

UDK 520.1:727.912:378.652(497.5):001.891
Izvorni znanstveni članak

Analiza ostvarenih znanstvenih rezultata geodetskih određivanja položaja Opservatorija Hvar

Miljenko SOLARIĆ i Nikola SOLARIĆ – Zagreb*

SAŽETAK. U radu je dana analiza ostvarenih znanstvenih rezultata geodetskih određivanja položaja Opservatorija Hvar Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Najprije su analizirani rezultati doplerovskih mjerenja na Opservatoriju Hvar u kampanjama IDOC'82 (1982. godine) i WEDOC-2(1983. godine) i međusobno komparirani. Zatim su analizirani ostvareni rezultati GPS-mjerenja uređajima s Pi-kôdom i dvije frekvencije (pomoću faznih mjerenja) na Opservatoriju Hvar.

Da bi se mogli usporediti rezultati doplerovskih određivanja položaja Opservatorija Hvar s rezultatima GPS određivanja trebalo je doplerovska određivanja transformirati iz koordinatnog sustava WGS'72 u WGS'84 (stari) i nakon toga u datum ITRF'90. Kao rezultat ove izvedene analize vidi se da su koordinate položaja Opservatorija Hvar već prije gotovo 20 godina određene doplerovskim mjerenjima:

– s preciznim efemeridama po koordinatama s točnosti boljom od 1m, a po elipsoidnoj visini oko 0,75 m i

– s odaslanim efemeridama sa satelita po koordinatama X i Y s točnosti boljom od 1m, a po koordinati Z točnost iznosi 4,9 m, odnosno čak 9,1 m, dok su elipsoidne visine određene s točniti između 2,5 m do 2,9 m, odnosno 4,8 m.

Tako se može konstatirati da je Opservatorij Hvar (trigonometar 209_Z) prije gotovo 20 godina bio najtočnije određena točka u Hrvatskoj, a i u bivšoj državi, i da se pritom išlo na njezino sve točnije i točnije određivanje, tj. ukorak s razvojem suvremene tehnologije mjerenja.

Na kraju su određeni otkloni vertikala na Opservatoriju Hvar, kao i njegova geoidna visina.

Ključne riječi: doplerovska mjerenja, elipsoidne visine, geoidne visine, GPS-mjerenja, koordinate, koordinatni sustavi: WGS'72, WGS'84, ITRS, ITRF'yy, ETRF'89, otklon vertikala.

* Prof.dr.sc. Miljenko Solarić i prof.dr.sc. Nikola Solarić, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb.

1. Uvod

U radu (Solarić M. i N. 2000) dan je pregled geodetskih određivanja položaja Opservatorija Hvar i ostvarenih rezultata. Međutim, u njemu nije učinjena analiza niti su uspoređeni ostvareni rezultati geodetskih određivanja položaja Opservatorija Hvar. Zato će se u ovome radu dati analiza i usporedba ostvarenih rezultata koji će se međusobno povezati i dat će se prijedlog za realizaciju dodatnih geodetskih mjerenja.

Međutim, već se u uvodu mora naglasiti da i unatoč velikom uloženom trudu za uključivanje u Zapadnoeuropsku satelitsku trigonometrijsku mrežu projekta WEST (skraćena od West European Satellite Triangulation) svi podaci opažanja iz 1971. i 1972. godine nisu se mogli poslati u inozemstvo na zajedničku obradu. Međutim i pored toga u zajedničko izjednačenje simultanih optičkih opažanja položaja umjetnog Zemljinog satelita PAGEOS u okviru projekta WEST ušlo je ipak 8 opažanja s Opservatorija Hvar od ukupno više od 100 izvedenih mjerenja.

Tako je u radu (Ehrnspreger 1974) objavljeno da su za Opservatorij Hvar (astronomski stup) određene koordinate položaja sa standardnim odstupanjem:

- u pravcu sjevera 15,0 m,
- u pravcu istoka 34,7 m i
- po visini 30,0 m,

odnosno da su poluosi elipsoida pogrešaka: 10,5 m, 17,5 m i 43,7 m.

Standardno odstupanje koordinata položaja ostalih uključenih postaja u projekt WEST s velikim brojem mjerenja bila je najvećim dijelom oko 5 m, a samo položaji manjeg broja postaja su određeni sa standardnim odstupanjem preko 10 m, odnosno 20 m.

Koordinate položaja Opservatorija Hvar (astronomskog stupa) u tom radu nisu objavljene, a nije napisano ni u kojem koordinatnom sustavu su izračunane.

Takvu je točnost bilo maksimalno moguće postići s tadašnjom tehnikom opažanja, ali samo uz vrlo veliki trud.

2. Koordinate položaja Opservatorija Hvar u Državnom koordinatnom sustavu određene klasičnim geodetskim načinom

Prof. V. Petković (Petković 1977 i 1985) odredio je koordinate položaja X i Y nove trigonometrijske točke 209_Z 4. reda (mjedene oznake smještene u dnu šupljeg stupa) na terasi Opservatorija Hvar pomoću mikrotrigonometrijske mreže početkom sedamdesetih godina i dobio da one u Državnom geodetskom koordinatnom sustavu (Gauss-Krügerovoj projekciji) iznose:

$$X_{209Z} = 6\,374\,306,02 \text{ m} \quad \text{i} \quad Y_{209Z} = 4\,782\,617,15 \text{ m}, \quad (1)$$

kao što je to navedeno u radu (Solarić M. i N. 2000).

Kada se izračunaju, tj. transformiraju koordinate X i Y iz Gauss-Krügerove projekcije u kutne vrijednosti na Besselovu elipsoidu, dobije se da geodetska širina *B i geodetska duljina *L Opservatorija Hvar iznose:

$$^*B_{209Z} = 43^{\circ} 10' 38,2948'' \quad ^*L_{209Z} = 16^{\circ} 27' 13,4494'' \quad (2)$$

(Zvezdicom (*) je označeno da su geodetska širina *B i duljina *L izračunane (transformirane) iz izvornih koordinata u Gauss-Krügerovoj projekciji X i Y pomoću kompjutorskog programa GaussFL. To će se načelo, da su preračunane koordinate označene zvezdicom i nadalje primjenjivati.)

Test-mreža bila je proširena do trigonometara 1. reda, te su u nju uključeni trigonometri od 1. do 4. reda. Duljine dugačkih stranica u test-mreži izmjerene su laserskim daljinomjerom AGA. Iz analize u radu (Čalić, Birin 1979) vidi se da su koordinate Opservatorija Hvar trebale dobiti korekciju $\Delta Y = 0,356$ m i $\Delta X = 0,133$ m. Međutim, mi smo ostavili koordinate položaja Opservatorija Hvar (2) nepromijenjenima, jer su one određene od susjednih trigonometara te su tako bolje uklopljene u najbliži okoliš Opservatorija.

Visinu novog trigonometra 209_Z također je odredio prof. Veljko Petković geodetskim mjerenjima (trigonometrijskim nivelmanom) od susjednih trigonometrijskih točaka i dobio da nadmorska visina (ortometrijska visina) mjedene oznake smještene u dnu šupljega trigonometrijskog stupa iznosi:

$$h_{209Z(\text{BOLCNE})} = 244,08 \text{ m.} \quad (3)$$

3. Analiza ostvarenih rezultata doplerovskih mjerenja na Opservatoriju Hvar

Na Opservatoriju Hvar realizirana su doplerovska mjerenja pomoću satelitskog sustava NNSS (skraćenica od Navy Navigation Satellite System), tj. pomoću satelita tipa TRANSIT i NOVA u okviru dvaju međunarodnih znanstvenih projekata – doplerovskih opažачkih kampanja:

- IDOC'82 (skraćenica od Italy Doppler Observation Campaign) u 1982. godini i
- WEDOC-2 (skraćenica od West East European Doppler Observation Campaign) u 1983. godini.

U oba projekta antena doplerovskog uređaja postavljena je na Opservatoriju Hvar vertikalno iznad mjedene oznake smještene u dnu trigonometrijskog stupa 209_Z. Budući da rezultati složene obradbe podataka doplerovskih mjerenja nisu dosada analizirani i međusobno komparirani oni će se sada raščlaniti i usporediti.

3.1. Analiza rezultata doplerovskih mjerenja u okviru međunarodnog projekta IDOC'82

Simultana doplerovska mjerenja pomoću satelitskog sustava NNSS izvedena su u okviru međunarodne znanstvene suradnje projekta IDOC'82 na 12 točaka (slika 8 u radu Solarić M. i N. 2000) od 15. do 26. srpnja 1982. godine. To su bila prva takva,

tada najsvremenija satelitska mjerenja na području Hrvatske i bivše države upotrebe, a rezultati određivanja položaja Opservatorija Hvar objavljeni su u radovima (Baldi et al. 1984), (Solarić M. i Čolić 1983) i (Čolić, Lohmar, Solarić M. 1984).

Na početku doplerovskih mjerenja u memoriju doplerovskog uređaja unesene su, kao približne koordinate B i L , geodetske koordinate trigonometrijskog stupa 209_Z na Opservatoriju Hvar prema našem Državnom geodetskom koordinatnom sustavu na Besselovu elipsoidu (2). Odmah, još za vrijeme mjerenja, mogli su se očitati na ekranu uređaja rezultati doplerovskih određivanja koordinata položaja točke (referentne točke antene) koje je izračunao sam mikroprocesor što je ugrađen u doplerovski uređaj. Tako je već sutradan ujutro 16. srpnja (kao što je to zapisano u zapisniku opažanja) nakon sedmog prolaza satelita očitano na ekranu doplerovskog uređaja da koordinate Opservatorija Hvar (trigonometra 209_Z) iznose:

$$B = 43^{\circ} 10' 37,894'' \quad \text{i} \quad L = 16^{\circ} 26' 55,141''. \quad (4)$$

Dakle, već nakon prvih prolaza satelita tipa TRANSIT I NOVA utvrdilo se da promjena koordinate geodetske širine na Opservatoriju Hvar iznosi:

$$\Delta B = 0,401'', \quad (5)$$

tj. manje od 0,5'', ali zato je došlo do velike promjene geodetske duljine koja je iznosila čak:

$$\Delta L = 18,308''. \quad (6)$$

Već se iz prvih rezultata doplerovskih mjerenja moglo tvrditi da Državni geodetski koordinatni sustav u bivšoj državi, pa tako i Hrvatskoj, nije dobro položajno smješten (orijentiran) i da se geodetska duljina u Državnome geodetskom koordinatnom sustavu i u Svjetskome koordinatnom sustavu WGS'72 (skraćenica od World Geodetic System) u kojem su radili sateliti TRANSIT i NOVA razlikuju za čak $\Delta L = 18,308''$.

