

POČETNI DIGITALNI MODEL GUSTOĆE POVRŠINSKIH MASA ZEMLJINE KORE U TEST-PODRUČJU »SLOVENIJA I OKOLNI DIO HRVATSKE« ZA REGIONALNE POTREBE FIZIKALNE GEODEZIJE

Krešimir ČOLIĆ*, Boško PRIBIČEVIĆ*, Marijan RATKAJEC*, Robert STOPAR**, Franjo ŠUMANOVAC***, Josipa VELIĆ*** — Zagreb/Ljubljana

SAŽETAK. U sklopu znanstvenog projekta »Gravitacijsko polje u geodeziji, geofizici i geodinamici« uspostavljen je dvodimenzionalni digitalni model gustoće površinskih masa za test-područje »Slovenija i okolni dio Hrvatske«. Ta su istraživanja gustoće regionalnoga karaktera i predstavljaju početnu fazu interdisciplinarnе suradnje, a za sada su namijenjena samo potrebama fizikalne geodezije, tj. istraživanju karakterističnih veličina polja Zemljine sile teže u promatranom test-području veličine oko $2^{\circ} \times 3^{\circ}$. Prvo su određene vrijednosti gustoće za pojedine petrografske jedinice s točnošću između 50 i $100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, i to prvenstveno na temelju vaganja uzoraka uzetih na odabranim lokacijama, a manjim dijelom s pomoću Hg-metode i dr. Nakon toga su, uz dodatnu pomoć dostupnih geodetskih karata, utvrđene postojeće »zone gustoće«, te usvojeno 12 »razreda gustoće«, plus Jadransko more s $\rho \cong 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Konačno je izrađen digitalni model gustoće $2,5' \times 2,5'$ za »unutarnji sektor« (pokriva test-područje), te grublji DMG za »vanjski sektor« ($43^{\circ} \leq B \leq 48,5^{\circ}$, $11^{\circ} \leq L \leq 19^{\circ}$) u rasteru $3' \times 5'$, odnosno $5' \times 5'$. Za samo test-područje formirana je i datoteka za DMG $2,5' \times 2,5'$ povećanog razlučivanja.

1. UVODNE OPASKE

a) Ovaj rad je nastao u sklopu znanstvenog projekta »Gravitacijsko polje u geodeziji, geofizici i geodinamici« (2-12-151), koji je startao u početku 1991. godine (glavni istraživač prof. dr. K. Čolić). O sadržaju, značenju i neophodnosti, pa čak o izrazitoj hitnosti istraživanja na tom projektu bit će više riječi u drugim prigodama, a ovdje će se istaknuti samo dvije-tri činjenice.

* Prof. dr. Krešimir Čolić, Boško Pribičević, dipl. ing. i Marijan Ratkajec, dipl. ing., Geodetski fakultet, Zagreb, Kačićeva 26.

** Robert Stopar, dipl. ing., Institut za geologiju, geofiziku in geotehniko, Ljubljana, Dimičeva 14.

*** Doc. dr. Franjo Šumanovac i prof. dr. Josipa Velić, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, Pierottijeva 6.

