

GNSS-KAMPANJA »EUREF SLOVENIJA 2016« “EUREF SLOVENIA 2016” GNSS CAMPAIGN

Klemen Medved

1 UVOD

Geodetska uprava RS je v drugi polovici leta 2016 izvajala obsežne terenske meritve v okviru GNSS-kampanje, imenovane »EUREF Slovenija 2016«. V njej naj bi ponovno izmerili vse geodetske točke, na podlagi katerih je bila v Sloveniji realizirana horizontalna sestavina državnega prostorskega koordinatnega sistema.

V zadnjem obdobju smo v Sloveniji vzpostavili državno kombinirano geodetsko mrežo oziroma mrežo 0. reda, ki bo na dolgi rok pomenila hrbtenico slovenskega geodetskega referenčnega sistema in jo je treba vključiti v samo realizacijo koordinatnega sistema. Prav tako uporabljamo državno omrežje stalnih GNSS-postaj SIGNAL, ki je neposredno vključeno v geodetsko referenčno osnovo in mora biti skladno z vsemi drugimi referenčnimi točkami.

Z izmero smo tako povezali v isti časovni epohi vse tri slovenske geodetske referenčne osnove in pridobili možnost za novo, kakovostnejšo realizacijo državnega prostorskega koordinatnega sistema.

2 RAZLOGI ZA IZVEDBO EUREF-KAMPANJE

Slovenski realizaciji ETRS89, ki temelji na EUREF GPS-kampanjah iz let 1994–1996, je po nekaterih ocenah že potekel rok trajanja. Razlogi za to so precej aktivna tektonika slovenskega državnega ozemlja. Ocenjeni vektorji hitrosti kažejo na spreminjanje geometrije območja Slovenije z velikostjo do nekaj milimetrov na leto (Caporali in sod., 2011; Sterle, 2015).

Z vzpostavitvijo mreže 0. reda smo vzpostavili hierarhijo geodetskih mrež, ki jih sestavljajo stalno delujoče postaje GNSS (tako omrežje 0. reda kot tudi omrežja SIGNAL) in druge fizično stabilizirane točke GNSS. Hierarhija – od najpomembnejše do najmanj pomembne mreže – je (Stopar in sod., 2015a):

1. mreža 0. reda,
2. omrežje SIGNAL in
3. pasivna mreža fizično stabiliziranih točk GNSS (EUREF-točke).

Omrežje SIGNAL je operativno že deset let, vendar so bile koordinate postajam GNSS določene na podlagi opazovanj GNSS, ki so trajala le en teden v letu 2007. Izvedena so bila tako, da je vzpredno potekala izmera na vseh petih uradnih EUREF-točkah v Sloveniji (Donačka gora, Korada, Kucelj, Malija

in Velika Kopa) in v omrežju SIGNAL. Koordinate točk omrežja SIGNAL se od takrat niso spremenile in predstavljajo geometrijo ozemlja Slovenije le še na stopnji točnosti nekaj centimetrov. Opazovanja so bila opravljena kmalu po začetku operativnega delovanja omrežja SIGNAL in takrat nismo imeli časovnih vrst koordinat. Tako ne poznamo neskladnosti med uradno določenimi in pravimi vrednostmi koordinat, pri katerih bi bila upoštevana lokalna in regionalna geodinamika območja Slovenije. Na podlagi številnih raziskav pa vendarle lahko sklepamo, da je geodetski datum D96 po 21 letih postal zastarel in neustrezne kakovosti za današnje potrebe.

Koordinate točk EUREF so bile določene z izračunom v letu 2003, ki pa je temeljil na izmerah EUREF v letih 1994, 1995 in 1996. Koordinate so določene za srednjo epoho 1995,55 in se od takrat niso spreminjale. Zaradi istih vzrokov kot pri omrežju SIGNAL tudi koordinate točk EUREF ne predstavljajo več prave geometrije ozemlja Slovenije. Neskladnost je tu še večja, saj je od določitve koordinat preteklo že 20 let.

