

# ISPITIVANJE SITUIRANOSTI ASTROGEODETSKOG GEOIDA SFR JUGOSLAVIJE\*

Krešimir ČOLIĆ\*\*

## 1. UVODNE NAPOMENE

Prije intenziviranja većine radova na regionalnom istraživanju oblika Zemlje za cijelo jugoslavensko područje, bilo je sasvim opravdano pristupiti ispitivanju postojećeg stanja u određivanju geoida u nas. Očito, ta se ispitivanja ne bi mogla u potpunosti izvesti, a niti bismo dobili zaključke bitne za dalja istraživanja, bez korištenja i drugih modela za plohu geoida, s protezanjem preko teritorija SFRJ, uključujući i dugovalne geoidne na temelju satelitsko-terestričkih modela za Zemlju. Takve su geoidne plohe najnovijeg datuma ugrađene u ovo ispitivanje polovinom 1978. god. (za vrijeme 3-mjesečnog studijskog boravka autora u SR Njemačkoj uz DAAD-stipendiju), kada se uspjelo doći i u posjed tada još neobjavljene nove verzije astrogeodetskog geoida za Evropu.

Ovako na najaktualniji nivo postavljena ispitivanja mogla su se ubrzano nastaviti, a dala su vrijedne rezultate i u smislu internacionalnih zahvata u rješavanju važnog problema točnijeg definiranja položaja geoida u regionu Sredozemlja.

U saopćenju [3] (Čolić 1978) sažeto su u tom cilju prezentirani osnovni rezultati ovih ispitivanja. Kasnije je publiciran rad [4] (Čolić 1979) i njegova je svrha bila da pruži informaciju — prije svega našoj geodetskoj javnosti — o jednom dijelu poduzetih istraživanja u našoj znanstvenoj temi, s posebnim osvrtom na ulogu ploha dugovalnog geoida iz satelitsko — terestričkih rješenja za Zemljino gravitaciono polje, te prvim prikazom koncepcije u već započetom gravimetrijskom određivanju geoida za cijeli teritorij SFRJ.

Naslanjajući sada na te objavljene materijale može se, smanjivši opterećenje uslijed raznih detalja i brojnih formula, cjelovitije izložiti rezultate ispitivanja situiranosti odnosno orijentacije modela astro-geodetskog geoida za područje SFRJ, te ih po mogućnosti usporediti s najsvježijim izvorima literature.

---

\* Ovaj rad je nastao u okviru znanstveno-istraživačke teme »Regionalno istraživanje oblika i disanja Zemlje«. Ona se od 1976. god. odvija na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, a financira je Samoupravna interesna zajednica III za znanstveni rad SR Hrvatske.

\*\* Adresa autora: Doc. dr ing. Krešimir Čolić, Geodetski fakultet, Zagreb, Kačićeva 26.

O nekim pripremnim radovima, čiji su rezultati objavljeni još prije konca 1975. god., ovdje neće biti riječi. Iz razumljivih razloga tek kasnije će se moći posebno izvjestiti o nekim drugim istraživanjima te u međuvremenu izvršenim zahvatima u okvirima ove znanstveno-istraživačke teme.

## 2. POSTOJEĆE STANJE

Do sada nije još sprovedeno detaljno gravimetrijsko određivanje plohe geoida na području SFR Jugoslavije, već postoji samo jedno astrogeodetsko određivanje t.zv. realnog geoida za cijeli naš teritorij [16], [17] i [18] (Muminagić 1971 a, b i 1974). Ploha tog geoida određena je u odnosu na Bessel-ov elipsoid u posebno popravljenoj orijentaciji, [19] (Muminagić 1967.). Ovu plohu Bomford (1971, [2]) nije mogao uključiti u iznalaženju njegova zajedničkog astrogeodetskog geoida za Evropu, koji se, kao što je poznato, oslanja na t.zv. evropski astrogeodetski datum 1950 (ED 50), uspostavljenom na internacionalnom elipsoidu Hayford-ovih dimenzija.

Bomford-ov geoid proširuju zatim Levallois i Monge (1975, [11]), prije svega u području Sredozemlja. Pri tome je došlo do upotpunjavanja astrogeodetskog geoida u jugoistočnoj Evropi kao i na Balkanskom poluotoku. Pored ostalog ovo je ostvareno tako da je na ostale dijelove evropske plohe geoida, definirane obzirom na sustav ED 50, jednostavno pridodan i po Muminagiću (1971 b, [17]) objavljeni realni geoid za Jugoslaviju, koji izvorno bazira, međutim, na Bessel-ovom referenc-elipsoidu. Način na koji je izvršeno ovo »priključivanje« autori nisu, izgleda, nikada potpuno publicirali.

Kasnije su Levallois i Monge (1978), [12] objavili — uvodno spomenutu — novu verziju 1978. evropskog astrogeodetskog geoida. U odnosu na verziju iz 1975. dolazi u pojedinim regijama Evrope do značajnih poboljšanja, ali su se u jugoslavenskom području morale jednako uvesti iste geoidne visine kao i ranije, t.j. na tom dijelu je njihov model geoida za Evropu ostalo u osnovi neizmjenjen.

Radi potpunosti potrebno je spomenuti i ranija određivanja geoida na našim meridijanima, ali su ona pokrivala samo manji dio našeg teritorija: to su - uz S. Boškovića (1952) - još na pr. [14] (Marussi 1947), [13] (Litschauer 1953) i nadasve [25] (Wolf 1956). Tek sasvim malo ili djelomično pokrivanje jugoslavenskog područja susreće se i u nekim novijim istraživanjima plohe astrogeodetskog geoida: [1] (Balodimos 1972), [20] (Schaab 1978), odnosno detaljnog gravimetrijskog geoida [6] (Desvignes 1978) i dr.

O dugovalnim gravimetrijskim modelima geoida te o tzv. globalnom detaljnom geoidu po [22] (Vincent i Marsh 1974) već je bilo dosta riječi u [4] (Čolić 1979). Također se u vezi metodologije određivanja postojećeg realnog astrogeodetskog geoida SFR Jugoslavije te pri tome upotrebljenih podataka i ocjene postignute točnosti, upućuje na naprijed citirane originalne radove.

## 3. UPOTREBLJENI GEOIDNI PODACI I NJIHOVO DIGITALIZIRANJE

Radi jednostavnosti u daljem tekstu će se označiti po Muminagiću izračunati geoid kao »geoidna ploha A«, a novi Géoides Européen, version 1978 od



Levallois-a i Monge-a kao »geoidna ploha B«; [3] (Čolić 1978). Kartografski prikazi izolija ovih dviju ploha su jedini izvori polaznih podataka, koji su neophodni za predviđena izračunavanja u cilju ispitivanja njihove međusobne situiranosti, odnosno njihova položaja i orijentacije.

Budući da su ova ispitivanja u suštini izvedena uz pomoć gravimetrijskih podataka, još su upotrebljeni u tom trenutku najnoviji harmonički koeficijenti od satelitsko — terestričke solucije GEM 10 [10] (Lerch i dr. 1977). Znači, kao »geoidna ploha C« onaj za Jugoslaviju — posebno izračunati — pripadajući dio dugovalnog geoida, definiranog upravo s tim koeficijentima. Ta »uglašana« ploha se odnosi, međutim, na srednji Zemljin elipsoid ( $a = 6\,378\,140\text{ m}$ ,  $f^{-1} = 298,275$ ), čije se središte uzima u težištu Zemljinih masa — geocentru (zato naziv: geocentrični sustav).