Istraživanje Zemljinog polja sile teže u mnogim državama već neko vrijeme predstavlja središnji zadatak svih djelujućih znanstvenika u području planetarne izmjere Zemlje (astronomsko-fizikalne geodezije). *Međutim, tu je neobično važan i praktični (!) aspekt, jer se sva geodetska (i drugovrsna) mjerenja na Zemljinoj površini — vezana uz primjenu viska i/ili libele na mjernim instrumentima — prirodno događaju u polju Zemljine sile teže! Stoga ona sadrže, uz pretežitu geometrijsku, i stanovitu fizikalnu informaciju. Ako iz rezultata različitih mjerenja uklonimo »kontaminirajući« utjecaj polja Zemljine sile teže, tek tada ćemo ih moći — uz njihove već sadašnje i, pogotovo, buduće visoke točnosti od oko 10^{-7} do 10^{-8} , tj. čak do 1:100,000,000 — korektno obrađivati na čisto geometrijski način, kako se to redovito čini u svakodnevnoj geodetskoj praksi!* Uključivanjem uobičajenih »redukcija« izmjerenih veličina (horizontalni smjerovi, vertikalni kutovi, duljine stranica, precizni nivelman ...) ostvaruje se zapravo prijelaz iz fizikalne stvarnosti, u kojoj su obavljena mjerenja, i u kojoj je jedini a priori zadani smjer — smjer viska, tj. vektora sile teže (»vertikala«) u geometrijski model u kojemu se izvode geodetska računanja, a to je ploha rotacijskog elipsoida s »normalom« kao osnovnim smjerom. *No, to se mora učiniti i u obratnom smislu, primjerice pri preciznim iskolčenjima na terenu i dr.* U protivnom mogu nastati nedopustivo velike pogreške (Elminger, 1973), (Zeger, 1978), čak i u učestalim mrežama malih protezanja za potrebe inženjerske geodezije (Grafarend, 1987)! Naposljetku valja istaknuti da su istraživanja polja Zemljine sile teže nedavno doživjela novi, dodatni impuls upravo zahvaljujući modernim GPS-mjerenjima satelitske geodezije, čija se široka i djelotvorna primjena — usprkos tomu što su ona praktično geometrijske prirode — ne može ostvariti bez dostatno točne predodžbe plohe geoida (podudara se s mirnom nepomućenom razinom otvorenih oceana).

b) No, tu je još jako važno ustvrditi sljedeće: *mjerenjima dostupni »geodetski signali« od nepravilnog rasporeda i promjenljive gustoće Zemljinih masa, a ponajviše onih u Zemljinoj kori, prije svega su tzv. otkloni vertikalne Θ (prostorni kut između vertikale i normale, komponenta ξ je u smjeru N—S, a komponenta η u smjeru W—E), te anomalije sile teže Δg (razlika ubrzanja sile teže za realnu (stvarnost!) i za zamišljenu »normalnu« Zemlju (model!)). Otkloni vertikalne mogu se dobiti u ipak ograničenom broju točaka — tzv. geoidne točke — na temelju pripadnih astronomskih i geodetskih koordinata, a anomalije sile teže s pomoću gravimetrijskih i — opet nezbužnih — geodetskih mjerenja (položaji i visine točaka).*

Na temelju inozemnih iskustava: (ÖKIE, 1983), (Sünkel, Ed. 1987), (Bürki, 1989) (i drugi), već se unaprijed znalo da programom zacrtana određivanja karakterističnih veličina polja Zemljine sile teže, napose njegove osnovne nivoplohe — geoida, te također važnih otklona vertikalne u pravilnoj mreži točaka u test-području »Slovenija plus okolni dio Hrvatske« neće biti moguće ostvariti bez uspostavljanja tzv. digitalnog modela gustoće (=DMG), barem za (pri)površinske mase Zemljine kore. I to ne samo preko cijeloga toga, s puno opravdanih razloga odabranog područja, već i znatno preko njegovih granica!

Tomu je važnom aspektu odmah na projektu poklonjena potrebna pažnja, dakako uz usporedni angažman na oblikovanju korespondentnih digitalnih modela reljefa (= DMR) Zemljine fizičke površine. Ti DMR sadrže vri-

jednosti visina (dobrim dijelom dobivenih digitaliziranjem izohipsi, ali i manualno »skinutih« s topografskih karata), u kutnim i središnjim točkama, ili pak srednjih visina za svaki od površinskih elemenata u usvojenim (nepomičnim!) mrežnim podjelama. S pomoću njih sve se zahvaćene gornje mase Zemljine kore dijele (formalno) u pravilna prizmatična tijela, i to ovdje — za razliku od inače u geodeziji korištenih DMR — na temelju geodetskih koordinata B , L , a to znači s trapezoidnim gornjim horizontalnim bazama na srednjim visinama h zahvaćenih elemenata Zemljine površine i s istim takvim donjim bazama na plohi geoida, tj. na nadmorskoj visini nula. Dapače, u našim DMR — stjecajem danih okolnosti — otprije usvojeni »bazični raster« s elementima $\delta B \times \delta L = 2,5' \times 2,5'$ ($\approx 4.67 \text{ km} \times 3.10 \text{ km}$) pokazao se mjerodavnim i u odabiru oba trenutna rastera u DMG.

