

UDK 528.33.031(497.5)
Pregledni znanstveni članak

Trigonometrijska točka 1. reda Brusnik – položajno najtočnije određena točka u Hrvatskoj

Miljenko SOLARIĆ – Zagreb¹, Marijan MARJANOVIĆ, Ljerka RAŠIĆ
– Zagreb²

SAŽETAK. U radu je dan pregled GPS-mjerenja na Brusniku (trigonometrijskoj točki 1. reda) koji je smješten između Karlovca i Jastrebarskoga, tj. oko 8 km sjeveroistočno od Karlovca. Ta je točka uključena u najveći broj GPS-mjernih kampanja u Hrvatskoj, tj. u većini velikih međunarodnih, ali i domaćih projekata. Tako je ona postala jedna od najtočnije položajno određenih trigonometrijskih točaka prvog reda u Hrvatskoj.

Ključne riječi: GPS-mjerenja, međunarodni geodinamički projekti, trigonometar 1. reda

1. Uvod

Brusnik (trigonometrijska točka 1. reda) smješten je na polovici puta između Karlovca i Jastrebarskoga, kraj sela Goljak Draganički, odnosno Bencetić, na udaljenosti oko 8 km sjeveroistočno od Karlovca (slika 1).

U armiranobetonski stup je, umjesto čelične oznake s rupicom, ugrađena mjedena oznaka s navojem tako da se može prisilno centrirati antena GPS-prijamnika. Za postavljanje antene GPS-prijamnika na mjedenu oznaku upotrebljava se kratki metalni produžetak (štap) duljine 98,4 mm (slike 2 i 3).

Stup trigonometrijske točke Brusnik postavljen je na blagom brežuljku 1939. godine, a njegov je položajni opis iz 1946. Međutim, nakon 2. svjetskog rata tadašnja Savezna geodetska uprava u bivšoj državi obnovila je sve trigonometre 1. reda (Muminagić 1981) tako da je trigonometrijska točka Brusnik solidno stabilizirana (slika 4).

¹Prof. dr. sc. Miljenko Solarić, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb

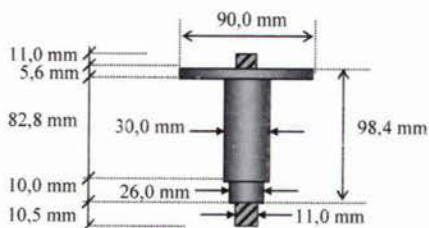
²Mr. sc. Marijan Marjanović i mr. sc. Ljerka Rašić, Državna geodetska uprava, Gruška 20, 10000 Zagreb



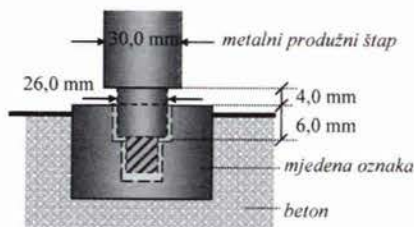
Slika 1. Plan položaja Brusnika (trigonometrijske točke 1. reda) Brusnik \equiv Putačičeva glava, nadmorske visine 223,559 m (smanjeno iz karte mjerila 1:50 000).



Slika 2. Antena GPS-prijamnika na produžnom štapu na stupu trigonometrijske točke Brusnik.

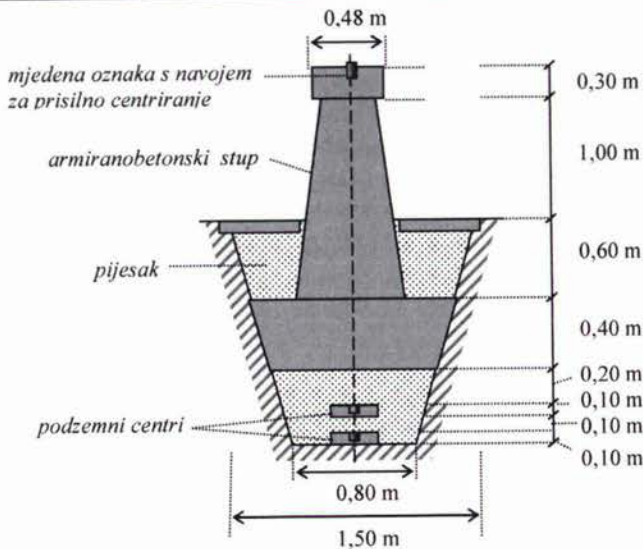


a) metalni produžni štap



b) ubetonirana mjedena oznaka za prisilno centriranje i uvinuti donji dio produžnog štapa

Slika 3. Metalni produžni štap za GPS-antenu i mjedena oznaka za prisilno centriranje, ugrađena u betonski stup.