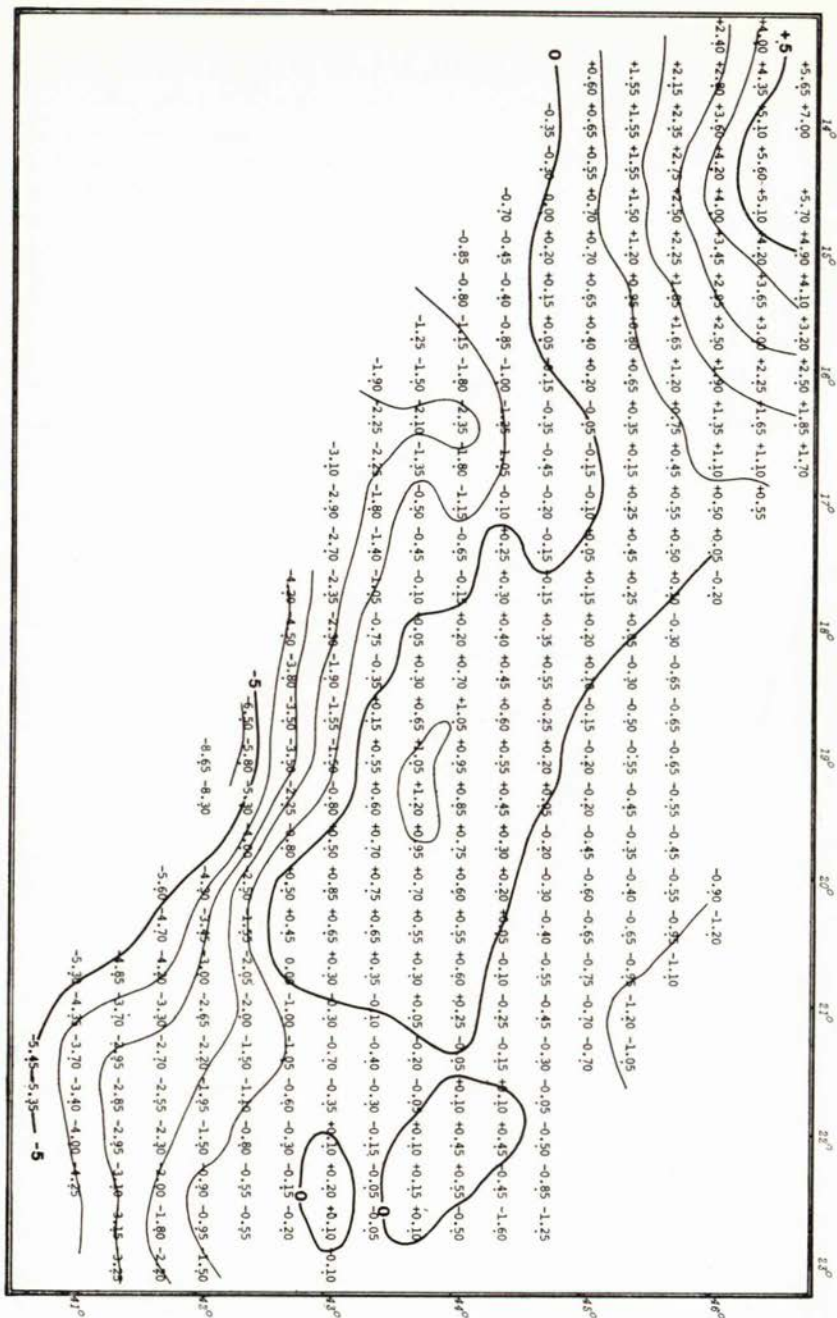
Poznata je činjenica da točke s »izmjenjenim« astrogeodetskim oklonima vertikale i iz njih izračunatim visinama (undulacijama) geoida nisu na teritoriju Jugoslavije osobito guste; prosječno im je udaljenost, već prema gustoći u pojedinim parcijalnim područjima, od oko 30 km do preko 50 km. Shodno tome izvršena je digitalizacija — u [17] (Muminagić 1971 b) — objavljene karte realnog geoida za teritorij Jugoslavije u blokove od  $20' \times 20'$ , t.j. u površinske elemente sa stranicama  $\Delta B = \Delta L = 20'$ . U njihovim su ugaonim točkama onda grafički očitane (»skinute«) geoidne undulacije, koje se, kako je već spomenuto, odnose na novo-orijentirani Bessel-ov elipsoid. Na sl. 1, pored digitaliziranih visina ove geoidne plohe A iscrtane su i pripadne izolije. Usporedba s originalnom kartom uglavnom pokazuje da je izvršenim procesom digitalizacije s rasterskom mrežom od  $20' \times 20'$  prouzrokovan relativno mali stupanj generalizacije, koji ne bi smio imati osjetnog utjecaja na rezultate ovdje poduzetih ispitivanja.

Isti postupak digitalizacije učinjen je i na odgovarajućem (»jugoslaven-skom«) dijelu kartografskog prikaza geoidne plohe B prema [12] (Levallois /Monge 1978). Na sl. 2 su reproducirane u rasterskoj mreži od  $20' \times 20'$  digitalizirane geoidne visine te rezultirajuće izolije. Još su pri lijevom donjem uglu radi usporedbe dati podaci za uokvireni dio područja prema astro-geodetskom određivanju geoida u [1] (Balodimos 1972), izvršenim također obzirom na sustav ED 50. Iz sl. 1 i 2 uočavaju se velike razlike u geoidnim undulacijama, koje najviše proizlaze zbog činjenice da se ta dva modela astrogeodetskog geoida odnose na dva različita reference-elipsoida, posebne situiranosti i parametara.

Za iste ugaone točke mrežne podjele od  $20' \times 20'$  određene su kompjutorskim računanjem prema postupku prikazanom u [4] (Čolić 1979) još i »apsolutne« (gravimetrijske) visine geoida na temelju satelitsko — terestričke solucije GEM 10 (vidi tamo sl. 2). S time su pripremljeni svi polazni geoidni podaci za najprije poduzeta ispitivanja, koja će kasnije biti još proširena (poglavlje 6.).

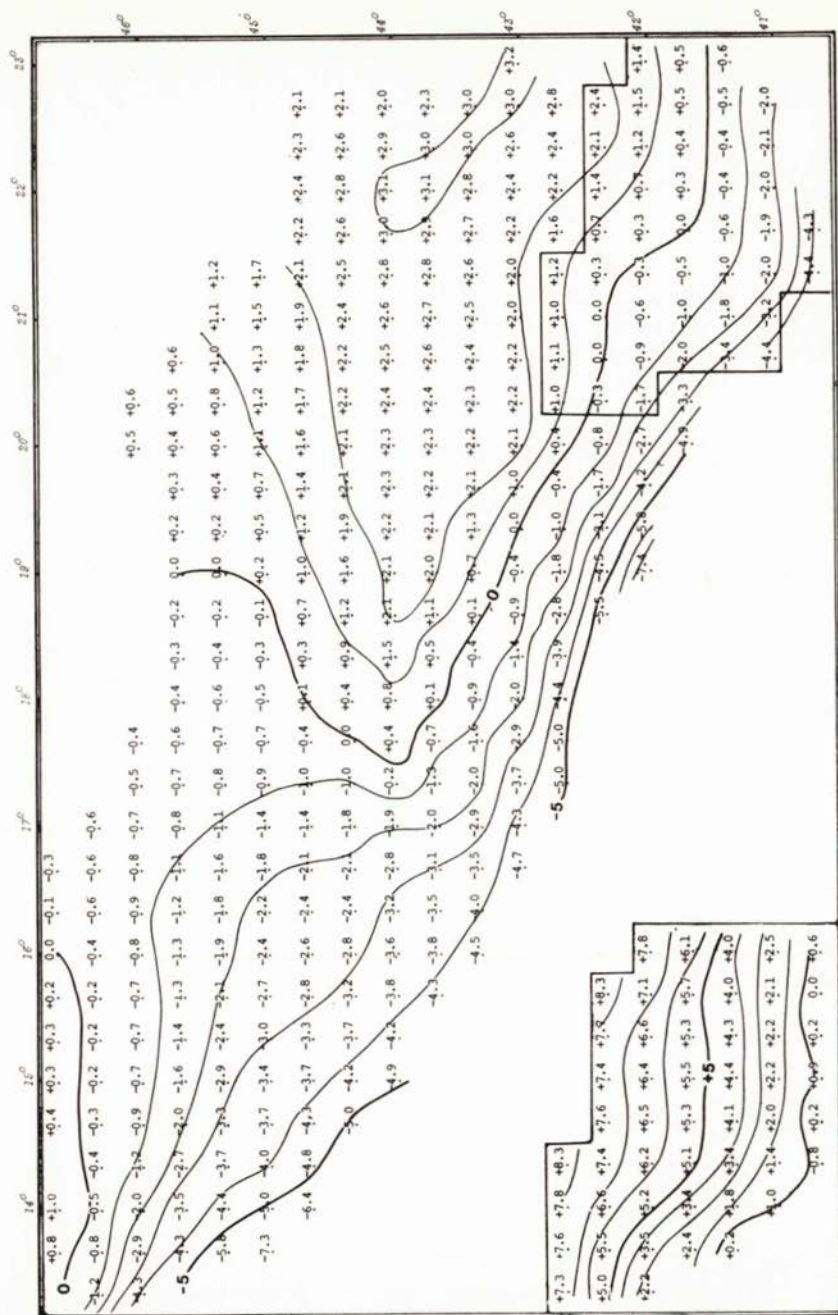
#### 4. PRVOTNO IZVRŠENA IZRAČUNAVANJA

Kao što se vidi ovdje se radi o tri (modela) plohe geoida, a kasnije će se uvesti i još neke nove plohe, za isti dio fizičke Zemljine površine unutar granica SFRJ, koje se međutim, odnose na 3 različita elipsoidna referentna sustava. Stoga se ove geoidne plohe moraju prije bilo kakve usporedbe međusobno



Sl. 1. Geoidna ploha A: (realni) astrogeodetski geoid za Jugoslaviju po [17] (Muminagić 1971 b) u odnosu na Bessel-ov elipsoid ( $a=6\ 377\ 397,155$  m,  $f=1/299,153$ , popravljene nove orijentacije)





Sl. 2. Geoidna ploha B: Evropski astrogeodetski geoid — verzija 1978. po [12] (Levallois i Monge 1978) u odnosu na sustav ED 50 (»internacionalni elipsoid«;  $a=6378388$ ,  $f=1/297$ )

»prilagoditi«, t.j. transformirati tako da se sve odnose na jedan elipsoid, ili kako se to kaže, na isti »datum«. U ovdje promatranom slučaju za taj temeljni datum može se odabrati jedan od ova tri elipsoida: a) Bassel-ov sustav (nove orijentacije), b) sustav ED 50 (s Hayford-ovim »internacionalnim« elipsoidom), c) geocentrički sustav (t.j. srednji Zemljin elipsoid usvojenih parametara s centrom u geocentru). Primjenom referenc-elipsoida a) i b) ostali bismo na relativnim geoidnim undulacijama, dok bi treća (c-) mogućnost bila da se geoidna ploha A i geoidna ploha B prevedu u sustav apsolutnih geoidnih undulacija u kojem je definirana geoidna ploha C. Ovakav prijelaz učinjen je na pr. u [20] (Schaab 1978), [6] (Desvignes 1978) za stariju verziju 1975. evropskog astrogeodetskog geoida, dok je za naša istraživanja [5] (Čolić i Konsuo 1979) bio potreban prijelaz izvornog astrogeodetskog geoida za teritorij SFRJ u geocentrički sustav. Ovdje je ipak upotrebljen kombinirani put pogodan za planirana ispitivanja, tako da su najprije izvršena dva prilagođavanja (transformacije):

1. geoidne plohe A na geoidnu plohu B — dobijena ploha A'
2. geoidne plohe A na geoidnu plohu C — dobijena ploha A''.

