

UDK 528.33:629.783GPS(497.13)
528.331.088.3(497.13)
Prethodno priopćenje

PRELIMINARNI REZULTATI GPS MREŽE »ZAGORJE '92« I ISPITIVANJE KVALITETE DIJELA POSTOJEĆE TRIANGULACIJSKE MREŽE PRVOG REDA

Asim BILAJBEGOVIĆ, Miljenko SOLARIĆ, Željko BACIĆ — Zagreb*,
Franjo AMBROŠ — Osijek**, Đuro BARKOVIĆ — Zagreb*, Miran KUCHAR
— Ljubljana***, Brankica CIGROVSKI-DETELIĆ, Valent STEPAN —
Zagreb*, Bojan STOPAR — Ljubljana***, Mira IVKOVIĆ, Marko DŽAPO
— Zagreb*

SAŽETAK: U sklopu znanstvenog projekta »Osnovni geodetski radovi prostornog informacijskog sustava Republike Hrvatske« obavljena su GPS mjerenja na širem graničnom području država Hrvatske i Slovenije. Obavljena je preliminarna obrada rezultata mjerenja, analizirana je unutarnja i vanjska točnost mreže, te obavljena usporedba s mjerenim duljinama geodimetrom AGA 8. Mreža je izjednačena u sustavu WGS 84 i na Besselovom elipsoidu. Radi dobivanja transformacijskih parametara, mreža je uklopljena i u državni koordinatni sustav, te su izračunata odstupanja koordinata trigonometara I reda na tom području.

1. UVOD

U razdoblju od 25. svibnja do 2. lipnja 1992. obavljena su mjerenja u GPS mreži »ZAGORJE '92« (sl. 1) s pet dvofrekvencijskih prijemnika Ashtech LD-XII. Projekt je rezultat međunarodne suradnje Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (tri prijamnika) i Katedre za geodeziju FAGG iz Ljubljane (dva prijamnika). Mjerenja su obavljena u dvije sesije: A od oko 18.00 do 23.00 sati i B od oko 1.00 do 4.00 sata.

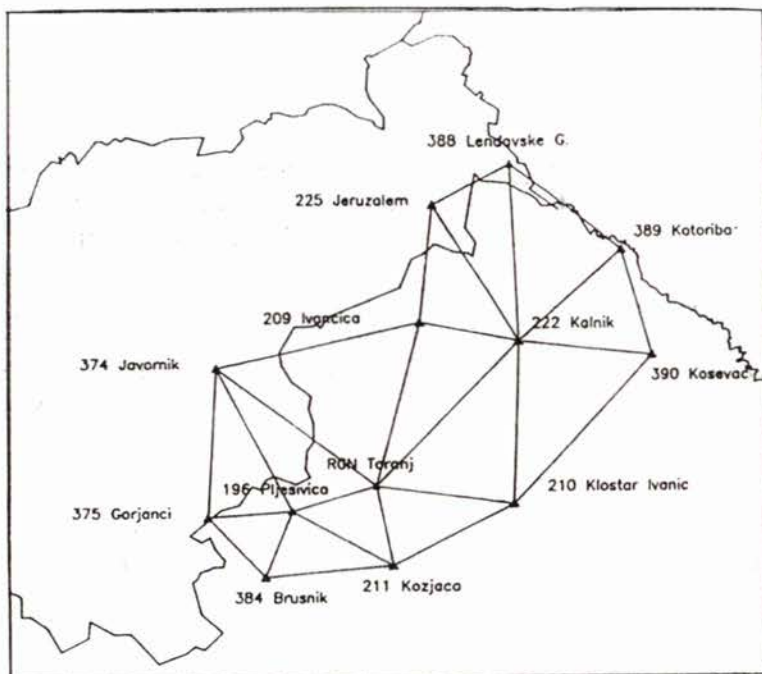
Poznato je da je aktivnost Sunca povezana s promjenama u ionosferi, a isto tako da se jednom frekvencijom ne mogu otkloniti utjecaji ionosfere. I pored toga što se korištenjem dvofrekvencijskih uređaja može otkloniti oko 95% utjecaja ionosfere, u ovom radu obrađena su samo noćna mjerenja, tj.

* Prof. dr. A. Bilajbegović, prof. dr. M. Solarić, Ž. Bačić, dipl. inž., Đ. Barković, dipl. inž., M. B. Cigrovski — Detelić, V. Stepan, dipl. inž., Mr. M. Ivković, M. Džapo, dipl. inž., Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 41000 Zagreb.

