

## USPOREDBA KOORDINATA TOČAKA TEST MREŽE ZAGREB'94, OPAŽANIH U VREMENSKOM RAZMAKU OD DVIJE GODINE

pišu: **Ljerka Rašić, dipl. ing.**  
**Dražen Švehla**

U ovom radu željele su se pokazati razlike u GPS-koordinatama točaka u okolici grada Zagreba na kojima se opažalo dva puta s vremenskim razmakom od dvije godine.

U sklopu kampanje EUREF'94 - HRVATSKA I SLOVENIJA provedena su dodatna GPS-mjerenja na pet točaka u okolici Zagreba kao rezultat suradnje Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Republičke geodetske uprave i Zavoda za katastar grada Zagreba sa Institutom za primijenjenu geodeziju (IfAG) iz Frankfurta, a pod voditeljstvom akademika K. Čolića. Opažane točke nisu zvanične EUREF-točke, te kao takve nisu (oficijelno) ušle u jedinstvenu europsku mrežu EUREF89. Test GPS-mrežu Zagreb'94 čini 5 točaka u okolici grada Zagreba: poznato staro koordinatno ishodište Kloštar-Ivanić i još tri trigonometrijske točke I reda: Sljeme, Kozjača, Samoborska Plješivica, te ekscentar trigonometra nižeg reda Mirogoj, kao i dvije osloničke EUREF-točke Brusnik i Novoselsko brdo.

Prvi su put predmetne "zagrebačke" točke opažane sa rezervnim GPS-prijamnikom Trimble 4000 SSE u periodu od 30. svibnja do 3 lipnja 1994.

za vrijeme velike GPS-kampanje "EUREF'94 - Hrvatska i Slovenija". Uslijed toga svaka je točka opažana u nekoj od sesija (serija), jedino se točka Kloštar-Ivanić opažala kroz dvije sesije, tako da su kroz četiri sesije GPS-kampanje opažane sve točke ove test-mreže, tablica 1. Te točke, za razliku od Brusnika i Novoselskog brda, nisu EUREF-točke na kojima se opažalo cijelih 24<sup>h</sup> po različitim sesijama, pa je ukupno vrijeme opažanja za svaku od 10 hrvatskih bazičnih točaka u EUREF'94 iznosilo čak po 96<sup>h</sup> (četiri sesije po 24<sup>h</sup>).

Iste su točke opažane u 1996. godini u sklopu velike hrvatske nacionalne GPS-kampanje "CROREF'96-CRODYN'96", a u realizaciji prije navedenih ustanova i pod voditeljstvom akademika K. Čolića.

Kao što se vidi iz tablice 2. točka Mirogoj nije opažana u ovoj kampanji, ali su zato provedena dodatna mjerenja na točkama GTŠ-Zagreb, Bukevje i Škrlečev breg, na kojima je variralo vrijeme trajanja GPS-opažanja, jer je najprije bio na raspolaganju jedan, a zatim i drugi rezervni Trimble prijamnik 4000SSE..

Interval registracije je na svim točkama bio ustaljenih 15<sup>s</sup>, dok je elevacijska maska iznosila uobičajenih 15°. Elevacijska maska predstavlja elevacijski kut ispod kojeg se ne registriraju signali sa GPS-satelita.

Izjednačenja je provela Ljerka Rašić, dipl. ing. geod. sa Bernese softverom 4.0 u Institutu za primijenjenu geodeziju (IfAG) u Frankfurtu na Majni, tako da je posebno izjednačila mrežu iz 1994, a posebno iz 1996. Kao referentne

GPS - točka	Dan u godini (sesija)			
	150	151	152	153
Brusnik	x	x	x	x
Novoselsko brdo	x	x	x	x
Kloštar-Ivanić		x	x	
Sljeme				x
Kozjača	x			
Samoborska Plješivica				x
Mirogoj		x		

Tablica 1. Vrijeme mjerenja po sesijama u prvoj epohi

GPS - točka	Dan u godini (sesija)			
	242	243	245	246
<b>Brusnik</b>	x	x	x	x
<b>Novoselsko brdo</b>	x	x	x	x
<b>Kloštar-Ivanić</b>	x	x		
<b>Sljeme</b>	x	x	x	15h
<b>Kozjača</b>	x	x		
<b>Samoborska Plješivica</b>	x	x		
<b>GTŠ-Zagreb</b>		19h		
<b>Bukevje</b>		7.8h		
<b>Škrležev breg</b>		7h		

