

UDK 528.236(497.5):528.236(4):528.41

Stručni članak

Osnovna GPS-mreža RH

Predrag IVANKOVIĆ-Pjer – Osijek¹

SAŽETAK. Članak obrađuje razvoj GPS-mreže I. i II. reda u Republici Hrvatskoj te proces povezivanja mreže s europskim GPS-sustavom EUREF. Opisane su sve GPS-kampanje koje su sudjelovale u razvoju GPS-mreže I. i II. reda te su navedeni tehnički podaci o metodama rada, korištenoj opremi i ostvarenoj točnosti svih kampanja.

Ključne riječi: EUREF, CROREF, transformacija.

1. Uvod

Osnovna GPS-mreža Republike Hrvatske sastoji se od GPS-točaka prvog i drugog reda.

GPS-mreža 1. reda referentna je GPS-mreža Republike Hrvatske i sastoji se od 78 točaka raspoređenih na cijelom teritoriju Republike Hrvatske i 15 točaka izvan granica RH.

GPS-mreža 2. reda je GPS-mreža Republike Hrvatske 10 x 10 km (desetkilometarska mreža) i sastoji se od 1016 točaka koje su raspoređene na međusobnim udaljenostima od oko 10 km i prekrivaju cijeli teritorij RH te se oslanjaju na Referentnu mrežu RH.

2. Referentna GPS-mreža RH

2.1. GPS-točke 1. reda

Referentna GPS-mreža RH uspostavljena je u razdoblju od 1994. do 2001. godine. Inicijator i naručitelj radova na uspostavi mreže bila je Državna geodetska uprava u RH.

Predviđeno je da se svaka nova uspostava GPS-točaka za potrebe radova iz aktivnosti DGU oslanja na osnovnu GPS-mrežu RH.

¹ Predrag Ivanković-Pjer, ing. geod., Grad Osijek, Kuhačeva 9, 31000 Osijek, e-mail: pjer@osijek.hr

2.1.1. EUREF-SLOCRO-1994

Prva GPS-kampanja za uspostavu osnovne GPS-mreže RH održana je istovremeno u Republici Hrvatskoj i Republici Sloveniji 1994. godine pod nazivom EUREF-SLOCRO-1994. Cilj održavanja kampanje bio je uključivanje mreža Republike Hrvatske i Republike Slovenije u jedinstveni europski koordinatni sustav EUREF.

GPS-kampanja održana je od 30. svibnja do 3. lipnja 1994. godine. Obuhvaćeno je ukupno 26 točaka, od toga 11 u Sloveniji i 10 u Hrvatskoj, te 3 referentne IGS (International GPS Service) točke i 2 kontrolne IGS-točke. Na svakoj točki mjerene su 4 sesije u trajanju po 24 sata. U RH opažane su sljedeće točke: Brusnik (slika 1), Velika Kapanica, Donji Miholjac, Gradište, Novoselsko Brdo, Ilin Vrh, Sveti Ivan, Pula, Žirje i Hvar. Izjednačenje mreže GPS-točaka obuhvaćenih kampanjom obavljeno je u sustavu ITRF92 (International Terrestrial Reference Frame) u epohi mjerenja 1994.4. Korištena je statička relativna metoda pozicioniranja (Bačić i Bačić 1998) dvofrekventnim GPS-prijamnicima. Mreža je oslonjena na tri referentne IGS-točke (Graz, Matera i Zimmerwald).



Slika 1. GPS-mjerenja na GPS-točki 1. reda Brusnik (EUREF).

Dobivena je srednja pogreška određivanja koordinata točaka:

- geodetska širina B: $\pm 9,3$ mm,
- geodetska duljina L: $\pm 2,2$ mm,
- geodetska visina h: $\pm 7,9$ mm.