Točke EUREF tako predstavljajo geometrijo mreže v letu 1995, omrežje SIGNAL v letu 2007, mreža 0. reda pa geometrijo v letu 2016. Povezava med tremi mrežami na podlagi koordinat je tako nepravilna. Tako je treba vzpostaviti in opredeliti povezavo med vsemi tremi mrežami. Pravilna relacija je lahko vzpostavljena le na podlagi obdelave opazovanj GNSS za vse točke vseh treh mrež za isto časovno obdobje v isti obdelavi in v ustreznem globalnem koordinatnem sistemu (Stopar in sod., 2015b).

3 NAČRTOVANE EUREF-KAMPANJE

Prva EUREF-kampanja, ki se je v Sloveniji izvajala leta 1994, torej pred 22 leti, je vključevala sedem točk in je bila priprava na obsežnejšo leta 1995. Ta je bila velik logistični in finančni zalogaj, saj je vključevala 48 točk. Kampanja »EUREF Slovenija 1995« se je pod vodstvom g. Miškovića izvajala v sodelovanju takratnega Inštituta za uporabno geodezijo iz Frankfurta (IfAG), Geodetske uprave RS, Hrvaške geodetske uprave in nekaterih večjih slovenskih geodetskih podjetij. Hkrati je bilo na terenu več kot sto operaterjev s 34 instrumenti (Trimble, model 4000). Sledila je še EUREF-kampanja v letu 1996, ko je bilo jedro izmer na območju Hrvaške, v Sloveniji pa je bilo vanjo vključenih šest točk (Berk in sod., 2003).

Tokrat smo zaradi kadrovskih in predvsem finančnih omejitev načrt prilagodili okoliščinam. Tako je bila načrtovana izvedba kampanje v devetih serijah s po petimi terenskimi ekipami in instrumenti (Javad, model Triumph) ter s približno istim naborom točk kot pred dvema desetletjema. Tako se je sicer povečal časovni obseg merjenj, bistveno pa so se zmanjšali stroški, saj so bile vse meritve opravljene v okviru rednega dela uslužbencev Urada za geodezijo.

Vse EUREF-točke, ki so bile izmerjene že v kampanjah v letih 1994–1996, so bile predhodno pregledane. Nekatere trigonometrične točke I. reda so bile v relativno slabem stanju, saj se v zadnjih 20 letih ni izvajalo sistematično vzdrževanje, zato so bile ustrezno sanirane (primera na slikah 1 in 2). Poleg tega sta bila preverjena dostop do točke in zaraščenost območja. Okolico nekaterih točk je bilo treba temeljito očistiti, ker je bila zaraščena.

Nekatere točke so bile v tem času tudi uničene oziroma spoznane za neustrezne (Žigartov vrh, Grintovec, Lendavske gorice, Pasja ravan). V kampanjo je bila vključena tudi »nova« točka, ki so jo v preteklosti že merili več kot 72 ur (GNSS-opazovanja). To je geodinamična geodetska točka Dole (pri Metliki).



Slika 1: Trigonometrična točka I. reda 515 (Košuta) pred sanacijo in po njej.



Slika 2: Trigonometrična točka I. reda 175 (Snežnik) pred sanacijo in po njej.