Slika 4. Stabilizacija armiranobetonskog stupa trigonometrijske točke Brusnik.

2. Sudjelovanje trigonometrijske točke 1. reda Brusnik u međunarodnim i domaćim GPS-projektima

Trigonometar 1. reda Brusnik prvi put je uključen u GPS-mjernu kampanju međunarodnoga GPS-projekta ZAGORJE'92 u 1992. godini, a zatim je slijedio velik broj drugih međunarodnih i domaćih GPS-projekata u koje je uključena točka Brusnik. To je vidljivo iz sljedećeg popisa GPS-mjernih kampanja izvedenih na trigonometrijskoj točki Brusnik:

– ZAGORJE-1992 – u koju je bilo uključeno 13 trigonometrijskih točaka 1. reda iz Hrvatske i Slovenije (Bilajbegović i dr. 1992) i (Solarić i dr. 1996). To je bio prvi pokušaj da se GPS-mjerenjima odredi položaj trigonometrijskih točaka prvog reda u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske i da ih se poveže s trigonometrijskom mrežom Slovenije i Austrije. (Opažano je GPS-prijamnicima s C/A kodom.)

– AGREF-1992 (kratica od Austrien Geodynamic Referent Frame), u koju je bilo uključeno 89 točaka iz Austrije, Hrvatske i Slovenije (Erker i dr. 1997), a od toga 12 iz Hrvatske.

Svrha toga projekta bila je izgradnja geodinamičke mreže stalnih točaka s kojih će se pratiti pomicanje Zemljine kore u Austriji, Sloveniji i sjeverozapadnom dijelu Hrvatske. Međutim, naša je želja bila da se istodobno uključivanjem točaka stare trigonometrijske mreže prvog reda iz Hrvatske, preko Austrije, odrede koordinate točaka trigonometara naše trigonometrijske mreže u svjetskom – europskom koordinatnom sustavu. (Opažano je djelomično GPS-prijamnicima s C/A-kodom i djelomično GPS-prijamnicima s Pi-kodom.)

– CEGRN-1994, '95, '96, '97, '99 i 2001 (kratica od Central European Geodynamic Referent Network) projekta CERGOP i CERGOP-2 (kratica od Central European

Regional Geodynamic Project). U tom je projektu sudjelovalo na početku 10, odnosno 11 zemalja srednje Europe, a danas u projektu CERGOP-2 sudjeluje 14 zemalja i vjerojatno će se taj broj povećati. U izjednačenju GPS-mjerenja uključeni su rezultati mjerenja na 29 točaka, odnosno na 31 točki. Iz Hrvatske je u taj projekt od početka uključena GPS-točaka Brusnik, a od 1996. godine pridružen je i Opservatorij Hvar (Fejes i dr. 1998), (Ferrero i dr. 1998), (Solarić 1998), (Solarić i dr. 1998a) i (Solarić i dr. 1998b).

Svrha je toga geodinamičkog projekta da se u dužem vremenskom razdoblju određuje pomicanje Zemljine kore na području srednje Europe, a i nešto šire. To je potpuno znanstveni projekt.

– EUREF-1994 (kratica od European Referent Frame), u koju je bilo uključeno 10 GPS-točaka iz Hrvatske i 5 (plus 3 dodatne točke) iz Slovenije (Altiner i dr. 1995), (Čolić i dr. 1996) i (Solarić 1998). (Taj se projekt nazivao i SLOCRO-1994.)

Svrha je toga projekta bila da se 10 trigonometrijskih točaka iz Hrvatske uključi u europsku referentnu mrežu GPS-točaka, na koje će se poslije priključiti ostala GPS-mjerenja na točkama prvog i drugog reda u Hrvatskoj. Ta je GPS-mjerna kampanja imala velik značaj za geodetsku praksu u Hrvatskoj.

– CRODYN-1994, '96 i '98 (kratica od Croatien Dynamical Network), u koju su bile uključene kampanje:

1994. godine – 22 GPS-točke iz Hrvatske, Slovenije i Italije (Čolić i dr. 1996),

1996. godine – 44 GPS-točke (22 točke iz Hrvatske, 1 točka iz Bosne i Hercegovine, 1 točka iz Malte, 4 točke iz Albanije i 5 točaka iz Slovenije),

1998. godine – 26 GPS-točaka (24 točke iz Hrvatske, 1 točka iz Italije i 1 točka iz Slovenije).

Svrha je toga znanstvenog geodinamičkog projekta bila da se što bolje odredi pomicanje Zemljine kore na području Hrvatske, posebice na jadranskoj obali i njezinoj bližoj unutrašnjosti.