2.1.2. SLOVENIJA-1995/ CROREF-1995

Pod nazivom SLOVENIJA-1995 održana je od 25. rujna do 2. listopada GPS-kampanja radi uspostave referentne GPS-mreže u Republici Sloveniji, kojom je obuhvaćeno 47 točaka na području Republike Slovenije. Istovremeno je u RH održana GPS-kampanja CROREF-1995, u kojoj je opažano 14 točaka u 7 sesija po 24 sata. Korištena je statička relativna metoda pozicioniranja dvofrekventnim GPS-prijamnicima. Mreža je oslonjena na četiri referentne IGS-točke (Graz, Matera, Zimmerwald i Wetzel). U izjednačenje CROREF-1995 uvršteno je i 9 točaka na područje Republike Slovenije, 4 referentne IGS-točke i 5 kontrolnih IGS-točaka, tako da su ukupno 32 točke sudjelovale u izjednačenju mreže u sustavu ITRF93 u epohi mjerenja 1995.7.

Dobivena je srednja pogreška određivanja koordinata točaka:

- geodetska širina B: $\pm 1,3$ mm,
- geodetska duljina L: $\pm 3,6$ mm,
- geodetska visina h: $\pm 3,4$ mm.

2.1.3. CROREF-1996

Pod nazivom CROREF-1996 održana je od 28. kolovoza do 12. rujna 1996. godine druga EUREF GPS-kampanja u RH. Cilj te kampanje bio je uspostavljanje EUREF GPS-mreže na cijelom teritoriju RH, s posebnim naglaskom na područja koja su u vrijeme prethodnih GPS-kampanja bila okupirana. Obuhvaćeno je ukupno 97 točaka, od toga 76 novih na teritoriju RH i po 5 točaka na teritoriju Slovenije i BiH te 4 referentne IGS-točke i 7 kontrolnih IGS-točaka. Mjerenja su obavljena u 4 faze, od kojih je četvrta dobila posebno ime CRODYN-1996, ali je u konačnom izjednačenju u cijelosti uključena u CROREF-1996. Mreža je oslonjena na četiri referentne IGS-točke (Graz, Matera, Zimmerwald i Wetzel). Izjednačenje je obavljeno u sustavu ITRF94 u epohi mjerenja 1996.7.

Dobivena je srednja pogreška određivanja koordinata točaka:

- geodetska širina B: $\pm 4,5$ mm,
- geodetska duljina L: $\pm 3,0$ mm,
- geodetska visina h: $\pm 6,7$ mm.

2.1.4. EUREF-CRO-94/95/96

Kako su navedene GPS-kampanje izjednačene u tri različita referentna sustava i u tri različite epohe mjerenja, u DGU su objedinjeni podaci iz sve tri kampanje i preračunati u jedinstvenom sustavu ITRF96 i srednjoj epohi mjerenja 1995.55 s osloncem na već spomenute četiri referentne IGS-točke (Graz, Matera, Zimmerwald i Wetzel).

Nakon kombiniranog izjednačenja cjelovite Referentne GPS-mreže Republike Hrvatske, dobivena je srednja pogreška određivanja koordinata točaka:

- geodetska širina B: $\pm 5,1$ mm,
- geodetska duljina L: $\pm 3,0$ mm,
- geodetska visina h: $\pm 6,3$ mm.

Kombinirano rješenje sve tri kampanje dobilo je ime EUREF-CRO-94/95/96. To je rješenje predstavljeno na EUREF simpoziju u Dubrovniku od 16. do 19. svibnja 2001. godine. Potkomisija za EUREF prihvatila je rezolucijom br. 1 IAG kombinirano rješenje GPS-kampanja u RH pod nazivom EUREF-CRO-94/95/96. Kampanja je prihvaćena kao kampanja za unapređenje i proširenje jedinstvenog europskoga koordinatnog sustava, u koji je uvršteno deset točaka iz Referentne GPS-mreže Republike Hrvatske.

U konačnici Referentna GPS-mreža Republike Hrvatske ima 93 (78 unutar RH i 15 izvan RH) točke, od toga 48 trigonometrijskih točaka 1. reda, 9 trigonometrijskih točaka 2. reda, 6 trigonometrijskih točaka 3. i 4. reda, 15 ostalih točaka (mareografi, reperi i geodinamičke točke) i 15 točaka izvan RH.