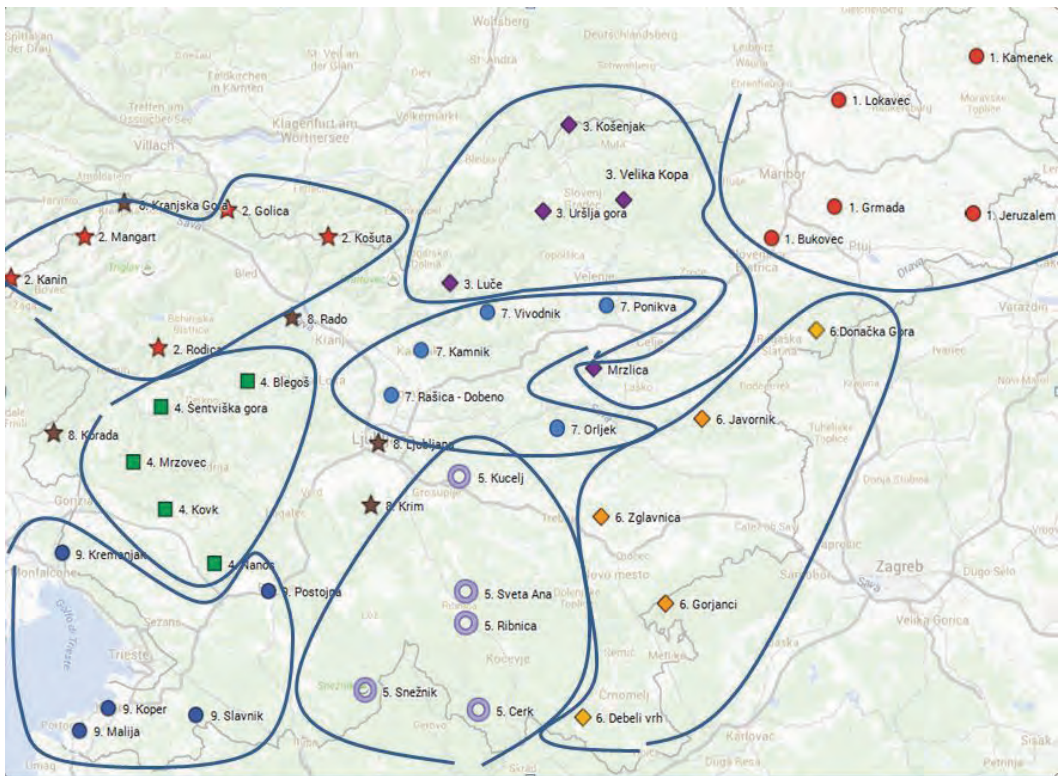
Pred izmero je bila pregledana oprema za merjenje, nabavljeni so bili manjkajoči kosi, treba je bilo tudi oblikovati obrazec zapisnika ter pripraviti navodila za ravnanje z instrumentom, izpolnjevanje zapisnika in arhiviranje podatkov. Instrumenti so bili pred začetkom projekta ustrezno testirani. Izvedeno je bilo tudi izobraževanje vseh operaterjev, ki so sodelovali v kampanji.

V pripravljalnem obdobju je bilo sklenjenih nekaj dogovorov, in sicer s slovensko vojsko (MORS) za sodelovanje s helikopterskim prevozom (Kanin in Mangart), s hrvaško geodetsko upravo za izvajanje meritev na dveh njihovih točkah (Brusnik in Pulj) ter s slovensko policijo za dostop na carinski pomol v Kopru.

4 IZVEDBA MERITEV

GNSS-kampanja »EUREF Slovenija 2016« se je pričela 22. avgusta 2016 in končala 10. novembra 2016. V tem obdobju je bilo skupaj opravljenih 36 dni terenskih meritev. Merjenje je potekalo na 46 izbranih EUREF-točkah, ki vključujejo izbrane točke astrogeodetske mreže (trigonometrične točke I. reda) in geodinamične mreže. Meritve so potekale v devetih serijah (slika 3). V vsaki so se izvajale hkrati na petih točkah, razen v peti seriji, v katero sta bili vključeni še dve hrvaški točki, in v šesti seriji, v katero je bilo vključenih šest točk. Vsaka posamezna točka je bila merjena v treh dnevni serijah (tj. po 72 ur). Interval registracije podatkov je bil 30 sekund, elevacijska maska pa 10° . Večinoma so serije potekale

od ponedeljka do četrтка (od 12^h do 12^h po lokalnem času), nekatere pa tudi od torika do petka. Razlog je bil enostaven, in sicer boljša vremenska napoved. Pri meritvah so se uporabljali instrumenti Javad Triumph-LS (oziroma -LV) z anteno JAV_RINGANT_G3T NONE.