Sada smo u stanju da u obliku »početnoga digitalnog modela gustoće« (oznaka: \emptyset -2D-DMG) prvi put pokažemo osnovne rezultate tih specifičnih istraživanja u nas. Ona su ostvarena u korisnoj interdisciplinarnoj suradnji, tako da su se trojici, već inače u projekt uključenih geodetskih istraživača, od kojih je prvoimenovani od ranije imao neka neophodna iskustva u tom smislu (Čolić, 1970. i 1971), pridružila još trojica eksperata, i to dvojica iz područja geofizike i geologije (Sumanovac, Stopar), a kasnije, zbog potrebe, i jedan ekspert iz područja geologije (Velić).

c) Kako bi se potpuno eliminirali eventualni kasniji nesporazumi, treba odmah na početku istaknuti: *ova su istraživanja gustoće do sada isključivo regionalnoga karaktera!* Uostalom, već samo središnje područje »Slovenija plus okolni dio Hrvatske« ima dimenzije od $\Delta B = 2^\circ$ po geografskoj širini i $\Delta L = 3^\circ$ po geografskoj duljini, što je otprilike $220 \text{ km} \times 240 \text{ km}$. To znači da ono pokriva površinu od više od 50.000 km^2 , a šira zahvaćena regija je čak višestruko veća!

Nadalje valja istaknuti i ovo: *ovdje je riječ o početnoj fazi interdisciplinarnih istraživanja*, u kojoj su se autori mogli dobrim dijelom osloniti na postojeće geološke karte i geofizičke podatke. Međutim, oni su te polazne spoznaje dopunili neophodnim vlastitim terenskim i laboratorijskim doprinosima i potom sustavno podvrgnuli primjerenom obradi, da bi na kraju sve uporabljive informacije o gustoći masa pretvorili u digitalni oblik, koji je prihvatljiv suvremenim elektroničkim računalima, ali i (po mogućnosti) kompatibilan glavnini otprije raspoloživog softvera na konkretnom znanstvenom projektu! Donekle je, pri svemu tomu, kao oslonac poslužio, već za istu svrhu ostvareni, istraživački posao austrijskih kolega (Granser i dr., 1983), (Steinhauser i dr., 1983), (Walach, 1986 i 1987), zatim nova korisna švicarska iskustva (SGPK, 1984 — ...) itd. Dakako, od pomoći su bili i neki raspoloživi domaći, većim dijelom vlastiti izvori podataka o gustoći zastupljenih vrsti stijena.

d) Ostvarenu fazu istraživanja potpisani autori nazivaju »*nulta faza*«, ponajprije zato što je ona zasad (!) namijenjena *prvenstveno potrebama fizikalne geodezije*. Upravo za tu konkretnu svrhu, ali ujedno i za već — u svrhu konačnog ostvarenja poboljšanja položaja gravimetrijske metode unutar cjelovite geofizičke prospekcije rudnih nalazišta i sirovina — neizbježnu izradbu karata Bouguerovih anomalija sile teže s varijabilnom gustoćom, prilagođen je trenutno zastupljeni stupanj generalizacije, odnosno razlučivanja u uspo-

stavljenom »nultom« (Ø) dvodimenzionalnom (2D) digitalnom modelu gustoće (DMG). Taj Ø-2D-DMG je, srećom, sad već ostvarljivo, a ipak prihvatljivo približenje za još dugo nedostižni 3D-DMG masa Zemljine kore! Doduše, takav je slučaj i inače po Zemljinoj površini, a ne samo na našem test-području, s uistinu složenom dubinskom i površinskom građom, ne samo u sjevernim dijelovima Slovenije, već i u Hrvatskom zagorju i drugdje.