– CROREF-1995 SLOVENIJA-1995 ili skraćeno SLO-1995 (CROREF kratica od Croatien Referent Frame), u koju je iz Hrvatske bilo uključeno 12 trigonometrijskih točaka uz granicu između Hrvatske i Slovenije (Altiner i dr. 1997a). Taj projekt navodi se u literaturi i pod skraćenim imenom SLO '95.

Svrha je toga projekta bila da se u Hrvatskoj izradi što gušća mreža GPS-točaka i da se uključe u europski koordinatni sustav ETRS' 89 (kratica od European Terrestrial Referent System).

– CROREF-1996 (djelomično EUREF-1996), u koju je bilo uključeno čak oko 70 GPS-točaka prvog i drugog reda hrvatske GPS-referentne mreže (Altiner i dr. 1997b) i (Bašić 2000). Mjerenja su trajala od 29. kolovoza do 12. rujna 1996. godine i bila su podjeljena u četiri faze (bloka) po dva odnosno u zadnjoj fazi po tri dana (24-satna mjerenja svaki dan). Pri tom su korištene GPS-referentne točke Graz (Austrija), Matera (Italija) i Zimmerwald (Švicarska), a među 5 GPS-točaka u Hrvatskoj koje su radile za čitavo vrijeme kampanje bila je i točka Brusnik.

– EUVN-1997 (kratica od European Vertical GPS Reference Network), u koju je bilo uključeno oko 200 točaka iz cijele Europe, a od toga je iz Hrvatske uključeno je 8 točaka plus 4 dodatne točke (Ineichen i dr. 1998) i (Solarić i dr. 1998b).

Svrha je toga projekta bila da se što bolje visinski povežu točke u cijeloj Europi, tim više što se danas čitava Europa želi vezati na amsterdamski mareograf.

– EXTENDED SAGET-1998 (kratica od Satellite Geodynamical Traverses), u kojoj je sudjelovalo 30 točaka iz srednje Europe, a iz Hrvatske su u taj projekt bile uključene točke Brusnik i Opservatorij Hvar (Figurski i dr. 1999). Može se naglasiti da su i svi rezultati GPS-mjernih kampanja projekta CERGOP u mreži CEGRN (iz ranijih godina) bili iskorišteni i za izjednačenje u projektu EXTENDED SAGET.

Brigu o izvođenju GPS-mjernih kampanja vodili su: A. Bilajbegović i M. Solarić (Zagorje –1992 i AGREF-1992), M. Solarić (CEGRN-1994, '95, '96, '97, '99, 2001 i EXTENDED SAGET-1998), K. Čolić i T. Bašić (EUREF-1994, CRODYN 1994, '96, CROREF-1995 i '96 i) i K. Čolić (CRODYN-1998 i EUVN-1997).

U ovom su popisu ispuštena sva GPS-mjerenja koja nemaju neki veći značaj.

3. Rezultati GPS-određivanja položaja trigonometrijske točke Brusnik u različitim GPS-kampanjama

Rezultati GPS-određivanja položaja trigonometrijske točke prvog reda Brusnik svrstani su u tablicu 1, a sva mnogobrojna izjednačenja izvedena su s pomoću Bernese softvera. Pritom neki prvi rezultati određivanja nisu upisani u tablicu 1 kao na primjer rezultati od GPS-mjerne kampanje ZAGORJE-1992 i AGREF-1992, jer su mjerenja bila izvedena GPS-uređajima s C/A-kodom. Također u tablicu 1 nisu uvršteni ni rezultati iz GPS-mjernih kampanja CRODYN. Međutim, u nju je uvršten i rezultat zajedničkog izjednačenja iz više kampanja EUREF CRO-94/95/96, što je objavljen u radu (Marjanović i Bačić 2001).

Rezultati određivanja položaja na točki Brusnik iz različitih GPS-mjernih kampanja izraženi su u različitim realizacijama ITRF'yy (koordinatnog sustava ITRS), koje se pomiču. (ITRF'yy je kratica od International Terrestrial Referent Frame, a ITRS kratica od International Terrestrial Referent System.) Da bi se rezultati mogli usporediti moralo se sve dobivene koordinate položaja transformirati u fiksni datum ETRS'89 (kratica od European Terrestrial Referent System). Pri transformaciji koordinata iz realizacija ITRF'yy u koordinatni sustav ETRS'89 korišteni su parametri transformacije iz tablice 2.