2.1.5. Transformacija u ETRS-89

Kako bi se mreža izjednačena u svjetskom sustavu ITRF96 implementirala u europski ETRS89 (European Terrestrial Reference System), izvršena je transformacija koordinata (Bašić 1997) iz ITRF96 u ETRF89, prema sljedećem obrascu:

$$\mathbf{X}_e(t_c) = \mathbf{X}_{yy}(t_c) + \mathbf{T}_{yy} + \begin{vmatrix} 0 & -R_{3yy} & R_{2yy} \\ R_{3yy} & 0 & -R_{1yy} \\ -R_{2yy} & R_{1yy} & 0 \end{vmatrix} \cdot \mathbf{X}_{yy}(t_c) \cdot (t_c - 1989.0),$$

gdje je: $\mathbf{X}_e(t_c)$ – koordinate u ETRS89

$\mathbf{X}_{yy}(t_c)$ – koordinate u ITRF96

\mathbf{T}_{yy} – translacijski parametri iz ITRF96 u ETRS89

t_c – epoha opažanja – 1995.55

Transformacijski parametri:

$$\begin{aligned} T_1 \text{ (cm)} &= 4,10 \\ T_2 \text{ (cm)} &= 4,10 \\ T_3 \text{ (cm)} &= -4,90 \\ R_1 \text{ (0,001 sec)} &= 0,20 \\ R_2 \text{ (0,001 sec)} &= 0,50 \\ R_3 \text{ (0,001 sec)} &= -0,65. \end{aligned}$$

Transformacija koordinata obavljena je softverima Trimble GPTrans i Dat_Abmo.

Tablica 1. *Popis točaka uvrštenih u EUREF GPS sustav.*

EUREF	IME TOČKE	Y	X	Z
0725	DONJI MIHOLJAC	4235413,420	1389394,706	4546864,155
0726	NOVOSELSKO BRDO	4273227,943	1314661,906	4533896,905
0727	BRUSNIK	4307966,079	1200393,194	4532778,716
0728	GRADIŠTE	4267436,938	1445417,698	4499533,451
0729	PULA	4396624,036	1083670,705	4476822,858
0730	KREMEN	4386479,599	1248397,099	4446190,519
0731	ŽIRJE	4450950,365	1246404,433	4380514,136
0732	VIS HUM	4486667,279	1296165,147	4330366,220
0733	SVETI IVAN	4466232,614	1404551,057	4317584,872
0734	ILIN VRH	4469744,080	1485678,377	4287027,880

Tijekom 1996. i 1997. godine održane su EUREF GPS-kampanje EUREF-FYROM-1996 i EUVN-1997, u sklopu kojih su opažane tri hrvatske EUREF GPS-točke 0727 BRUSNIK (slika 1), 0728 GRADIŠTE i 0734 ILIN VRH, te jedna slovenska EUREF GPS-točka 0724 MALIJA.

Rezultati tih opažanja iskorišteni su za usporedbu izračunatih koordinata opažanih točaka Referentne GPS-mreže Republike Hrvatske, računatih u kombiniranoj kampanji EUREF-CRO-94/95/96.

Kako ne bi utjecao vremenski pomak, uspoređene su koordinate nakon transformacije u ETRS.

Tablica 2. *Usporedba koordinata nakon transformacije u ETRS.*

EUREF	IME TOČKE	dY(m)	dX(m)	dZ(m)	GPS kampanja
0727	BRUSNIK	0,003	0,001	0,009	EUVN-1997
0728	GRADIŠTE	0,011	0,006	0,016	EUVN-1997
0734	ILIN VRH	0,004	0,002	0,000	EUREF-FYROM-1996
0724	MALIJA	-0,003	-0,002	0,003	EUVN-1997

Dobiveni rezultati, potvrda su ispravnosti kombinirane metode računanja Referentne GPS-mreže Republike Hrvatske.

2.2. GPS-mreža Republike Hrvatske 10 x 10 km

2.2.1. GPS-točke 2. reda

Izmjera GPS-mreže 2. reda Republike Hrvatske (10-kilometarska GPS-mreža ili GPS mreža Republike Hrvatske 10 x 10 km) pokrenuta je od DGU 1996. godine. U prvoj fazi mjerenjem je obuhvaćena oko polovice teritorija Republike Hrvatske (neokupirani dio istočne Slavonije, središnja i sjeverozapadna Hrvatska). GPS-opažanja obavljena su u travnju i svibnju 1997. godine. Izjednačenje je provedeno u sustavu ITRF94 u jedinstvenoj epohi mjerenja 1997.4.