2. GUSTOĆA MASA I METODE NJENOG ODREĐIVANJA U TEST-PODRUČJU

Za predmetne svrhe traži se *gustoća »in situ«*, tj. prostorna (volumna) gustoća ρ u prirodnim uvjetima za pojedine vrsti stijena (dimenzije: kg/m^3 , od ranije se zadržalo: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$). Osim toga, uzeta vrijednost za gustoću masa ne smije se odnositi samo na jedno mjesto ili njegovu neposrednu okolicu, nego mora biti mjerodavna za neko konkretno područje ili lokaciju istoga geološkog podrijetla i određenoga litološkoga karaktera. Tu vrijednost gustoće može se nazivati i »*blok-gustoćom*«, jer se obično odnosi na konkretne blokove i uzima u obzir sve parcijalne volumene i mase, kao što su pore, pukotine i zasićenost fluidima (Granser i dr., 1983).

Kada je riječ o metodama određivanja gustoće, one se mogu podijeliti u dvije glavne skupine:

1. *posredne metode* — s prvenstveno odgovarajućom primjenom gravimetrijskih, ali i seizmičkih mjerenja, te
2. *izravne metode* — uglavnom s pomoću vaganja uzoraka (»proba«) s terena, mjerenja njihove težine i volumena, ali se primjenjuju i neki složeniji postupci.

Posredne metode temelje se na tomu da su petrofizički parametri međusobno povezani, pa se promjene jednog ili nekoliko njih koriste za pronalaženje iznosa gustoće ρ i njenih varijacija između pojedinih lokacija, stijena i petrografskih jedinica.

Tako je, s jedne strane, brzina širenja uzdužnih i poprečnih seizmičkih valova uvijek funkcija gustoće materijala kroz koji se oni šire i još po jedne od njegovih konstanta elastičnosti. Na toj se zakonomjernoj povezanosti upravo temelje krivulje raznih autora — od kojih se najpouzdanijom čini Nafe-Drakeova krivulja, premda gotovo cijelim svojim protezanjem slični na prvac (Meissner, Stegena, 1977) — pa se s pomoću njihovih nacrtanih funkcionalnih ovisnosti pronalaze prosječne vrijednosti gustoće $\bar{\rho}$ (u $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) iz utvrđene srednje brzine longitudinalnih valova \bar{c} (u km/s).

Međutim, ove krivulje (ili empirijske formule za preračunavanje brzine u gustoću) za neke stijene daju dobre rezultate, dok kod drugih odstupanja od stvarne gustoće mogu biti znatna. Osim toga, pokušaj određivanja razdiobe gustoća iz seizmičkih brzina na nekim lokalitetima (Ptujsko polje i dr.) nisu dali ohrabrujuće rezultate. Uzrok tomu je u nemogućnosti da se precizno odrede intervalne brzine, osobito u plićim horizontima. Stoga se određivanje gustoća iz seizmičkih brzina može samo ograničeno koristiti, i to uglavnom u orijentacijskom smislu.

S druge strane, vrlo je česta primjena druge važne vrsti geofizičkih mjerenja — gravimetrijskih, jer u numeričkoj obradi izmjerenih vrijednosti ver-

tikalne komponente (intenziteta!) vektora sile teže ista ta gustoća masa ρ ulazi u računanje tzv. Bouguerovih anomalija sile teže Δg_B . Doduše, i ovdje nije riječ o svim masama Zemljine kore u čitavoj njenoj debljini, već samo o tzv. topografskim masama, protegnutim do dostatno velike horizontalne udaljenosti od pojedinog stajališta, ali situiranim u gornjem, relativno tankom dijelu Zemljine kore, i to upravo između plohe geoida (na ortometrijskoj ili »nadmorskoj« visini nula) i točaka Zemljine površine na »nadmorskim« visinama h ; štoviše, donji horizont se može podignuti tako da prolazi kroz najnižu točku na terenu. Točnost visina h određenih geodetskim putem, dakako uz točnost izmjerene ubrzanja sile teže g , ima odlučujuću ulogu u posrednom, numeričkom postupku određivanja traženog iznosa za ρ iz — prethodno s približnom gustoćom ρ_0 — izračunanih Δg_{B_0} vrijednosti. Položajne koordinate, ali osobito visine stajališnih točaka i okolnog terena sudjeluju u izračunavanju potrebnih »redukcija«, pa je za ove metode korektan naziv: geodetsko-gravimetrijski načini određivanja srednje gustoće $\bar{\rho}$ (pri)površinskih stijena Zemljine kore.

