v državnem koordinatnem sistemu so predstavljene v preglednici 4.

3.3 Koordinate referenčne postaje

Rezultati so vidni v preglednici 4, v kateri podajamo končne ocenjene koordinate s pripadajočimi natančnostmi referenčne postaje VO_KA z obema uporabljenima programskima paketoma. Koordinate referenčne postaje GNSS so podane v državnem koordinatnem sistemu, ki ga določajo točke omrežja SIGNAL in je neodvisen od časa, torej se s časom ne spreminja. Vsi rezultati so prikazani v ravninskem koordinatnem sistemu D96/TM (koordinati E in N) s podano elipsoidno višino (h). Za končni položaj referenčne postaje smo privzeli rezultate, pridobljene s programskim paketom Bernese GPS Software, Version 5.0.

Preglednica 4: Primerjava izračunanega položaja referenčne postaje v D96/TM z obema programskima paketoma, Topcon Tools 8.0 in Bernese GPS Software, Version 5.0

D96/TM	Bernese GPS Software, Version 5.0 (m)	σ (mm)	Topcon Tools 8.0 (m)	σ (mm)	Koordinatna razlika (mm)
E	122240,0039	1,4	122240,0030	7,5	0,9
N	519358,2337	1,8	519358,2281	7,4	5,6
h	295,3527	3,6	295,3464	10,5	6,3

4 POVEZAVA REFERENČNE POSTAJE IN PREMIČNEGA PREJEMNIKA

Popravki opazovanj iz referenčne postaje so lahko na voljo sprejemniku, s katerim določamo položaj, v realnem času prek omrežij operaterjev mobilne telefonije, mobilnega interneta ali radijskih povezav. Podatkovni tok je vzpostavljen po standardu RTCM 10403.2. To je binarni zapis, kjer je RTCM kratica za skupno ime sklopa standardov za pomorsko navigacijo in satelitske tehnologije (angl. Radio Technical Commission for Maritime service). Najnovejša različica standarda je 3.2 (1. februar 2013).

4.1 Radijska povezava

Ena od povezav, ki smo jo vzpostavili in preizkusili med referenčno postajo in sprejemnikom na novi točki (odjemalcem), je radijska povezava, znana kot RT (angl. Radio Telephony – radiotelefonija). Oba sprejemnika morata imeti vgrajen radijski modem. V skladu z zakonodajo (NURF-3, 2013) smo izbrali frekvenco 439,70 MHz. Elektromagnetni valovi relativno majhne valovne dolžine UHF (angl. Ultra-High Frequency) se širijo skoraj premočrtno in ne morejo potovati skozi objekte, lahko pa se od njih odbijajo. Posledično mora biti referenčni sprejemnik čim višje, da zagotovimo največji doseg komunikacije. Obstajajo še druge možnosti pošiljanja popravkov opazovanj, na primer Bluetooth ali WiFi (angl. Wireless Fidelity) dolgega dosega (2,4 GHz ali 5 GHz), vendar je njuna glavna pomanjkljivost zmanjšan doseg (Brazeal, 2013).