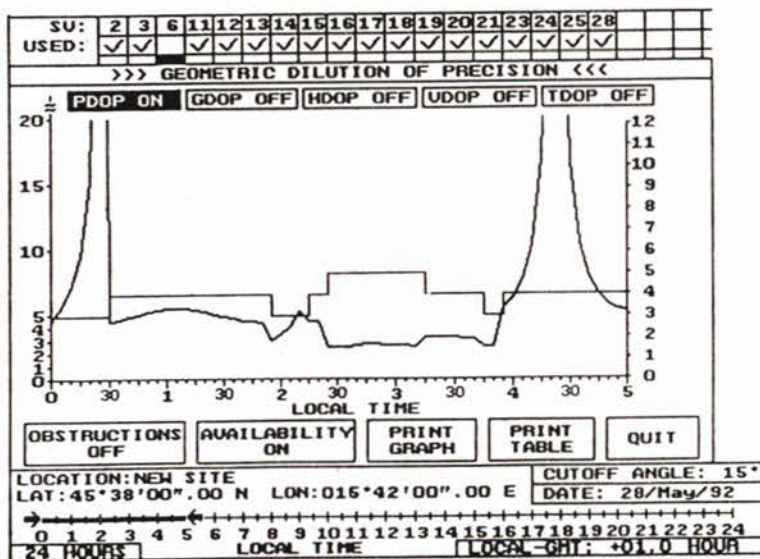
** Mr. F. Ambroš, HPT-Zagreb, TKC-Osijek, 54000 Osijek.

*** M. Kuhar, mr. B. Stopar, Katedra za geodeziju FAGG Ljubljana, Jamova 2, Slovenija.

sesija B. Mreža obuhvaća 12 trigonometara I reda i jednu novu referentnu točku (koja će biti uključena u EUREF mrežu). Središnji sustav oko točke u Zagrebu ujedno će poslužiti kao nulta mreža trigonometrijske mreže Zagreba.



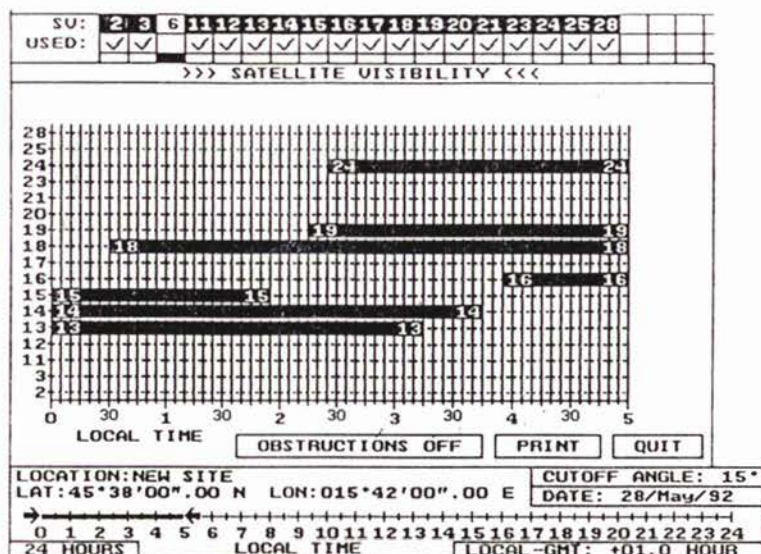
Slika 1. GPS mreža »ZAGORJE '92«.



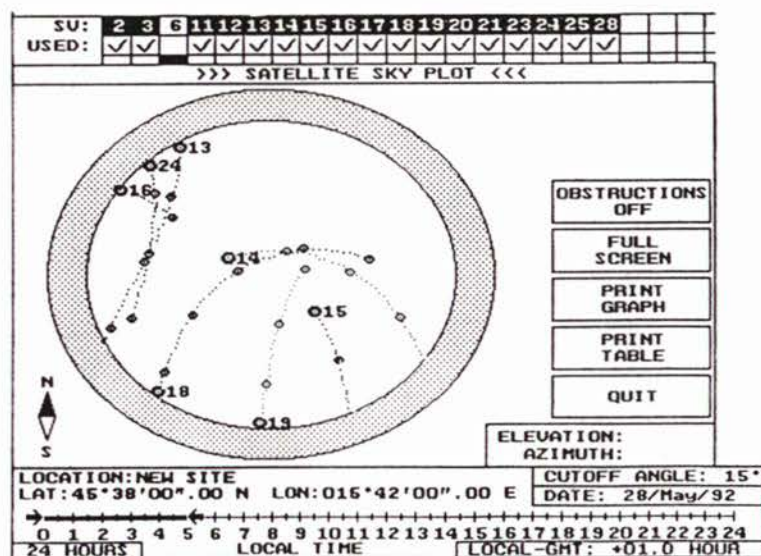
Slika 2. PDOP i broj satelita.

2. ODABIR SESIJE I INTERVAL SKUPLJANJA PODATAKA

Koristeći program MP.EXE, tvrtke Ashtech odabrana je sesija mjerenja od 1.00 do 4.00 sati ukaznoga mjesnog vremena. Vrijednost PDOPa- tijekom mjerenja bila je ispod 6, a pola sesije i ispod 3 (sl. 2). Tijekom cijele sesije na raspolaganju su bila četiri satelita, izuzev vrlo kratkog razdoblja s tri satelita, a trećina sesije opažana je s pet satelita (sl. 3). Broj satelita i razdoblje opa-



Slika 3. Raspoloživi sateliti i vrijeme njihovog opažanja.



