

UDK 629.783 GPS:528.411 Dobravica (497.12)
Prethodno priopćenje

PRVA GPS MJERENJA U SLOVENIJI

Miran KUHAR — Ljubljana*

SAŽETAK: U članku su prikazana prva GPS mjerenja što ih je u Sloveniji obavila Katedra za geodeziju FAGG, i to u mikromreži Dobravica, i njen udjel u međunarodnim kampanjama Alpska traversa i Tyrgeonet. Na primjeru mreže Dobravica opisan je cjeloviti postupak, od planiranja, izvođenja mjerenja do obrade podataka. Analiza dobivenih rezultata obavljena je s pomoću izjednačenja koordinatnih razlika po metodi uvjetnih mjerenja. Referentna srednja greška iz izjednačenja iznosi $m_0 = \pm 6,1$ mm, što je potpuno u skladu s deklariranom točnošću prijemnika. Usporedba s terestričkim mjerenjima izvedenima daljinomjerom Mecometer ME 5000 i elektronskim teodolitom E2 ukazala je na prisutnost sistematskih grešaka u GPS opažanjima.

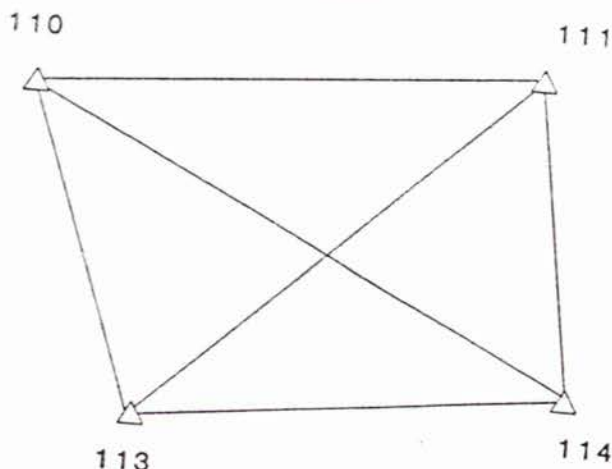
1. UVOD

U početku 1991. godine Katedra za geodeziju na FAGG-u u Ljubljani, nakon nabave dvaju GPS prijemnika tipa »Ashtech LD XII«, prva se u Sloveniji praktično počela baviti GPS tehnologijom. Nakon nekoliko mjeseci upoznavanja s prijamnicima, njihovog testiranja i analize postignutih rezultata, prva praktična mjerenja obavljena su u travnju u mikrotrigonometrijskoj mreži Dobravica. Pri kraju lipnja i u početku srpnja Katedra za geodeziju je sudjelovala u međunarodnim GPS kampanjama »GPS Alpen-traverse« i »Tyrgeonet«.

2. MREŽA DOBRAVICA

Mikromreža Dobravica bila je projektirana pri kraju sedamdesetih godina radi praćenja tektonskih pomicanja (horizontalnih i vertikalnih) na području ljubljanske geološke linije preloma. Mrežu čini pet točaka u obliku središnjeg sustava (sl. 1). Središnja točka je crkveni toranj u selu Dobravica koja zbog nemogućnosti postavljanja antene prijamnika nije došla u obzir za GPS mjerenja. Na taj način mreža je postala geodetski četverokut. Sve točke stabilizirane su s pomoću betonskih stupova s mogućnošću prisilnog centriranja i zaštićene kovinskim poklopcima. Prosječna duljina strane iznosi 1150 m.

* Mr. Miran Kuhar, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, Jamova 2.



Slika 1. Mreža Dobravica

2.1. Priprema i izvođenje mjerenja

U sadašnjoj fazi razvoja GPS sustava planiranje odnosno priprema mjerenja predstavlja jedan od najvažnijih čimbenika praktičnog izvođenja mjerenja. Tijekom izvođenja mjerenja (travanj 1991. godine) bilo je na raspolaganju petnaest aktivnih satelita. Stoga je vrijeme mjerenja ograničeno i u nekim intervalima slabija je kvaliteta geometrije rasporeda satelita. Pri planiranju satelitskih mjerenja potrebno je odrediti broj satelita i vrijeme njihove vidljivosti nad područjem izvođenja mjerenja. U završnoj fazi razvoja GPS sustava i planiranje će imati manje značenje, jer će sustav omogućivati pokrivenost cijele zemaljske kugle signalima najmanje četiriju satelita, tijekom 24 sata u danu što je dostatno za određivanje 3D položaja prijemnika. Kako se u geodeziji obično primjenjuje relativno statička metoda mjerenja, veći broj satelita omogućuje veći broj prekobrojnih mjerenja, a time i točnije i pouzdanije rezultate.