Takav postupak je u skladu s postavkom da se usporedbe modelâ geoida na našem teritoriju poduzimaju na dva usvojena datuma [4] (Čolić 1979), t.j. poduzimaju prijelazi na:

- geocentrički sustav (srednji Zemljin elipsoid prema IAG 75)
- evropski (astrogeodetski) sustav 1950 — ED 50.

Nakon toga uslijedila je iduća transformacija (prilagođenje):

3. geoidne plohe A'' na geoidnu plohu B — dobijena ploha A\*, čime je zapravo na indirektan način preko plohe C izvršeno prilagođenje izvorne plohe A na plohu B evropskog astrogeodetskog geoida u novoj verziji 1978.

Navedena 3 izračunavanja provedena su prema metodi najmanjih kvadrata, t.j. svaki put uz uvjet da suma kvadrata razlika korespondirajućih geoidnih undulacija bude minimum. (Pri tome se pretpostavlja da je u orijentaciji astrogeodetskog geoida sasvim ispunjen nužni Laplace-ov uvjet.)

Tako na pr. vrijedi za prvo prilagođenje modelnih ploha geoida, u notaciji upotrebljenoj u [3] (Čolić 1978), slijedeća relacija:

$$\sum_i \delta N_i = \sum_i (N_i^{(A')} - N_i^{(B)})^2 = \min. \quad (1)$$

Ovdje  $N_i^{(A')}$  označuju geoidne visine za plohu A', i to u ugaonim točkama  $P_i$  blokova veličine  $20' \times 20'$  preko jugoslavenskog teritorija, dok oznaka  $N_i^{(B)}$  stoji za korespondentne undulacije geoidne plohe B; obje plohe se odnose na sustav ED 50.

Daljni postupak je bio uglavnom isti kao što je prikazan u [4] (Čolić 1979) za transformaciju dugovalnih gravimetrijskih geoida u sustav ED 50. Razlika je u tome što su sada u svaku od tri naprijed navedene transformacije modelnih ploha geoida, kao nepoznanice u izjednačenje, ušli pored  $N_i^{(A')}$  još i transformacijski parametri  $\delta x$ ,  $\delta y$ ,  $\delta z$ . Pri tome su u poznatoj formuli u sfernoj



aproksimaciji [8] (Heiskanen i Moritz 1967, str. 207), koja na pr. za naprijed navedeni prvi slučaj glasi:

$$\delta N_1 = N^{(A)} - N^{(A')} = -\cos B \cos L \delta x_1 - \cos B \sin L \delta y_1 - \sin B \delta z_1 - \delta a + a \sin^2 B \delta f \quad (2)$$

zamijenjena posljednja dva člana s njihovom elipsoidnom formom, prema [15] (Molodenski i dr. 1962, str. 15), [7] (Groten i Schab 1975), tj. sa

$$-\frac{a}{N} \delta a + \frac{b}{a} \overline{N} \sin^2 B \delta f \quad (3)$$

Ovdje su:

$\delta a$ ,  $\delta f$  unaprijed poznata razlika (promjena) velike poluosi  $a$  odnosno spoljoštenosti  $f$  između referenc-elipsoida,  $N = a^2 (a^2 \cos^2 B + b^2 \sin^2 B)^{-1/2}$  = radius zakrivljenosti prvog vertikalna,  $b$  — mala poluos elipsoida. Simbol  $N^{(A)}$  u formuli (2) označuje vrijednosti geoidnih undulacija (donji indeks »i« ispušten radi jednostavnosti); skinute s karte su u [17] (Muminagić 1971 b) za izvornu geoidnu plohu  $A$ , (t.j. za realni (astrogeodetski) geoid na teritoriju SFRJ), i to u ugaonim točkama  $P_i$  mrežne podjele od  $20' \times 20'$  (s geodetskim koordinatama  $B$  (širina),  $L$  (dužina). Uz to donji indeks »1« pokazuje da se radi o traženim promjenama  $\delta N$  geoidnih undulacija odnosno o translacijskim parametrima  $\delta x$ ,  $\delta y$ ,  $\delta z$  proizašlim nakon 1. izračunavanja (prilagođenje), t.j. između Bessel-ovog sustava i sustava ED 50.

Za 2. i 3. transformaciju korišteni su izrazi analogni formulama (1) i (2) s izmjenom (3), u kojima simboli  $N^{(A')}$  i  $N^{(C)}$  označuju geoidne visine — opet u istim ugaonim točkama blokova  $20' \times 20'$  — za geoidnu plohu  $A$  i geoidnu dugovalnu plohu  $C$ , s time da se obje te plohe odnose na geocentar, dok  $N^{(A')}$  označava odgovarajuće vrijednosti undulacija geoidne plohe  $A'$  u odnosu na ED 50, postignute prema (nakon 2. izvedenom) 3. izračunavanju. Nakon tih procesa izjednačenja dobijena su nova dva seta transformacijskih (translacijskih) parametara:  $\delta x_2$ ,  $\delta y_2$ ,  $\delta z_2$  (za  $A$  i  $C$ ) između Bessel-ovog i geocentričkog sustava, te  $\delta x_3$ ,  $\delta y_3$ ,  $\delta z_3$  (za  $A'$  i  $B$ ) između geocentričkog sustava i sustava ED 50; geocentrički sustav s parametrima srednjeg Zemljinog elipsoida prema GEM 10. Za [3] (Čolić 1978) učinjena je još jedna dodatna i za kontrolu veoma korisna transformacija. Ona je bila moguća primjenom geocentričkog vektora  $\delta \vec{r}$  odnosno njegovih komponenti, u svojstvu geocentričkih koordinata za centar sustava ED 50, dobijenih iz doplerovskih mjerenja [21] (Schlüter i dr. 1978):

$$\delta \vec{r}_d = [\delta x_d; \delta y_d; \delta z_d] = [-81,2 \text{ m}; -111,3 \text{ m}; -113,8 \text{ m}] \quad (4)$$

S ovim sada zadanim (!) transformacijskim parametrima nastaje, dakle:

4. prevođenje geoidne plohe  $A''$  (od geocentričkog sustava) u sustav ED 50. Na taj način su predmetna ispitivanja posebno obogaćena, a dobila su tako i neophodnu kontrolu i zaokružen oblik.

## 5. POSTIGNUTI REZULTATI

Prvotno poduzeta ispitivanja dala su osnovnom slijedeće rezultate [3] (Čolić 1978): Dobijena ploha  $A'$ , t.j. originalni astrogeodetski geoid Jugoslavije sada sveden na ED 50, prikazuje se indirektno na sl. 3 preko preostalih (pre-





ma B!) nepoklapanja (rezidualnih odstupanja). Kako je, zbog veće uglačanosti plohe B nego li u polazne plohe A, bilo i za očekivati, ona nisu uvijek mala te ponegdje dosežu čak oko 2 m; maksimalna negativna nesuglasica je  $-2,3$  m, a najeveća pozitivna  $+1,7$  m.

Međutim, naročito se uočava da ova odstupanja, izuzevši vrijednosti od  $0,0$  m do  $\pm 0,2$  m, koje sigurno leže unutar granica stvarno postignute točnosti, u prilagođavanju, odnosno neminovnih pogrešaka prethodnog procesa digitaliziranja. U istočnom dijelu države one imaju isključivo pozitivan karakter (pune međne linije), dok u zapadnom dijelu poprimaju stalno negativan predznak (crtkane međne linije). Može se uzeti da »barijerna linija predznaka« zadržava sa smjerom osi sjever-jug kut od otprilike  $-30^\circ$ , što bi mogla biti posljedica izvjesnog (međusobnog) nagiba geoida (vidi poglavlje 6).

Jedini izuzetak predstavljaju samo dvije (pozitivne) vrijednosti prema granici s Italijom, proizašle vjerojatno, iz procesa prisilnog uklapanja, koje su izveli Levallois i Monge. Isti uzrok, uz razumljivu izvjesnu nesigurnost i same plohe A, naročito uz rubove jugoslavenskog teritorija, trebao bi biti i za povećana odstupanja uz granice sa susjednim državama, jer one samo prema međi s Grčkom ostaju gotovo u prihvatljivim iznosima.

Na temelju druge izvedene transformacije je originalni astrogeodetski geoid Jugoslavije sveden i na geocentar, t.j. proizašle su apsolutne geoidne undulacije. Pojavila su se djelomično još veća rezidualna nepoklapanja, pogotovo jer ona često mijenjaju predznak. Ta pojava izgleda sasvim normalna zbog velike uglačanosti dugovalne geoidne plohe C, na koju je prilagođenja puno nemirnija ploha A.