*Tablica 2. Vrijeme mjerenja po sesijama u drugoj epohi*

odnosno fiksne točke prilikom oba izjednačenja poslužile su najbliže EUREF-točke Brusnik i Novoselsko brdo, čije su koordinate poznate u jedinstvenom europskom datumu ETRS89 (European Terrestrial Reference System). Korištene su precizne efemeride satelita u ITRF92 (International Terrestrial Reference Frame), odnosno u ITRF94 sustavu za drugu epohu, a kako koordinate fiksnih točaka moraju biti u istom sustavu kao i orbita, to su koordinate fiksnih točaka transformirane iz ETRS89 u ITRF za epohu mjerenja 1994.4, odnosno za epohu 1996.7 prilikom drugog opažanja. Utjecaj ionosfere je najvećim dijelom eliminiran korištenjem L3 frekvencije, dok je troposfera modelirana standardnim modelom po Saastamoinenu. Naime, da bi se eliminirao utjecaj troposfere na

GPS-mjerenja, potrebno je poznavati parametre atmosferske diljem čitavog puta signala sa satelita, a kako je to vrlo teško postići, to se danas prvenstveno koristi standardni model troposfere po Saastamoinenu. Za svaki su dan tj. sesiju obje varijante zagrebačke GPS-test-mreže izjednačene kao slobodne mreže, pri čemu su dobivene koordinate točaka i normalne jednadžbe za svaku sesiju, a kombiniranjem tako dobivenih

normalnih jednadžbi, pri čemu su EUREF-točke Brusnik i Novoselsko brdo uzete kao fiksne točke, došlo se do konačnog rješenja.

U izjednačenje GPS-mreže iz 1996. godine su pored Kloštar-Ivanića, Kozjače, Samoborske Plješivice i Sljemena, ušle i GPS-točke Bukevje, Škrležev Breg i GTŠ-Zagreb (Geodetska tehnička škola), dok se GPS-točka Mirogoj ovaj put nije mogla uvesti u

izjednačenje jer se na njoj nije opažalo. Sa GPS-točaka Kloštar-Ivanić, Kozjača te Samoborska Plješivica u izjednačenje su ušla opažanja dviju sesija po 24<sup>h</sup>, dok su sa Sljemena ušle 4 sesije po 24<sup>h</sup>. Na ostale tri točke opažalo se u istoj sesiji, ali s manjim trajanjem sesije. Tako se na GPS-točki GTŠ-Zagreb opažalo 19<sup>h</sup>, na Bukevju 7<sup>h</sup> 45<sup>m</sup>, a na Škrleževom bregu 7<sup>h</sup>. U tablici 3. nalaze se koordinate 5 točaka test-mreže Zagreb'94 u ETRS'89 datumu.

GPS-točka	X	Y	Z
<b>Kloštar-Ivanić</b>	4277284,3038	1259968,4521	4545459,2797
<b>Sljeme</b>	4275963,7081	1221869,8099	4558240,9415
<b>Kozjača</b>	4297145,8828	1232637,3302	4534409,2253
<b>Samoborska Plješivica</b>	4294143,9353	1204448,2789	4545499,0228
<b>Mirogoj</b>	4279570,2965	1225804,5581	4552676,1445

*Tablica 3. Koordinate za početnih 5 točaka test mreže Zagreb'94 u ETRS89*

GPS-točka	X	Y	Z
Klo tar-Ivani	4277284,2861	1259968,4512	4545459,2578
Sljeme	4275963,6966	1221869,8171	4558240,9405
Kozjača	4297145,8719	1232637,3329	4534409,2132
Samoborska Plje ivica	4294143,9158	1204448,2808	4545499,0054
GT -Zagreb	4284339,9415	1227001,9506	4547766,8704
Bukevje	4282498,5683	1245245,0461	4544544,8685
kršev breg	4283278,0171	1214178,6042	4552406,9719

**Tablica 4.** Koordinate dobivene izjednačenjem zagrebačkog dijela GPS-kampanje CROREF'96 i CRODYN'96

Tablica 4. prikazuje koordinate točaka dobivene izjednačenjem zagrebačkog dijela GPS-mreže CROREF'96-CRODYN'96 također u ETRS89 sustavu.