Ashtech »GPS Multi-Site Mission Planing« (MP) program omogućuje izradbu plana vidljivosti satelita i kvalitete geometrije njihovog rasporeda za bilo koju lokaciju na zemlji. Za računanje plana program »MP« koristi almanah koji ne smije biti stariji od 60 dana (almanah se može dobiti s pomoću satelitskog signala s jednim prijemnikom u bilo koje doba dana ili noći). Poznato je da pri satelitskim mjerenjima nije potrebno da se točke međusobno dogledaju. Međutim, važno je da oko točaka ne postoje zapreke koje bi sprečavale pristup satelitskog signala do antene GPS prijemnika. S pomoću programa »MP« moguće je ucrtati zapreke koje postoje na točkama mreže i na taj način vidjeti koliko one utječu na broj vidljivih satelita.

Mreža Dobravica je u prvom redu bila namijenjena za izvođenje terestričkih mjerenja. Stoga su se na točkama 111 i 113 morale uzeti u obzir okolne šume čija je visina, na nekim mjestima, premašivala visinski kut od 15°. Tako je satelit PRN 2 na točki 113 nakon približno 45 do 50 minuta zašao za okolnu šumu, tako da je oko 70% zajedničkih mjerenja pet satelita. Slika 2. pokazuje azimute i elevacije svih vidljivih satelita u vremenu između 13.00 i

Prijemnik Ashtech ima mogućnost mjerenja s pomoću C/A i Pi kôda (vremena) i faze satelitskog signala. S pomoću C/A kôda prijemnik izračunava apsolutni položaj prijemnika. U procesu obrade podataka, pri obradi vanju baznog vektora, program »GPPS« rabi te koordinate kao približne u postupku izjednačenja faznih mjerenja. Program radi po klasičnom postupku obrade podataka mjerenja faze. To znači da uz pomoć linearne kombinacije faza, trostrukih i dvostrukih faznih razlika, program određuje komponente baznog vektora (koordinatne razlike) i nepoznati broj cijelih valnih duljina na putu između satelita i prijemnika. Program ima mogućnost za otkrivanje nastupa tzv. »Cycle Slip«-a (nastupi u slučaju prekida prijema satelitskog signala) i to s pomoću trostrukih faznih razlika. U našim mjerenjima nismo otkrili nijedan »Cycle Slip«.

U obradi podataka mjerenja bilo je u prosjeku (po duljini) 811 dvostrukih faznih razlika. Rezultat obrade faznih mjerenja s pomoću programa »GPPS« jesu komponente baznog vektora između dviju točaka ΔX , ΔY , ΔZ s njihovim varijancama i odgovarajuća korelacijska matrica. Srednja vrijednost svih šest referentnih srednjih grešaka iznosi $m_{\text{osr}} = \pm 8,2$ mm.

U vrijeme obrade ovih podataka nismo imali na raspolaganju nijedan program za izjednačenje GPS mjerenja. Stoga smo rezultate pokušali analizirati na najjednostavniji način. Prvo je izračunan zbroj koordinatnih razlika u smjeru koordinatnih osi za tri linearno neovisna trokuta u mreži (tablica 1).

Tablica 1.

Bazni vektor	Dx [m]	Dy [m]	Dz [m]
114-110	-150,3417	-1928,9448	568,8409
110-113	610,7276	532,9315	-611,6101
113-114	-460,3842	1396,0154	42,7698
Δ_1	0,0017	0,0021	0,0006
110-114	150,3417	1928,9448	-568,8409
114-111	-684,3245	-344,9358	669,3198
111-110	533,9839	-1594,0207	-100,4891
Δ_2	0,0011	-0,0117	-0,0102
110-113	610,7276	532,9315	-611,6101
113-111	-1144,7061	1061,0820	712,0879
111-110	533,9839	-1594,0207	-100,4891
Δ_3	0,0054	-0,0072	-0,0113

Kao što je poznato, zbroj koordinatnih razlika u smjeru jedne koordinatne osi mora biti ništica. To je uvjetna jednadžba jednaka onoj u nivelmanu, gdje zbroj visinskih razlika u zatvorenom nivelmanskom vlaklu mora biti

ništica. U ovom slučaju postoji trokut kao lik i tri koordinate. Za svaki neovisni trokut može se napisati uvjetna jednadžba oblika (Wolf, 1986.):

$$[b_1^T b_2^T b_3^T] + \omega = 0$$

gdje su b_i ($i=1, 2, 3$) prostorne duljine (bazni vektori) između točaka mreže određene s pomoću svojih komponenta geocentričnih koordinatnih razlika:

$$b_{ij} = [\Delta X_{ij} \Delta Y_{ij} \Delta Z_{ij}]^T$$

Na taj način mogu se sve izračunane koordinatne razlike izjednačiti po metodi uvjetnih mjerenja:

$$A_{123}^T [b_1^T b_2^T b_3^T]^T + \omega_{123} = 0$$

Popravci koordinatnih razlika dobiju se u obliku:

$$v = Q_b A (A^T Q_b A)^{-1}$$

gdje je Q_b matrica kofaktora oblikovana s pomoću korelacijske matrice i varijanci koordinatnih razlika dobivenih kao rezultat programa »GPPS«. Referentna srednja greška iz ovog izjednačenja iznosi $m_0 = \pm 6,1$ mm, što je gotovo identično deklariranoj točnosti prijemnika.