Naši su autori već i ranije koristili gravimetrijska mjerenja za određivanje srednje gustoće ρ . Tako su npr. još u (Čolić, 1970) našle mjesta najprije »metode vertikalnih parova« (zahvaljujući mjerenjima na točkama u jednom tunelu i na korespondentnim točkama iznad njih na Zemljinoj površini), a zatim i niz numeričkih adaptacija čuvenog »Nettletonovog postupka«, s ostvarenjem eliminacije korelacije između nadmorskih visina stanica h i pripadnih iznosa Bouguerovih anomalija sile teže Δg_B , koje nastaje kada je uzeta prava srednja vrijednost $\bar{\rho}$ za topografske mase na zahvaćenom području. Ove posljednje metode vode na standardna izjednačenja po metodi najmanjih kvadrata (posredna mjerenja!), a posebno se kvalitetnom u praktičnoj primjeni (Čolić, 1971) pokazala adaptacija »druge metode K. Junga«, ali i numerički još složenije »modifikacije po F. Gassmannu« s »produljavanjem (kontinuiranim) polja sile teže prema gore«.

Osim toga, u nas je uspješno primijenjena i jednostavnija »triplet-metoda«, također na temelju gravimetrijskih mjerenja, koja se osobito uspješnom pokazala u razrješavanju pitanja postojećih varijacija gustoće ρ u sjeveroistočnom području Slovenije nedaleko od Ptuja, npr. (Šumanovac i dr., 1991). Na jednom dijelu terena, tek nakon provedene dodatne korekcije za površinsku gustoću određenu metodom triplet dobivene su također neovisne gravimetrijske anomalije o reljefu terena, što znači da predstavljaju djelovanje podzemnih struktura.

Ipak, tu je uglavnom riječ samo o lokalnim područjima, pa se može ustvrditi da geodetsko-gravimetrijski pristup određivanju gustoće ρ nije za sada zapravo znatnije korišten u procesu uspostavljanja početnoga dvodimenzionalnog DMG za površinske (!) mase Zemljine kore u test-području. To vrijedi i za drugi posredni postupak određivanja ρ na temelju seizmičkih mjerenja. Međutim, te će posredne metode svakako trebati ugraditi u idućim fazama istraživačkih radova u promatranom test-području, pogotovo što navedene numeričke adaptacije Nettletonova postupka (i također novije njegove modifikacije (Ljubimov G. A., Ljubimov A. A., 1988) (i dr.) daju unutar pojedine — po mogućnosti prethodno dobro omeđene — zone gustoće stvarno traženu srednju (!) gustoću za sve obuhvaćene topografske mase od plohe geoida do Zemljine fizičke površine.

Prema izloženom, u »nultoj fazi« istraživanja opravdano se uglavnom koristilo *izravno određivanje površinske gustoće ρ na temelju hidrostatičkog principa*, tj. vaganjem pažljivo na terenu odabranih uzoraka (proba) u zraku i u vodi, gdje se volumen određuje iz gubitka na težini uzorka uronjenog u vodu (uzgon). To je uspješno realizirano u laboratoriju Katedre za primijenjenu geofiziku i rudarska mjerenja RGN-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Postupak je uobičajen i općenito dobro poznat (Jung, 1961), pa i (Čolić, 1971). Ovdje valja istaknuti kako uzroci nikada nisu uzeti neposredno s površine, nego bar s oko 1 m dubine, ali to su gotovo redovito pažljivo odlomljeni dijelovi zdrave stijene. Oni su odmah na terenu stavljeni u nepropusne plastične vrećice, koje su potom čvrsto zatvorene kako bi materijali do mjerenja u laboratoriju zadržali, po mogućnosti, svoje izvorno stanje, zastupljeno u samom ležištu (bez gubitka vode i dr.).