Pored translacijskih vektora odnosno parametara iz 1. i 2. izračunavanja

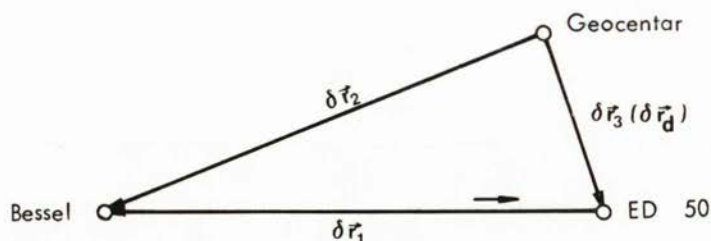
$$\delta \vec{r}_1 = [\delta x_1; \delta y_1; \delta z_1] \quad (5)$$

$$\delta \vec{r}_2 = [\delta x_2; \delta y_2; \delta z_2] \quad (6)$$

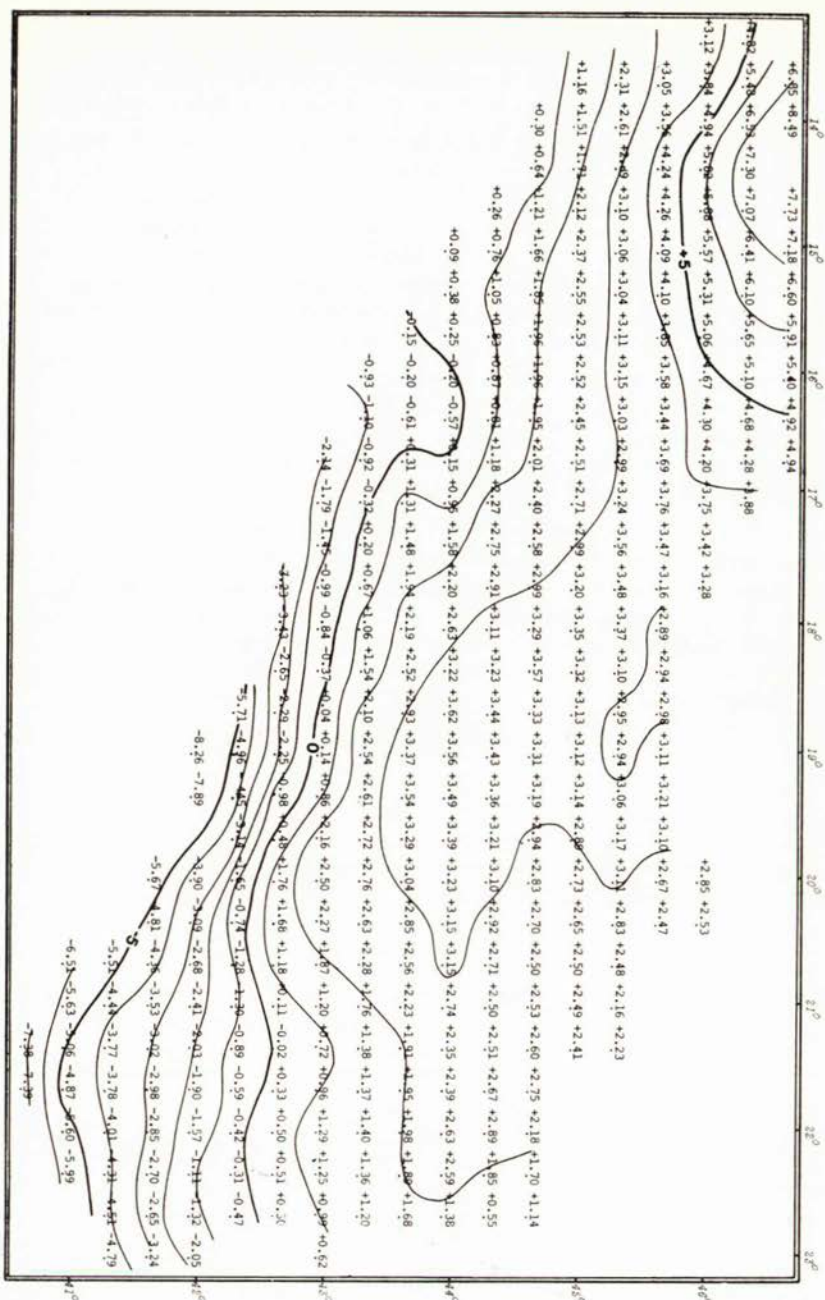
sljedeća treća translacija producirala je novi set vrijednosti:

$$\delta \vec{r}_3 = [\delta x_3; \delta y_3; \delta z_3] \quad (7)$$

Na taj način ovdje se radi o trokutnom vektorskom poligonu (liku) proizašlo iz tri prilagođavanja geoidnih ploha, koji mora biti zatvoren (sl. 4), t.j. teoretski mora dati vektorsku sumu jednaku nula (odnosno takve tri skalarne sume).



Sl. 4 Poligon translacijskih vektora



Sl. 5. Geoidne undulacije na teritoriju Jugoslavije iz prilagođenja na geoidnu plohu GEM 10 te nastavnom transformacijom u sustav ED 50



Dakako, izvjesna mala neslaganja su bez daljnjeg opravdana, jer se radi o prilagođavanju relativno malih (površinskih) dijelova geoidnih modelnih ploha. U tabeli 1 prikazane su sve izračunate vrijednosti translacijskih parametara za tvorbu navedene vektorske sume, a uz njih i doplerovske vrijednosti tih parametara odnosno geocentričkih koordinata centra sustava ED 50, prema [21] (Schlüter i dr. 1977).

Tabela 1. Translacijski parametri i njihove sume

	- {1}	{2}	{3}	$\Sigma$	{d}
1	2	3	4	5	6
$\delta x$	700,8 ± 13,9	-612,6 ± 12,8	-81,0 ± 1,9	+ 7,1 m	- 81,2 m
$\delta y$	322,0 ± 10,2	-135,9 ± 9,4	-178,6 ± 2,3	+ 7,5 m	-111,3 m
$\delta z$	523,8 ± 11,8	-444,8 ± 10,9	-87,2 ± 2,0	- 8,2 m	-113,8 m
$\delta r$	932,3 ± 9,2	769,1 ± 8,8	214,7 ± 1,9	$\Delta = 13,3$ m	—
$m_0$	± 5,7 m	± 5,2 m	± 2,0 m	—	—

Prije nego što se pokuša protumačiti proizašlu situaciju prema tabeli 1, — čime bi se trebao dobiti prvi odgovor na pitanje o orijentaciji odnosno postojećoj situiranosti modelâ astrogeodetskog geoida za područje SFR Jugoslavije — prethodno će se kratko izložiti još rezultati iz drugih naprijed navedenih računanja.

Pomoću sl. 5 prenosi se vizuelna informacija nakon provedbe drugog i četvrtog preračunavanja, t.j. geoidna ploha dobivena prethodnim prilagođenjem plohe A na plohu C (geocentar) te nastavnom transformacijom pomoću doplerovskih translacijskih parametara na plohu B u sustavu ED 50. Vidi se da ova modelna ploha po mogućnosti bolje reprezentira strukture geoida na jugoslavenskom teritoriju, te da se dosta razlikuje od geoidne plohe B (sl. 2) prema [12] (Levallois i Monge 1978), što se već uočava prema položaju i protezanju nulte izolinijske. Nasuprot tome, nulta linija modela geoida dobivenog poslije 4. transformacije sa svim se dobro podudara s odgovarajućom izolinijskom proizašlom iz GEM 10 — plohe, nakon transformacije pomoću doplerovskih parametara u sustav ED 50. Razumljivo da je ova posljednja ploha više uglačana, vidi sl. 7 u [4] (Čolić 1979).

Vratimo se sada tabeli 1 uz jednu prethodnu konstataciju. Kako se ovdje ne može smatrati da je cjelokupni jugoslavenski teritorij velikog protezanja, to bi možda već izvjesni mali (prostorni) pomaci njegovog dijela geoida mogli izazvati i značajnije promjene radius vektora. Zato bi se morala prihvatiti i nešto veća odstupanja  $\Sigma$ -vrijednosti od nule. Iz predzadnje kolone u tabeli 1. vidi se da su ta odstupanja ipak doista mala, što je sigurno dokaz kvalitete ovdje izvršenih računanja. Upravo zato jedan drugi postignuti rezultat izaziva opravdani interes. Naime, usporede li se translacijski parametri iz {3} s doplerovskim parametrima {d}, uočava se dobro poklapanje  $\delta x$ -iznosa, dok vrijednosti  $\delta y$  i  $\delta z$  pokazuju očite međusobne razlike. Prema prednjem one nisu izazvane numeričkom neoštrinom u prezentiranom prilagođenju, niti se

moгу pravdati nesigurnostima doplerovskih mjerenja, u najgorem slučaju od svega nekoliko metara. Stoga zasluđuju osobitu pažnju i moraju imati barem jedan drugi ozbiljan uzrok.