To znači da se udaljenost od Greenwichkog meridijana u ta dva koordinatna sustava na površini Zemlje razlikuje:

$$\text{čak približno } 380 \text{ m.} \quad (7)$$

Ta je činjenica bila i prije poznata iz analiza klasičnih geodetskih mjerenja i astronomskih mjerenja učinjenih u doktorskom radu (Muminagić 1971), ali je doplerovskim mjerenjima ona definitivno dokazana.

a) Rješenje pomoću primljenih efemerida koje su odaslane sa satelita (Broadcast Ephemerides) u projektu IDOC'82

Podaci doplerovskih mjerenja na Opservatoriju Hvar obrađeni su pomoću softverske podrške – programom GEODOP verzija III zajedno s ostalim postajama u Europi (slika 10 u radu Solarić M. i N. 2000), kao višestanično rješenje pomoću odaslanih efemerida sa satelita (Broadcast Ephemerides) i objavljeni u radovima (Baldi

et al. 1984) i (Čolić, Lohmar, Solarić M. 1984). Dobiveni rezultati za četiri verzije upisani su u tablicu 1.

Tablica 1. Pregled izračunanih koordinata X , Y i Z u koordinatnom sustavu WGS'72 za Opservatorij Hvar (trigonometra 209_Z) u raznim varijantama projekta IDOC'82.

HVAR koordinata s – stand.odst.	Rješenja: Baldi et. al.		Rješenja: Čolić, Lohmar, Solarić, M.		Δ Ekstremna razlika
	MPBE12 (m)	MPBE10a (m)	MPBE11 (m)	MPBE10b (m)	
X_{BE}	4 468 <u>038,26</u>	4 468 039,38	4 468 <u>040,19</u>	4 468 039,11	1,93 m
s_X	0,48 m	0,48 m	0,48 m	0,48 m	
$*B_{BE}$	43° 10' <u>38,6229"</u>	43° 10' 38,5749"	43° 10' <u>38,5457"</u>	43° 10' 38,6030"	0,0772"
Y_{BE}	1 319 <u>141,33</u>	1 319 141,18	1 319 141,28	1 319 <u>141,16</u>	0,17 m
s_Y	0,48 m	0,46 m	0,46 m	0,46 m	
$*L_{BE}$	16° 26' <u>55,2536"</u>	16° 26' 55,2332"	16° 26' <u>55,2273"</u>	16° 26' 55,2536"	0,0263"
Z_{BE}	4 342 <u>092,50</u>	4 342 091,44	4 342 <u>090,96</u>	4 342 092,38	1,54 m
s_Z	0,47 m	0,48 m	0,47 m	0,47 m	
$*H_{BE}$	<u>291,522 m</u>	291,549 m	291,807 m	<u>291,999 m</u>	0,477 m

Kada se pogledaju vrijednosti standardnih odstupanja izračunanih prostornih koordinata X , Y i Z u Svjetskom geocentričnom koordinatnom sustavu WGS'72 za Opservatorij Hvar (koje su upisane u tablici 1), vidi se da su koordinate X , Y i Z u svim varijantama rješenja određene sa standardnim odstupanjem od 0,46 do 0,48 m. Dakle, standardna su odstupanja nešto manja od 0,5 m. Takva visoka preciznost na velikim udaljenostima nije se do tada mogla ostvariti klasičnim geodetskim mjerenjima, ali ni optičkim opažanjima položaja satelita. Međutim, vidi se da je to samo preciznost (unutarnja točnost), jer su u sve četiri varijante rješenja razlike između ekstremnih vrijednosti koordinata (potertanih u tablici 1 i ispisanih u zadnjem stupcu) vrlo velike i da one iznose čak:

$$\Delta X = 1,93 \text{ m}, \Delta Y = 0,17 \text{ m} \text{ i } \Delta Z = 1,54 \text{ m}, \text{ a visine } \Delta H = 0,477 \text{ m}. \quad (8)$$

Pritom je, kao što se vidi, najmanja razlika u svim varijantama za koordinatu Y (samo $\Delta Y_{\text{MAX}} = 0,17 \text{ m}$), a najveća razlika za koordinatu X iznosi čak:

$$\Delta X_{\text{MAX}} = 1,93 \text{ m}. \quad (9)$$

Naime, u sve četiri varijante višestaničnog rješenja s odaslanim efemeridama sa satelita Multy Point Solution by Means of Broadcast Ephemerides (skraćeno MPBE) u račun se ušlo s istim podacima opažanja, samo što su u različitim varijantama rješenja ispuštene neke točke s manjim brojem mjerenja ili su one bile jako udaljene. Da je uistinu vanjska točnost izračunanih koordinata položaja Opservatorija

Hvar X , Y i Z bila 0,5 m (vidi tablicu 1) ispuštanjem iz izjednačenja pojedine točke ne bi se moglo dogoditi da su tako velike koordinatne razlike između pojedinih varijanti rješenja. Dapače, svaki bi geodet u tom slučaju posumnjao u vjerodostojnost svojih rezultata mjerenja, odnosno izjednačenja.

Po rezultatu nije se moglo ocijentiti kojoj bi varijanti rješenja trebalo dati prednost, tj. usvojiti ju kao naše najbolje rješenje, jer su standardna odstupanja praktički jednaka. Međutim, nama se činilo za Opservatorij Hvar da su *najprihvatljivija rješenja* MPBE11 i MPBE10b.

U rješenjima (Baldi et al. 1984):

- MPBE12 ušlo je svih 12 postaja, a među njima i vrlo daleka točka VFM (Villa Franca del Castillo, Madrid, Španjolska), a u rješenju
- MPBE10a nisu uzete postaje VFM (Španjolska) i Dionyssos (Grčka).

Kako je doplerovska postaja Dionyssos (Grčka) relativno blizu našem Hvaru, a uz to je bila dobro određena iz velikog broja prethodnih opažачkih kampanja, za naš Opservatorij Hvar činila su se najprihvatljivijima sljedeća dva rješenja (Čolić, Lohmar, Solarić M. 1984):

- MPBE11 bez samo daleke doplerovske postaje VFM (Španjolska) i
- MPBE10b bez uzimanja u račun registriranih doplerovskih mjerenja na dalekoj postaji VFM (Španjolska) i postaji MBO Monte Bonifato (Sicilija, Italija) s malim brojem registriranih prolaza satelita tipa TRANSIT i NOVA.

b) Rješenje doplerovskih mjerenja pomoću preciznih efemerida (PE) u projektu IDOC'82

Precizne efemeride (skraćeno PE) za satelite TRANSIT i NOVA mogle su dobiti samo vladine ustanove članica zapadnog bloka. To je razlog zbog kojeg tada nismo mogli dobiti na raspolaganje precizne efemeride.

Međutim, željeli smo izračunati koordinate Opservatorija Hvar i u sustavu preciznih efemerida. To je bilo moguće realizirati pomoću transformacija koordinata jer je nekoliko točaka iz projekta IDOC'82 sudjelovalo i u prethodnim projektima:

EDOC-2, ERIDOC i ALGEDOP-82,

gdje su im bile izračunane koordinate položaja u sustavu preciznih efemerida (PE).

Tako su na osnovi sedmoparametarske transformacije koordinata u radu (Čolić, Lohmar, Solarić M. 1984) izračunane sljedeće koordinate Opservatorija Hvar (trigonometra 209_Z) u sustavu *preciznih efemerida (skraćeno PE)*:

<i>iz rješenja MPBE11 u sustav PE</i>	<i>iz rješenja MPBE10b u sustav PE</i>
$X_{PE11} = 4\ 468\ 040,12, s_x = 1,28\ m,$	$X_{PE10b} = 4\ 468\ 040,20, s_x = 1,27\ m,$
$Y_{PE11} = 1\ 319\ 141,38, s_y = 1,37\ m,$	$Y_{PE10b} = 1\ 319\ 141,45, s_y = 1,26\ m,$
$Z_{PE11} = 4\ 342\ 087,99, s_z = 1,51\ m,$	$Z_{PE10b} = 4\ 342\ 088,10, s_z = 1,66\ m.$

(10)

Kao što se vidi, standardna odstupanja tih koordinata Opservatorija Hvar u sustavu preciznih efemerida trostruko su veća od standardnih odstupanja izračuna-

nih koordinata Opservatorija Hvar u raznim varijantama višestaničnih rješenja MPBE. To je razumljivo jer su u račun uzete i pogreške iz prethodnih mjernih kampanja projekata: EDOC-2, ERIDOC i ALGEDOP-82.

Koordinate položaja Opservatorija Hvar u sustavu preciznih efemerida mogle bi se izračunati i pomoću parametara transformacije za prijelaz iz koordinatnog sustava odaslanih efemerida u sustav preciznih efemerida objavljenih u radu (Ashkenazi, Sykers 1979). Međutim, pretpostavili smo da je naša direktna transformacija koordinata bila točnija za Opservatorij Hvar.

c) Razlike između izračunanih koordinata položaja Opservatorija Hvar s odaslanim efemeridama (MPBE) i preciznim efemeridama (PE) u projektu IDOC'82

Sada se mogu izračunati koordinatne razlike između koordinata položaja Opservatorija Hvar (trigonometra 209₂) obrađenih višestaničnim rješenjem (MPBE11 i MPBE10b) i koordinata položaja Opservatorija Hvar u sustavu preciznih efemerida. Te su izračunane vrijednosti uvrštene u tablicu 2.

Tablica 2. *Razlike između pravokutnih geocentričnih koordinata položaja Opservatorija Hvar (trigonometra 209₂) u koordinatnom sustavu WGS'72: izračunanih višestaničnim rješenjem s odaslanim efemeridama sa satelita (MPBE11 i MPBE10b) u projektu IDOC'82 minus u sustavu preciznih efemerida.*

$\Delta X_{MPBE11-PE11}$	+0,07 m		$\Delta X_{MPBE10b-PE10b}$	- 1,09 m
$\Delta Y_{MPBE11-PE11}$	- 0,10 m		$\Delta Y_{MPBE10b-PE10b}$	- 0,29 m
$\Delta Z_{MPBE11-PE11}$	+2,97 m		$\Delta Z_{MPBE10b-PE10b}$	+4,28 m

Iz tablice 2 vidi se da je maksimalna razlika između koordinata višestaničnog rješenja s odaslanim efemeridama projekta IDOC'82 i sustava preciznih efemerida za koordinatu Z i da iznosi oko

3 m, odnosno 4,3 m.

Takva razlika može postojati, jer su koordinatni sustavi odaslanih efemerida i preciznih efemerida tek neznatno različito definirani.