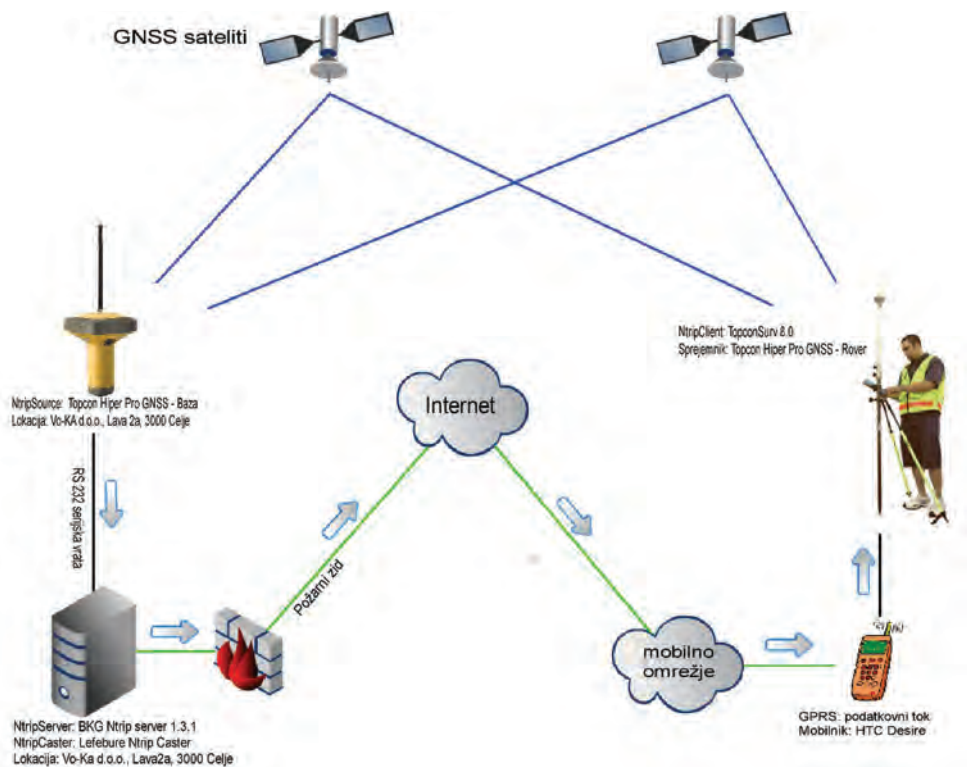
4.2 Mobilna povezava

Druga možnost, ki smo jo izkoristili pri prenosu popravkov med referenčno postajo in premičnim sprejemnikom na novi točki (odjemalcem), je mobilni internet. NTRIP (angl. Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) je odprt, nelastniški protokol za prenos diferencialnih popravkov in podatkov GNSS prek interneta. Sprejet je bil kot razširjen standard s strani RTCM in se izvaja v dveh različicah NTRIP v1.0 in v2.0 (Brazeal, 2013). NTRIP temelji na priljubljenem pretočnem protokolu HTTP (angl. HyperText Transfer Protocol), za prenos podatkov uporablja protokole TCP/IP (angl. Transmission Control Protocol/Internet Protocol) in načelo strežnik (angl. server) – odjemalec (angl. client). Strežnik je poznan pod imenom Ntrip-Broadcaster oziroma NtripCaster, medtem ko NtripServer in NtripClient predstavljata odjemalca.

Sistem NTRIP vsebuje naslednje elemente (Weber et al., 2005):

- NtripSource (sprejemnik: Topcon HiPer Pro GNSS): predstavlja vir podatkov.
- NtripServer (BKG Ntrip server 1.3.1): odjemalec/strežnik, posreduje (prenaša) podatke iz vira na NtripCaster.
- NtripCaster (Lefebure Ntrip Caster): strežnik HTTP (sprejema in posreduje sporočila).
- NtripClient (TopconSurv 8.0): odjemalec, sprejema podatke iz zahtevanega vira.

NtripCaster omogoča uporabnikom dostop do popravkov, ki se prenašajo iz referenčne GNSS-postaje, in je lahko tudi odprtokodna aplikacija, ki si jo uporabnik prenese z interneta. Lefebure NtripCaster lahko omogoča funkcije NtripServerja, če je referenčni sprejemnik na računalnik priključen prek serijskih vrat RS232 (Lefebure, 2014). Zagotavlja varnost (uporabniško ime in geslo) in upravljanje povezanih odjemalcev ter ustvarja imena virom (angl. mountpoints). Odjemalec prek virov enoznačno izbere zelene popravke. Danes so odjemalci (NtripClient) standardni del programske opreme, s katerimi upravljamo sprejemnik.



Slika 5: Podatkovni tok postaje VO_KA Celje.