Jedan potencijalni izvor ustanovljenih sistematskih razlika od  $+67,3$  m u  $\delta y$ -komponenti, odnosno od  $-26,6$  m u  $\delta z$ -komponenti mogao bi biti u originalnom astrogeodetskom geoidu Jugoslavije, kako je određen u [16] (Muminagić 1971), u odnosu na Bessel-ov elipsoid; (drugačije orijentacije od one u našim osnovnim geodetskim radovima), ili je taj izvor u eventualnom utjecaju na numerička računanja relativno male veličine zahvaćene geoidne plohe. Ako bi se uz prvu navedenu mogućnost mogla navesti činjenica, da pri određivanju astrogeodetskih visina, za razliku od gravimetrijskog načina određivanja, dolazi s porastom udaljenosti od »centralne« točke, do svojstvenog gomilanja pogrešaka, štoviše drugi bi moment trebao djelovati suprotno, t.j. da se u slučaju zahvaćenih manjih površina postiže bolje priljubljanje dviju modelnih ploha zbog objektivno manjeg utjecaja njihovih netočnosti. U tom kontekstu poprimaju također jači značaj naprijed iznađene rezidualne nesuglasice nakon provedenog prvog prilagođenja ka sustavu ED 50. vidi sl. 3.

Mnogo vjerojatniji uzrok ovih nesuglasica, odnosno ustanovljenih razlika korespondentnih translacijskih parametara, bila bi okolnost da evropski astrogeodetski geoid ([12] Levallois i Monge 1978) — unatoč poboljšanju prema verziji istih autora od 1975., te nepoznatog načina provedbe prijelaza u sustav ED 50, nije baš u tom dijelu Evrope oslobođen pogrešaka. One bi bile dijelom posljedica činjenice da se ne raspolaže svim neophodnim podacima za jugoslavensko područje, a također da stvarno ne postoji jedinstvenost u evropskom astrogeodetskom datumu (sustavu) ED 50. To naročito dokazuju posljednjih godina rezultati tzv. doplerovskih mjernih kampanja, vidi [21] (Schlüter i dr. 1977).

Ako se prihvati postavka da evropski astrogeodetski geoid upravo preko jugoslavenskog teritorija pokazuje jaču nesigurnost, te stoga zahtjeva izvjesna poboljšanja, onda je potrebno složiti se s tvrdnjom, da se ovo može postići jedino preko još detaljnijeg određivanja »astrogeodetskog« geoida na području SFRJ, a eventualno i drugih država na Balkanskom poluotoku. Da bi se ova modelna geoidna ploha unutar granica naše zemlje mogla nezavisno kontrolirati i učvrstiti, neophodan je i drugi model, tj. nužno je sprovesti već započeto određivanje detaljnog »gravimetrijskog« geoida za Jugoslaviju, [4] (Čolić 1979). Sve dotle kao polazna baza za dalja istraživanja može poslužiti postojeći originalni model realnog geoida za naš teritorij.

## 6. DODATNA RAZMATRANJA I ISPITIVANJA

Zahvaljujući upravo primijenjenom postupku u prezentiranim ispitivanjima bilo je moguće:

- a) otkrivanje sistematskog karaktera u rezidualnim odstupanjima nakon prilagođenja plohe A na plohu B, u sustav ED 50;
- b) ustanovljenje simptomatičnih razlika između translacijskih parametara iz procesa numeričkog prijelaza na geocentar i onih na bazi doplerovskih mjerenja.



Činjenica je da se baš u tim otkrićima očituje neosporna vrijednost i doprinos ovih radova. Ne samo za predmetnu, znanstveno-istraživačku temu, već i za rješavanje apostrofiranog problema orijentacije (situiranosti) modela astrogeodetskog geoida na našem teritoriju, odnosno u internacionalnim naporima za točnije definiranje plohe geoida u području Sredozemlja [26] (SSG-5.50/IAG, 1978). Stoga je razumljivo da su poduzeta dodatna razmatranja i ispitivanja radi još jedne slobodne kontrole postignutih rezultata. Pri tome se s razlogom zadržan isti pristup i postupak istraživanja, uključujući kontrolu pomoću vektorske sume zatvorenog poligona od 3 translacije. Zato su morale opet izostati »rotacijske« transformacije geoidnih ploha iz jednog elipsoidnog sustava u drugi, tj. uz  $\delta x$ ,  $\delta y$ ,  $\delta z$  nije još ugrađena tzv. promjena mjerila  $\delta m$  te rotacijski parametri  $\delta_e$ ,  $\delta_{\psi}$ ,  $\delta_{\omega}$ . Sekundarnu ulogu imala je okolnost da su se tako mogli opet koristiti pripremljeni programi za kompjuterska izračunavanja.

Najprije je uzeta u pomoć proizašla ploha dugovalnog geoida iz satelitsko-terestičke solucije GEM 8 [23] (Wagner i dr. 1976); slično kao i uglačana ploha C iz GEM 10, samo nešto manje kvalitete reprezentiranja globalnog geoida. Na taj način podcrtana je neizbježna, značajna uloga gravimetrijskih podataka u ovim ispitivanjima. Ova modelna ploha geoida označena je kao »ploha D«. Njenom primjenom, zapravo za nju kompjuterski izračunatih vrijednosti geoidnih undulacija — prema metodi u [4] (Čolić 1979), i to opet u rasterskoj mreži točaka od 20' x 20' — bilo je moguće izvršiti novi »set« transformacija. One korespondiraju sa ranije provedenim drugim i trećim prilagođenjem (ploha A i B-odnosno A'' pomoću C- u geocentrički sustav).

Od postignutih rezultata na sl. 6 reproducira se (realni) astrogeodetski geoid za teritorij Jugoslavije u geocentričkom sustavu — određen pomoću prilagođenja originalne geoidne plohe A na dugovalnu plohu D (u usporedbi sa sl. 8 u [4] (Čolić 1979). Dobiveni translacijski parametri, udaljenost centara elipsoidnih sustava, te pripadni  $m_0$ -iznosi za petu odnosno šestu transformaciju jesu slijedeći (u jedinicama metara):

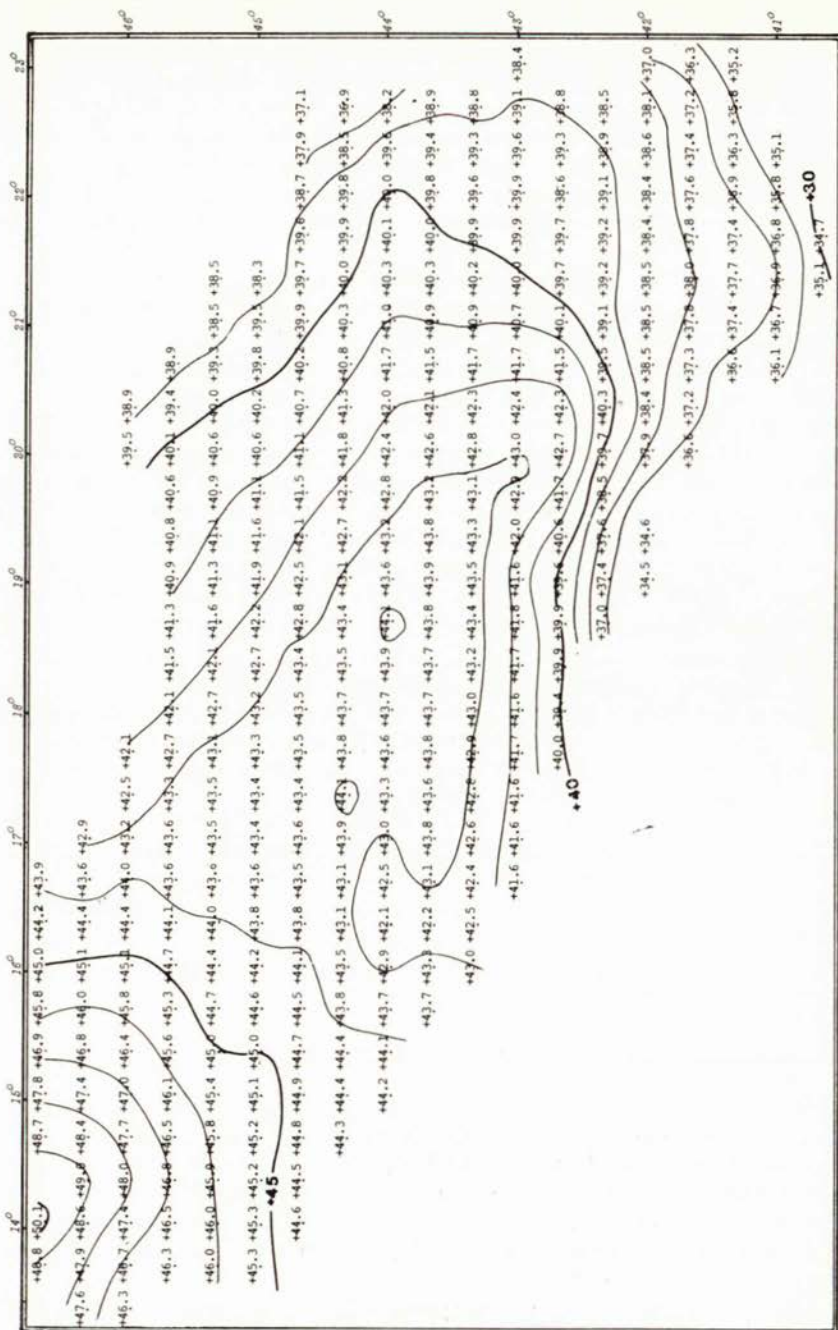
$$\{5\} : \quad \delta x_5 = 597,6 \pm 12,7; \quad \delta y_5 = -133,7 \pm 9,3; \quad \delta z_5 = -457,5 \pm 10,8 \\ \delta r_5 = 764,4 \pm 8,7; \quad m_{05} = \pm 5,2 \text{ m}$$

odnosno

$$\{6\} : \quad \delta x_6 = -73,9 \pm 2,1; \quad \delta y_6 = -196,0 \pm 2,5; \quad \delta z_6 = -90,9 \pm 2,1 \\ \delta r_6 = 228,3 \pm 1,8; \quad m_{06} = \pm 2,2 \text{ m}$$