3.2. Analiza rezultata doplerovskih mjerenja u okviru međunarodnog projekta WEDOC-2

Simultana doplerovska mjerenja na Opservatoriju Hvar pomoću satelitskog sustava NNSS (TRANSIT i NOVA) izvedena su u okviru međunarodne znanstvene suradnje projekta WEDOC-2. Mjereno je na 27 točaka (slika 10 u radu (Solarić M. i N. 2000)) od 5. do 16. rujna 1983. godine. Konačni rezultati određivanja položaja referentne točke antene Opservatorija Hvar (smještene iznad trigonometrijske točke 209₂) u Svjetskom geodetskom geocentričnom koordinatnom sustavu WGS'72 iz simultanih mjerenja projekta WEDOC-2 i odaslanih efemerida sa satelita objavljeni su u radu

(Pesec, Rinner, Mihaly, Alpar 1985). Izjednačenje je bilo izvedeno pomoću programa GEODOP verzija V (koji se koristio za znanstvena istraživanja u zemljama zapadnog bloka) i SADOSA (koji su izradile kolege iz Mađarske). Tako izračunane veličine imaju indeks $BE-G$ za veličine izračunane programom GEODOP-V, a veličine izračunane programom SADOSA imaju indeks $BE-SA$. Gornji indeks R pokazuje da su to koordinate referentne točke antene. Ti su rezultati ispisani u tablici 3, kao i izračunane veličine geodetske širine $^*B^R$, duljine $^*L^R$ i elipsoidna visina $^*H^R$ iz izvornih prostornih koordinata X^R , Y^R i Z^R u koordinatnom sustavu WGS'72.

Tablica 3. Koordinate referentne točke antene doplerovskog uređaja postavljene iznad mjedene oznake trigonometra 209_Z Opservatorija Hvar u svjetskom geodetskom koordinatnom sustavu WGS'72 izračunane kao višestanično rješenje pomoću odaslanih efemerida sa satelita u projektu WEDOC-2.

a) Pomoću kompjutorskog programa GEODOP - V		
(m)	(m)	(m)
$X_{BE-G}^R = 4\ 468\ 038,91\ s=0,29$, $^*B_{BE-G}^R = 43^\circ\ 10'\ 38,7381''$	$Y_{BE-G}^R = 1\ 319\ 142,30\ s=0,27$, $^*L_{BE-G}^R = 16^\circ\ 26'\ 55,2866''$	$Z_{BE-G}^R = 4\ 342\ 098,22\ s=0,29$, $^*H_{BE-G}^R = 296,091\ m$
b) Pomoću kompjutorskog programa SADOSA, SGO (izraden u Mađarskoj)		
(m)	(m)	(m)
$X_{BE-SA}^R = 4\ 468\ 040,29\ s=0,29$, $^*B_{BE-SA}^R = 43^\circ\ 10'\ 38,4590''$	$Y_{BE-SA}^R = 1\ 319\ 142,23\ s=0,25$, $^*L_{BE-SA}^R = 16^\circ\ 26'\ 55,2663''$	$Z_{BE-SA}^R = 4\ 342\ 087,63\ s=0,25$, $^*H_{BE-SA}^R = 289,795\ m$

Budući da su u tablici 3 dane prostorne koordinate u koordinatnom sustavu WGS'72 za referentnu točku antene (označene crvenom linijom na anteni), moralo se izračunati koordinate mjedene oznake trigonometra 209_Z Opservatorija Hvar. Referentna točka antene bila je postavljena točno vertikalno iznad mjedene oznake smještene u dnu stupa i na visini 2,227 m. Zato su geodetska širina *B i duljina *L ostale iste, a elipsoidna se visina trebala smanjiti za 2,227 m. Na osnovi tih podataka i programa BLH-xyz za elipsoid WGS'72 izračunane su prostorne geocentrične koordinate mjedene oznake trigonometra 209_Z u Svjetskom geodetskom koordinatnom sustavu WGS'72 i uvrštene u tablicu 4.

Tablica 4. Koordinate mjedene oznake trigonometra 209_Z - Opservatorija Hvar izračunane iz koordinata referentne točke antene doplerovskog uređaja (tablica 3). Gornji indeks M označava da su to koordinate mjedene oznake u stupu.

a) Iz programa GEODOP - V		
$^*B_{BE-G}^M = 43^\circ\ 10'\ 38,7381''$, $^{**}X_{BE-G}^M = 4\ 468\ 037,352\ m$	$^*L_{BE-G}^M = 16^\circ\ 26'\ 55,2866''$, $^{**}Y_{BE-G}^M = 1\ 319\ 141,840\ m$	$^*H_{BE-G}^M = 296,091 - 2,227 = 293,864\ m$, $^{**}Z_{BE-G}^M = 4342\ 096,696\ m$
b) Iz programa SADOSA, SGO		
$^*B_{BE-SA}^M = 43^\circ\ 10'\ 38,4590''$, $^{**}X_{BE-SA}^M = 4\ 468\ 038,732\ m$	$^*L_{BE-SA}^M = 16^\circ\ 26'\ 55,2663''$, $^{**}Y_{BE-SA}^M = 1\ 319\ 141,769\ m$	$^*H_{BE-SA}^M = 289,795 - 2,227 = 287,568\ m$, $^{**}Z_{BE-SA}^M = 4\ 342\ 086,107\ m$

Iz tablice 4 vidi se da izjednačenje po jednom i drugom programu nije dalo identične rezultate i da razlike koordinata Opservatorija Hvar dobivene izjednačenjem programom GEODOP-V i SADOSA iznose:

$$\Delta X_{G-SA}^M = -1,38 \text{ m}, \Delta Y_{G-SA}^M = +0,07 \text{ m} \text{ i } \Delta Z_{G-SA}^M = +10,59 \text{ m}, \quad (11)$$

odnosno da se elipsoidna visina razlikuje za čak

$$\Delta H_{G-SA}^M = +6,296 \text{ m}. \quad (12)$$

Naime, sigurno je da ne bi smjele biti tako velike (*goleme*) razlike u rezultatima, jer su bila obrađivana ista sinhrona mjerenja, a standardna odstupanja izračunanih koordinata Opservatorija Hvar iznosila su čak manje od 0,3 m.

Postavlja se pitanje: je li bolje rješenje sa softverom GEODOP-om ili sa SADOSA-om.

Na to pitanje možda će se moći odgovoriti nakon usporedbe rezultata određivanja položaja Opservatorija Hvar (trigonometra 209_Z) u doplerovskim mjernim kampanjama IDOC'82 i WEDOC-2.

3.3. Razlika između rezultata položajnih određivanja u projektima IDOC'82 i WEDOC-2

Da bi se analiziralo kolika je izračunana razlika između položajnih doplerovskih određivanja s odaslanim efemeridama sa satelita tipa TRANSIT i NOVA u projektima IDOC'82 i WEDOC-2 za Opservatorij Hvar (trigonometar 209_Z) načinjene su tablice 5 i 6. U njih su unesene izračunane razlike geocentričnih koordinata ΔX^M , ΔY^M i ΔZ^M u koordinatnom sustavu WGS'72, razlike u ukupnom položaju $\Delta D^M = \sqrt{(\Delta X^M)^2 + (\Delta Y^M)^2 + (\Delta Z^M)^2}$ i razlike elipsoidnih visina ΔH^M .

Tablica 5. Razlike između koordinata položaja, ukupne razlike položaja i elipsoidnih visina Opservatorija Hvar (trigonometra 209_Z) određenih u projektu WEDOC-2 programom GEODOP-V u koordinatnom sustavu WGS'72 s odaslanim efemeridama sa satelita minus određenih u projektu IDOC'82.

Varijanta	$\Delta X_{W(G)-I}^M$	$\Delta Y_{W(G)-I}^M$	$\Delta Z_{W(G)-I}^M$	$\Delta D_{W(G)-I}^M$	$\Delta H_{W(G)-I}^M$
MPBE12	- 0,91 m	+ 0,51 m	+ 4,20 m	4,33 m	+ 2,34 m
MPBE10a	- 2,03 m	+ 0,66 m	+ 5,26 m	5,68 m	+ 2,31 m
MPBE11	- 2,84 m	+ 0,56 m	+ 5,74 m	6,43 m	+ 2,06 m
MPBE10b	- 1,76 m	+ 0,68 m	+ 4,32 m	4,71 m	+ 1,86 m

U tablicu 5 upisane su razlike izračunanih veličina za Opservatorij Hvar dobivenih izjednačenjem pomoću programa GEODOP verzija V u projektu WEDOC-2 minus izračunane veličine programom GEODOP verzija III u četiri varijante iz opažanja u projektu IDOC'82. Zato su u koordinatnim razlikama, razlikama u ukupnom položaju točaka i elipsoidnim visinama upisani donji indeksi $W(G)-I$, a gornji indeks M pokazuje da se radi o mjedenoj oznaci trigonometra 209_Z na Opservatoriju Hvar. Oba su izjednačenja izvedena kao višestanično rješenje s odaslanim efemeridama sa satelita.

Iz tablice 5 vidi se da su:

- *najveće* izračunane razlike:

- za koordinatnu razliku mjedene oznake $\Delta X_{W(G)-I}^M = -2,84$ m u varijanti MPBE11,

$$\Delta Y_{W(G)-I}^M = +0,68 \text{ m u varijanti MPBE10b,}$$

$$\Delta Z_{W(G)-I}^M = +5,74 \text{ m u varijanti MPBE11,}$$

- za ukupni položaj mjedene oznake $\Delta D_{W(G)-I}^M = 6,43$ m u varijanti MPBE11,

- za elipsoidnu visinu mjedene oznake $\Delta H_{W(G)-I}^M = +2,34$ m u varijanti MPBE12.

- da su *najmanje* izračunane razlike:

- za koordinatnu razliku mjedene oznake $\Delta X_{W(G)-I}^M = -0,91$ m u varijanti MPBE12,

$$\Delta Y_{W(G)-I}^M = +0,51 \text{ m u varijanti MPBE12,}$$

$$\Delta Z_{W(G)-I}^M = +4,20 \text{ m u varijanti MPBE12,}$$

- za ukupni položaj mjedene oznake $\Delta D_{W(G)-I}^M = 4,33$ m u varijanti MPBE12,

- za elipsoidnu visinu mjedene oznake $\Delta H_{W(G)-I}^M = -1,86$ m u varijanti MPBE10b.

Dakle, dobiveno je da je najmanja razlika koordinatnih razlika i ukupnog položaja između rezultata dobivenih programom GEODOP-V u projektu WEDOC-2 i varijante MPBE12 projekta IDOC'82. U toj varijanti uzete su sve točke pa i najudaljenija točka VF (Villa Franca, Španjolska). To, kao što je bilo rečeno, nismo očekivali u svojoj procjeni.

Međutim, iz tablice 5 vidi se da je najmanja razlika elipsoidnih visina mjedene oznake na Opservatoriju Hvar između rezultata dobivenih programom GEODOP-V u projektu WEDOC-2 i varijante MPBE10b projekta IDOC'82, a što je u suglasju s našim očekivanjima (Čolić, Lohmar, Solarić, M. 1984).