Srednja kvadratna pogreška koordinata druge epohe je  $\pm 1.8$  mm po širini,  $\pm 2.3$  mm po duljini, te  $\pm 5.9$  mm po geodetskoj visini. Tablica 5. prikazuje razlike u kartezijevim koordinatama točaka u jedinstvenom europskom koordinatnom sustavu ETRS89, dok su ti pomaci u tablici 6. preračunati u 3D-geodetske koordinate B, L i H.

Iz tablica se vidi da su promjene koordinata iznosile od 13,6 mm do 28,2 mm, što čini u prosjeku 21 mm (totalni vektor), dok su srednje kvadratne pogreške totalnog pomaka ispod jednog centimetra. Naravno, u tu razliku ulaze promjene koordinata uslijed tektonskih pomicanja Zemljine kore, ostvarena točnost mjerenja kod obje epohe te točnost referentnih točaka, odnosno točnost samog matematičkog

modela. Slika 1. prikazuje *visinske pomake točaka*, dok slika 2. sadrži *horizontalne pomake točaka* kroz dvije godine. Može se primijetiti da su eventualni horizontalni pomaci gotovo unutar granica

točnosti mjerenja, dok proizlaze znatniji visinski pomaci. Oni iznose u prosjeku -19 mm, što upućuje na moguće osjetno slijeganje od 1 cm/god. Osim toga daje se primijetiti i svojevrsna horizontalna rotacija sve četiri točke u smjeru sjeveroistoka. Sve ove veličine relativno su vezane na fiksne točke Brusnik i Novoselsko brdo. Kako su koordinate tih točaka transformirane iz ITRF92 u

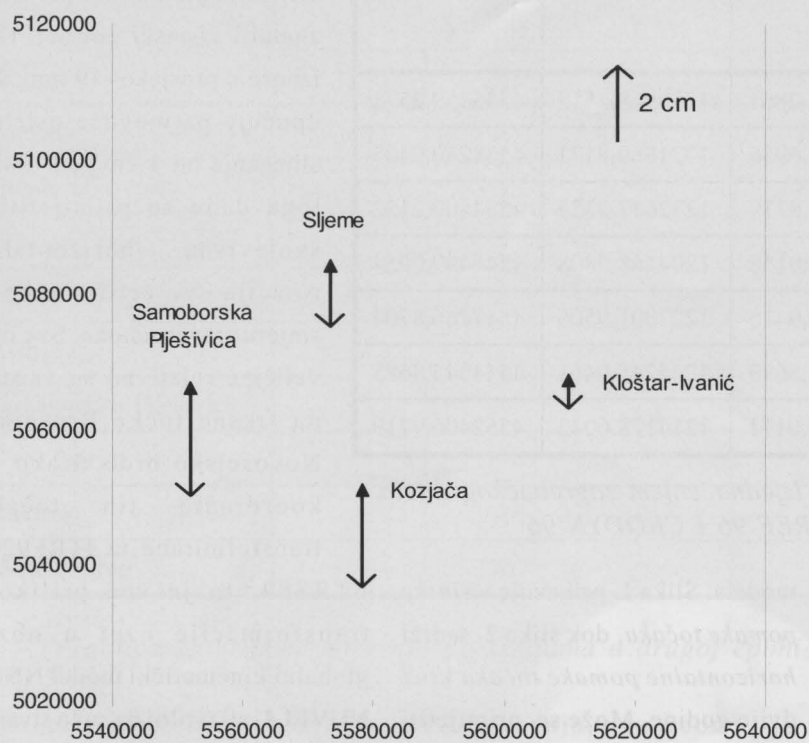
ETRS89, to je već prilikom transformacije uzet u obzir globalni kinematički model NNR-NUVEL1, ali tvrditi da su to stvarni pomaci i rotacije bilo bi zasada presmjelo.