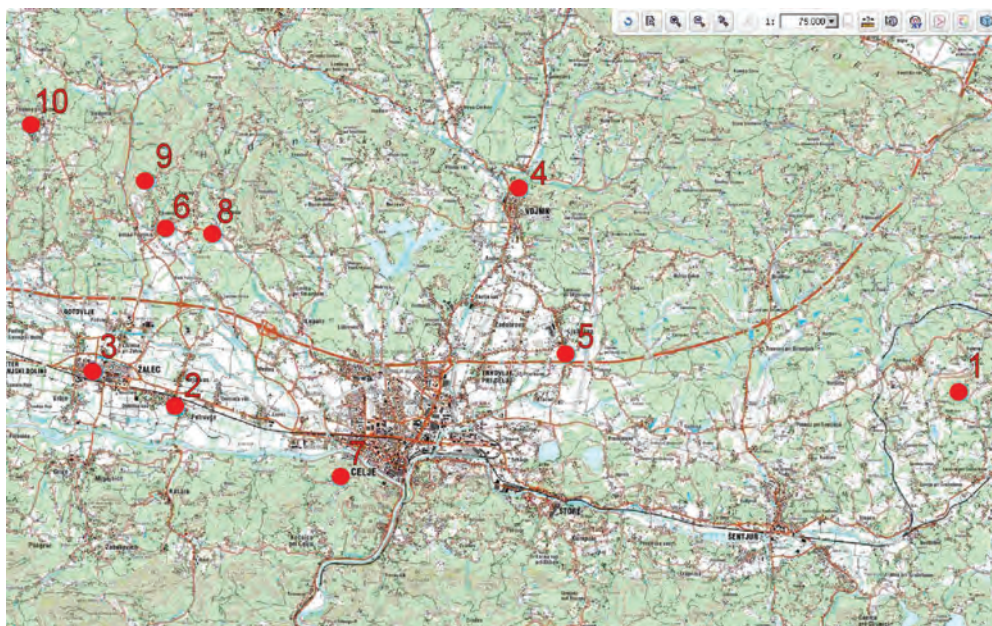
Povezavo med referenčno postajo (Topcon HiPer Pro GNSS) in NtripCasterjem oziroma NtripServerjem smo zagotovili prek serijskih vrat RS232. Podatkovni tok teče prek Lefebure NtripCasterja. Teoretično postopek ponovimo za poljubno število izbranih referenčnih postaj. Na podatkovni tok oziroma NtripCaster se lahko priključi poljubno število NtripClientov (sprejemnikov GNSS) s poljubnim naslovom IP (angl. Internet Protocol). Moramo jim dodeliti le uporabniško ime in geslo. Na premičnem sprejemniku smo uporabili terensko programsko opremo Topcon TopSURV 8, ki ima tudi vlogo NTRIP-odjemalca. Odjemanje podatkovnega toka je pogojeno z dostopom do mobilnega interneta, v našem primeru prek mobilne podatkovne storitve GPRS (angl. General Packet Radio Service) v okviru standarda GSM (angl. Global System for Mobile communications).

5 TEST IN ANALIZA POSTAVLJENE REFERENČNE POSTAJE NA PRIMERU NAVEZOVALNE MREŽE

Za povezavo slovenskega koordinatnega sistema z enotnim evropskim koordinatnim sistemom so bile v letih 1994, 1995 in 1996 izvedene tri izmere EUREF GNSS, ki so vključevale tudi točke v Sloveniji. Vključevale so 49 točk na območju Slovenije, tudi celotno triangulacijsko mrežo I. reda (Berk et al., 2003, 2006). Geodetska uprava Republike Slovenije je vzpostavila več kot sto mrež z navezavo na trigonometrične točke I. reda s koordinatami v ETRS89/TM. Koordinate v ETRS89/TM-sistemu so bile določene točkam višjega reda (II. in III. reda) s statičnimi GNSS

-meritvami v okvirnih mrežah, točkam nižjega reda pa v navezovalnih mrežah s hitro statično metodo GNSS-izmere.