2.3. Usporedba GPS i terestričkih mjerenja

Mreža je izmjerena i na klasičan način elektronskim teodolitom KERN E2 i daljinomjerom Mekometer ME 5000. Kutna mjerenja obavljena su u šest girusa (srednja greška kuta mjerenog u šest girusa $M_u = \pm 0,40''$), a duljine obostrano sa srednjom greškom $M_d = \pm 0,40$ mm (srednja greška duljine iz razlika dvostrukih mjerenja).

Uspoređene su izmjerene duljine, ispravljene za meteorološke utjecaje, s vrijednostima GPS baznih vektora. Kutovi izmjereni na klasičan način uspo-

Tablica 2.

Duljina između točaka	GPS	ME 5000	Δ
	[m]		[mm]
110-111	1684,0839	,0921	+ 8,2
110-113	1015,4167	,4198	+ 3,1
111-113	1715,6096	,6243	+ 14,7
111-114	1014,1355	,1423	+ 6,8
113-114	1470,5923	,6041	+ 11,8
KUT	GPS	KERNE2	Δ
	[gon]		[cc]
113-110-111	82,5277	,5284	+ 7
113-111-110	38,5397	,5399	+ 2
114-111-113	65,2499	,2500	+ 1
111-113-114	78,9323	,9324	+ 1
111-113-110	40,1075	,1078	+ 3
113-114-111	94,6422	,6425	+ 3

ređeni su s kutovima izračunanim kao razlike GPS azimuta na točkama mreže. Rezultati su pokazani u tablici 2. Sve GPS vrijednosti su veće, što znači da u mjerenjima postoji sustavni utjecaj. Pretpostavka je da GPS mjerenja sadrže sustavni utjecaj, a razlog je vjerojatno u sljedećem: opažanja su obavljena u šest uzastopnih dana s uvijek jednakim brojem i rasporedom satelita. Elevacijski kut registracije od 10° je isuviše velik, a kako su sateliti bili raspoređeni veoma nisko na horizontu, pretpostavka je da je utjecaj troposfere došao do izražaja (pogotovo što je vrijeme, u nekoliko dana mjerenja, bilo veoma nestabilno; grmljavina, iznenadne promjene temperature).

3. GPS ALPSKA TRAVERSA

Na poticaj američke svemirske agencije NASA, članovi europske radne skupine stručnjaka koji se bave znanostima o Zemlji utemeljili su geološko-geodetski projekt »GPS Alpska traversa«. To je dvostruki lanac trokutova duljine 400 km (ukupno 41 točka) koji se prostire od Münchena do Trsta. Prije svega je namijenjen mjerenjima i istraživanjima u različitim deformacijskim modelima za alpsko potresno područje. Projekt je i dio već započetih globalnih istraživanja, namijenjenih uspostavljanju terestričkoga referentnoga koordinatnog sustava i određivanju parametara Zemljine rotacije.

GPS opažanja obavljena su pri kraju lipnja i u početku srpnja 1991. godine. Opažanja na svakoj točki obavljena su dvaput i trajala su šest sati (signal je registriran svakih 30 sekundi; minimalna elevacija 15°). Istodobno su sateliti opažani i na 21 točki (većinom opservatoriji) u 14 zemalja na području od Grenlanda pa sve do Afrike. Te točke su uključene u GPS kampanju sa svrhom što točnijeg određivanja putanja satelita. Znanstvenici očekuju da će točke u traversi biti određene s milimetarskom točnošću.

Katedra za geodeziju je u sklopu ovog projekta dobila mogućnost da, u suradnji s Geodetskim zavodom Republike Slovenije, u središnjem dijelu Slovenije postavi četiri točke kao dio traverse (sl. 3). Točke su raspoređene tako da se po dvije nalaze s obje strane idrijske geološke linije, koja karakterizira istočni dio Julijskih Alpa. Moguće je očekivati da će nakon skupne obrade podataka svih točaka u traversi, geocentrični položaj ovih četiriju točaka biti poznat s veoma visokom točnošću. One se mogu kasnije rabiti kao polazište za određivanje novoga geocentričnoga koordinatnog sustava čija bi osnova bile GPS točke.