Slika 3: Prikaz lokacij EUREF-točk po posameznih serijah meritv.

Meritve so potekale na naslednjih točkah astrogeodetske mreže: *Blegoš* (169), *Snežnik* (175), *Gorjanci* (375), *Debeli vrh* (376), *Javornik* (374), *Kamenek* (387), *Kanin* (202), *Grmada* (385), *Golica* (516), *Mrzovec* (171), *Slavnik* (181), *Orljek* (224), *Jeruzalem* (517), *Lokavec* (386), *Rodica* (170), *Zglavnica* (396), *Mangart* (179), *Košuta* (515), *Velika Kopa* (372), *Uršlja gora* (223), *Mrzlica* (373), *Košenjake* (91), *Nanos* (176), *Sveta Ana* (174), *Kucelj* (173), *Cerk* (185), *Donačka gora* (214), *Rašica* (168), *Vivodnik* (166), *Korada* (518), *Krim* (172), *Maliija* (180) in *Kremenjak* (519), geodinamičnih točkah: *Kamnik* (KAMN), *Kovk* (KOVK), *Kranjska Gora* (KRGO), *Ljubljana* (LJUB), *Luče* (LUCE), *Ponikva* (PONI), *Postojna* (POST), *Radovljica* (RADO), *Ribnica* (RIBN), *Šentviška gora* (SEGO), *Bukovec* (BUKO), *Dole* (DOLE) in *Koper* (SMKP) ter hrvaških EUREF-točkah: *Brusnik* (0727) in *Pula* (0729).

Skupaj so bile torej meritve opravljene na 48 tako imenovanih pasivnih geodetskih točkah s statično GNSS-izmero. Poleg tega so se opazovanja izvajala na:

- šestih stalno delujočih postajah kombinirane geodetske mreže 0. reda (Areh, Kog, Koper, Korada, Šentvid pri Stični in Prilozje),

- petnajstih stalno delujočih postajah omrežja SIGNAL (Bodonci, Bovec, Brežice, Celje, Črnomelj, Idrija, Ilirska Bistrica, Lendava, Ljubljana, Maribor, Nova Gorica, Ptuj, Radovljica, Slovenj Gradec in Trebnje),
- obmejnih stalno delujočih postajah sosednjih državnih GNSS-omrežij (avstrijsko APOS, hrvaško CROPOS, italijansko Rete GNSS FVG in madžarsko GNSSnet.hu) ter
- nekaterih IGS-postajah na območju Evrope.

Meritve so potekale brez večjih zapletov, vreme nam je bilo večinoma naklonjeno (sliki 4 in 5), čeprav se je že pojavil prvi sneg (slika 6). V posamezni ekipi sta bila od dva do štirje člani, odvisno od zahtevnosti dostopa do točke. Prvo serijo meritev smo opravili v severovzhodnem delu države in nadaljevali v visokogorju. Za točki Kanin in Mangart je bil organiziran helikopterski prevoz članov skupine in opreme, saj je dostop do njiju zelo zahteven (slika 7).



Slika 4: Meritve na točki Blegoš.



Slika 5: Pogled z Mangarta.



Slika 6: Zimske razmere na točki Vivodnik.



Slika 7: Helikopterski prevoz opreme in operaterjev na Kanin in Mangart.

Med meritvami so nas na točki Debeli vrh obiskali člani Dolenjskega geodetskega društva (slika 9), na točki Malija pa člani Primorskega geodetskega društva.