Na širšem območju Celja je bilo vzpostavljenih več navezovalnih mrež, ki so večinoma pomenile izhodišča za zajem prostorskih podatkov GJI. Za test smo uporabili rezultate navezovalnih mrež Celje 2004, Galicija 2000, Sp. Savinjska 2005 in Zreče 1998. Vse točke so v naravi stabilizirane z betonskim oziroma granitnim kamnom, kovinskim čepom ali nastavkom za GNSS-anteno.



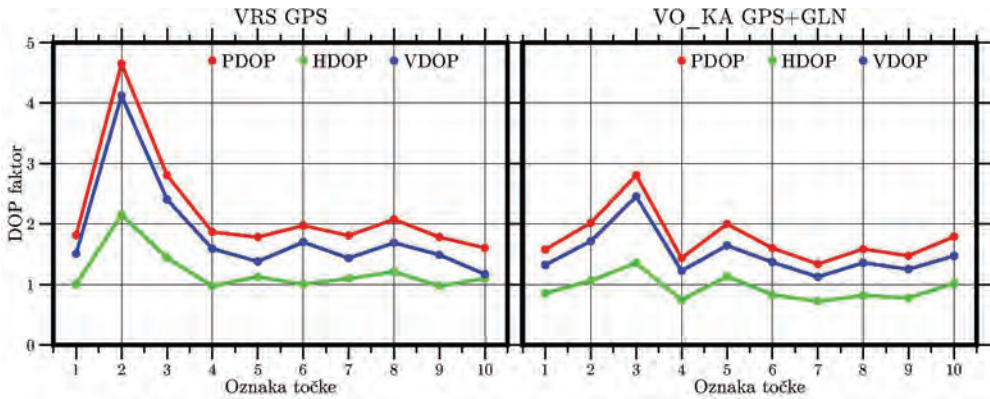
Slika 6: Izbrane točke navezovalnih mrež.

V testu smo uporabili metodo izmere RTK, da bi na praktičnem primeru ugotovili, kakšne so koordinatne razlike izmerjenih točk v izbranem koordinatnem sistemu. Zanimalo nas je predvsem, kako se RTK vede pri različnih navezavah na lastno referenčno postajo in omrežje SIGNAL, ter primerjali pridobljene položaje s položaji, pridobljenimi v navezovalnih mrežah (statična ali hitra statična metoda izmere). Za ta namen smo opravili izmero na desetih dobro stabiliziranih točkah. RTK-izmera je potekala februarja 2014, navezavo na referenčno postajo smo opravili:

- neposredno na referenčno permanentno postajo VO_KA (Celje), omogočen je bil sprejem opazovanj GPS + GLONASS (v nadaljevanju: VO_KA GPS+GLN),
- na državno mrežo stalnih postaj SIGNAL, način RTK-VRS, ki je v praksi najbolj uporabljena. V našem primeru je bil omogočen samo sprejem opazovanj GPS (v nadaljevanju: VRS GPS).

Za oba načina povezave (VO_KA GPS+GLN in VRS GPS) smo opazovanja izvajali v časovnem intervalu 500 sekund po izvedeni inicializaciji, da smo zagotovo dobili kakovostne rezultate. Vpliv geometrije satelitov in sprejemnika podajamo s faktorjem DOP (angl. Dilution Of Precision) (Leick, 1995), ki podaja mero za kakovost geometrijske razporeditve uporabljenih satelitov. Število sprejetih satelitov se je med meritvami v načinu VRS GPS gibalo med 7 in 10, v načinu VO_KA GPS+GLN med 6 in 10 GPS ter