Određivanje mjesta uzimanja uzoraka (proba) na terenu u obuhvaćenom sjeverozapadnom dijelu Republike Hrvatske učinjeno je vrlo slično uobičajenoj metodi profila, pri čemu su ta mjesta locirana po mogućnosti u blizini cestovnih prometnica. Težište je u dva parcijalna područja koja ulaze u test-područje »Slovenija plus okolni dio Hrvatske«. To su:

1. Medvednica i dalje na sjever u Hrvatsko zagorje, te
2. Kordun, Lika i Gorski kotar, sve do dodira s Istrom.

Medusobna udaljenost lokacija iz kojih su uzete probe, uglavnom veličine šake ili nešto manjih volumena, varirala je od 100 m do 500 m, nerijetko

Tablica 1. Izvadak iz zapisnika određivanja gustoće vaganjem uzoraka iz test-područja »Slovenija plus okolni dio Hrvatske«

Vaganje uzoraka 18. 4. 1991.		Lokacija: GORSKI KOTAR				
B	L	broj uzorka	težina	volumen	gustoća	vrst stijene
45°26'10"	15°15'10"	15	1021	383	2670	sivi vapnenac
45°25'25"	15°13'00"	16	661	247	2680	žučkasti vapnenac
45°25'30"	15°11'45"	17	1085	406	2670	sivi vapnenac
45°25'15"	15°10'40"	18	690	258	2670	smeđi vapnenac
45°24'50"	15°09'50"	19	732	263	2780	dolomit
45°25'05"	15°08'40"	20	973	347	2800	dolomit
45°25'07"	15°08'00"	21	1117	414	2700	dolomit
45°25'10"	15°07'20"	22	1473	548	2690	sivi vapnenac
45°24'20"	15°06'45"	23	1018	388	2620	vapnenac
45°23'10"	15°06'20"	24	853	308	2770	dolomit
45°22'45"	15°06'00"	25	1142	411	2780	dolomit

i do oko 1 km. Dakako, to je ovisilo o konkretnoj geološkoj situaciji na mjestu, a prema ukazanoj potrebi uzimana su 2–3 uzorka (samo ponekad i više uzoraka) s istih mjesta topografske površine. Pritom smo imali na umu da je gotovo isti takav pristup nedavno primijenjen u Švicarskoj, čak za lokalna istraživanja (Bernauer i Geiger, 1986). Taj posao je u kratkom vremenu

obavila naša terenska ekipa u sastavu Šumanovac i Pribičević, a u laboratorijskim mjerenjima na oko dvije stotine uzoraka sudjelovao je još i rudarski tehničar Mladen Pejaković.

Usvojimo ove oznake za gustoće: $\rho(u)$ za pojedine uzorke, zatim $\rho(l)$ za konkretne (zbirne) lokacije, te $\rho(j)$ za čitave petrografske jedinice. Prihvaćena vrijednost gustoće $\rho(l)$ uvijek je izračunana kao obična aritmetička sredina pojedinačnih vrijednosti $\rho(u)$ svih uzoraka (proba) s po jedne (ili njoj sasvim bliske susjedne) lokacije, a samo u nekoliko slučajeva pojedinačne vrijednosti za $\rho(u)$ s iste lokacije bile su međusobno različite za oko $200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ili — da uporabimo još uvijek u praksi ustaljenu staru jedinicu — oko $0,2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. Na temelju toga proizlazi da se, uz omogućenu visoku preciznost laboratorijskih mjerenja i tako ostvarenu pouzdanost određenih $\rho(u)$ -vrijednosti za pojedine uzorke (probe) čak negdje oko $10\text{--}20 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, točnost svake utvrđene $\rho(l)$ -vrijednosti za konkretne lokacije — izražena na uobičajeni način s pomoću srednje kvadratne pogreške — redovito nalazi ispod postavljene granice od $m_{\rho(l)} \leq \pm 50 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Na taj način *postignuta točnost traženih $\rho(j)$ -vrijednosti za postojeće petrografske jedinice, na zahvaćenom području, ocjenjuje se da je sigurno unutar intervala $50 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \leq m_{\rho(j)} \leq 100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.*