Njihovim upoređenjem s korespondirajućim vrijednostima iz stupca {2} odnosno {3} u tabeli 1 uočavaju se izvjesne manje varijacije. Većinom su u podnošljivim granicama točnosti računanja (srednje pogreške  $m_0$ ), a razumljiva su posljedica međusobnog nepodudaranja geoidnih ploha D i C — zbog razlika između samih solucija GEM 8 i GEM 10 (njihova predodžba za sustav ED 50 u [4] (Čolić 1979), sl. 6. i sl. 7). Uzrok da su srednje pogreške  $m_0$  u {3} i sada u {6} mnogo manje, leži u uglačanoj prirodi tretiranih geoidnih ploha B, C odnosno D, dok se u {2} i sada u {5} radi o prilagođenju puno nemirnije plohe A na glatku plohu C odnosno D.

Posebno je važno da se i u primjeni plohe D proizašle  $\Sigma$ -vrijednosti (još pribrojani elementi iz {1}) kreću opet dosta blizu nule. Na koncu, u usporedbi s doplervskim parametrima {d} pojavljuje se za  $\delta y_6$  još nešto veći sistematski odklon, dok se za  $\delta z_6$  događa (prema  $\delta z_3$ ) samo neznatno približenje ka  $\delta z_4$ .



Sl. 6. (Realni) astrogeodetski geoid za Jugoslaviju u geocentričkom sustavu — pomoću prilagođenja na plohu GEM 8 — geoida



Tako i ovi rezultati potvrđuju sistematsku pojavu, koja je već sasvim uočljivo proizašla u preostalim odstupanjima nakon 1. prilagođenja geoidne plohe A na geoidnu plohu B (sl. 3).

Ovdje se može još navesti da je i primjena »geoidne plohe E« prema [22] (Vincent i Marsh 1975) — s kojom su uključene i nešto finije strukture od onih sadržajnih u dugovalnim geoidnim ploham D i C prema GEM 8 i GEM 10, (vidi sl. 3 u [4] (Čolić 1979)), također dale slične transformacijske parametre te nešto manje srednje pogreške. Zbog činjenice da se ovaj »globalni detaljni gravimetrijski geoid« ponajviše oslanja na geoidnu plohu po GEM 8 uz dodatno korištenje globalnih terestičkih podataka anomalija sile teže, moglo se i očekivati da će rezultati biti blizu vrijednostima iz prva dva seta računanja.

Međutim pojave sistematskog karaktera u preostalim nesuglasicama nakon prilagođenja plohe A (s Bessel-ovog sustava) na geoidnu plohu B (u ED 50-sustavu) dala je povoda da se dodatno izvede još jedna mala numerička analiza. Ako se, naime, otprilike u sredini teritorija SFR Jugoslavije izabere »centralna točka« s okruglim geodetskim koordinatama (\*)  $B_0=44^\circ$   $L_0=19^\circ$ , tada se mogu za nju izračunati u izvršenoj translaciji elipsoida prouzrokovane promjene  $\delta B$  i  $\delta L$  njenih koordinata kao i promjena  $\delta N$  za pripadnu geoidnu undulaciju prema formulama, [8] (Heiskanen i Moritz 1967, str. 207):

$$a \delta B = \sin B \cos L \delta x + \sin B \sin L \delta y - \cos B \delta z + 2a \sin B \sin B \delta f \quad (8a)$$

$$a \cos B \delta L = \sin L \delta x - \cos L \delta y \quad (8b)$$

$$\delta N = -\cos B \cos L \delta x - \cos B \sin L \delta y - \sin B \delta z - \delta a + a \sin^2 B \delta f \quad (8c)$$

Dakako, u kontekstu definitivnog ispitivanja odnosno potvrde prednjih nalaza zanimaju nas veličine razlika između proizašlih promjena s primjenom doplerovskih vrijednosti geocentričkih koordinata centra ED 50-sustava, te na bazi translacijskih parametara {3} i {6}. Uz zanemarivanje zadnjeg člana u (8a) te oba zadnja člana u (8b) — što bi odgovaralo pretpostavci  $\delta_f=0$ ,  $\delta_a=0$ , tj. nepostojanja promjene spljoštenosti i velike poluosi referencelipsoida — dobivaju se vrijednosti u tabeli 2. To su redom: izračunate promjene s doplerovskim translacijskim parametrima  $\delta x_d$ ,  $\delta y_d$ ,  $\delta z_d$ , zatim s parametrima iz trećeg i šestog geocentričnog prilagođenja (pomoću ploha C i D) promatrane plohe A' ili plohe B evropskog astrogeodetskog geoida, verzija 1978. U posljednja dva stupca stoje tražene diferencije promjena koordinata. (Zbog naprijed istaknutog vrijednosti su dobivene pomoću plohe E samo malo drugačije od {3}).

Tabela 2. Računanje razlika u promjenama koordinata  $B_0$ ,  $L_0$

Element translacija	{d}	{3}	{6}	{d} — {3}	{d} — {6}
1	2	3	4	5 (=2—3)	6 (=2—4)
a $\delta B$	— 14,5 m	— 19,8 m	— 16,3 m	+ 5,3 m	+ 1,8 m
acosB $\delta L$	+ 78,8 m	+142,5 m	+137,8 m	+63,7 m	+59,8 m
$\delta N$	+159,7 m	+159,3 m	+160,8 m	+ 0,4 m	— 1,1 m

\* U [3] stoji uslijed tipkarske greške  $B_0=40^\circ$ , kao što se na tamošnjoj p. 2 i p. 4 zabunom poziva na [22] umjesto — jer se radi o GEM 8 — na [23].

Doista naši su nalazi sasvim potvrđeni. Štoviše, razlike korespondentnih elemenata pri zamjeni plohe C s plohom D, tj. između elemenata u {3} i {6} — od svega +3,5 m za  $\delta B$ , +4,7 m za  $\cos B \delta L$ , te -1,5 m za  $\delta N$  — dokazuju visoku numeričku oštrinu provedenih izračunavanja. Napomenimo još da se iznosi u posljednja dva stupca dobivaju strogim računanjem po formulama (8), jer se pri formiranju razlika krata članovi sa konstantnim  $\delta a$  i  $\delta f$ . Iz zadnja dva stupca lako se uočava sistematski karakter u promjeni  $\delta L$ , što pogotovo nije slučaj za promjenu  $\delta N$ .

Upotrebljeno izražavanje »datumskih parametara« sa  $\delta x$ ,  $\delta y$ ,  $\delta z$  može se, kao što je poznato, zamjeniti ekvivalentnim prikazom pomoću  $\delta \xi$ ,  $\delta \eta$ ,  $\delta N$ , tj. promjenama komponenti otklona vertikalne te geoidne undulacije u »ishodišnoj« točki. Konačno su zato u određivanju iznosa sistematskih efekata umjesto izraza (8) korištene srodne Vening-Meinesz-ove transformacijske formule, [9] (Lelegemann 1974):

$$\delta \xi = \frac{\rho''}{a} (\sin B \cos L \delta x + \sin B \sin L \delta y - \cos B \delta z + 2a \sin B \cos B \delta f) \quad (9a)$$

$$\delta \eta = \frac{\rho''}{a} (\sin L \delta x - \cos L \delta y) \quad (9b)$$

$$\delta N = -(\cos B \cos L \delta x + \cos B \sin L \delta y + \sin B \delta z + \delta a - a \sin^2 B \delta f) \quad (9c)$$

Izračunavanje s vrijednostima iz {d} i {3}, odnosno s razlikama {d} — {3}, pokazuje očito da se može uzeti da postoji zaokret EW-osi od oko ili čak preko 2", dok je nagib NS-osi mali i leži uglavnom u području točnosti doplerovskih parametara. U visinskom smislu, naprotiv postoji dosta dobro poklapanje, jer se može uzeti da razlika za  $\delta N$  od svega +0,4 m leži unutar stvarne (vanjske) točnosti astrogeodetskog određivanja geoida na našem teritoriju. Ove konsistencije u potpunosti potvrđuju rezultati prema posljednjem stupcu tabele 2, tj. na temelju dopunskog ispitivanja pomoću plohe D (a također plohe E).