Tablica 6. Razlike između koordinata položaja, ukupne razlike položaja i elipsoidnih visina Opservatorija Hvar (trigonometra 209_Z) određenih u projektu WEDOC-2 programom SADOSA u koordinatnom sustavu WGS'72 s odaslanim efemeridama minus određenih u projektu IDOC'82

Varijanta	ΔX_{WS-I}^M	ΔY_{WS-I}^M	ΔZ_{WS-I}^M	ΔD_{WS-I}^M	ΔH_{WS-I}^M
MPBE12	+ 0,47 m	+ 0,44 m	- 6,39 m	6,43 m	- 3,95 m
MPBE10a	- 0,65 m	+ 0,59 m	- 5,33 m	5,40 m	- 3,98 m
MPBE11	- 1,46 m	+ 0,49 m	- 4,85 m	5,09 m	- 4,24 m
MPBE10b	- 0,38 m	+ 0,61 m	- 6,27 m	6,31 m	- 4,43 m

U tablicu 6 upisane su razlike izračunanih veličina za Opservatorij Hvar dobivenih izjednačenjem pomoću programa SADOSA s odaslanim efemeridama sa satelita u projektu WEDOC-2 minus izračunane veličine programom GEODOP-III u četiri varijante iz opažanja u projektu IDOC'82. Zato su u koordinatnim razlikama, razli-

kama u ukupnom položaju točaka i elipsoidnim visinama upisani donji indeksi $W(S)-I$, a gornji indeks M pokazuje da se radi o mjedenoj oznaci trigonometra 209_z na Opservatoriju Hvar. Oba su izjednačenja izvedena kao višestanično rješenje s odaslanim efemeridama.

Iz tablice 6 vidi se da su:

- *najveće* izračunane razlike:

– za koordinatnu razliku mjedene oznake $\Delta X_{W(S)-I}^M = -1,46$ m u varijanti MPBE11,

$\Delta Y_{W(S)-I}^M = +0,61$ m u varijanti MPBE10b,

$\Delta Z_{W(S)-I}^M = -6,39$ m u varijanti MPBE12,

– za ukupni položaj mjedene oznake $\Delta D_{W(S)-I}^M = 6,43$ m u varijanti MPBE12,

– za elipsoidnu visinu mjedene oznake $\Delta H_{W(S)-I}^M = -4,43$ m u varijanti MPBE10b.

- da su *najmanje* izračunane razlike:

– za koordinatnu razliku mjedene oznake $\Delta X_{W(S)-I}^M = -0,38$ m u varijanti MPBE10b,

$\Delta Y_{W(S)-I}^M = +0,44$ m u varijanti MPBE12,

$\Delta Z_{W(S)-I}^M = -4,85$ m u varijanti MPBE11,

– za ukupni položaj mjedene oznake $\Delta D_{W(S)-I}^M = 5,09$ m u varijanti MPBE11,

– za elipsoidnu visinu mjedene oznake $\Delta H_{W(S)-I}^M = -3,95$ m u varijanti MPBE12.

Dakle, dobiveno je da je najmanja razlika ukupnog položaja između rezultata dobivenih programom SADOSA s odaslanim efemeridama sa satelita (BE) u projektu WEDOC-2 i varijante MPBE11 projekta IDOC'82. To smo, kao što je bilo rečeno, u svojoj prvoj procjeni očekivali (Čolić, Lohmar, Solarić M. 1984).

Međutim, iz tablice 6 vidi se da je najmanja razlika elipsoidnih visina mjedene oznake trigonometra 209_z na Opservatoriju Hvar između rezultata dobivenih programom SADOSA u projektu WEDOC-2 i varijante MPBE12 projekta IDOC'82, a što nije u suglasju s našim očekivanjima.

Iz te analize može se zaključiti da je i unatoč tomu što je preciznost, tj. standardno odstupanje koordinata položaja Opservatorija Hvar određenih doplerovskim mjerenjima bilo oko 0,5 m (u projektu IDOC'82), odnosno 0,3 m (u projektu WEDOC-2), vanjska točnost određivanja ukupnog položaja mjedene oznake u stupu trigonometra na Opservatoriju Hvar iznosila čak i *više metara*, tj. vjerojatno oko 5 m, što se vidi iz najvećih razlika.

Na kraju može se kazati da je dio rezultata te analize pokazao da smo u radu (Čolić, Lohmar, Solarić, M. 1984) imali pravo što smo očekivali da su rješenja MPBE11 i MPBE10b bolja od MPBE12 i MPBE10a. Međutim, dio rezultata pokazao je da su varijante iz rada (Baldi et al. 1984) bile bolje.

Usporedbom rezultata koordinatnih razlika, ukupne razlike položaja i elipsoidnih visina Opservatorija Hvar određivane u projektu WEDOC-2 programima GEODOP i SADOSA i u projektu IDOC'82 programom GEODOP, kao što se vidi iz tablica 5 i 6, pokazuju da su:

- ukupne razlike u položaju približno jednake po programu GEODOP i SADOSA i da maksimalno iznose 6,43 m, a
- razlike elipsoidnih visina Opservatorija Hvar nešto su manje za izjednačenje projekta WEDOC-2 s programom GEODOP.

Međutim, unatoč tomu ne može se sa sigurnošću kazati kojem bi izjednačenju doplerovskih mjerenja u projektu WEDOC-2 trebalo dati prednost. Definitivna ocjena moći će se dati tek nakon usporedbe rezultata doplerovskih mjerenja i GPS-mjerenja.

4. GPS-mjerenja na Opservatoriju Hvar

U radu (Solarić, M. i N. 2000) dan je pregled svih izvedenih GPS-mjerenja na Opservatoriju Hvar. Dio tih rezultata položajnog određivanja Opservatorija Hvar (trigonometrijske točke 209_Z), kad je mjereno GPS uređajima s Pi kôdom i dvije frekvencije (pomoću faznih razlika), upisan je u tablicu 7.

Budući da se željela postići visoka točnost određivanja koordinata položaja postaja u računu nisu korištene odaslane efemeride sa satelita već su uporabljene *precizne efemeride* koje su određene iz opažanja s IGS permanentnih postaja (skraćenica od International GPS Service for Geodynamic). Tako su koordinate određivanih toča-

Tablica 7. Koordinate položaja Opservatorija Hvar (trigonometra 209_Z) određene mjerenjem GPS-uređajima s Pi kôdom i dvije frekvencije u raznim međunarodnim mjernim kampanjama.

GPS-mjerna kampanja (Koordinatni sustav) (literatura)	X_{209Z} (m) s_x (m) B_{209Z} (° ' ")	Y_{209Z} (m) s_y (m) L_{209Z} (° ' ")	Z_{209Z} (m) s_z (m) H_{209Z} (m)
ADRIATIC MICROPLATE '93 (ITRF'91, Epoha 1993,8) (Pesec, Windholtz 1995)	4 468 031,143 0,004 43° 10' 38,6055"	1 319 159,353 0,002 16° 26' 56,1081"	4 342 089,868 0,004 286,561m
TYRGEONET'96 (ITRF'96, Epoha 1996,44) (Baldi, P.1998)	4 468 031,238 0,012 43° 10' 38,6078"	1 319 159,453 0,004 16° 26' 56,1112"	4 342 090,077 0,012 286,791m
CEGRN'97 projekta CERGOP (ITRF'94, Epoha 1997,43) (Marjanović, Rašić, Solarić, M.1997)	4 468 031,140 0,002 43° 10' 38,6075"	1 319 159,440 0,002 16° 26' 56,1118"	4 342 089,973 0,007 286,649m
EXTENDED SAGET'98 (ITRF'96, Epoha 1998,44) (Figurski et al.1999)	4 468 031,095 0,003 43° 10' 38,6081"	1 319 159,452 0,000 16° 26' 56,1129"	4 342 089,961 0,005 286,611m
CEGRN'99 projekta CERGOP (ITRF'96, Epoha 1999,46) (Figurski et al.1999)	4 468 031,0840 0,0008 43° 10' 38,60885"	1 319 159,4705 0,0003 16° 26' 56,11384"	4 342 089,9879 0,0008 286,626m

ka vezane za koordinatni sustav ITRS (skraćenica od International Terrestrial Referent System), tj. njegovu realizaciju ITRF'yy (skraćenica od International Terrestrial Referent Frame) u epohi t_c , gdje yy označava partikularno rješenje za realizaciju ITRF-a u nekoj godini.

Samo za GPS-mjernu kampanju u projektu ADRIATIC MICROPLATE'93 morale su se prethodno izračunati koordinate mjedene oznake smještene u donjem dijelu stupa trigonometrijske točke, jer je u izjednačenju izračunan položaj čelične ploče postavljene točno na stup iznad mjedene oznake. Za istu vrijednost geografske širine ($\varphi = 43^\circ 10' 30,6055''$) i geografske duljine ($\lambda = 16^\circ 26' 56,1081''$) čelične ploče, ali za elipsoidnu visinu čelične ploče ($H = 287,852\text{m}$) umanjenu za 1,291 m (visinu čelične ploče iznad mjedene oznake u stupu), tj. za $H = 286,561\text{ m}$ izračunane su koordinate mjedene oznake u stupu trigonometrijske točke 209_Z i uvrštene u tablicu 7.

Tablica 8. *Koordinate položaja Opservatorija Hvar (mjedene oznake trigonometra 209_Z) određene GPS-uređajima s Pi kódom i dvije frekvencije u raznim kampanjama i sve svedene na isti datum ETRF'89.*

GPS-mjerna kampanja (literatura)	$X_{209Z}^{ETRF'89}$ (m) $B_{209Z}^{ETRF'89}$ (m)	$Y_{209Z}^{ETRF'89}$ (m) $L_{209Z}^{ETRF'89}$ (m)	$Z_{209Z}^{ETRF'89}$ (m) $H_{209Z}^{ETRF'89}$ (m)
ADRIATIC MICROPLATE'93 (Pesec, Windholtz 1995)	4 468 031,2374 43° 10' 38,601915"	1 319 159,2861 16° 26' 56,104090"	4 342 089,7834 286,5552m
TYRGEONET'96 (Baldi, P.1998)	4 468 031,3877 43° 10' 38,602372"	1 319 159,3587 16° 26' 56,105289"	4 342 089,9573 286,7943m
CEGRN'97 projekta CERGOP (Marjanović,Rašić,Solarić,M.1997)	4 468 031,3043 43° 10' 38,601660"	1 319 159,3274 16° 26' 56,105005"	4 342 089,8438 286,6518m
EXTENDED SAGET'98 (Figurski et al.1999)	4 468 031,2740 43° 10' 38,601834"	1 319 159,3211 16° 26' 56,105118"	4 342 089,8222 286,6146m
CEGRN'99 projekta CERGOP (Figurski et al.1999)	4 468 031,2792 43° 10' 38,602120"	1 319 159,3200 16° 26' 56,105006"	4 342 089,8387 286,6293m
ARITMETIČKA SREDINA:			
a) svih kampanja:	4 468 031,2965 43° 10' 38,601980"	1 319 159,3227 16° 26' 56,104902"	4 342 089,8491 286,6490m
b) bez Tyrgeonet'96 i Adriatic Microplate'93:	4 468 031,2858 43° 10' 38,601871"	1 319 159,3228 16° 26' 56,105043"	4 342 089,8349 286,6319m

ITRF'yy realizacije koordinatnog sustava ITRS pomiču se, tj. vremenski su ovisne. Zato su sve koordinate Opservatorija Hvar iz raznih GPS-mjernih kampanja transformirane u fiksni koordinatni sustav ETRF'89 (skraćenica od European Terrestrial Referent Frame) i uvrštene u tablicu 8. Te su koordinate izražene u desetinkama milimetra što je uobičajeno u geodinamičkim projektima. Pritom su korišteni parametri transformacije iz tablice 9, gdje su T1, T2 i T3 parametri translacije po koordinatnim osima, R1, R2 i R3 parametri rotacije oko koordinatnih osi i Mj promjena mjerila.