Slika 4. Putanje satelita iznad horizonta u razdoblju opažanja.

žanja svakog od njih, tj. satelita 13, 14, 15, 16, 18, 19 i 24 pokazuje slika 4. Putanju svakog satelita iznad horizonta u razdoblju opažanja pokazuje slika 5. U svrhu ispitivanja utjecaja ionosfere u sesiji B (1.00 do 4.00 sata) izračunani su vektori s pomoću kombinacije frekvencija L1 i L2 i samo s L1 (tablica 1).

Tablica 1: Usporedba GPS vektora izračunanih na osnovi kombinacija L1 i L2 frekvencija i samo L1 frekvencije

Od — do	Sesija	Rješenje s L1 i L2		Rješenje samo s L1		Razlika L1 & L2 — L1 [mm]
		Duljina [m]	RMS [m]	Duljina [m]	RMS [m]	
LENG — JERU	B	24065,442	0,01450	24065,426	0,01598	+16
LENG — KALN	B	48344,473	0,01552	48344,481	0,02094	—8
LENG — KOTO	B	35325,245	0,01360	35325,249	0,01308	—4
JERU — KALN	B	43693,060	0,01593	43693,058	0,01632	+2
KALN — KOTO	B	37689,026	0,01349	37689,029	0,02367	—3
KALN — RGNZ	B	52410,303	0,01488	52410,233	0,07868	+70

Na osnovi razlika rješenja, čija je srednja kvadratna pogreška (RMS) ispod 25 mm može se zaključiti da je utjecaj ionosfere zaista malen. To je zbog toga što su mjerenja obavljena noću i što su korištena mjerenja u kojih je vertikalni kut satelita veći ili jednak 20°. Očividno, razlika u duljini stranice KALN-RGNZ* od 70 mm odskače od ostalih rezultata. Prvo rješenje sa samo L1 frekvencijom ima unutarnju pogrešku od 78,7 mm, pa se ne može za očekivati da razlika rješenja s pomoću L1 i L2 i L1 frekvencije bude mala veličine, a drugo primjećeno je da sva rješenja s L1 frekvencijom (1,6 GHz) u kojima je točka RGNZ imaju velike unutrašnje pogreške do 8 cm. Mada se pazilo na to da u blizini RGNZ točke nema nama poznatih izvora radiovalova na udaljenosti do 350 m, moguće je da se točka nalazi eventualno u usmjerenom snopu nekih radiovalova približne frekvencije. Proizvođači instrumenata pre-

* Pri navođenju naziva trigonometara rabljene su kratice za označivanje koje su korištene u GPS prijamnicima:

- LENG — Δ 388 Lendavske gorice
- JERU — Δ 512 Jeruzalem — ekscentar!
- KOTO — Δ 389 Kotoriba — ekscentar!
- KALN — Δ 222 Kalnik
- JAVO — Δ 376 Javornik
- GORJ — Δ 375 Gorjanci
- BRUS — Δ 384 Brusnik
- KOZJ — Δ 211 Kozjača
- KLOS — Δ 210 Kloštar Ivanić
- PLES — Δ 196 Plješivica
- RGNZ — RGN toranj Zagreb
- IVAN — Δ 209 Ivančica
- KOSE — Δ 390 Koševac

poručuju uporabu L1 frekvencije do 15 km udaljenosti. Naša iskustva pokazuju da se GPS prijammici s L1 frekvencijom mogu koristiti i u mreži I reda (prosječna udaljenost 32 km), ali samo noću, kada je utjecaj ionosfere mnogo manji.

Kako su udaljenosti između točaka u rasponu od 19 do 75 km, odabran je interval skupljanja podataka od 15 sekundi. Na svakom je stajalištu svakih pol sata mjerena temperatura suhog i vlažnog zraka, tlak zraka, a očitavana je geografska širina, duljina, elipsoidna visina, odnos jačine signala i šuma za svaki pojedini satelit te PDOP. Na taj način skupljeni su podaci koji mogu vrlo dobro poslužiti za razne analize REAL TIME određivanja koordinata.

3. PRETHODNA RAČUNANJA

Na osnovi primljenih signala, podataka o putanjama satelita u C/A kodu izračunane su apsolutne koordinate svake GPS postaje. Na osnovi u prosjeku šest iteracija dobivena je točnost apsolutnih koordinata od oko 25 metara. To znači da su tijekom mjerenja signali ometani s tzv. SELECTIVE AVAILABILITY. Svi mjerni meteorološki čimbenici na pojedinom stajalištu reducirani su na nivo plohu mora koristeći normalnu-standardnu-atmosferu DIN 5450,

$$p(\text{torr}) = 760,00 \left(\frac{288 - 6,5 \cdot 10^{-3} H}{288} \right)^{5,256} \quad (1)$$

i promjenu temperature po visini od oko $-0,65^\circ\text{C}$ na 100 m.