Radovi na dovršenju 10-kilometarske GPS-mreže RH nastavljani su 2001. godine. GPS-mjerenja obavljena su tijekom studenoga i prosinca 2001. godine u tri zasebna bloka nazvana Zadatak A (istočna Hrvatska–Podunavlje), Zadatak B (Primorje i sjeverna Dalmacija) i Zadatak C (južna Dalmacija), (slika 2).

Sva opažanja obavljena su dvofrekventnim GPS-prijamnicima marke Trimble (Trimble 1996).

Zadatak A izjednačen je u sustavu ITRF96 u epohi mjerenja 2001.80.

Zadatak B izjednačen je u sustavu ITRF96 u epohi mjerenja 2001.83.

Zadatak C izjednačen je u sustavu ITRF96 u epohi mjerenja 2001.91.

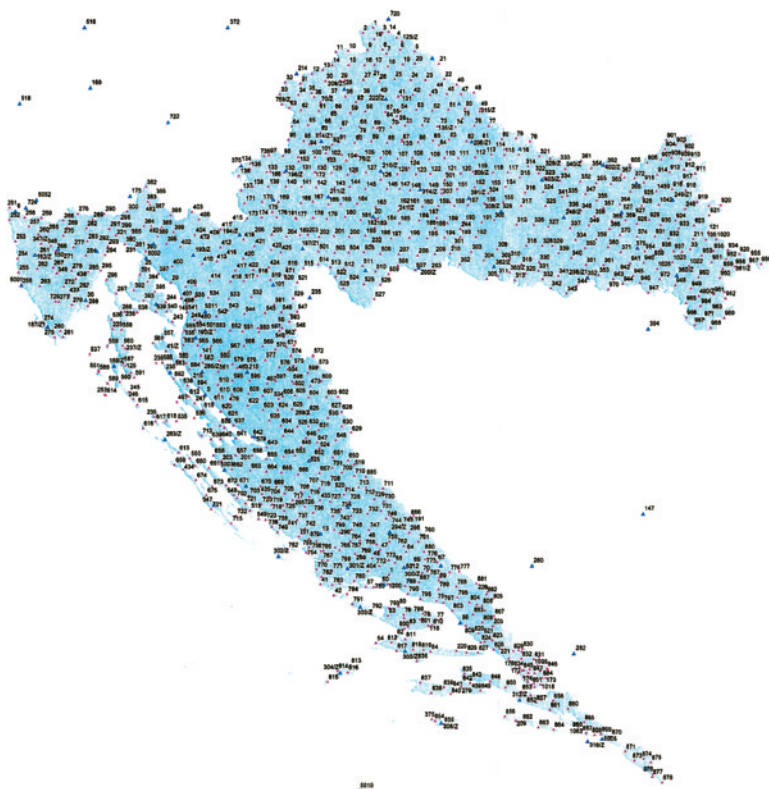
Kako je 2001. ponovno izjednačena cjelokupna GPS-mreža 1. reda mjerena od 1994. do 1996. godine u sustavu ITRF96, također je obavljeno i novo zajedničko izjednačenje GPS-mreže 2. reda Republike Hrvatske u sustavu ITRF96, koji je identičan sustavu ITRF94 u srednjoj epohi mjerenja 1999.6.

GPS-mreža 2. reda Republike Hrvatske sastoji se od ukupno 1016 točaka (slika 3).



Slika 2. GPS-mjerenja na GPS-točki 1. reda Mareograf Split.

Pregledna karta osnovne GPS mreže Republike Hrvatske



Slika 3. Pregledna karta osnovne GPS-mreže Republike Hrvatske (Bačić i Marjanović 2003.).

Preuzeta je stabilizacija nekolicine točaka stare trigonometrijske mreže, kako slijedi:

- 4 trigonometrijske točke 1. reda,
- 177 trigonometrijskih točaka 2. reda,
- 7 trigonometrijskih točaka 3. i 4. reda.