Tablica 9. Transformacijski parametri za prijelaz iz realizacije ITRF^{'yy} koordinatnog sustava ITRS-a u ETRF^{'89} datum. (Podaci su preuzeti s interneta: lareg.ensg.ign.fr)

ITRF	T1 cm	T2 cm	T3 cm	Mj10**(-8)	R1 0,001"	R2 0,001"	R3 0,001"
1989	0	0	0	0	0,11	0,57	-0,71
1990	1,9	2,8	-2,3	0	0,11	0,57	-0,71
1991	2,1	2,5	-3,7	0	0,21	0,52	-0,68
1992	3,8	4	-3,7	0	0,21	0,52	-0,68
1993	1,9	5,3	-2,1	0	0,32	0,78	-0,67
1994	4,1	4,1	-4,9	0	0,2	0,5	-0,65
1996	4,1	4,1	-4,9	0	0,2	0,5	-0,65

Iz tablice 8 vidi se da aritmetičke sredine koordinata položaja i elipsoidne visine Opservatorija Hvar iz svih GPS-mjernih kampanja svedene na isti datum ETRF^{'89} iznose:

$$X_{209Z}^{ETRF'89} = 4\,468\,031,2965 \text{ m} \quad B_{209Z}^{ETRF'89} = 43^{\circ} 10' 38,601980'' \quad (13)$$

$$Y_{209Z}^{ETRF'89} = 1\,319\,159,3227 \text{ m} \quad L_{209Z}^{ETRF'89} = 16^{\circ} 26' 56,104902'' \quad (14)$$

$$Z_{209Z}^{ETRF'89} = 4\,342\,089,8491 \text{ m} \quad H_{209Z}^{ETRF'89} = 286,6490 \text{ m} \quad (15)$$

i da standardna odstupanja koordinata položaja i elipsoidne visine Opservatorija Hvar u datumu ETRF^{'89} od aritmetičkih sredina za sve GPS-mjerne kampanje iznose:

$$s_x = 0,056 \text{ m}, s_y = 0,026 \text{ m}, s_z = 0,065 \text{ m} \text{ i } s_H = 0,089 \text{ m} \quad (16)$$

Kao što se vidi, ta standardna odstupanja koordinata Opservatorija Hvar određenih iz svih GPS-mjernih kampanja od aritmetičkih sredina prilično su velika, a to je posljedica što rezultati određivanja položaja Opservatorija Hvar u nekim GPS-mjernim kampanjama znatnije odstupaju od aritmetičke sredine svih mjernih kampanja. Da bi se utvrdilo u kojim GPS-mjernim kampanjama rezultati znatnije odstupaju od aritmetičkih sredina svih mjernih kampanja napisana je tablica 10.

Tablica 10. Razlike između koordinata položaja, ukupne razlike položaja $\Delta D = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2 + (\Delta Z)^2}$ i elipsoidnih visina Opservatorija Hvar (trigonometrijske točke 209_Z) određenih u GPS-projektima minus aritmetička sredina svih GPS-kampanja

Projekt	dX (m)	dY (m)	dZ (m)	dD (m)	dH (m)
Adr.Mic.'93	-0,0591	-0,0366	-0,0657	0,0956	-0,0938
TYRGE'96	0,0912	0,036	0,1082	0,146	0,1453
CEGRN'97	0,0078	0,0047	-0,0053	0,0105	0,0028
SAGET'98	-0,0225	-0,0016	-0,0269	0,0351	-0,0344
CEGRN'99	-0,0173	-0,0027	-0,0104	0,0203	-0,0197

Iz nje se vidi da najviše odstupaju rezultati iz GPS-mjerne kampanje TYRGEONET'96, a zatim i ADRIATIC MICROPLATE'93. Zato su te ekstremne vrijednosti u tablici 10 ispuštene iz aritmetičkih sredina, tj. izračunane su aritmetičke sredine koordinata Opservatorija Hvar bez GPS-kampanje TYRGEONET'96 i ADRIATIC MICROPLATE'93 u tablici 8.

Zašto rezultati položajnih određivanja Opservatorija Hvar u te dvije kampanje mjerenja više odstupaju od aritmetičkih sredina svih drugih GPS-mjernih kampanja može se ovako objasniti:

- Mjerenja iz GPS-kampanje TYRGEONET bila su izjednačena u Italiji pomoću američkog programa i fiksirajući IGS (International GPS Service for Geodynamic) točku MATERA u južnoj Italiji. Ostala GPS-mjerenja bila su izjednačena pomoću programa BERNISE s verzijom 4.0 i 4.1 i najviše se vezujući na IGS-točku WETTZELL (Njemačka), a i na neke druge IGS-točke.
- Mjerenja iz GPS-kampanje ADRIATIC MICROPLATE'93 bila su izjednačena softverom-om BERNISE verzija 3, ali fiksirajući IGS-točke WETTZELL, GRAZ i MATERA. Osim toga nakon 1993. godine poboljšani su GPS-prijamnici, softver, a i efemeride. Tako na primjer u radu (Erker et al. 1997) autori uzimaju različite težine za mjerenja prema godinama.

Iz tablice 8 vidi se da aritmetičke sredine koordinata položaja i elipsoidne visine Opservatorija Hvar iz GPS-mjernih kampanja bez projekta TYRGEONET'96 i ADRIATIC MICROPLATE'93 u datumu ETRF'89 iznose:

$$X_{209Z}^{ETRF'89} = 4\,468\,031,2858 \text{ m} \quad B_{209Z}^{ETRF'89} = 43^{\circ} 10' 38,601871'' \quad (17)$$

$$Y_{209Z}^{ETRF'89} = 1\,319\,159,3228 \text{ m} \quad L_{209Z}^{ETRF'89} = 16^{\circ} 26' 56,105043'' \quad (18)$$

$$Z_{209Z}^{ETRF'89} = 4\,342\,089,8349 \text{ m} \quad H_{209Z}^{ETRF'89} = 286,6319 \text{ m} \quad (19)$$

i da standardna odstupanja koordinata položaja i elipsoidne visine Opservatorija Hvar u datumu ETRF'89 od aritmetičkih sredina za GPS-mjerne kampanje bez projekta TYRGEONET'96 i ADRIATIC MICROPLATE'93 iznose:

$$s_X = 0,0162 \text{ m}, s_Y = 0,0040 \text{ m}, s_Z = 0,0113 \text{ m} \text{ i } s_H = 0,0187 \text{ m} \quad (20)$$

Iz toga se vidi da su koordinate položaja Opservatorija Hvar (17), (18) i (19) određene iz GPS-mjerenja bez kampanja ADRIATIC MICROPLATE'93 i TYRGEONET'96 s vrlo visokom unutarnjom točnošću u intervalu:

od 4 mm do 16,2 mm,

odnosno da je elipsoidna visina Opservatorija Hvar određena s preciznošću (unutarnjom točnošću) od

18,7 mm.

Zato će se dalje u tekstu članka uzeti koordinate položaja Opservatorija Hvar (17), (18) i (19) u datumu ETRF'89 kao definitivna rješenja.

Može se posebice naglasiti da je jedino točka BRUSNIK (trigonometar 1. reda), smještena između Karlovca i Jastrebarskog, sudjelovala u većem broju internacionalnih GPS-mjernih kampanja nego Opservatorij Hvar i da je zato ona vjerojatno još točnije određena GPS-mjerenjima.

Da bi se moglo usporediti rezultate doplerovskih određivanja položaja Opservatorija Hvar i GPS-mjerenja na Opservatoriju Hvar treba se ukratko opisati korištene koordinatne sustave i uspostaviti njihovu međusobnu vezu.

5. Parametri transformacija između koordinatnih sustava WGS'72, WGS'84, ITRS i ETRF'89

Svjetski geodetski koordinatni sustavi su geocentrični koordinatni sustavi, tj. to su sustavi s ishodištem u središtu Zemljinih masa. Pritom koordinatne osi X i Y leže u ekvatorijalnoj ravnini, pozitivni smisao osi X usmjeren je prema nultome meridijanu (Greenwichkome meridijanu), os Y zarotirana je za 90° prema istoku, a os Z prema Sjevernom polu (postoje detaljnije i točnije definicije).

Odmah nakon izbacivanja satelita Sputnjika I i Vangarda u orbitu oko Zemlje određen je Svjetski geodetski koordinatni sustav Mercury Datum (1960), a zatim je slijedio veći broj određivanja Svjetskih koordinatnih sustava, i to sve točnije i sve točnije, pomoću umjetnih Zemljinih satelita i ostalih najsuvremenijih tehnologija mjerenja (Magnavox 1972).

a) Koordinatni sustavi WGS'72 za odaslane efemeride sa satelita i za precizne efemeride

Nakon prosinca 1975. godine za doplerovska mjerenja pomoću satelita tipa TRANSIT i NOVA s *odaslanim efemeridama sa satelita* koristio se Svjetski koordinatni sustav WGS'72 s dimenzijama referentnog elipsoida (Decca Survey 1978) i (Stansell 1978):

$$\begin{aligned} \text{velika poluos: } a &= 6\,378\,135 \pm 5 \text{ m i} \\ \text{recipročna vrijednost spljoštenosti: } 1/f &= 298,26. \end{aligned}$$

Pritom je korišten geopotencijalni model WGS'72 i set koordinata NWL10D za 4 prateće postaje.

Međutim, za doplerovska mjerenja pomoću satelita tipa TRANSIT i NOVA s *preciznim efemeridama* koristio se referentni elipsoid s dimenzijama (Hoar 1982):

$$\begin{aligned} \text{velika poluos: } a &= 6\,378\,145 \text{ m i} \\ \text{recipročna vrijednost spljoštenosti: } 1/f &= 298,26. \end{aligned}$$

U tom sustavu preciznih efemerida korišten je geopotencijalni model NSWC 10E-1 i set koordinata NSWC 9Z-2 za sustav od 17 pratećih postaja mreže TRANET.