V splošnem lahko povzamemo, da so bile meritve izvedene uspešno. Za problematične so se izkazale nekatere točke, ki so na vrhu visokih stebrov in so že v slabem stanju (na primer Debeli vrh) ali pa na

neugodni mikrolokaciji (na primer Bukovec, stabilizirana na poševnem terenu sredi njive, ki se obdeluje). Pri teh bo treba končne rezultate interpretirati zelo pazljivo.



Slika 8: Točka Korada, v ozadju točka mreže 0. reda.



Slika 9: Obisk Dolenjskega geodetskega društva na točki Debeli vrh.

5 NADALJNJA OBDELAVA PODATKOV

Nadaljnja obdelava podatkov bo vključevala vseh 48 izmerjenih geodetskih točk GNSS-kampanje in 40 stalnih GNSS-postaj. V izračun bo vključenih 80 zaporednih dnevnih serij (22. 8. 2016–10. 11. 2016). Razdeljene so v devet serij meritev s po tremi dnevnimi serijami in osem vmesnih serij, ko so opazovane samo stalne GNSS-postaje. Skupaj gre za 230.680 epoh z registracijo na 30 sekund. Srednja epoha kampanje je 2016,75.

Sam izračun se bo izvedel s programsko opremo Bernese GNSS Software, različica 5.2, v koordinatnem sestavu IGB08 in z vklopom na IGS-točke, vse skladno s smernicami EUREF. Sledila bo transformacija v ETRS89 in končna potrditev izračunov s strani EUREF. Rezultati obdelave podatkov bodo primerjani s tistimi iz kombiniranega izračuna EUREF GPS-kampanj iz let 1994–1996 (47 točk) in iz Mini EUREF GPS-kampanje iz leta 2007 (25 točk).

5 ZAKLJUČEK

Z izvedbo GNSS-kampanje »EUREF Slovenija 2016« smo tudi v Sloveniji kot eni zadnjih evropskih držav izvedli ponovno izmero geodetskih točk, ki pomenijo državno realizacijo ETRS89. Sledita obdelava in izračun podatkov, ki bosta dejansko pokazala, kakšno je stanje horizontalne sestavine državnega prostorskega koordinatnega sistema.

Vsekakor je bil glavni cilj EUREF GNSS-izmere določitev kakovostnih koordinat EUREF-točk, postaj GNSS v omrežju SIGNAL in postaj GNSS na točkah kombinirane geodetske mreže 0. reda. Z obdelavo GNSS-meritev bomo pridobili koordinate vseh ključnih geodetskih točk v Sloveniji v istem časovnem obdobju ter na njihovi podlagi lahko določili novo realizacijo koordinatnega sistema.

V splošnem lahko rečemo, da so glede na velikost in značaj dobljenih odstopanj koordinat mogoči naslednji scenariji (Stopar in sod., 2015b):

- a) koordinatne razlike bodo majhne in lahko ohranimo sedanjí statični geodetski datum D96;
- b) koordinatne razlike bodo (pre)velike in treba bo:

- določiti nov statični geodetski datum D17 na podlagi izračuna GNSS-kampanje »EUREF Slovenija 2016«,
- preiti na poldinamični geodetski datum ali
- preiti na (4R) dinamični geodetski datum.

Glede na poznana dejstva bo nova realizacija najverjetneje morala vsebovati tudi dinamično komponento, saj iz izkušenj vemo, da lahko statičen geodetski datum ustreza današnjim zahtevam le za krajše obdobje (največ od 5 do 10 let). Z novimi koordinatami EUREF-točk v Sloveniji bomo pridobili možnost za nadaljnje izboljšave geokinematičnega modela slovenskega ozemlja (sedaj obstaja le v delovni obliki, vzpostavljen pa je bil le v raziskovalne namene), ki bo temeljil na precej velikem številu točk in precej dolgem časovnem obdobju od prvih kakovostnih izmer GNSS.