Aritmetičke sredine koordinata X , Y , Z trigonometrijske točke Brusnik u datumu $ETRF'89$ i njezina elipsoidna visina h iz svih GPS-kampanja uvrštenih u tablicu 3 jednake su:

$$X_{Sr.svi}^{ETRF'89} = 4307966,074 \text{ m}, \quad Y_{Sr.svi}^{ETRF'89} = 1200393,194 \text{ m}, \quad (1)$$

$$Z_{Sr.svi}^{ETRF'89} = 4532778,708 \text{ m},$$

$$h_{Sr.svi}^{ETRF'89} = 268,970 \text{ m}. \quad (2)$$

Da bi se utvrdilo u kojim GPS-mjernim kampanjama rezultati znatnije odstupaju od aritmetičke sredine svih mjernih kampanja uvrštenih u tablicu 3, sastavljena je tablica 4. U njoj su izračunane razlike koordinata:

Tablica 1. Pregled izračunanih koordinata položaja trigonometrijske točke Brusnik iz različitih GPS-mjernih kampanja, organiziranih u međunarodnim i domaćim projektima u različitim realizacijama ITRF'yy koordinatnog sustava ITRS.

Br.	GPS-kampanja	ITRF realizacija	Epoha	X^{ITRF} (m)			Y^{ITRF} (m)			Z^{ITRF} (m)
				ITRF φ°	'	"	ITRF λ°	'	"	h^{ITRF} (m)
1	EUREF-SLOCRO-1994	1992	1994,40			4307965,924			1200393,243	4532778,767
				45	34	42,903446	15	34	12,829747	268,920
2	SLOVENIJA-1995 /CROREF-1995	1993	1995,70			4307965,911			1200393,287	4532778,837
				45	34	42,905049	15	34	12,831863	268,970
3	CROREF-1996	1994	1996,70			4307965,918			1200393,291	4532778,832
				45	34	42,904755	15	34	12,831954	268,971
4	EUVN-1997	1996	1997,40			4307965,917			1200393,305	4532778,852
				45	34	42,905144	15	34	12,832589	268,988
5	CEGRN-1994	1994	1994,34			4307965,969			1200393,251	4532778,810
				45	34	42,903368	15	34	12,829546	268,983
6	CEGRN-1995	1994	1995,42			4307965,945			1200393,261	4532778,805
				45	34	42,903728	15	34	12,830287	268,965
7	CEGRN-1996	1994	1996,45			4307965,933			1200393,288	4532778,824
				45	34	42,904258	15	34	12,831635	268,975
8	CEGRN-1997	1994	1997,43			4307965,903			1200393,306	4532778,828
				45	34	42,904887	15	34	12,83294	268,962
9	EXTENDED SAGET'98	1996	1998,45			4307965,893			1200393,324	4532778,850
				45	34	42,905515	15	34	12,83373	268,974
10	CEGRN-1999	1997	1999,45			4307965,873			1200393,350	4532778,856
				45	34	42,905936	15	34	12,835133	268,969
11	EUREF CRO-94/95/96	1996	1995,55			4307965,942			1200393,270	4532778,826
				45	34	42,904215	15	34	12,830724	268,979

Tablica 2. Pregled transformacijskih parametara za prijelaz iz različitih realizacija ITRF'yy u koordinatni sustav ETRS'89.

ITRF	T_x (cm)	T_y (cm)	T_z (cm)	M (10^{-8})	R_x (0,001")	R_y (0,001")	R_z (0,001")
1989	0,000	0,000	0,000	0,000	0,110	0,570	-0,710
1990	1,900	2,800	-2,300	0,000	0,110	0,570	-0,710
1991	2,100	2,500	-3,700	0,000	0,210	0,520	-0,680
1992	3,800	4,000	-3,700	0,000	0,210	0,520	-0,680
1993	1,900	5,300	-2,100	0,000	0,320	0,780	-0,670
1994	4,100	4,100	-4,900	0,000	0,200	0,500	-0,650
1996	4,100	4,100	-4,900	0,000	0,200	0,500	-0,650
1997	4,100	4,100	-4,900	0,000	0,200	0,500	-0,650
2000	5,400	5,100	-4,800	0,000	0,081	0,490	-0,792

Tablica 3. Pregled izračunanih koordinata položaja točke Brusnik iz različitih GPS-mjernih kampanja organiziranih u međunarodnim projektima i svedenih iz različitih realizacija ITRF'yy u koordinatni sustav ITRS, tj. u isti datum ETRF'89.