Transformacijski parametri za prijelaz iz koordinatnog sustava WGS'72 s *odaslanim efemeridama sa satelita* u sustav preciznih efemerida za Europu i Ujedinjeno kraljevstvo određeni su u radu (Ashkenazi, Sykes 1978). Opis veze između tih dva koordinatnih sustava i opis njihova razvoja dan je u (Rutscheidt 1982).

b) Koordinatni sustavi WGS'84 i ITRS

Globalni pozicijski sustav (GPS) radio je na početku pomoću koordinatnog sustava WGS'72, a nakon 1987. godine prešlo se na novi svjetski geodetski koordinatni sustav WGS'84, koji ima sljedeće dimenzije referentnog elipsoida:

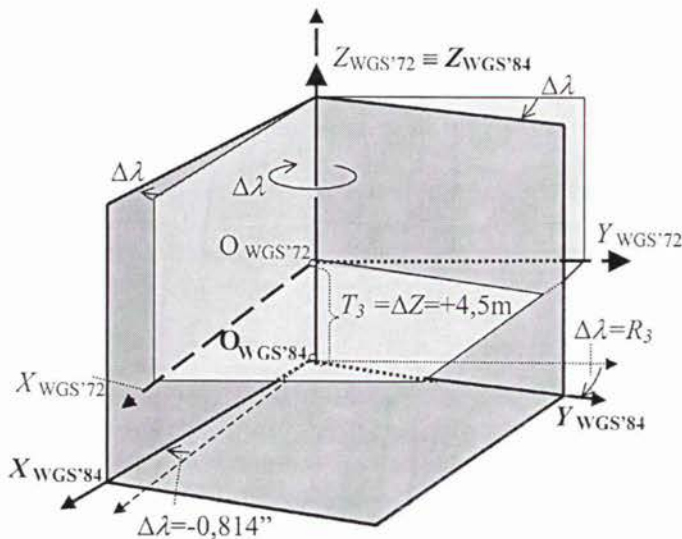
$$\begin{aligned} \text{veliku poluos: } a &= 6\,378\,137 \pm 2 \text{ m i} \\ \text{recipročnu vrijednost spljoštenosti: } 1/f &= 298,257223563. \end{aligned}$$

To su uistinu prihvaćene vrijednosti referentnog elipsoida od The Geodetic Reference System 1980 (GRS-80) (Bilajbegović et al.1991).

Osim toga iz veoma dugih bazisnih interferometrijskih mjerenja (Very Long Basis Interferometry – skraćeno VLBI) utvrđena je i promjena mjerila. Tako su duljine u koordinatnom sustavu WGS'84 kraće nego u WGS'72, te ih se mora množiti s faktorom $(1+dm) = (1-0,6 \cdot 10^{-6})$ pri prijelazu iz koordinatnog sustava WGS'72 u WGS'84 (stari).

Ishodišne točke tih koordinatnih sustava $O_{\text{WGS}'72}$ i $O_{\text{WGS}'84}$ pomaknute su po koordinatnoj osi Z za 4,5 m, tako da se ravnina ekvatora koordinatnog sustava WGS'72 nalazi na sjeveru s obzirom na ekvatorijalnu ravninu sustava WGS'84 (vidi sliku 1). Također i nulti meridijan, koji definira položaj osi $X_{\text{WGS}'84}$ u sustavu WGS'84 nalazi se na zapadu s obzirom na korespondirajući nulti Greenwichki meridijan u sustavu WGS'72 (Maseroli 1995).

Koordinatni sustav WGS'84 definiran je, osim dimenzijama referentnog elipsoida, gravitacijskim modelom, setom koordinata permanentnih postaja DoD (skraćena od the U.S. Department of Defense), kao i konstantom brzine svjetlosti i kutnom brzinom rotacije Zemlje.



Slika 1. Svjetski geodetski koordinatni sustavi WGS'72 i WGS'84

Prema (Altamini, Boucher 2000) treba razlikovati:

- a) *staru realizaciju* koordinatnog sustava WGS'84 i
- b) *novu realizaciju* koordinatnog sustava WGS'84.

Stara realizacija koordinatnog sustava WGS'84 osnovana je na doplerovskim mjerenjima pomoću satelitskog sustava TRANSIT s osiguranom točnosti koordinata pratećih postaja oko 1 m.

Transformacijski parametri za transformiranje koordinata iz koordinatnog sustava ITRS, tj. njegove realizacije ITRF'90, u staru realizaciju koordinatnog sustava WGS'84 dani su u radu (McCarthy 1992) i uvršteni u tablicu 11.

Tablica 11. *Parametri transformacije za prijelaz iz realizacije ITRF'90 koordinatnog sustava ITRS u staru realizaciju koordinatnog sustava WGS'84*

T1 (m)	T2 (m)	T3 (m)	dm 10^{-8}	R1(")	R2(")	R3(")
0,06	-0,517	-0,223	-0,011	0,0183	-0,0003	0,0070

Nova realizacija koordinatnog sustava WGS'84 osniva se na puno točnijim GPS-podacima mjerenja kao na primjer rješenjima WGS'84 (G730 i G873). Koordinate položaja točaka u toj novoj realizaciji koordinatnog sustava WGS'84 podudaraju se s koordinatama istih točaka u koordinatnom sustavu ITRS, tj. njegovom realizacijom ITRF. Tako se može reći da su ITRF koordinate točaka izražene u novom koordinatnom sustavu WGS'84 s točnosti na nivou oko 10 cm.

Za područje Europe procjenjuje se da je točnost koordinata točaka u realizaciji ETRF'89 oko 2 cm (Bauer 1997).

6. Transformiranje koordinata položaja Opservatorija Hvar određenih doplerovskim mjerenjima iz koordinatnog sustava WGS'72 u WGS'84(stari) i ITRF'90

Koordinate položaja Opservatorija Hvar (trigonometra 209₂), koje su određene doplerovskim mjerenjima u kampanjama projekata IDOC'82 i WEDOC-2, transformirane su iz koordinatnog sustava WGS'72 u WGS'84 (stari). To je učinjeno pomoću sedmoparametarske transformacije, tako da su:

- koordinate translatornog pomaka ishodišta: $T_1 = 0$, $T_2 = 0$ i $T_3 = +4,5$ m,
- kutovi rotacije oko koordinatnih osi: $R_1 = 0$, $R_2 = 0$ i $R_3 = -0,814''$ i
- promjena mjerila: $dm = -0,6 \cdot 10^{-6}$.

Rezultati tih transformacija upisani su u tablicu 12 i 13.

Nakon toga su koordinate položaja Opservatorija Hvar iz tablica 12 i 13 transformirane, također, pomoću sedmoparametarske transformacije u realizaciju ITRF'90 koordinatnog sustava ITRS, tj. u novi WGS'84. Pritom su korišteni parametri transformacije iz tablice 11 samo sa suprotnim predznakom, a dobiveni rezultati uvršteni su u tablice 14 i 15.

Tablica 12. Koordinate položaja Opservatorija Hvar (trigonometra 209_Z) određene u projektu IDOC'82 pomoću odaslanih efemerida sa satelita, a zatim transformirane iz koordinatnog sustava WGS'72 u WGS'84 (stari).

HVAR koordinata s – stand.odst.	Rješenja: Baldi et. al.		Rješenja: Čolić, Lohmar, Solarić, M.		Δ Ekstremna razlika
	MPBE12 (m)	MPBE10a (m)	MPBE11 (m)	MPBE10b (m)	
X_{BE}^{MW84}	4 468 <u>030,37</u>	4 468 031,49	4 468 <u>032,30</u>	4 468 031,22	1,93 m
s_X	0,48 m	0,48 m	0,48 m	0,48 m	
B_{BE}^{MW84}	43° 10' <u>38,7363"</u>	43° 10' 38,6883"	43° 10' <u>38,6591"</u>	43° 10' 38,7164"	0,0772"
Y_{BE}^{MW84}	1 319 <u>158,17</u>	1 319 158,02	1 319 158,12	1 319 <u>158,00</u>	0,17 m
s_Y	0,48 m	0,46 m	0,46 m	0,46 m	
L_{BE}^{MW84}	16° 26' <u>56,0676"</u>	16° 26' 56,0472"	16° 26' <u>56,0413"</u>	16° 26' 56,0497"	0,0263"
Z_{BE}^{MW84}	4 342 <u>094,39</u>	4 342 093,33	4 342 <u>092,85</u>	4 342 094,27	1,54 m
s_Z	0,47 m	0,48 m	0,47 m	0,47 m	
H_{BE}^{MW84}	<u>288,88 m</u>	288,90 m	289,16 m	<u>289,35 m</u>	0,47 m

Tablica 13. Koordinate položaja Opservatorija Hvar (trigonometra 209_Z) određene u sustavu preciznih efemerida u projektu IDOC'82 i sustavu odaslanih efemerida sa satelita u projektu WEDOC-2, a zatim transformirane iz koordinatnog sustava WGS'72 u WGS'84 (stari).

HVAR koordinate	Precizne efemeride IDOC'82		WEDOC-2 (Odaslane efemeride)	
	iz MPBE11	iz MPBE10b	GEODOP-V	SADOSA
X^{MW84}	4 468 032,23m	4 468 032,31m	4 468 029,47m	4 468 030,85m
B^{MW84}	43° 10' 38,5898"	43° 10' 38,5903"	43° 10' 38,8515"	43° 10' 38,5724"
Y^{MW84}	1 319 158,22m	1 319 158,29m	1 319 158,68m	1 319 158,61m
L^{MW84}	16° 26' 56,0464"	16° 26' 56,0483"	16° 26' 56,0803"	16° 26' 56,1006"
Z^{MW84}	4 342 089,88m	4 342 089,99m	4 342 098,59m	4 342 088,00m
H^{MW84}	287,10m	287,24m	291,22m	284,92m

7. Razlike između koordinata Opservatorija Hvar određenih doplerovskim mjerenjem i GPS-mjerenjem

Da bi se utvrdilo kolika je razlika između koordinata položaja Opservatorija Hvar određenih GPS-mjerenjima (bez projekta TYRGEONET'96 i ADRIATIC MICROPLATE'93) u datumu ETRF'89 i doplerovskih mjerenja (koja su transformirana u koordinatni sustav WGS'84 (stari), a zatim i u datum ITRF'90) izrađena je tablica 16. U nju su uvrštene razlike koordinata (ΔX , ΔY , ΔZ), ukupna razlika u položaju ($\Delta D = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2 + (\Delta Z)^2}$) i razlike elipsoidnih visina ΔH .

Tablica 14. Koordinate položaja Opservatorija Hvar (trigonometra 209_z) određene u projektu IDOC'82 pomoću odaslanih efemerida sa satelita, a zatim transformirane iz koordinatnog sustava WGS'84(stari) u datum ITRF'90.