Konkretno smo z izmero »EUREF Slovenija 2016« pridobili kakovostna opazovanja GNSS za 45 EUREF-točk, za katere od prve izmere EUREF mineva več kot 20 let. Za več kot 20 stalno delujočih postaj GNSS imamo na voljo neprekinjena opazovanja GNSS za več kot deset let. Na petih točkah kombinirane geodetske mreže 0. reda pa se izvajajo opazovanja GNSS neprekinjeno približno eno leto in še ne morejo sodelovati pri tvorbi geokinematičnega modela (Stopar in sod., 2016).

Bodo pa točke 0. reda ključne za določitev prihodnjega, kakovostnejšega geokinematičnega modela Slovenije. To so namreč edine točke, ki v Sloveniji izpolnjujejo stroga merila glede izbora lokacije in stabilizacije/izgradnje.

Viri in literatura:

- Berk, S., Komadina, Ž., Marjanović, M., Radovan, D., Stopar, B. (2003). Kombinirani izračun EUREF GPS-kampanj na območju Slovenije. *Geodetski vestnik*, 47 (4), 414–422.
- Caporali, A., Lidberg, M., Stangl, G. (2011). Lifetime of ETRS89 Coordinates. Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF). Kišinjev, Moldavija, 25.–28. maj 2011.
- Miškovič, D. (1995). Poročilo o GPS kampanji Slovenija 1995. Interno gradivo. Ljubljana: Geodetska uprava Republike Slovenije, november 1995, 4 str.
- Sterle, O. (2015). Časovno odvisne geodetske mreže in koordinatni sistemi. Doktorska disertacija, št. 27/GO. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Stopar, B., Koler, B., Kogoj, D., Ambrožič, T., Pavlovčič Prešeren, P., Kuhar, M., Sterle, O., Kregar, K., Štebe, G., Urbanič, T., Goršič, J., Mencin, A., Berk, S., Bajec, K., Mesner, N., Fabiani, N., Caserman, M., Bric, V., Triglav Čekada, M., Kamičnik, I., Janežič, M., Oven, K. (2015a). Razvoj geodetskega referenčnega sistema 2014. Zaključni elaborat. Projekt št. 2433-13-0003. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije, oktober 2015, 295 str.
- Stopar, B., Režek, J., Komadina, Ž., Medved, K., Berk, S., Bajec, K., Oven, K., Koler, B., Urbanič, T., Kuhar, M., Pavlovčič Prešeren, P., Sterle, O. (2015b). Aktivnosti pri vzpostavitvi sodobnega geodetskega referenčnega sistema v Sloveniji. *Geodetska (r)evolucija*, 43. geodetski dan, Sežana, 9.–10. april 2015. Zbornik posveta, str. 37–56. Ljubljana: Zveza geodetov Slovenije, in Nova Gorica: Primorsko geodetsko društvo.
- Stopar, B., Koler, B., Kogoj, D., Ambrožič, T., Pavlovčič Prešeren, P., Kuhar, M., Sterle, O., Kregar, K., Štebe, G., Urbanič, T., Goršič, J., Mencin, A., Berk, S., Fabiani, N., Mesner, N., Caserman, M., Bric, V., Triglav Čekada, M., Karničnik, I., Janežič, M., Oven, K. (2016). Implementacija kombinirane geodetske mreže in višinske komponente ERSR v državni geodetski referenčni sistem. Zaključni elaborat. Projekt št. 2433-13-0003. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije, september 2016, 3 zv., 216 + 152 + 538 str.
- Zupančič, M. (2016). Poročilo projekta EUREF SLO 2016. Interno gradivo. Ljubljana: Geodetska uprava Republike Slovenije, november 2016, 8 str.



Mag. Klemen Medved, univ. dipl. inž. geod.
 Geodetska uprava Republike Slovenije
 Zemljemerska ulica 12, 1000 Ljubljana
 e-naslov: klemen.medved@gov.si