Točka	$\Delta X$ [mm]	$\Delta Y$ [mm]	$\Delta Z$ [mm]
Samoborska Plje ivica	-19,5	1,9	-17,4
Klo tar-Ivani	-17,7	-0,9	-21,9
Sljeme	-11,5	7,2	-1,0
Kozjača	-10,9	2,7	-12,1

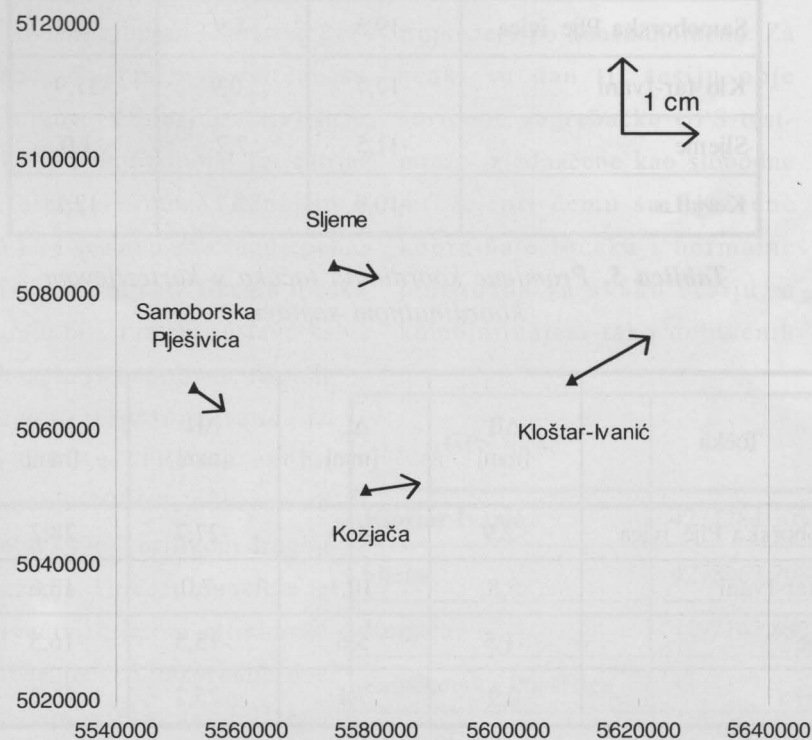
**Tablica 5.** Promjene koordinata točaka u kartezijevom koordinatnom sustavu

Točka	$\Delta B$ [mm]	$\Delta L$ [mm]	$\Delta H$ [mm]	$\Delta_{BLH}$ [mm]
Samoborska Plje ivica	-2,9	4,1	-27,7	28,2
Klo tar-Ivani	5,8	10,1	-7,0	13,6
Sljeme	-1,5	5,6	-15,5	16,5
Kozjača	0,9	7,1	-25,2	26,2

**Tablica 6.** Promjene koordinata u geodetskom 3D-sustavu kroz dvije godine



*Slika 1. Vertikalni pomaci točaka kroz dvije godine*



*Slika 2. Horizontalni pomaci točaka kroz dvije godine*

Analiza ovih pomaka bila bi potpunija kada bi postojao duži vremenski interval između GPS-opažanih epoha. Osim toga se grad Zagreb sa okolicom nalazi na dva velika rasjeda (dva su ključna, plus još neki, vidi "GPS-mreža grada Zagreba - idejni projekt" autora akademika K. Čolića), što još više komplicira lokalni kinematički model, ali periodičnim opažanjima bi se dobio temelj na osnovu kojega bi se formirao kinematički model brzina promjena koordinata GPS-točaka. Takvim jednim modeliranjem očuvala bi se izuzetno visoka točnost GPS-koordinata, jer bi model interpolacijom ili ekstrapolacijom predstavljao koordinatni okvir kojim bi se sve koordinate svodile na jedinstvenu epohu, odnosno datum CROREF. Naravno, pri tome se također mora voditi računa o solidnoj stabilizaciji točaka, kako bi se otklonile pogreške uslijed geomehaničkih pomaka tla u okolišu točke te pogreške u centriranju GPS-antena, pri čemu se ističu pogreške u mjerenju visine antene i neodređenost faznog centra antene. ■

**Literatura:**

Čolić, K. et al, (1996): GPS-mreža grada Zagreba - idejni projekt