4. RAČUNANJA GPS VEKTORA

Za računanje GPS vektora korišten je Ashtechov softver GPPS 4.0.01 koji prvo koristi trostruke fazne razlike da odredi skokove u cijelom broju valnih duljina (cycle slips) i da ih eliminira. Mada je zadano dvadeset iteracija i kriterij za prekid iteracije pri točnosti od 0,0001 m, svi vektori su izračunani do maksimalno osam iteracija. Matematički model (nelinearna opažanja) za trostruku faznu razliku glasi (Bilajbegović i ostali, 1991):

$$TD_{12}^{ik}(t_{12}) = \frac{1}{\lambda} [p_2^k(t_2) - p_2^i(t_2) - p_2^k(t_1) + p_2^i(t_1)], \quad (2)$$

gdje je:

$$TD_{12}^{ik}(t_{12}) = TD_{12}^{ik}(t_{12}) - \frac{1}{\lambda} [p_1^k(t_2) - p_1^i(t_2) - p_1^k(t_1) + p_1^i(t_1)], \quad (3)$$

zapravo, nelinearna jednadžba opažanja. Indeksi 1 i 2 označuju broj GPS postaje 1 i 2, »i« i »k« satelite »i« i »k«,

λ — valna duljina satelitskog signala i

$p_1^k(t_1)$ — pseudoudaljenost iz faznih mjerenja u trenutku 1 a između stajališta »i« i satelita »k«.

Očividno je da se u (2) ne sreću više cjelobrojne nepoznanice (integer ambiguities).

Za dvostruku faznu razliku matematički model (nelinearna jednadžba opažanja) (Bilajbegović i ostali 1991) glasi:

$$/DD_{12}^{ik}(t) = \frac{1}{\lambda} [p_2^k(t) - p_2^i(t)] + N_{12}^{ik}, \quad (4)$$

gdje je:

$$/DD_{12}^{ik}(t) = DD_{12}^{ik}(t) - \frac{1}{\lambda} [-p_1^k(t) + p_1^i(t)], \quad (5)$$

a cjelobrojna nepoznanica $N_{12}^{ik} = N_{12}^k - N_{12}^i$ razlika je linearno ovisnih veličina N_{12}^k i N_{12}^i , koje se ne mogu odvojeno odrediti, a u biti predstavljaju razlike u cijelom broju valnih duljina. Sve ostale oznake objašnjene su uz formule (2) i (3).

Unutarnja točnost rješenja GPS vektora s pomoću dvostrukih faznih razlika pokazana je u tablici 2.

Srednja duljina stranice mreže iznosi 37890,9 m sa srednjom vrijednošću unutarnje pogreške oko 15,7 mm (tablica 2).

Tablica 2: Pregled unutarnjih pogrešaka duljina (RMS)

Od — do	Sesija	Udaljenost [m]	RMS [m]
LENG — JERU	146B	24065,442	0,01445
LENG — KALN	146B	48344,473	0,01552
LENG — KOTO	146B	35325,245	0,01360
KALN — RGNZ	146B	52410,303	0,01488
PLES — BRUS	149B	19217,214	0,01457
PLES — GORJ	149B	27349,567	0,01594
PLES — KOZJ	149B	30440,384	0,01396
PLES — RGNZ	149B	24288,899	0,01761
BRUS — KOZJ	149B	34050,226	0,00962
KALN — IVAN	152B	25907,381	0,01484
KALN — KOTO	152B	37689,026	0,01298
RGNZ — IVAN	153B	43512,630	0,01653
RGNZ — KOZJ	153B	23304,537	0,01506
JERU — IVAN	147B	33417,500	0,01919
JERU — JAVO	147B	74391,693	0,01744
JERU — KALN	147B	43693,013	0,01639
IVAN — JAVO	147B	55481,622	0,02031
IVAN — RGNZ	147B	43512,531	0,02141
JAVO — GORJ	148B	35287,626	0,01657
JAVO — PLES	148B	41186,819	0,01958
JAVO — RGNZ	148B	50651,812	0,01903
BRUS — GORJ	148B	28148,735	0,01157
KOTO — KOSE	150B	30519,885	0,01428
KALN — KOSE	150B	32434,442	0,01425
KLOS — KOSE	150B	51730,181	0,01445
KLOS — KALN	151B	43337,128	0,01622
KLOS — KOZJ	151B	35546,792	0,01449
KLOS — GRNZ	151B	35700,574	0,01532
Srednje vrijednosti		37890,917	0,01572

Zbog toga je izjednačena GPS mreža u sustavu WGS 84, sa zadanim koordinatama točke Kloštar Ivanić (tablice 3 i 4).