Mjerenja su obavljena četiri dana, od 30. svibnja do 2 lipnja 1991. Duljine između točaka iznose od 25 do 30 km, i u mjerenjima je upotrijebljena i frekvencija L_2 radi otklanjanja utjecaja ionosferske refrakcije.

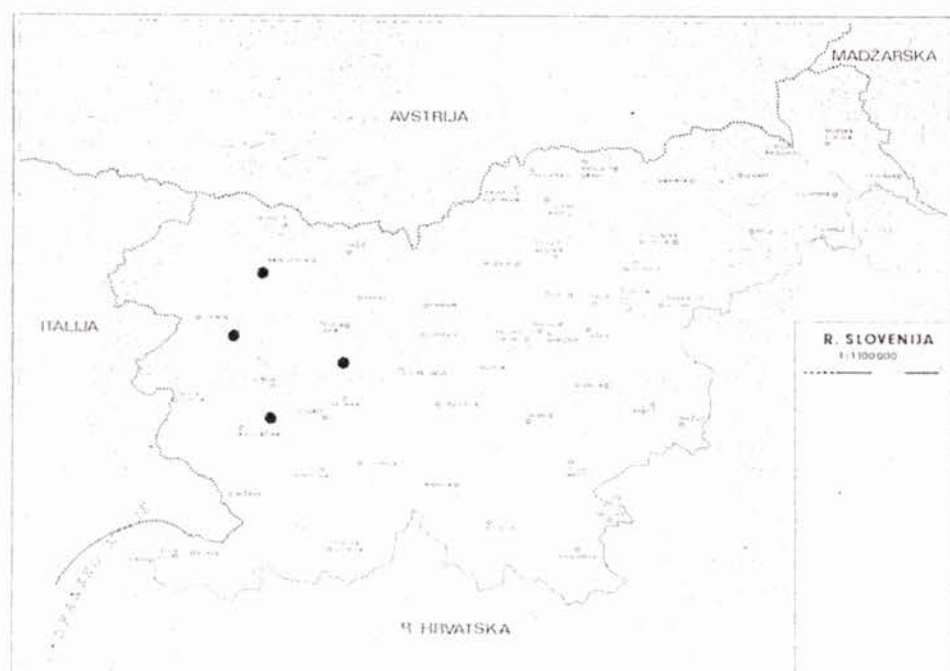
Za prvu kontrolu izračunan je zbroj koordinatnih razlika u smjeru koordinatnih osi:

$$\Sigma \Delta x = -4,13 \text{ cm}$$

$$\Sigma \Delta y = -1,56 \text{ cm}$$

$$\Sigma \Delta z = +2,04 \text{ cm}$$

Te prve analize potpuno zadovoljavaju. Može se očekivati da će točke, jednom izjednačene kao cjelina, dobiti veoma pouzdano određene geocentrične koordinate.



Slika 3. Točke u Sloveniji, dio Alpske traverse

4. MREŽA »TYRGEONET«

Mreža »Tyrgeonet« (TYRrhenian GEOdetic NETwork) je talijanski GPS projekt namijenjen praćenju tektonskih promicanja na području apeninskog poluotoka (prije svega juga Italije i Sicilije). Mrežu čini 56 točaka, od kojih su neke prvi put uključene u mrežu tek ove godine. Među njima je i točka 51 Ljubljana i 3 točke na području Republike Hrvatske (52 Pula, 53 Zadar i 54 Hvar).

Mjerenja su obavljena od 18. do 27. lipnja 1991. u vremenu od 5.00 do 13.00 SEV. Upotrijebljeni su GPS prijemnici Wild Magnavox, WM 102, Trimble i Ashtech (na obje frekvencije). Sve podatke obradit će Nacionalni geofizički institut u Rimu.

LITERATURA

- Ashtech Inc (1990): GPPS post processing system manual Ashtech Inc. Sunnyvale, SAD.
- Ashtech Inc. (1990): MP manual. Ashtech Inc. Sunnyvale, SAD.
- Wolf H. (1986): Möglichkeiten zur Gestaltung Geodätischer Netze mit GPS Messungen, ZfV, No 9, 397–405.

THE FIRST GPS MEASUREMENTS IN SLOVENIA

The papers described the first GPS measurements in which Geodetic Department of FAGG was involved in 1991 in Slovenia. These measurements were carried out in the network Dobravica near by Ljubljana, and two international GPS campaigns: Alpentaverse and Tyrgeonet. The whole process of field planing, survey and data processing is described by example of network Dobravica. All computed coordinate differences were adjusted by method of observations only with the reference variance of $m_0 = \pm 6.1$ mm. The terrestrial measurements in the network were performed with Mecometer ME 5000 and E2 electronic theodolite. We have compared observed terrestrial distances and horizontal angles with those obtained from GPS baseline processing. These differences indicate the presence of some systematic errors in GPS observations.

Primljeno: 1992-01-25