Br.	GPS-kampanja	$X^{ETRF'89}$ (m)			$Y^{ETRF'89}$ (m)			$Z^{ETRF'89}$ (m)
		φ°	'	" ETRF'89	λ°	'	" ETRF'89	$h^{ETRF'89}$ (m)
1	EUREF-SLOCRO-1994			4307966,045			1200393,182	4532778,678
		45	34	42,899111	15	34	12,825539	268,927
2	SLOVENIJA-1995 /CROREF-1995			4307966,071			1200393,199	4532778,720
		45	34	42,899378	15	34	12,825973	268,977
3	CROREF-1996			4307966,073			1200393,194	4532778,712
		45	34	42,899183	15	34	12,825726	268,972
4	EUVN-1997			4307966,082			1200393,195	4532778,725
		45	34	42,899271	15	34	12,825659	268,988
5	CEGRN-1994			4307966,089			1200393,196	4532778,712
		45	34	42,898814	15	34	12,825616	268,983
6	CEGRN-1995			4307966,081			1200393,187	4532778,696
		45	34	42,898686	15	34	12,825316	268,965
7	CEGRN-1996			4307966,084			1200393,195	4532778,706
		45	34	42,898796	15	34	12,825634	268,975
8	CEGRN-1997			4307966,069			1200393,196	4532778,701
		45	34	42,899010	15	34	12,825864	268,962
9	EXTENDED SAGET'98			4307966,075			1200393,194	4532778,713
		45	34	42,899161	15	34	12,825701	268,974
10	CEGRN-1999			4307966,069			1200393,203	4532778,710
		45	34	42,899171	15	34	12,826175	268,970
11	EUREF CRO-94/95/96			4307966,079			1200393,194	4532778,716
		45	34	42,899140	15	34	12,825651	268,979

Tablica 4. Odstupanje koordinata položaja, ukupnog položaja i elipsoidne visine točke Brusnik iz različitih GPS-mjernih kampanja od aritmetičke sredine rezultata svih GPS-kampanja uvrštenih u tablicu 3.

Br.	GPS-kampanja	$\Delta X_{Sr.svi}^{ETRF'89}$ (m)	$\Delta Y_{Sr.svi}^{ETRF'89}$ (m)	$\Delta Z_{Sr.svi}^{ETRF'89}$ (m)	$\Delta D_{Sr.svi}^{ETRF'89}$ (m)	$\Delta h_{Sr.svi}^{ETRF'89}$ (m)
1	EUREF-SLOCRO-1994	0,029	0,012	0,030	0,044	0,043
2	SLOVENIJA-1995/CROREF-1995	0,003	-0,005	-0,012	0,013	-0,007
3	CROREF-1996	0,001	0,000	-0,004	0,004	-0,002
4	EUVN-1997	-0,008	-0,001	-0,017	0,019	-0,017
5	CEGRN-1994	-0,015	-0,002	-0,003	0,015	-0,013
6	CEGRN-1995	-0,007	0,007	0,012	0,015	0,005
7	CEGRN-1996	-0,010	-0,001	0,002	0,010	-0,005
8	CEGRN-1997	0,006	-0,002	0,007	0,009	0,008
9	EXTENDED SAGET'98	-0,001	0,000	-0,005	0,005	-0,004
10	CEGRN-1999	0,006	-0,009	-0,002	0,011	0,000
11	EUREF CRO-94/95/96	-0,005	0,000	-0,008	0,010	-0,009

$$\Delta X_{Sr.svi}^{ETRF'89} = X^{ETRF'89} - X_{Sr.svi}^{ETRF'89},$$

$$\Delta Y_{Sr.svi}^{ETRF'89} = Y^{ETRF'89} - Y_{Sr.svi}^{ETRF'89},$$

$$\Delta Z_{Sr.svi}^{ETRF'89} = Z^{ETRF'89} - Z_{Sr.svi}^{ETRF'89},$$

odstupanje ukupnog položaja od aritmetičke sredine svih mjerenja:

$$\Delta D_{Sr.svi}^{ETRF'89} = \sqrt{(\Delta X_{Sr.svi}^{ETRF'89})^2 + (\Delta Y_{Sr.svi}^{ETRF'89})^2 + (\Delta Z_{Sr.svi}^{ETRF'89})^2},$$

kao i razlika elipsoidnih visina od aritmetičke sredine svih mjerenja iz tablice 3:

$$\Delta h_{Sr.svi}^{ETRF'89} = h^{ETRF'89} - h_{Sr.svi}^{ETRF'89}.$$

Iz tablice 4 izračunana su standardna odstupanja aritmetičkih sredina koordinata i elipsoidne visine točke Brusnik od svih GPS-mjernih kampanja i dobilo se da iznose:

$$\begin{aligned} s_{X.Sr.svi}^{ETRF'89} &= 0,012 \text{ m}, & s_{Y.Sr.svi}^{ETRF'89} &= 0,006 \text{ m}, \\ s_{Z.Sr.svi}^{ETRF'89} &= 0,013 \text{ m}, & s_{h.Sr.svi}^{ETRF'89} &= 0,016 \text{ m}. \end{aligned} \quad (3)$$

Također se iz tablice 4 vidi da su odstupanja koordinata položaja, ukupnog položaja i elipsoidne visine iz GPS-mjerne kampanje EUREF-SLOCRO-1994 od aritmetičke sredine (svih GPS-mjernih kampanja iz tablice 3) maksimalna i da su najmanje 2 do 3 puta veća od ostalih odstupanja u drugim GPS-mjernim kampanjama. Dakle, utvrđeno je da su rezultati iz kampanje EUREF-SLOCRO-1994 slabiji od ostalih GPS-mjernih kampanja te ih se nije zbog tog razloga uzelo u konačnom računu. Ta činjenica može se objasniti na taj način da su tijekom vremena poboljšani prijamnici, postupci obrade podataka kao i da je povećana točnost efemerida. Tako na primjer u radu (Erker i dr. 1997) uzimaju različite težine za mjerenja prema godinama.