med 2 in 9 GLONASS-satelitov. Priporoča se čim manjša vrednost PDOP (manj od 4) med opazovanji, kajti vrednost 1 je teoretično idealen primer, v katerem naj konstelacija satelitov ne bi povečala napake določitve položaja bolj, kot jo omogoča kakovost samih opazovanj (Langley, 1999). HDOP je v običajnih razmerah praviloma manjši od 2, medtem ko je VDOP navadno za 1,5-krat večji kot HDOP (Kozmus, 2010). Navedeni parametri so prikazani na sliki 7. Zaradi večjega števila opazovanih satelitov so pri navezavi VO_KA GPS+GLN vse vrednosti faktorjev DOP nižje, saj uporabimo tudi GLONASS-satelite, kar omogoča boljšo geometrijsko razporeditev satelitov med izmero.



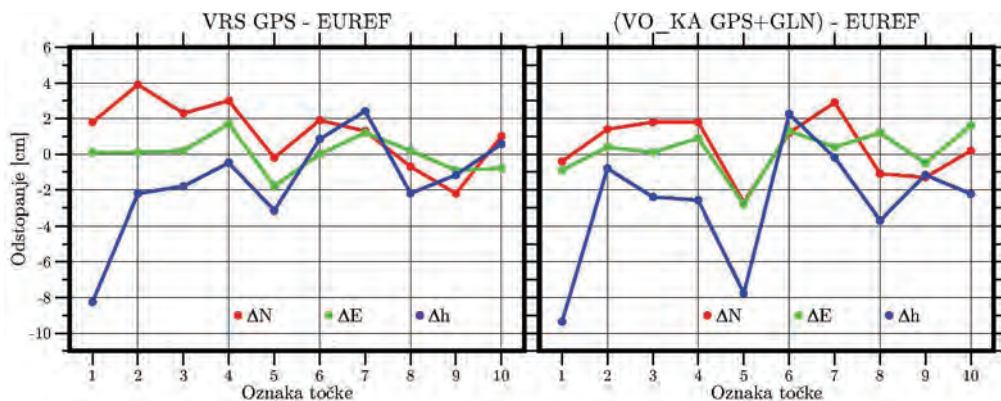
Slika 7: Prikaz vrednosti DOP-faktorjev za oba načina izmere – VRS GPS in VO_KA GPS+GLN.

Odstopanja med podanimi uradnimi koordinatami točk navezovalne mreže in rezultati izmere RTK (VO_KA GPS+GLN in VRS GPS) so predstavljeni v preglednici 5. V njej sta z oznako NAJVEČJE in NAJMANJŠE podani ekstremni vrednosti odstopanj, s pa je standardni odklon odstopanj posamezne komponente. Iz preglednice 5 je razvidno, da so odstopanja pri obeh metodah navezave podobna in na centimetrski ravni. Odstopanja so za horizontalni komponenti (E in N) pod 3 centimetri, medtem ko so odstopanja v višinski smeri večja, tudi do 9 centimetrov.

Preglednica 5: Odstopanja med uradnimi koordinatami in koordinatami, dobljenimi z izmero VRS GPS in VO_KA GPS+GLN.

	VRS GPS – EUREF-TOČKE			VO_KA GPS+GLN – EUREF-TOČKE		
	E [cm]	N [cm]	h [cm]	E [cm]	N [cm]	h [cm]
NAJMANJŠE	- 2,2	- 1,8	- 7,3	- 1,8	- 2,8	- 9,4
NAJVEČJE	3,9	1,7	2,4	2,9	1,3	2,2
σ	1,72	0,95	2,25	1,65	1,33	3,28

Vrednosti iz preglednice 5 so grafično predstavljene na sliki 8, na kateri je razvidno, da so odstopanja za obe navezavi podobna, kar kaže na višjo skladnost dobljenih koordinat RTK in VRS v primerjavi z uradnimi koordinatami.