Ostalih 828 točaka su novoodređene GPS-točke 10 x 10 km.

2.2.2. Transformacija koordinata

Transformacija koordinata u sustav ETRS89 obavljena je na isti način kako je opisano za GPS-mrežu 1. reda.

Dok je za mrežu 1. reda u cijelosti preuzeta stabilizacija stare trigonometrijske mreže (slika 4), također su za te točke preuzete i Gauss-Krügerove koordinate, za GPS-mrežu 2. reda preuzeta je stabilizacija i Gauss-Krügerove koordinate samo za manji broj točaka, a za ostale je potrebno izvršiti transformaciju koordinata u Gauss-Krügerov sustav. Jedinствени parametri za transformaciju koordinata iz sustava ETRS89 u Gauss-Krügerov sustav za cijelo područje RH imaju prevelike rezidualne (oko 0,50 metara), stoga u sklopu projekta 10-kilometarske mreže nije obavljena transformacija koordinata u Gauss-Krügerov sustav. U skicama položaja točke upisane su približne Gauss-Krügerove koordinate zaokružene na 1 metar.



Slika 4. GPS-mjerenja na GPS-točki 1. reda Prapatnica.

U sklopu projekta Osnovne GPS-mreže RH izračunati su transformacijski parametri iz sustava ETRS89 (elipsoid GRS80) u Gauss-Krügerov sustav (elipsoid Bessel) za svaku županiju posebno. Rezidualni parametara kreću se između 0,13 i 0,37 metara, te se korištenje preporučuje za GIS (geoinformacijski sustavi), te određivanje orijentacijskih točaka za DOF (digitalni ortofoto) i karte sitnijeg mjera (HOK 5000 i TK25).

3. Zaključak

Osnovna GPS-mreža RH pokriva cijelo područje RH s međusobnim razmacima od maksimalnih 10 kilometara, što omogućuje primjenu GPS-metoda mjerenja pri većini geodetskih radova bez velikih troškova prognošćivanja mreže.

Veći gradovi u RH pokriveni su posebnim homogenim poljima GPS-točaka na udaljenostima od oko 200 do 500 metara. Za svako homogeno polje izračunati su posebni transformacijski parametri za prijelaz u Gauss-Krügerov sustav reziduali kojega se kreću od 0,06 do 0,14 metara, što točnošću zadovoljava većinu geodetskih radova.

Za veće geodetske zahvate koji nisu obuhvaćeni homogenim poljima, preporučuje se prethodno pokrivanje novim homogenim poljima GPS-točaka (Ivanković 2000) gustoće koja je potrebna za predviđene radove. Kako bi se mogli izračunati kvalitetni parametri za prijelaz na Gauss-Krügerov sustav, potrebno je u homogeno polje uvrstiti što veći broj točaka postojeće trigonometrijske mreže.

Vidljivo je da prijelazom na Gauss-Krügerov sustav “kvarimo” visokokvalitetne podatke dobivene GPS-mjerenjima, što sugerira da bi u budućnosti kompletan HKDS trebalo osloniti na ETRS.

Literatura

- Bačić, Ž., Bačić, T. (1998): Satelitska geodezija II (interna skripta), Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Bačić, Ž., Marjanović, M. (2003): Osnovna GPS mreža RH i upute za korištenje transformacijskih parametara za transformaciju koordinata između HDKS-a i ETRS-a, Zagreb, 1–15.
- Bačić, T. (1997): Satelitska geodezija II (interna skripta), Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Ivanković, P. (2000): Obrada GPS mreže Babina Greda, diplomski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Trimble (1996): GPS Survey software – WAVE Software User’s guide, Revision A. Trimble Navigation Limited, Surveying & Mapping Division, Sunnyvale, CA.

The Basic GPS Network in Croatia

ABSTRACT. This article presents development of the GPS network 1.and 2.degrees in The Republic of Croatia as well as the process of connecting with Europe GPS system. It also describes all the GPS campaigns that contributed to the development of GPS network of 1. and 2. degres, with technical details of working methodes included, the equipment used and the accuritty of all campaign results accomplished.

Keywords: EUREF, CROREF, transformation.

Prihvaćeno: 2008-05-21