Konačno se je izračunalo da su aritmetičke sredine koordinata položaja trigonometrijske točke 1. reda Brusnika i njegova elipsoidna visina bez uzimanja u račun i rezultate GPS-mjerne kampanje EUREF-SLOCRO-1994 jednake:

$$\begin{aligned} X_{Definitivno}^{ETRF'89} &= 4307966,077 \text{ m}, & Y_{Definitivno}^{ETRF'89} &= 1200393,195 \text{ m}, \\ Z_{Definitivno}^{ETRF'89} &= 4532778,711 \text{ m}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$h_{Definitivno}^{ETRF'89} = 268,974 \text{ m}. \quad (5)$$

Nakon toga izračunana su odstupanja koordinata položaja, ukupnog položaja i elipsoidnih visina iz pojedinih GPS-mjernih kampanja od aritmetičke sredine bez kampanje EUREF-SLOCRO-1994 i uvrštena u tablicu 5.

Iz tablice 5 izračunana su standardna odstupanja aritmetičke sredine koordinata i elipsoidne visine točke Brusnik koje su izračunane iz GPS-mjernih kampanja (bez kampanje EUREF-SLOCRO-1994) i dobilo se da one iznose:

Tablica 5. Odstupnje koordinata položaja, ukupnog položaja i elipsoidne visine točke Brusnik iz različitih GPS-mjernih kampanja od aritmetičke sredine rezultata bez kampanje EUREF-SLOCRO-1994.

Br.	GPS-kampanja	$\Delta X_{Definitivno}^{ETRF'89}$ (m)	$\Delta Y_{Definitivno}^{ETRF'89}$ (m)	$\Delta Z_{Definitivno}^{ETRF'89}$ (m)	$\Delta D_{Definitivno}^{ETRF'89}$ (m)	$\Delta h_{Definitivno}^{ETRF'89}$ (m)
2	SLOVENIJA-1995 /CROREF-1995	0,006	-0,004	-0,009	0,011	-0,003
3	CROREF-1996	0,004	0,002	-0,001	0,005	0,002
4	EUVN-1997	-0,005	0,000	-0,014	0,015	-0,013
5	CEGRN-1994	-0,012	-0,001	0,000	0,012	-0,009
6	CEGRN-1995	-0,004	0,009	0,015	0,017	0,010
7	CEGRN-1996	-0,007	0,000	0,005	0,009	-0,001
8	CEGRN-1997	0,009	0,000	0,010	0,013	0,013
9	EXTENDED SAGET-1998	0,002	0,001	-0,002	0,003	0,000
10	CEGRN-1999	0,008	-0,008	0,001	0,012	0,005
11	EUREF CRO-94/95/96	-0,002	0,002	-0,005	0,006	-0,004

$$\begin{aligned}
 s_{X, Defin.}^{ETRF'89} &= 0,007 \text{ m}, & s_{Y, Defin.}^{ETRF'89} &= 0,004 \text{ m}, \\
 s_{Z, Defin.}^{ETRF'89} &= 0,009 \text{ m}, & s_{h, Defin.}^{ETRF'89} &= 0,008 \text{ m}.
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Kao što se vidi, dobivena su vrlo mala standardna odstupanja određivanja koordinata položaja točke od definitivne aritmetičke sredine, a isto tako i njegove elipsoidne visine. Za Brusnik može se ustvrditi da su te veličine čak ispod 1 cm, tj. u prosjeku 0,7 cm.

Valja naglasiti da je pri tom našem pristupu zanemarena korelacija koordinata i informacije o točnosti koordinata iz Bernese softvera. Naime, nismo u mogućnosti za sva mjerenja dobiti i korelacijske matrice.

4. Geoidna visina trigonometrijske točke Brusnik

Geoidna visina trigonometrijske točke Brusnik može se izračunati po formuli:

$$N_{Brusnik}^{ETRF'89} = h_{Definitivno}^{ETRF'89} - h_{Brusnik}^{Geo.niv.} = 268,974 - 223,5590 = 45,415 \text{ m} \tag{7}$$

gdje je $h_{Definitivno}^{ETRF'89}$ – elipsoidna visina mjedene oznake ugrađene u betonski stup iznad rotacijskog elipsoida GRS80, koji je praktički prihvaćen i u koordinatnom sustavu WGS'84, tj. u datumu ETRF'89, i $h_{Brusnik}^{Geo.niv.}$ – ortometrijska (nadmorska) visina

mjedene oznake u betonskom stupu Brusnika, koja je određena geometrijskim nivelmanom prije GPS-kampanje EUVN'1997.