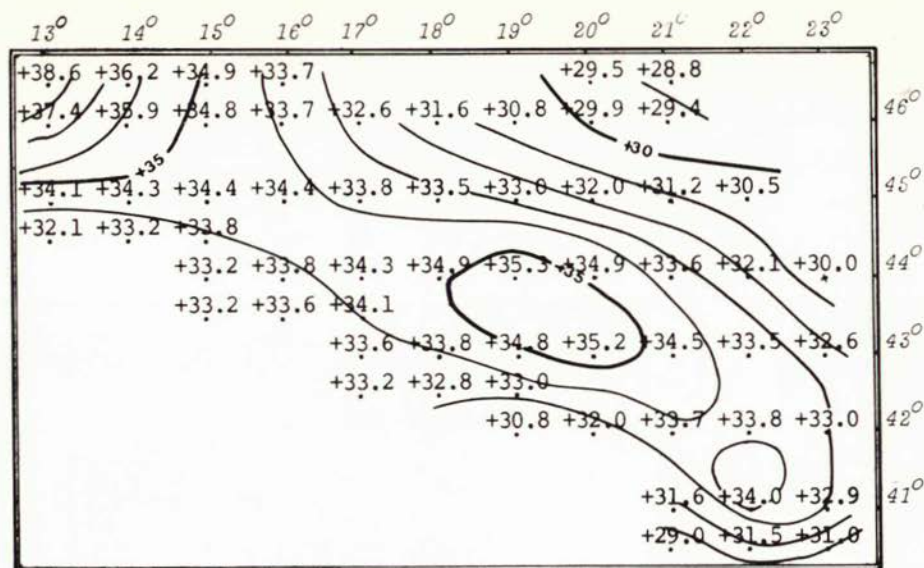
## 7. ODNOS PREMA ISTRAŽIVANJIMA DRUGIH IZVORA

Objavljujući u nas ove rezultate s izvjesnim zakašnjenjem obzirom na sažeto prezentiranje u 1978. god., pokušajmo ih kratko konfrontirati s nekim kasnije objavljenim izvorima literature.

U [20] (Schaab 1978) izvršeno je ispitivanje orijentacije evropskog astrogeodetskog geoida i njegovih dijelova, ali po staroj verziji 1975, [11] (Levallois i Monge 1975). Čineći usporedbu s evropskim dijelom GEM 8-geoida odnosno globalnog gravimetrijskog geoida po [22] (Vincent i Marsh 1975) u grubljoj rasterskoj mreži točaka od  $1^\circ \times 1^\circ$  (— prikazi tih ploha za jugoslavenski teritorij na sl. 3 i sl. 4 u [4] (Čolić 1979)) — dobiveni su translacijski parametri, koji međusobno jako variraju, dok su rezidualna odstupanja  $N_a - N_g$  na kopnu (posebno u centralnoj Evropi) dosta manja nego na Sredozemlju, kako se to navodi i u [25] (Wolf 1978). Zbog toga se može smatrati da su oba modela geoida pogrešna uslijed sistematskih grešaka.

Također se dolazi do spoznaje da su u blizini fundamentalne točke sustava ED 50 rezultati točniji, kao i da se sa smanjenjem zahvaćenog dijela geoida



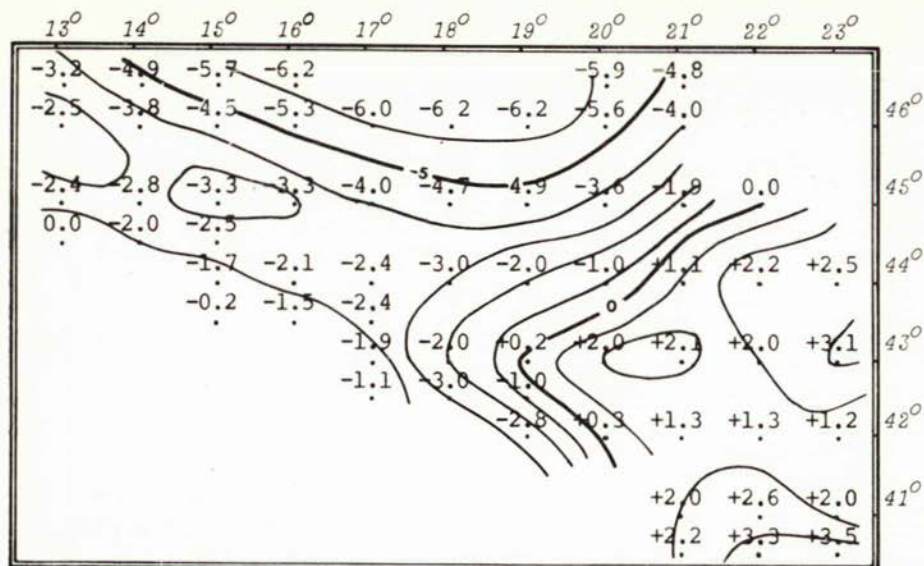


Sl. 7. Evropski astrogeodetski geoid — verzija 1975 u geocentričkom sustavu — dio za jugoslavenski teritorij

smanjuju iznosi preostalih nesuglasica, jer se »ublažuje utjecaj sistematskih iskrivljenja na optimalno prilagođavanje«(!). Konačno je proizašla tvrdnja da obje geoidne plohe posjeduju sistematska iskrivljenja prije svega u širem mediteranskom području (baš!), te u sjevernim djelovima (Skandinavija, Sjeverno more, uključujući i Englesku).

S tim u vezi poprimaju znatno jači značaj po nama ustanovljeni i dokazani reziduali (sl. 3) odnosno sistematski efekti (tabela 2. i dr.). Radi ilustracije po H. Schaab-u proizašle situacije prileže sl. 7 i sl. 8, na kojima je za jugoslavenski teritorij prikazan u digitaliziranom obliku ( $1^\circ \times 1^\circ$ ) evropski astrogeodetski geoid — verzija 1975. u geocentričkom sustavu, te dobivena preostala odstupanja  $N_a - N_g$ . Usporedbom s našim rezultatima i grafičkim priložima može se doći do daljnjih interesantnih spoznaja, koji se već tiču i samih detalja. Inače, prednji navodi stoje sasvim u skladu s našim rezultatima i nalazima, s tim da su se naša ispitivanja mogla provesti temeljitije (polazeći od relativno male originalne geoidne plohe A), u potpunijem postupku sa »zatvorenom« kontrolom. To je prednost i u odnosu na slijedeći izvor literature.

U radu [6] (Desvignes 1978) — prezentiranom ubrzo nakon osnovnih rezultata naših ispitivanja — tretira se određivanje detaljnog gravimetrijskog geoida za centralnu Evropu i mediteransko područje (pri tome, nažalost, nedostaje dio Jugoslavije!), te vrši upoređenje opet s astrogeodetskom verzijom 1975, najprije za cjelinu a potom za izvjesne dijelove Evrope odnosno po pojedinim državama. Translacijski parametri nakon učinjenih prilagođenja ovih dviju modelnih ploha geoida ponovo variraju, što je — osim već spomenute nehomogenosti sustava ED 50 — posljedica različitih opsega i točnosti upotrebljenih podataka odnosno različite kvalitete tih dviju ploha međusobno i unutar pojedinih država.



Sl. 8. Preostala odstupanja  $N_a - N_g$  za teritorij Jugoslavije — prema [20] (Schaab 1978); znatno su veća nego ona na sl. 3.

Međutim, citirani autor pronalazi najveća odstupanja nakon globalnog prilagođenja ovih dviju ploha upravo za teritorije Austrije, Italije i Jugoslavije (uključeni dio), čime se ponovljeno ukazuje na postojanje ozbiljnog sistematskog poremećaja. G. Desvignes je, izgleda skloniji vjerovati da se taj uzrok nalazi ponajviše unutar Austrije i Italije, jer s kasnijim parcijalnim prilagođenjima po pojedinim državama otkriva najveće nesuglasice u ta dva teritorija, dok se drugdje njihove standardne vrijednosti kreću od oko  $\pm 0,3$  m do  $\pm 0,5$  m. Ipak, tu ostaje otvoreno pitanje situacije na jugoslavenskom teritoriju, jer je s njega korišteno svega 28 raspoloživih diferencija, dok se pripadni translacijski parametri znatno udaljuju od njihovih vrijednosti dobivenim u svim drugim područjima. Osim toga i novoodređeni gravimetrijski geoid završava baš na jugoslavenskom teritoriju, te je zbog nedostatka dovoljno gustih  $\Delta g$ -vrijednosti sigurno umanjene točnosti. Tu će trebati tek nastaviti s radom...

Iz ove kratke konzultacije drugih izvora literature može se izvući zaključak da je poboljšanje utvrđivanja položaja i oblika geoida u zemljama sredozemnog regiona, uključujući SFRJ, neophodno, štoviše najnužnije u cijeloj Evropi. I dalje: ispitivanja modela astrogeodetskog geoida za Jugoslaviju bila su i zbog toga doista umjesna, a postupak njihove provedbe dobro odabran, što se očituje i u jakoj suglasnosti rezultata.

## 9. ZAKLJUČAK I DALJNJI ZADACI

Na temelju svega izloženog ovdje se razmotrena ispitivanja mogu smatrati zaokruženima. Rezultati govore sami za sebe, dopunska ih istraživanja



dovoljno učvršćuju, a strani izvori literature indirektno podržavaju. Konačno se može zaključiti da su nužna poboljšanja u plohi geoida za teritorij SFR Jugoslavije, te da se pred jugoslavenske geodete postavlja zahtjev da pruže vlastiti doprinos za rješenje apostrofirano problema [26] (SSG 5.50/IAG), tj. bolje međusobne situiranosti (orijentacije) geoidnih ploha A i B.