Tablica 3: Srednje pogreške izjednačenih koordinata u Svjetskom geocentričnom koordinatnom sustavu WGS84

Točka	Pogreška		
	u širini [m]	u duljini [m]	visine [m]
LENG	0,049	0,050	0,101
JERU	0,047	0,047	0,096
KALN	0,036	0,036	0,074
KOTO	0,046	0,046	0,094
RGNZ	0,032	0,032	0,065
PLES	0,039	0,040	0,081
BRUS	0,043	0,044	0,090
GORJ	0,047	0,047	0,096
KOZJ	0,034	0,034	0,069
IVAN	0,039	0,039	0,080
JAVO	0,047	0,048	0,096
KOSE	0,042	0,043	0,087
KLOS	0,000	0,000	0,000
Srednja vrijednost srednjih pogrešaka	0,042	0,042	0,085

Na osnovi tablica 3 i 4 može se ustvrditi da su položajne koordinate točaka određene s točnošću oko 4 cm, a visine oko 8,5 cm, dok su koordinatne razlike po φ i λ određene s točnošću oko 3,5 cm, a po visini oko 7,2 cm.

Od listopada 1975. do listopada 1981. godine Geodetski zavod Republike Slovenije izmjerio je s geodimetrom AGA 710 i AGA M8 niz duljina stranica u trigonometrijskoj mreži I reda Slovenije i neke duljine stranica u graničnom pojasu s Hrvatskom (Jenko, 1982). Točnost duljina mjerenih geodimetrima iznosi:

$$\text{AGA M8} \quad m_d = (5 + 1,1 \cdot s) \text{ mm} \quad (s \text{ u km}) \quad i$$

$$\text{AGA 710} \quad m_d = (5 + 1,25 \cdot s) \text{ mm} \quad ,$$

a točnost duljina stranica određenih GPS s pomoću približnih koordinata satelita je:

$$m_d = (5 + 1,0 \cdot s) \text{ mm.}$$

Razlika duljina mjerenih GPS i AGA geodimetrima kreće se od 0,1 do 49,3 mm (tablica 5), a srednja pogreška pojedinog mjerenja iznosi samo 21,22 mm.

Mjerenja s GPS i geodimetrima iznenađujuće se dobro slažu, pogotovu ako se zna da su atmosferske korekcije pri mjerenjima geodimetrima vrlo velika.

Tablica 4: Relativne pogreške izjednačenih mjerenih vektora

Od — do	Pogreške		
	u širini [m]	u duljini [m]	visine [m]
LENG — JERU	0,033	0,034	0,070
LENG — KALN	0,038	0,039	0,079
LENG — KOTO	0,041	0,041	0,084
KALN — RGNZ	0,035	0,035	0,071
PLES — BRUS	0,025	0,026	0,054
PLES — GORJ	0,030	0,031	0,064
PLES — KOZJ	0,029	0,029	0,060
PLES — RGNZ	0,028	0,028	0,058
BRUS — KOZJ	0,033	0,034	0,069
KALN — IVAN	0,028	0,029	0,059
KALN — KOTO	0,034	0,034	0,070
RGNZ — IVAN	0,033	0,033	0,067
RGNZ — KOZJ	0,025	0,026	0,053
JERU — IVAN	0,037	0,037	0,076
JERU — JAVO	0,052	0,052	0,106
JERU — KALN	0,036	0,037	0,074
IVAN — JAVO	0,045	0,045	0,091
IVAN — RGNZ	0,033	0,033	0,067
JAVO — GORJ	0,039	0,040	0,081
JAVO — PLES	0,037	0,038	0,076
JAVO — RGNZ	0,039	0,039	0,080
BRUS — GORJ	0,032	0,033	0,067
KOTO — KOSE	0,034	0,034	0,070
KALN — KOSE	0,033	0,033	0,067
KLOS — KOSE	0,042	0,043	0,087
KLOS — KALN	0,036	0,036	0,074
KLOS — KOZJ	0,034	0,034	0,069
KLOS — RGNZ	0,032	0,032	0,065
Srednje vrijednosti srednjih pogrešaka	0,035	0,035	0,072

Tablica 5: Usporedba prostornih duljina dobivenih GPS mjerenjima i AGA geodimetrima

Od — do	GPS, L1 & L2 frekvencije [m]	Geodimetri AGA [m]	Razlika GPS-AGA [mm]
IVAN — KALN	25907,3820	25907,3327	+ 49,3
PLES — BRUS	19217,2140	19217,2053	+ 8,7
BRUS — GORJ	28149,9410	28149,9409	+ 0,1
LENG — JERU*	24056,6198	24056,5857	+ 33,1
Srednja vrijednost duljine	24332,7662	$m = \sqrt{[dd]/2n} =$	21,22

* Ekscentrično mjerena duljina GPS metodom

5. UKLAPANJE GPS MREŽE U POSTOJEĆU TRIANGULACIJSKU MREŽU

Da bi se mogla koristiti nova GPS mreža, trebalo ju je izjednačiti na Besselovom elipsoidu i uklopiti u postojeću trigonometrijsku mrežu, te dobiti transformacijske parametre za prelazak iz WGS 84 koordinatnog sustava u naš državni sustav. U tu svrhu uzete su kao poznate elipsoidne širine i duljine (u državnom koordinatnom sustavu) za trigonometre Lendavske gorice, Javornik i Kloštar Ivanić, a ortometrijske visine od Lendavskih gorica, RGN Zagreb i Kloštar Ivanića.