Zbog pregleda su u tablicu 6 uvrštene visine trigonometrijske točke 1. reda Brusnik, određene na različite načine. Iz nje se vidi da je geoidna visina određena iz GPS-mjerenja i geometrijskog nivelmana u suglasnosti s vrijednosti izračunanom programom IHRG2000 verzijom 1.0, tj. da je razlika geoidnih visina dobivenih na ta dva načina samo 4,5 cm. To istodobno pokazuje da je odstupanje stvarnih vrijednosti geoidnih visina od modela geoida IHRG2000 vjerojatno ispod 5 cm.

(Program IHRG2000 za interpolaciju geoida za područje Republike Hrvatske posjeduje Državna geodetska uprava, a izradio ga je prof. dr. Tomislav Bašić sa suradnicima u Zavodu za geomatiku Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (Bašić i Šljivarić 2001).)

Tablica 6. Pregled visina Brusnika (trigonometrijske točke 1. reda)

Trigonometrijski nivelman $h_{Brusnik}^{Trig.niv.}$ (m)	Geometrijski nivelman $h_{Brusnik}^{Geo.niv.}$ (m)	Elipsoidna visina (GPS) $h_{Brusnik}^{ETRF'89}$ (m)	Geoidna visina $N_{Brusnik}^{ETRF'89}$ (m)	Geoidna visina – Model (Program IHRG2000 Ver. 1.0) $N_{Brusnik}^{IHRG2000}$ (m)
223,23*	223,5590**	268,974	45,415	45,46

* Trigonometrijska visina preuzeta je iz položajnog opisa trigonometra

** Visina određena geometrijskim nivelmanom preuzeta je iz kampanje EUVN-1997

5. Zaključak

Prije dvadeset godina Opservatorij Hvar bio je položajno najtočnije određena točka u Hrvatskoj iz doplerovskih mjerenja pomoću satelita tipa TRANSIT. To je vrijedilo i na samom početku GPS ere. Međutim, sada je trigonometrijska točka 1. reda Brusnik položajno najtočnije određena trigonometrijska točka u Hrvatskoj, jer je sudjelovala u najviše međunarodnih i domaćih GPS-projekata. Kao što je izloženo koordinate njenog položaja su određene u sustavu *ETRF'89* sa standardnim odstupanjem boljim od 1 cm, tj. u prosjeku 0,7 cm.

ZAHVALA. Najljepše zahvaljujemo Državnoj geodetskoj upravi na financijskoj potpori za izvođenje više GPS-mjernih kampanja na točki Brusnik.

Literatura

- Aitiner, Y., Čolić, K., Gojčeta, B., Lipej, B., Marjanović, M., Rašić, Lj., Seeger, H. (1995): Results of the EUREF 1994 Croatia and Slovenia GPS Campaign. Report on the Symposium of the IAG Subcommittee for the European Reference Frame – EUREF in Helsinki, May, 3–6, 1995, 51–57, München.
- Aitiner, Y., Franke, P., Habrich, H., Mišković, D., Seeger, H., Seliškar, A., Tavčar, D. (1997a): Results of the Slovenia-95 GPS Campaign. Report on the Symposium of the IAG Subcommittee for the European Reference Frame – EUREF in Sofia, June, 4–7, 1997, 124–131, München.