Želja autora ovog rada je bila da se ti važni zadaci intenziviraju još u ovoj 1979. godini, ali se to zbog isključivo objektivnih razloga nije moglo sprovesti. Za očekivati je da će se u doista bliskoj budućnosti riješiti pitanje dobivanja na korištenje neophodnih podataka, što bi bilo hitno i neminovno za dalji uspješan napredak znanstveno-istraživačke teme »Regionalno istraživanje oblika i disanja Zemlje«, a naročito za njen prvi osnovni dio: Ispitivanje postupka za određivanje otklona vertikalne i geoidnih undulacija\*. Tu također spadaju upravo prezentirana istraživanja, a njime bi se trebali interpolacijskim načinom dobiti i za geodetsku praksu nužni podaci, tj. otkloni vertikalne i geoidne visine u izvjesnim stabiliziranim geodetskim točkama, i to s točnošću i detaljnošću neophodnom za korektnu redukciju geodetskih mjerenja do računске plohe usvojenog referenc-elipsoida.

Na taj način opravdala bi se već uložena — a i buduća potrebna — sredstva i naponi; u dosadašnjem periodu naročito usmjereni ka uspostavljanju teoretske podloge i metodologije rada, zatim u prikupljanju i pripremi gravimetrijskih te nekih visinskih podataka, kao i u izradi gotovo potpuno pripremljene kompjutorske podrške (programa), na što se dalja istraživanja mogu sigurno osloniti.

Po svemu sudeći ne može se poreći opravdanost navedenih zadataka kao (jednog od) preduvjeta za prestojeću obnovu osnovnih geodetskih radova na jugoslavenskom teritoriju.

#### LITERATURA

- [ 1 ] Balodimos, D.: Geoidal studies in Greece. Department of Geodesy and Surveying, Oxford 1972.
- [ 2 ] Bomford, G.: The astrogeodetic geoid in Europe and connected areas. 15th Gen. Ass. of IUGG, Moskva 1971.
- [ 3 ] Čolić, K.: An investigation of the astrogeodetic geoid of Yugoslavia using gravimetric data. Proceedings of International simposium on the geoid in Europe and Mediterranean area, 99—112, Ancona 1978.
- [ 4 ] Čolić, K.: Dugovalni (uglačani) gravimetrijski geoid za Jugoslaviju i njegova primjena. Geodetski list, XXXIII (56), br. 7—9, str. 171—191, Zagreb 1979.
- [ 5 ] Čolić, K.; P. Konsuo: Istraživanje odnosa između geoidnih undulacija i dubina Moho-sloja na teritoriju Jugoslavije. (u pripremi za tisak), 1980.
- [ 6 ] Desvignes, G.: A detailed gravimetric geoid in european and mediterranean regions and its comparison with astrogeodetic levelling values. International symposium on the geoid in Europe and Mediterranean area, Ancona—Numana, 1978.
- [ 7 ] Groten, E.; H. Schaab: On the accuracy of astrogeodetic heights. Bollettino di geodesia e science affini, XXXIV, N. 1, p. 21—44, 1975.

\* Drugi njen osnovni dio »Stanica za opažanje disanja (plimnih valova) Zemljine kore — Zagreb« je već uključen u Program naučne suradnje između SR Njemačke i SFR Jugoslavije; odvija se kao odvojeni podzadatak i prvenstveno je usmjeren prema određivanju varijacija oblika Zemlje na temelju opažanih promjena polja Zemljine sile teže u mreži takvih stanica.

- [ 8 ] Heiskanen, W. A.; H. Moritz: Physical geodesy. W. H. Freeman and Co., San Francisco and London, 1967.
- [ 9 ] Lelgemann, D.: Zur gravimetrischen Berechnung des Geoids der Bundesrepublik Deutschland, DGK, Reihe A, Nr. 77, Frankfurt a.M. 1974.
- [10] Lerch, F. J. et al.: Gravity model improvement using GEOS 3 (GEM 9 and 10). Goddard Space Flight Center, Greenbelt 1977.
- [11] Levallois, J. J.; H. Monge: Le geoides Europeen version 1975. 16th Gen. Ass. of IUGG, Grenoble 1975.
- [12] Levallois, J. J.; H. Monge: Le geoides Europeen- version 1978. International simposium on the geoid in Europe and Mediterranean area, Ancona—Numana 1978.
- [13] Litschauer, J.: Zur Frage der Geoidgestalt in Österreich. ÖZfV, S. 161—172, 1953.
- [14] Marussi, A.: Per l' Unificazione Geodetica per Bacino Mediterraneo. Nel 75 — Anniversario della Fondazione dell Istituto Geografico Militare (Tav. IV. Soggetto dell Geoides), Firenze 1947.
- [15] Molodenski, M. S.; V. F. Eremeev, M. I. Yurkina: Methods for study of the external gravitational field and figure of the earth. Israel program for scientific translations. Jerusalem 1962.
- [16] Muminagić, A.: Ispitivanje realnog geoida u Jugoslaviji. Disertacija, Zagreb (Beograd), 1971 a.
- [17] Muminagić, A.: Investigation of real geoid in Yugoslavia. 15th Gen. Ass. of IUGG, Moskva 1971 b.
- [18] Muminagić, A.: Ispitivanje realnog geoida u Jugoslaviji. Geodetski list, XXVIII (51), br. 1—3, str. 6—12, Zagreb 1974.
- [19] Muminagić, A.: Orjentacija naše triangulacije. Geodetski list, XXI (44), br. 1—3 i br. 4—6, str. 3—8 i 64—69, Zagreb 1967.
- [20] Schaab, H.: Orientierung des astrogeodätischen Geoides von Europa. U publikaciji: Groten, E. (Zsgst.): Beiträge zur Physikalischen Geodäsie. DGK, Reihe B, Nr. 233, München 1978.
- [21] Schlüter, W. u.a.: The present status of the German — Austrian Doppler observation campaign (DÖDOC). Second international symposium. »On the use of artificial satellites for geodesy and geodynamics«, Athens 1978.
- [22] Vincent, S.; J. G. Marsh: Goddard Space Flight Center global detailed gravimetric geoid. 16th Gen. Ass. of IUGG, Grenoble 1975.
- [23] Wagner, C. A. et al.: Improvement in the geopotential derived from satellite and surface data (GEM 7 and GEM 8). Goddard Space Flight Center, Greenbelt 1976.
- [24] Wolf, H.: Versuch einer Geoidbestimmung im mittleren Europa aus astronomisch-geodätischen Lotabweichungen. DGK, Reihe A, Nr. 18, Frankfurt a. M. 1956.
- [25] Wolf, H.: Der Arbeitskreis »Theoretische Geodäsie« in der Deutschen Geodätischen Kommission (DGK) Tätigkeitsbericht 1977/78, Bonn 1978.
- [26] — — — (SSG 5.50/IAG): Recommendation of the International Symposium on the Geoid in Europe and Mediterranean area. Proceedings of the International Symposium on the Geoid in Europe and Mediterranean area, Ancona 1978.

## SAŽETAK

Analizira se sadašnja situacija u određivanju modela astrogeodetskog geoida za područje Jugoslavije, napose međusobna situiranost postojeće izvorne jugoslavenske geoidne plohe (»ploha A«) i odgovarajućeg dijela najnovije verzije evropskog astrogeodetskog geoida (»ploha B«). Obje plohe su prethodno digitalizirane u elemente 20'×20', a računanja se izvode uz pomoć satelitskih



modela GEM 10 i GEM 8 odnosno proizašle plohe globalnog gravimetrijskog geoida (»ploha C i D odnosno E«). Nakon prilagođenja ispitivanih ploha A i B pojavila su se rezidualna odstupanja sa sistematskim karakterom. Dalja »zastvorena« ispitivanja daju, a dodatna izračunavanja i potvrđuju najvažniji rezultat, tj. da postoji u EW — smjeru očita rotacija od oko 2", dok je odstupanje po NW-osi malo, a poklapanje po visini dosta dobro. Indirektne usporedbe s drugim izvorima literature dokazuju također umjesnost ovdje prezentiranih istraživanja.

## ZUSAMMENFASSUNG

Es wird gegenwärtige Situation in der Bestimmung von Modellen des astrogeodätischen Geoids fürs Gebiet Jugoslawiens analysiert, besonders die gegenseitige Lage bestehender ursprünglichen jugoslawischen Geoidfläche (»Fläche A«) und des korespondenten Teils von neunster Version des europäischen astrogeodätischen Geoids (»Fläche B«). Beide Geoidflächen wurden zunächst in Blöcke 20' × 20' digitalisiert, und die Berechnungen mittels Satellitenmodellen GEM 10 und GEM 8, bzw. der daraus hervorgegangenen Flächen des globalen gravimetrischen Geoids (»Fläche C und D bzw. E«) durchgeführt. Nach der Anpassung der betrachteten Flächen A und B zeigten sich die Restklaffungen vom systematischen Charakter. Weitere »geschlossene« Untersuchungen ergeben, und die zusätzlichen Berechnungen auch bewiesen das wichtigste Ergebnis, d.h. es besteht in EW-Richtung eine Rotation von etwa 2", während die Abweichung in der NS-Achse klein ist, und in der Höhe eine gute Übereinstimmung herauskommt. Die indirekten Vergleiche mit der anderen Literaturquellen beweisen auch die Angemessenheit der geschilderten Forschung.