Međutim, problem visina i kad bi undulacije geoida dobili iz GPS mjerenja i preciznog nivelmana nije jednostavan. Naime, stare visine oko Lendavskih gorica previsoke su u odnosu na II NVT za 12,6 cm, a u Zagrebu za 16,9 cm. Za Kloštar Ivanić ne postoje podaci, pa je za taj trigonometar uzet podatak od 16,9 cm. U biti za sve trigonometre trebalo bi provjeriti kako su računane visine, zatim gradske i mreže nižih redova nivelmana preračunati i osloniti na II NVT, a nakon toga korigirati i podatke trigonometrijskog nivelmana.

Nakon što smo transformirali samo GPS vektore iz WGS 84 sustava u državni koordinatni sustav, dobili smo sljedeće transformacijske parametre:

$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= +2' 261 \text{ (rotacija oko osi x),} \\ \varepsilon_y &= +2' 164 \text{ (rotacija oko osi y),} \\ \varepsilon_z &= -9' 707 \text{ (rotacija oko osi z) i} \\ d_m &= -(3,889 \pm 0,751) \cdot 10^{-6} \text{ promjena mjerila.}\end{aligned}$$

Kako je mreža uklopljena između triju poznatih točaka (dakle imamo izjednačenje pod prisilom), srednje pogreške izjednačenih koordinata točaka trebale bi biti manje nego pri izjednačenju s jednom poznatom točkom (djelo-

Tablica 6: Izjednačena umetnuta GPS mreža s pripadajućim srednjim pogreškama

Točka	Pogreška			GPS visine uklopljene u državni ortometrijski sustav (m)
	u širini (m)	u duljini (m)	visine (m)	
LENG	0,000	0,000	0,000	340,214
JERU	0,058	0,059	0,136	343,537
KALN	0,052	0,053	0,110	643,760
KOTO	0,073	0,074	0,178	134,808
RGNZ	0,051	0,051	0,000	155,470
PLES	0,062	0,063	0,144	779,412
BRUS	0,077	0,078	0,183	223,024
GORJ	0,076	0,077	0,242	1192,689
KOZJ	0,061	0,062	0,106	241,189
IVAN	0,057	0,058	0,119	1060,969
JAVO	0,000	0,000	0,241	1024,975
KOSE	0,075	0,076	0,196	296,163
KLOS	0,000	0,000	0,000	150,371
	0,062	0,065	0,166	Srednje vrijednosti srednjih pogreškaka

mično slobodna mreža) i da su koordinate za sve tri poznate točke u svakoj mreži određene s dostatnom točnošću (tablice 6 i 7).

Tablica 7: Relativne pogreške izjednačenih mjerenih vektora

Od — do	Pogreška		
	u širini [m]	u duljini [m]	visine [m]
LENG — JERU	0,058	0,059	0,136
LENG — KALN	0,052	0,053	0,110
LENG — KOTO	0,073	0,074	0,178
KALN — RGNZ	0,065	0,065	0,110
PLES — BRUS	0,050	0,052	0,111
PLES — GORJ	0,059	0,060	0,156
PLES — KOZJ	0,054	0,055	0,145
PLES — RGNZ	0,052	0,054	0,144
BRUS — KOZJ	0,064	0,065	0,168
KALN — IVAN	0,055	0,056	0,131
KALN — KOTO	0,066	0,067	0,149
RGNZ — IVAN	0,062	0,063	0,119
RGNZ — KOZJ	0,050	0,051	0,106
JERU — IVAN	0,065	0,066	0,134
JERU — JAVO	0,058	0,059	0,220
JERU — KALN	0,067	0,068	0,165
IVAN — JAVO	0,057	0,058	0,231
IVAN — RGNZ	0,062	0,063	0,119
JAVO — GORJ	0,076	0,077	0,165
JAVO — PLES	0,062	0,063	0,183
JAVO — RGNZ	0,051	0,051	0,241
BRUS — GORJ	0,062	0,063	0,156
KOTO — KOSE	0,064	0,065	0,138
KALN — KOSE	0,066	0,066	0,162
KLOS — KOSE	0,075	0,076	0,196
KLOS — KALN	0,052	0,053	0,110
KLOS — KOZJ	0,061	0,062	0,106
KLOS — RGNZ	0,051	0,051	0,000
Srednje vrijednosti srednjih pogrešaka	0,060	0,061	0,151

Iz usporedbe odgovarajućih srednjih vrijednosti srednjih pogrešaka iz tablice 3 i 6 zaključuje se da su srednje pogreške po φ i λ u djelomično slobodnoj mreži manje 1,5, a po visini 1,95 puta.