- Altiner, Y., Bašić, T., Čolić, K., Gojčeta, B., Marjanović, M., Medić, Z., Rašić, Lj., Seeger, H. (1997b): Results of the CROREF-96 GPS Campaign. Report on the Symposium of the IAG Subcommission for the European Reference Frame – EUREF in Sofia, June, 4–7, 1997, 108–123, München.
- Bašić, T. (2000): Prijedlog službenih geodetskih datuma Republike Hrvatske. Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zavod za višu geodeziju.
- Bašić, T., Šljivarić, M. (2001): Uslužni programi za korištenje podataka službenog hrvatskog geoida i transformaciju koordinata između HDKS-a i ETRS-a. Izvješće o znanstveno-stručnim projektima DGU iz 2001. godine, 21–32.
- Bilajbegović, A., Solarić, M., Bačić, Ž., Ambroš, F., Barković, Đ., Kuhar, M., Cigrovski-Detelić, B., Stepan, V., Stopar, B., Ivković, M., Džapo, M. (1992): Preliminarni rezultati GPS mreže ZAGORJE '92 i ispitivanje kvalitete dijela postojeće trigonometrijske mreže prvog reda. Geodetski list, 4, 413–426.
- Čolić, K., Bašić, T., Seeger, H., Gojčeta, B., Altiner, Y., Rašić, Lj., Medić, Z., Pribičević, B., Medak, D., Marjanović, M., Prelogović, E. (1996): Hrvatska u EUREF '94 i projekt CRODYN. Geodetski list, 4, 331–351.
- Erker, E., Imrek, E., Pesec, P., Stangl, G., Sünkel, H. (1997): Das Österreichische Geodynamische Bezugssystem AGREF Realisierung und Ergebnisse. Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen und Österreichische Akademie der Wissenschaften.
- Fejes, I., Ghita, D., Marchesini, C., Mojžeš, M., Pesec, P., Reinhart, E., Šimek, J., Sledzinski, J., Solarić, M., Vodopivec, F., Zablotkij, F. (1998): The Central European Geodynamics Project (CERGOP): Main Achievements 1995–1998. XXIII. General Assembly of the European Geophysical Society – Nice (Francuska). Printed in "Reports on Geodesy – Warsaw, No. 9 (39), 21–38.
- Ferraro, C., Marjanović, M., Mervart, L., Becker, M., Rus, T., Pany, T., Stangl, G., Kenyeres, A., Hefty, J., Rogowski, J. B., Figurski, M. (1998): Final Results of CEGRN Observations Campaigns. Proceedings of the EGS Symposium G16, XXIII General Assembly of the European Geophysical Society, Nice, France, 20–24 April 1998, Reports on Geodesy – Warsaw No. 9 (39), 317–341.
- Figurski, M., Kujawa, L., Rogovski, J., Sledzinski, J. (1999): Results of Extended Sagnet'98 GPS Campaign. Reports on Geodesy – Warsaw, No. 4 (45), 235–244.
- Figurski, M., Kujawa, L., Liwosz, T., Rogovski, J. (2000): Results of the CERGOP'99 Adjustment performed by WUT CERGOP Processing Centre. Reports on Geodesy – Warsaw, No. 6 (52), 153–161.
- Ineichen, D., Gurtner, W., Springer, T., Engelhardt, G., Luthardt, J., Ihde, J. (1998): EUVN97 Combined GPS Solution, Report on the Results of the European Vertical Reference Network GPS Campaign 97 (EUVN'97). Symposium of the IAG Subcommission for the European Reference Frame – EUREF in Bad Neuenahr-Arhweiler, June 9–12, 1998, 19–36, Frankfurt/Main.
- Marjanović, M., Bačić, Ž. (2001): Computation of the Combined Solution of EUREF GPS Campaigns 1994–1996 in the Republic of Croatia. Paper presented at EUREF Symposium in Dubrovnik 16–19 May 2001.
- Muminagić, A. (1981): Viša geodezija I dio. Građevinski fakultet Sarajevo, Sarajevo.
- Solarić, M., Bilajbegović, A., Junašević, M., Ambroš, F., Cigrovski-Detelić, B., Džapo, M., Ivković, M., Hećimović, Ž., Barković, Đ., Bačić, Ž., Podunavac, B. (1996): Pre-

gled ostvarenih rezultata na znanstvenom projektu "Osnovni geodetski radovi informacijskog prostornog sustava Republike Hrvatske. Geodetski list, 1, 29–39.

Solarić, M. (1998): Suradnja Srednjoeuropskih zemalja u geodeziji i geodinamici. Zbornik radova znanstvenog skupa "Andrija Mohorovičić", 165–176.

Solarić, M., Čolić, K., Gojčeta, B., Medić, Z., Marjanović, M., Rašić, Lj. (1998a): Summary of Activities in Geodynamic Project CERGOP 1994–1998 in Croatia, Reports on Geodesy – Warsaw, No. 10 (40), 37–44.

Solarić, M., Gojčeta, B., Medić, Z., Marjanović, M., Rašić, Lj. (1998b): Geodetski prilog određivanju pomicanja Zemljine kore u Srednjoj Europi. Zbornik radova znanstvenog skupa "Andrija Mohorovičić", 153–163.

Position of Brusnik (trig point of the first order) is determined as the most accurate trig point in Croatia

ABSTRACT. The paper presents review of GPS-measurements on the BRUSNIK (trig point of the first order). It there is between Karlovac and Jastrebarsko. This is around 8 km northeast from Karlovac. The point BRUSNIK took participation in the biggest number of GPS-measurement campaigns in Croatia, that is in the greater part of international campaign, but and in domestic projects. So it become one of the most accurate determined trig point of the first order in Croatia.

Keywords: GPS-measurements, international geodynamical projects, trig point of the first order.

Prihvaćeno: 2003-5-6