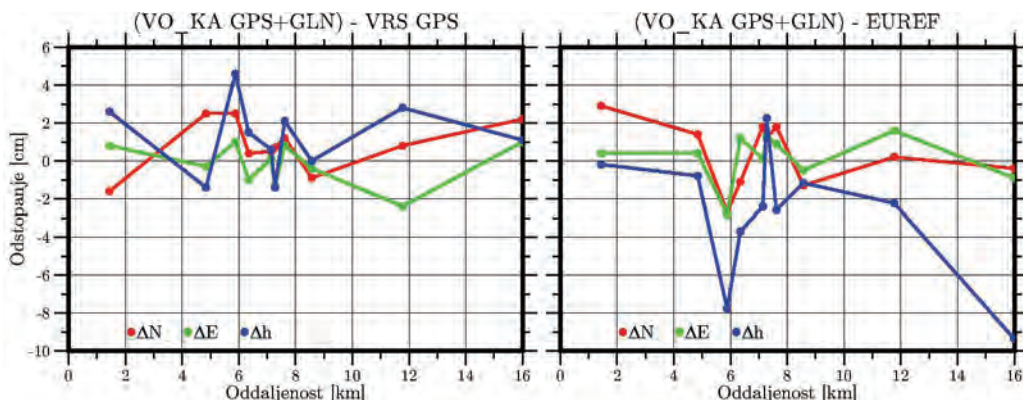
Slika 8: Grafični prikaz odstopanj iz preglednice 5.

Iz preglednice 6 in slike 8 je razvidno, da so koordinate po obeh metodah navezav različne. Te so predstavljene v preglednici 6. Oznake v preglednici imajo enak pomen kot v preglednici 5.

Preglednica 6: Statistike razlik koordinat, določenih z obema uporabljenima metodama (VO_KA GPS+GLN in VRS GPS).

	(VO_KA GPS+GLN) – (VRS GPS)		
	ΔE [cm]	ΔN [cm]	Δh [cm]
SPODNJA	-1,6	-1,3	-1,4
ZGORNJA	2,5	0,8	4,6
σ	1,29	1,08	1,81

Razlike v dobljenih koordinatah točk z obema metodama izmere in uradnimi koordinatami na sliki 9 prikazujemo v odvisnosti od oddaljenosti od referenčne postaje. Oddaljenost od referenčne postaje je eden od pomembnejših dejavnikov pri določitvi natančnosti koordinat točk z metodo RTK, saj natančnost določitve koordinat točk z oddaljenostjo od bazne postaje pada (Bilban, 2014). S slike 9 je razvidno, da razlike med obema metodama izmere (slika levo) v našem primeru niso odvisne od oddaljenosti od referenčne postaje. Enak sklep lahko naredimo tudi za desno sliko.



Slika 9: Odstopanja koordinat v odvisnosti od oddaljenosti od referenčne postaje.

6 SKLEP

Iz pridobljenih izkušenj bi želeli opozoriti, da mora biti referenčna postaja postavljena in stabilizirana preudarno in z upoštevanjem navodil ter IGS, EPN, EUPOS in preostalih smernic za zagotovitev najvišje kakovosti geodetskih opazovanj GNSS. Izračun koordinat referenčne postaje mora biti določen z najvišjo kakovostjo in skladen (z najvišjo točnostjo) z državnim koordinatnim sistemom. Zavedati se moramo, da so koordinate referenčne postaje koordinatno izhodišče nadaljnjih izmer in se napaka v koordinatah referenčne postaje neposredno prenese na napake v ocenjenih koordinatah novih točk. Zato je treba koordinate referenčne postaje tudi pogosto preračunavati, nadzirati njihovo stabilnost in arhivirati surove podatke postaje po visokih strokovnih standardih. Nepremišljena, nespametna ali malomarna vzpostavitev in uporaba referenčne postaje pomeni nevarnost za geodetsko stroko, za vzpostavljen državni koordinatni sistem in vse prostorske podatke, ki so bili prostorsko opredeljeni na podlagi podatkov slabo določene referenčne postaje.