Isto tako, relativne pogreške (v. tablicu 4 i 7) imaju odnos po φ i λ 1:1,7, a po visini 1:2,1. Znači da su zadane točke državne mreže problematične točnosti, te se postavlja pitanje svrhovitosti uklapanja novih mjerenja u stari državni sustav.

6. USPOREDBA NOVIH KOORDINATA SA STARIM KOORDINATAMA TOČAKA U DRŽAVNOM KOORDINATNOM SUSTAVU

Na osnovi izjednačenja GPS mreže umetnute i oslonjene na zadane elipsoidne širine, duljine i visine od tri točke, smanjujući sve zadane visine trigonometara u Sloveniji za 12,6 cm, a u Hrvatskoj za 16,9 cm (iz razloga nave-

denih u poglavlju 5.), izračunane su razlike starih i novih koordinata trigonometrijskih točaka (tablica 8).

Tablica 8: Razlike koordinata određenih GPS uklapanjem mreže i starih koordinata trigonometrijskih točaka

Točka	$d\varphi$ (") $d\varphi$ (m)	$d\lambda$ (") $d\lambda$ (m)	dH (m)
KLOŠTAR*	zadana širina	zadana duljina	zadana visina
KALNIK	0,00697 0,215	-0,00298 -0,064	0,799
RGNZ*	nova točka		zadana visina
KOZJAČA	0,00245 0,076	-0,00390 0,084	0,138
IVANČICA	0,00823 0,254	-0,00560 -0,166	1,388
JERUZALEM	-0,00140 -0,043	0,01010 0,215	0,043
JAVORNIK*	zadana širina	zadana duljina	0,321
BRUSNIK	-0,00203 -0,063	0,00580 0,125	-0,037
GORJANCI	0,00061 0,019	-0,00007 -0,002	0,585
PLJEŠIVICA	Trigonometar stabiliziran 1949. godine Nepoznate koordinate i visina!		
KOŠEVAC	0,01761 0,544	-0,01019 -0,218	0,142
KOTORIBA	nova točka		
LENDAVSKE* GORICE	zadana širina	zadana duljina	zadana visina
Srednje vrijednosti srednjih pogrešaka	$ d\varphi _{sr} = 0,173$	$ d\lambda _{sr} = 0,125$	$ dH _{sr} = 0,432$

* Točke koje su uzete kao poznate pri izjednačenju

One su u rasponu po elipsoidnoj širini od **-4,3 do 54,4 cm**, po duljini od **-21,8 do 21,5 cm**, a po visini od **-41,9 do 138,8 cm**. Navedena odstupanja po širini, duljini i visini, kao i srednje vrijednosti apsolutnih odstupanja $|d\varphi|_{sr} = 0,173$ m, $|d\lambda|_{sr} = 0,125$ m i $|dH|_{sr} = 0,430$ m (tablica 8), jasno upućuju na zaključak da naša postojeća mreža I reda nema zadovoljavajuću točnost, a da odstupanja po visini nekih trigonometara iznose čak 1,4 m. Neke zapadnoeuropske zemlje donijele su odluku o točnosti određivanja granica vlasništva od 1 do 2 cm, odnosno od 1 do 3 cm. Da bi se taj cilj postigao neophodno je imati koordinate točaka poligonske mreže s točnošću od 1,5 cm, odnosno od 1 do 2,5 cm. To je visoki stručni zahtjev kojem i naša zemlja mora težiti, a to će neizbježno zahtijevati obnovu svih redova osnovnih geodetskih mreža.

7. EKONOMIČNOST GPS METODE

Ispitivanjem ekonomičnosti GPS metode bavili su se mnogi geodetski stručnjaci (Aughat, 1992; Bilajbegović, 1992; Hannah, 1985; Schneider, 1990). Rezultati svih ispitivanja pokazuju izrazito niske troškove u uspostavljanju državne mreže I i II reda GPS metodom, a to potvrđuju i tablice 9.1, i 9.2 (Aughat, 1992).

Tablica 9.1: Usporedba troškova određivanja točke različitim metodama (izraženo u DEM), Aughat (1992)

Udaljenost točaka	Metode određivanja					
	Mjerenje kuteva	Mjerenje kuteva mikrovalnim daljinomerom	Elektrooptičko mjerenje dužina	Kombinirana mreža	Interferometrijska mjerenja	GPS
30 km	63000	7000	33600	—	6000	1600
5—15 km	10300	2000	5000	—	4000	1100
2—5 km	2000	—	2000	1000 2000	Nije poznato	600
Opaska	Određivanje pojedine točke			Poligonski vlak	Stanje 1983.	Stanje 1987.