HVAR koordinata s – stand.odst.	Rješenja: Baldi et. al.		Rješenja: Čolić, Lohmar, Solarić, M.		Δ Ekstremna razlika
	MPBE12 (m)	MPBE10a (m)	MPBE11 (m)	MPBE10b (m)	
$X_{BE}^{MITRF'90}$ $B_{BE}^{MITRF'90}$	4 468 030,26 43° 10' 38,7450"	4 468 031,38 43° 10' 38,6971"	4 468 032,19 43° 10' 38,6679"	4 468 031,11 43° 10' 38,7252"	1,93 m 0,0772"
$Y_{BE}^{MITRF'90}$ $L_{BE}^{MITRF'90}$	1 319 158,45 16° 26' 56,0810"	1 319 158,30 16° 26' 56,0606"	1 319 158,40 16° 26' 56,0547"	1 319 158,28 16° 26' 56,0631"	0,17 m 0,0263"
$Z_{BE}^{MITRF'90}$ $H_{BE}^{MITRF'90}$	4 342 094,74 289,09 m	4 342 093,68 289,12 m	4 342 093,20 289,37 m	4 342 094,62 289,57 m	1,54 m 0,48 m

Tablica 15. Koordinate položaja Opservatorija Hvar (trigonometra 209_z) određene u sustavu preciznih efemerida u projektu IDOC'82 i sustavu odaslanih efemerida sa satelita u projektu WEDOC-2, a zatim transformirane iz koordinatnog sustava WGS'84 (stari) u datum ITRF'90.

HVAR koordinate	Precizne efemeride IDOC'82		WEDOC-2 (Odaslane efemeride)	
	iz MPBE11	iz MPBE10b	GEODOP-V	SADOSA
$X_{BE}^{MITRF'90}$ $B_{BE}^{MITRF'90}$	4 468 032,12m 43° 10' 38,5986"	4 468 032,20m 43° 10' 38,5990"	4 468 029,36m 43° 10' 38,8602"	4 468 030,74m 43° 10' 38,5810"
$Y_{BE}^{MITRF'90}$ $L_{BE}^{MITRF'90}$	1 319 158,50m 16° 26' 56,0598"	1 319 158,57m 16° 26' 56,0618"	1 319 158,96m 16° 26' 56,1139"	1 319 158,89m 16° 26' 56,0937"
$Z_{BE}^{MITRF'90}$ $H_{BE}^{MITRF'90}$	4 342 090,23m 287,31m	4 342 090,34m 287,46m	4 342 098,94m 291,44m	4 342 088,35m 285,14m

(Ovdje treba naglasiti da je pritom zanemarena mala razlika između datuma ITRF'90 i ETRF'89, koja je daleko ispod točnosti doplerovskih mjerenja.)

Koordinate položaja Opservatorija Hvar (trigonometra 209_z) već su prije 20 godina određene pomoću doplerovskih mjerenja na satelite TRANSIT i NOVA u koordinatnom sustavu WGS'72 preciznih efemerida i sustavu odaslanih efemerida sa satelita. Sada su GPS-mjerenjima određene koordinate položaja Opservatorija Hvar više desetaka, pa i sto puta, točnije nego doplerovskim mjerenjima. Zato se GPS mjerenja mogu smatrati apsolutno točnima prema rezultatima doplerovskih mjerenja.

Tako se sada može zaključiti da su koordinate Opservatorija Hvar izračunane iz doplerovskih mjerenja određene s pogreškom:

Tablica 16. *Koordinatne razlike, ukupne razlike u položaju*

$\Delta D = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2 + (\Delta Z)^2}$ i elipsoidnih visina Opservatorija Hvar između transformiranih doplerovskih koordinata u datum ITRF'90 minus aritmetičke sredine GPS-mjerenja bez projekta TYRGEONET'96 i ADRIATIC MICROPLATE'93 u datumu ETRF'89.

Projekti	dX (m)	dY (m)	dZ (m)	dD (m)	dH (m)
IDOC'82:					
MPBE12	-1,03	-0,87	4,91	5,08	2,46
MPBE10a	0,09	-1,02	3,85	3,97	2,49
MPBE11	0,9	-0,92	3,36	3,6	2,74
MPBE10b	-0,18	-1,04	4,79	4,89	2,94
Prec.efem.:					
PE11	0,83	-0,82	0,39	1,23	0,68
PE10b	0,91	-0,75	0,51	1,28	0,83
WEDOC-2:					
Geodop V	-1,93	-0,36	9,11	9,31	4,81
Sadosa	-0,55	-0,43	-1,49	1,64	-1,49

- u sustavu WGS'72 *preciznih efemerida*:
 - po koordinati X od 0,83 do 0,91 m,
 - Y od 0,75 do 0,82 m,
 - Z od 0,39 do 0,51 m,
 - u ukupnom položaju D od 1,23 do 1,28 m,
 - po elipsoidnoj visini H od 0,68 do 0,83 m,
- u sustavu WGS'72 *odaslanih efemerida sa satelita*:
 - po koordinati X od 0,09 do 1,93 m,
 - Y od 0,36 do 1,04 m,
 - Z od 1,49 do 9,11 m,
 - u ukupnom položaju D od 1,64 do 9,31 m,
 - po elipsoidnoj visini H od 1,49 do 4,81 m.

Iz tih razlika između položajnih određivanja Opservatorija Hvar (trigonometra 209_z) doplerovskim mjerenjima i GPS-mjerenjima vidi se da su već prije gotovo 20 godina određene geocentričke koordinate Opservatorija:

- u sustavu *preciznih efemerida* s točnošću boljom od 1 m, a po elipsoidnoj visini oko 0,75 m i
- u sustavu *odaslanih efemerida sa satelita* s točnošću:
 - po koordinatama X i Y boljom od 1 m, dok po koordinati Z to odstupanje u projektu IDOC'82 iznosi oko 4,9 m, a u projektu WEDOC-2 izjednačenjem programom GEODOP verzija V to odstupanje iznosi čak oko 9,1 m,

- elipsoidne visine u projektu IDOC'82 određene su s točnošću od 2,5 do 2,9 m, dok u projektu WEDOC-2 izjednačenjem po programu GEODOP – V odstupanje iznosi čak oko 4,8 m, a izjednačenjem po programu SADOSA to odstupanje iznosi oko 1,50 m.

Iz tablice 16 vidi se da je:

- razlika u ukupnom položaju Opservatorija Hvar određivana u doplerovskom projektu WEDOC-2 programom SADOSA i GPS-mjerenja (koja se mogu smatrati apsolutno točnima) čak 6 puta manja od one određivane u projektu WEDOC-2 pomoću programa GEODOP, a
- razlike elipsoidnih visina Opservatorija Hvar određivane u projektu WEDOC-2 programom SADOSA su 3 puta točnije nego one određivane programom GEODOP.

Nakon te analize može se tvrditi da je izjednačenje doplerovskih mjerenja u projektu WEDOC-2 po programu SADOSA dalo znatno točnije rješenje nego po programu GEODOP. (Kolegama iz Geodetskog satelitskog opservatorija iz Penca pokraj Budimpešte, koji su izradili program SADOSA, može se čestitati, a oni mogu sada samo žaliti da je radni vijek doplerovskih mjerenja prošao.)

Na osnovi izloženoga može se reći da je Opservatorij Hvar (trigonometar 209₂) već prije gotovo 20 godina bio položajno najtočnije određena točka u Hrvatskoj u geocentričnom koordinatnom sustavu i da se pritom išlo na njezino sve točnije i točnije određivanje, tj. ukorak s razvojem suvremene tehnologije mjerenja.

8. Astronomska mjerenja na Opservatoriju Hvar

Izvedena su vrlo kvalitetna astronomska mjerenja za određivanje astronomske širine, duljine i azimuta strane od Opservatorija Hvar (trigonometra 209₂) prema trigonometru 1. reda Sv. Nikola. U radu (Solarić, M. i N. 2000) dan je pregled svih astronomskih određivanja iz kojih se vidi da su astronomska širina i duljina određivane s astronomskog stupa A≡209_{S1} (Terzić 1980. i 1985). Zato su se astronomska širina i duljina morale reducirati na trigonometar 209₂, tako da za *Opservatorij Hvar* (trigonometar 209₂) one iznose:

$$\varphi_{209_2} = 43^{\circ} 10' 38,94'' \text{ (astronomska širina trigonometra 209}_2\text{),} \quad (21)$$

$$\lambda_{209_2} = 16^{\circ} 26' 51,65'' \text{ (astronomska duljina trigonometra 209}_2\text{).} \quad (22)$$

9. Određivanje otklona vertikalna na Opservatoriju Hvar

Na osnovi prethodno određenih veličina može se izračunati otklon vertikalna na Opservatoriju Hvar u odnosu na referentni elipsoid koordinatnog sustava WGS'84, tj. datuma ETRF'89.

Otklon vertikalna ima dvije svoje komponente koje se mogu izračunati po odgovarajućim formulama (Torge 1980).

- Otklon vertikala u smjeru *sjever – jug*, tj. uzduž astronomskog meridijana računa se po formuli:

$$\xi_{209Z}^{ETRF'89} = B_{209Z}^{ETRF'89} - \varphi_{209Z} = -0,338', \quad (23)$$

gdje je $B_{209Z}^{ETRF'89}$ – geodetska širina u datumu ETRF'89 i φ_{209Z} – astronomska širina, tj. oduzimanjem vrijednosti iz (17) minus vrijednost iz (21).

- Otklon vertikala u smjeru *istok – zapad*, tj. u pravcu prvog vertikala računa se po formuli:

$$\eta_{209Z}^{ETRF'89} = (L_{209Z}^{ETRF'89} - \lambda_{209Z}) \cdot \cos \varphi_{209Z} = +4,455' - 0,7292 = +3,249', \quad (24)$$

gdje je $L_{209Z}^{ETRF'89}$ – geodetska duljina u datumu ETRF'89 i λ_{209Z} – astronomska duljina, odnosno oduzimanjem vrijednosti iz (18) minus vrijednost iz (22) i množenjem s kosinusom astronomske širine.

Iz jednadžbi (23) i (24) vidi se da su komponente otklona vertikala na Opservatoriju Hvar relativno male.

10. Određivanje geoidne visine Opservatorija Hvar

Geoidna visina Opservatorija Hvar može se izračunati po formuli:

$$N_{209Z}^{ETRF'89} = H_{209Z}^{ETRF'89} - h_{209Z} = +42,552 \text{ m}, \quad (25)$$

gdje je $H_{209Z}^{ETRF'89}$ – elipsoidna visina iznad rotacijskog elipsoida koordinatnog sustava WGS'84, tj. datuma ETRF'89 i h_{209Z} – ortometrijska (nadmorska) visina mjedene oznake trigonometra 209_Z, tj. oduzimanjem vrijednosti iz (19) minus vrijednost iz (3).

Ovdje se treba naglasiti da je ortometrijska visina Opservatorija Hvar (trigonometra 209_Z) određena trigonometrijskim nivelmanom od susjednih trigonometara (Solarić M. i N. 2000).