Razlik v dobljenih koordinatah v tem delu nismo analizirali, zato lahko razloge le nakažemo. Razlike med uradnimi in izmerjenimi koordinatami (obe metodi) lahko pripišemo razliki v časovnem obdobju, v katerem so bile koordinate določene. EUREF-koordinate točk so bile dobljene na podlagi navezave na uradne EUREF-točke (Berk et al., 2003) iz leta 1995 z izmero v letih 1994–1996. Izmeri RTK in VRS pa sta potekali leta 2014. Problematične so razlike med izmero RTK in VRS. Te bo treba v prihodnosti podrobneje analizirati. Ker obe izmeri izhajata iz enake koordinatne osnove (koordinatni sistem omrežja SIGNAL), lahko razlike nakazujejo realno natančnost izmere VRS oziroma RTK, torej nekajcentimetrovska natančnost (glej preglednico 7). V prihodnje pa bo treba podrobno raziskati in potrditi, da med obema načinoma izmere ni sistematičnih razlik.

V našem primeru je bila referenčna postaja vzpostavljena za pridobivanje položaja objektov GJI v izbranem komunalnem podjetju. Empirični rezultati so pokazali, da lahko minimalno dopustno natančnost evidentiranih objektov GJI zagotovimo tudi ob večjih dolžinah baznega vektorja, v našem primeru do približno 15 kilometrov. Pri tem moramo upoštevati osnovni pogoj opazovanja pri odprtem jarku, zagotoviti kakovostno izvedbo ter uporabo kalibriranega instrumenta in pribora, nadštevilnih opazovanj, ustrezne redukcije in izravnave opazovanj. Glede na velikost povprečnega komunalnega podjetja v Sloveniji, katerega območje geografsko ne presega polmera 20 kilometrov, lahko pritrdimo dejstvu, da je postavitev lastne referenčne postaje ena od rešitev, kako zagotoviti priporočeno natančnost evidentiranja objektov GJI.

Literatura in viri:

- Berk, S., Kozmus, K., Radovan, D., Stopar, B. (2006). Planning and realization of the Slovenian permanent GPS network. *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, 113(11–12), 383–387.
- Berk, S., Komadina, Ž., Marjanovič, M., Radovan, D., Stopar, B. (2003). Preračun kombinirane rešitve EUREF GPS-kampanj iz let 1994, 1995, 1996 – »EUREF-SLOVENIA-94/95/96«. Končno poročilo. Ljubljana.
- Bilban, G. (2014). Analiza kakovosti določitve položaja v omrežjih postaj GNSS. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- BKG NTRIP. <http://igs.bkg.bund.de/ntrip/ntriphomepage>, pridobljeno: 28. 7. 2014.
- Brazeal, R. (2013). GNSS Next: Do-It-Yourself Internet RTK. *Professional Surveyor Magazine*, 33(3).
- Bruyinx, C. (2013). Guidelines for EPN Stations & Operational Centres. EPN Central Bureau. http://epncb.oma.be/_documentation/guidelines/guidelines_station_operationalcentre.pdf, pridobljeno 28. 7. 2014.
- CODE (2012). CODE Analysis Strategy Summary. <https://igs.jpl.nasa.gov/overview/pubs.html>, pridobljeno, 28. 7. 2014.
- Dach, R., Hugentobler, U., Fridez, P., Meindl, M. (2007). Bernese GPS Software. Version