Tablica 9.2: Prikaz troškova određivanja točke GPS-om prema vrsti mreže (izraženo u DEM)

	Uvjeti mjerenja	GPS	Klasično
EUREF* — GPS — 1989 (2000—500 km)	5 dana/stanica	9300	nije moguće
DREF* — GP8 — 1991 (60—10 km)	2 dana/stanica 1 dan za premještaj	3800	nije moguće
Progušujuće mreže (1—10 km) 1991	4—6 sesija u 4 dana u tjednu (6 mobilnih i 2 permanentna prijamnika)	580	1000 — 2000
Progušujuće mreže (0,5—1 km)	oko 20 sesija u 4 dana u tjednu (6 mobilnih i 3 permanentna prijamnika)	160	100—200 ili nije moguće

* EUREF — European REference Frame (Europski referentni sustav).

* DREF — Deutsche REferenznetz (Njemačka referentna mreža)

Vlastita iskustva autora pokazuju da je u našoj mreži I reda GPS metoda dvadesetak puta jeftinija u odnosu na klasičnu triangulaciju. I na kraju, vrijedno je napomenuti da se kojim slučajem mreža »ZAGORJE '92« određivala klasičnom triangulacijom stajala bi 882.000 DEM.

8. ZAHVALA

Zahvaljujemo Ministarstvu znanosti, tehnologije i informatike Republike Hrvatske na financijskoj potpori ovih istraživanja, Ministarstvu zaštite okoliša, prostornog uređenja i stambeno komunalne djelatnosti, Upravi za geodetske i katastarske poslove Republike Hrvatske na financijskoj potpori terenskih mjerenja, Katedri za geodeziju FAGG Ljubljana za posuđena dva GPS prijamnika, vatrogasnim postajama Koprivnica i Lendava za besplatno ustupanje vatrogasnih ljestava za zadizanje satelitskih antena na izgrađene piramide, Izvršnom vijeću grada Zagreba na posudbi dvaju automobila tijekom kampanje, uredima za katastar na čijim smo područjima obavljali mjerenja i postrojbama HV »Velika Buna« i »Kalnik« koji su nam omogućili noćna mjerenja u kriznim područjima.

9. ZAKLJUČAK

Ispitivanja GPS mreže »ZAGORJE '92« pokazuju vrlo visoku točnost u određivanju koordinata trigonometrijske mreže I reda. Mada je mreža obrađena s približnim efemeridima satelita (C/A kod) postignuta je točnost od $1 \cdot 10^{-6}$. Mjerene duljine stranica GPS metodom i geodimetrima AGA vrlo dobro se slažu sa srednjom pogreškom pojedinog mjerenja od svega 21,22 mm na prosječnoj duljini od 24,33 km. Osim toga, provedena ispitivanja u ovom radu pokazuju da je postojeća triangulacijska mreža I reda male točnosti, pogrešno locirana i da ima pogrešno mjerilo mreže, da se ne pruža zadovoljavajući geodetsko-kartografski kontinuitet na državnim granicama, te onemogućuje povezivanje geodetskih mreža zemalja srednjoeuropske inicijative.

10. LITERATURA

- Augath, W. (1992): Zur Wirtschaftlichkeit des GPS-Einsatzes in der präzisen Positionierung der Landvermessung, Zeitschrift für Satellitengestützte Positionierung, der Landvermessung, Zeitschrift für Satellitengestützte Positionierung, Navigation und Kommunikation, März 1992, 1, 15—21.
- Bilajbegović, A.; Hofman-Wellenhof, R.; Lichtenegger, H. (1991): Osnovni geodetski radovi — suvremene metode — GPS, Tehnička knjiga Zagreb, Zagreb, 1—174.
- Bilajbegović, A.; Stepan, V. (1992): Suvremena tehnologija u obnovi osnovnih geodetskih mreža Hrvatske.
- Hannah, I. (1985): GPS-considerations for the potential user, Proceedings of the First International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System, Rockville, Maryland, 15.—19. April 1985, Vol. 2, p. 731—742.
- Jenko, M. (1982): Ocena natančnosti stranic astrogeodetske mreže, izmjerenih v Sloveniji v letih 1975 — 1981, Geodetski zavod SRS.
- Schneider, D. (1990): Aufbau von GPS-Netzen in der Schweiz, 22. DVN — Seminar Moderne Verfahren der Landesvermessung, Schriftreihe Universität der Bundeswehr München, Heft 38—1, 109—144.

PRELIMINARY RESULTS OF GPS NET »ZAGORJE '92« AND TESTING
THE QUALITY OF A PART TAKEN FROM THE EXISTING FIRST-RATE
TRIGONOMETRICAL NETWORK

Within the scope of the scientific project »Basic Geodetic Works on the Geographical Information System of the Republic Croatia«, the GPS measurements have been carried out in the wider border area of the states Croatia and Slovenia. The results of the measuring have been preliminary processed, the accuracy and the precision of the network have been analysed and one has also made comparisons with the measured lengths by means of geodimeter AGA 8. The network has been adjusted in the system WGS 84 and on Bassel's ellipsoid. In order to obtain the transformation parameters, the network has been included into the state coordinate system as well and one has also calculated the deviations of first-rate trigonometers coordinates on this territory.

Primljeno: 1992-07-20