Sigurno je da bi nadmorsku visinu Opservatorija Hvar trebalo odrediti preciznim nivelmanom. To bi se moglo učiniti preciznim nivelmanom na udaljenost od oko 20 do 25 km. Naime, visine su prenesene s kopna na otok Hvar od Drvenika do Sućurja, a vlak preciznog nivelmana je realiziran po otoku Hvaru od Sućurja do Vrbnja, tj. oko 45 km.

Da bi se dobila željena točnost geoidne visine Opservatorija Hvar bilo bi potrebno kontrolirati i prenošenje visine na otok Hvar pomoću suvremenih GPS-mjerenja. To je već i djelomično učinjeno u radu (Solarić et al. 1994). Međutim, tu bi trebalo imati i odgovarajuće gravimetrijske i astronomske podatke pomoću kojih bi se mogla odrediti razlika geoidnih visina između točaka preko kojih se prenosi visina na otok.

11. Zaključak

Koordinate položaja Opservatorija Hvar već su gotovo prije 20 godina određene pomoću doplerovskih mjerenja na satelite TRANSIT i NOVA u koordinatnom sustavu WGS'72 preciznih efemerida i sustavu odaslanih efemerida sa satelita. Sada su

GPS-mjerenjima određene koordinate položaja Opservatorija Hvar više desetaka, a možda i sto puta točnije od rezultata doplerovskih mjerenja. Zato se GPS-mjerenja mogu smatrati apsolutno točnima prema rezultatima doplerovskih mjerenja.

Iz razlika između položajnih određivanja Opservatorija Hvar (trigonometra 209_z) doplerovskim mjerenjima i GPS-mjerenjima vidi se da su, već prije gotovo 20 godina, određene geocentrične koordinate Opservatorija:

- u sustavu *preciznih efemerida* s točnošću boljom od 1 m, a po elipsoidnoj visini oko 0,75 m i
- u sustavu *odaslanih efemerida sa satelita* s točnošću:
 - po koordinatama *X* i *Y* boljom od 1 m, a po koordinati *Z* čak 4,9 m, odnosno 9,1 m, dok su
 - elipsoidne visine određene s točnošću između 2,5 do 2,9 m, odnosno 4,8 m.

GPS-mjerenjima, kao što se vidi iz izloženoga, *vrlo dobro su određene koordinate položaja* Opservatorija Hvar (trigonometra 209_z) u datumu ETRF'89, i to sa standardnim odstupanjem:

od 0,004 m do 0,016 m.

Međutim, za praćenje recentnih gibanja Zemljinih ploča potrebno je da se i dalje Opservatorij Hvar uključuje u međunarodne geodinamičke projekte CERGOP-2 i TYRGEONET, kao i u neke nove međunarodne geodinamičke projekte.

Na osnovi izloženoga može se reći da je Opservatorij Hvar (trigonometar 209_z) već prije gotovo 20 godina bio položajno najtočnije određena točka u Hrvatskoj i da se pritom išlo na njezino sve točnije i točnije određivanje, tj. ukorak s razvojem suvremene tehnologije mjerenja.

Međutim, za točnije određivanje geoidne visine Opservatorija Hvar potrebno je preciznim nivelmanom odrediti visinu, kao i kontrolirati prijenos visine s kopna na otok Hvar uz korištenje GPS-tehnologije mjerenja, dodatnih gravimetrijskih i astronomskih mjerenja.

ZAHVALA. Zahvaljujemo savjetniku u Državnoj geodetskoj upravi Marijanu Marjanoviću, dipl. ing. geod. za transformaciju koordinata Opservatorija Hvar iz raznih realizacija ITRF koordinatnog sustava ITRS u ETRF'89 datum.

Literatura:

- Altamini, Z., Boucher, C. (2000): *Relationship between ITRS, ETRS89 and WGS84*. Seminar Malta, 1-5.
- Ashkenazi, V., Sykes, R.M. (1979): *Precise and Broadcast Ephemerides Position Determination over the U.K. and Europe*. The Use of Artificial Satellites for Geodesy and Geodynamics, Volume II., 23-41. Symposium in Athens 1978.
- Baldi, P., Lohmar, F.J., Marchesini, C., Zerbini, S. (1984): *Doppler Measurements for the Strengthening of Italian Geodetic Network*. Bullettino di Geodesia e Scienze Affini XLIII, n.1.

- Bauer, M. (1997): *Vermessung und Ortung mit Satelliten*. Wichmann (4. izdanje).
- Bilajbegović, A., Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. (1991): *Osnovni geodetski radovi – suvremene metode GPS*. Tehnička knjiga, Zagreb.
- Boucher, C., Paquet, P., Wilson, P. (1981): *Final Report on the Observations and Computations Carried Out in the Second European Doppler Observation Campaign (EDOC-2)*. DGK bei der Bay.Akad. der Wissen. Reihe B: Angew. Geod.-Heft Nr.255, 1-75.
- Čalić, B., Birin, I. (1979): *Adjustment and Analysis of Results of Measuring the Hvar Observatory Geodetic Test Net*. Hvar Observatory Bulletin, Vol.3, No.1, 55-72.
- Čolić, K., Lohmar, F.J., Solarić, M. (1984): *An indirect Way to Determine the Geodetic Coordinates of the Hvar Doppler Station in PE-system Starting from Two MPBE – Solutions for the Project IGDOC – 82*. Observations of Artificial Satellites of the Earth, Vol.23, 477-486 (Proceedings of the INTERCOSMOS/COSPAR Symposium, Karlovy Vary).
- Decca Survey (1978): *Decca Survey Sat-Fix, Surveying by Satellite* (Issue1) (Issue 2, 1978). Decca Survey Group Technical Publication.
- Ehrenspreger, W. (1974): *Numerical Investigations on the Strangeness of Figure in the Western European Satellite Triangulation*. Proceedings of the International Symposium on the Use of Artificial Satellites for Geodesy and Geodynamics – in Athens, 1973., 669-682.
- 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.
- Hoar, G. (1982): *Satellite Surveying – Applications Equipment Operations*. Magnavox
- Magnavox (1972): *Geodesy a Discussion of Worldwide Datums, Geoids and Spheroids*. Magnavox MRL Report No. MX-TR-2027-72.
- Marjanović, M., Rašić, Lj., Solarić, M. (1997): *Results of the CEGRN'97 GPS Campaign*. Državna geodetska uprava, 1-9.
- Maseroli, R. (1995): *Il sistema di riferimento WGS'84*. Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, No 2, 211-218.
- Muminagić, A. (1971): *Ispitivanje realnog geoida u Jugoslaviji*. Disertacija obranjena na Geodetskom fakultetu u Zagrebu 6.5.1971. godine.
- NINA (1997): Department of Defense World Geodetic System 1984: Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems. NINA TR83502 Third Edition (NINA skraćena od the U.S. National Imagery and Mapping Agency).
- Pesec, P., Rinner, K., Mihaly, Sz., Alpar, Gy. (1985): *West-East European Doppler Observation Campaign WEDOC-2 – Final Results*. Tudományos Közlemények, FOEMI, Budapest, 1-111.
- Pesec, P., Windholz, N. (1995): *Dynamics of the Adriatic Microplate and East Alps*. In: IAG Symposia No.113 (Gravity and Geoid), Springer Verlag, 502-508.
- Petković, V. (1977): *Determination of Geodetic Coordinates of the Hvar Observatory*. Hvar Observatory Bulletin, Vol.1., No.1., 31.
- Petković, V. (1985): *Podaci primljeni od prof. V. Petkovića za trigonometrijsku točku br. 209z (mjedenu oznaku smještenu u dnu šupljeg stupa) na kojem je opažano u okviru doplerovskih kampanja, ali isto i GPS uređajima*.

- Rutscheidt, E.H. (1982): *A Review of Some Aspects of Doppler Satellite Geodesy*. CSTG Bulletin No. 4, 167–185.
- Solarić, M., Čolić, K. (1983): *Prvotni rezultati određivanja geocentričkih koordinata Dopplerovske stanice Hvar primjenom jednostaničnog rješenja*. Zbornik radova Savjetovanja o automatizaciji u geodeziji, Bled, 245–259.
- Solarić, M., Bilajbegović, A., Capek, B., Podunavac, B. (1994): *Previous Results of Controlling the Heights onto Islands by GPS Measurements*. Reports on Geodesy WUT, Warsaw, 1994, No 5(13), 219–221.
- Solarić, M., Solarić, N. (2000): *Pregled geodetskih određivanja položaja i ostvarenih rezultata na Opservatoriju Hvar*. Geodetski list, br.3, 167–188.
- Stansell, T.A. (1978): *The TRANSIT – Navigation Satellite System*. Magnavox.
- Terzić, P. (1980): *Određivanje razlike geografske duljine Opservatorija Maksimir i Hvar*. Zbornik radova Geodetskog fakulteta u Zagrebu, niz A, svezak 25.
- Terzić, P. (1985): *Određivanje geografske širine astronomske točke Opservatorija Hvar*. Zbornik radova Geodetskog fakulteta u Zagrebu, niz A, svezak 37.
- Torge, W. (1980): *Geodesy*. Walter Gruyter, Berlin.

Analysis of Scientific Results Obtained in Geodetic Positioning of the Hvar Observatory

ABSTRACT. *The paper presents the analysis of the scientific results obtained in geodetic positioning of the Hvar Observatory, Faculty of Geodesy at the University of Zagreb. The first, there were the results of Doppler measurements at the Hvar Observatory analysed in the campaigns IDOC'82 (1982) and WEDOC-2 (1983) and mutually compared. Then, the results obtained in GPS measurements with the instruments having Pi code and two frequencies (by means of phase measurements) were analysed.*

In order to compare the results of Doppler positioning of the Hvar Observatory with the results of GPS measurements, Doppler determinations had to be transformed from the WGS'72 co-ordinate system in WGS'84 (the old) system and after that to the ITRF'90 datum. The analysis thus carried out indicates that the position co-ordinates of the Hvar Observatory determined almost 20 years ago by means of Doppler measurements:

– with precise ephemerides by co-ordinates with the accuracy better than 1m, and by ellipsoid height about 0,75 m and

– with broadcast ephemerides from the satellites by the co-ordinates X and Y better than 1m, and by the co-ordinate Z the accuracy runs up to 2,5 m to 2,9 m, i.e. 4,8 m. Hence, it can be stated that the Hvar Observatory (trigonomet 209_Z) was the most accurately determined point in Croatia almost 20 years ago, and in the former state as well, with great efforts invested for its more and more accurate determination doing with the development of modern measuring technology.

At the end, there were vertical deflections determined at the Hvar Observatory, as well as the geoid height.

Key words: *Doppler measurements, ellipsoidal heights, geoidal heights, co-ordinates, co-ordinate systems, deflections of vertical*