- S.O. Bern, Astronomski inštitut Univerze v Bernu.
- EPN (2013). Guidelines for the EPN Analysis Centres. http://www.epncb.oma.be/_documentation/guidelines/guidelines_analysis_centres.pdf, pridobljeno 29. 7. 2014.
- Geodetski inštitut Slovenije – GI. (2012). Zasnova temeljne večnamenske državne geoinformacijske infrastrukture. Končno poročilo. Zaključno poročilo o rezultatih ciljnega raziskovalnega projekta ARRS-CRP-ZP-2012/3. Ljubljana.
- Golob, P. (2008). Zasnova projekta dolgoročnega spremljanja premikov geotehničnih objektov na osnovi opazovanj GNSS. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Horváth, T., Leitmannová, K., Nagl, J., Kollo, K., in Wübbena, G. (2008). Guidelines for Single Site Design. Version 2.1. EUPOS® – European Position Determination System. http://www.eupos.org/images/eupos_files/single_site_design_version2.1.pdf, pridobljeno: 10. 11. 2013.
- IGS (2013). IGS Site Guidelines. <http://igsceb.jpl.nasa.gov/network/guidelines/guidelines.html>, pridobljeno: 28. 7. 2014.
- Kozmus, K. (2010). Razvoj postopkov obdelave opazovanj GNSS za navigacijo oseb v oteženih pogojih. Doktorska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Kozmus, K., Stopar, B. (2003). Načini določanja položaja s satelitskimi tehnikami. Geodetski vestnik, 47(4), 404–413.
- Kozmus, K., Stopar, B. (2006). Protokol NTRIP za prenos podatkov preko interneta. Geodetski vestnik, 50(3), 464–471.
- Langley, B., R. (1999). Dilution of Precision. GPS WORLD, maj 1999, 52–59.
- LEFEBURE (2010). <http://lefebure.com/software/ntripcaster>, pridobljeno: 22. 7. 2014.
- Leick, A. (1995). GPS satellite surveying. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc. Kanada.
- Savšek, S., Ambrožič, T., Kogoj, D., Koler, B., Sterle, O., in Stopar, B. (2010). Geodezija v geotehnikih. Geodetski vestnik, 54(1), 31–45. DOI: <http://dx.doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2010.01.031-045>
- Sterle, O., Štebe, G., Pavlovčič, P., Stopar, B. (2013). Analize ročnih/mobilnih GNSS sprejemnikov in njihova položajna natančnost pri evidentiranju in uporabi podatkov v podporo aplikaciji 'Poklički, preden koplješ'. Projektna naloga. Ljubljana, Geodetska uprava RS.
- Sterle, O., Stopar, B., Pavlovčič Prešeren, P. (2014). Metoda PPP pri statični izmeri GNSS. Geodetski vestnik, 58(3), 466–481. DOI: <http://dx.doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2014.03.466-481>
- Stopar, B., Pavlovčič, P. (2007). Višja geodezija II. Študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Šarlah, N., Kumer, J., Kuzmič, M., Jud, S., Mesner, A., Mlinar, J., Klemenčič, G., Šelek, L. (2010). Evidentiranje gospodarske infrastrukture. Ljubljana, Gospodarsko interesno združenje geodetskih izvajalcev (GIZ GI).
- UNAVCO (2014). Monumentation Types. <http://www.unavco.org/instrumentation/monumentation/types/types.html>, pridobljeno, 28. 7. 2014.
- Weber, G., Gebhard, H., Dettmering, D. (2005). Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP). ION GNSS 18th International Technical Meeting of Satellite Division, Long Beach. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/3-540-27432-4_11
- Topcon (2006). Priročnik o instrumentu Topcon HiPer pro.
- Topcon (2008). Priročnik o instrumentu in postavitvi baznega sprejemnika Topcon HiPer-AG GPS.

Šarlah N., Štebe G., Sterle O. (2015). Postopek vzpostavitve in testiranja lastne referenčne GNSS-postaje. Geodetski vestnik, 59 (3): 457–472. DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2015.03.457-472

mag. Nikolaj Šarlah, univ. dipl. inž. geod.
 Območna geodetska uprava Celje
 Mariborska ulica 88, SI-3000 Celje
 e-naslov: niko.sarlah@gov.si

asist. mag. Oskar Sterle, univ. dipl. inž. geod.
 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
 Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
 e-naslov: oskar.sterle@fgg.uni-lj.si

asist. Gašper Štebe, univ. dipl. inž. geod.
 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
 Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
 e-naslov: gasper.stebe@fgg.uni-lj.si