Takva točnost je za ove svrhe sasvim zadovoljavajuća, pogotovo što su se konkretne $m_{\rho(j)}$ kretale najvećma oko $\pm 50 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, a samo u rijetkim slučajevima nalazile zaista blizu graničnih $100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Doduše, ista se optimistička tvrdnja ne bi baš mogla proširiti na zastupljenu učestalost i ukupan broj specijalno uzetih proba na terenu za tekući projekt, ali smo zato u ova istraživanja uspjeli ugraditi i neke već otprije postojeće podatke o gustoći površinskih materijala na promatranom test-području, te tako ipak popuniti raspoložive informacije (vidjeti još kraj poglavlja).

Sve što je rečeno u svezi s lociranjem uzoraka te ostalog praktički vrijedi i za cijeli teritorij Republike Slovenije, pa i tamo broj proba uzetih na terenu (uglavnom samo R. Stopar) nije za sada još nikako dosegno željeni kvantum, jer je — uz neke starije podatke iz više postojećih elaborata — uporabljeno tek oko 140 uzoraka s 48 lokacija. Prikupljeni su s površine, ali i iz 17 postojećih bušotina. Analize na novim uzorcima obavljene su s pomoću tzv. Metode živog srebra (Hg-metoda) u Geomehaničkom laboratoriju u Ljubljani prema JUS U.B1.016, 1968. Većina uzoraka mjerena je ipak u suhom stanju. Na ovom, po površini većem, dijelu promatranog test-područja izabrane su pretežito kompaktne stijene, jer se za sipke i rastresite primjenjuju druge metode. Srednja pogreška pri određivanju gustoće za sve uzorke $m(u)$ iznosi približno $\pm 20 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (ili $\pm 0,02 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$).

Znači, i za de facto ostvarene točnosti u određivanju vrijednosti za $\rho(u)$ te $\rho(l)$, kao i proizišle pouzdanosti za $\rho(j)$ na slovenskom teritoriju očividno vrijede podjednake procjene kako su navedene za uključeni dio hrvatskog teritorija u aktualnom test-području. S tim u vezi valja posebno istaknuti da će, s obzirom na izrazitu složenost geološke građe u Sloveniji, naročito u njezinoj gotovo čitavoj sjevernoj polovici, trebati u idućim fazama osigurati jaču ekipu istraživača i veća financijska sredstva; to će se na kraju pokazati veoma dobrim ulaganjem s obzirom na očekivane rezultate i njihove moguće, ne samo regionalne, nego i lokalne primjene (»Bouguer stripped map« i dr.).

Na kraju ovog poglavlja treba još nešto istaknuti u vezi s ocjenjivanjem kvalitete i pouzdanosti postignutih rezultata u ovom regionalnom istraživa-

nju. Naime, uslijed ograničenog vremena od nepunih godinu dana i zaista vrlo skromnih sredstava na sadašnjem matičnom projektu (prof. dr. K. Colića), ali i zbog teške ratne situacije na jednom dijelu obrađivanog terena, objektivno se nije mogao ostvariti sasvim dobro raspoređen i dostatno velik broj uzoraka (proba) za određivanje vrijednosti gustoće svih obuhvaćenih površinskih masa Zemljine kore. Stoga su u tu svrhu — pogotovo što se radi o »nultoj fazi« istraživanja — *dobro poslužili neki raniji domaći izvori!* Tu se prije svega misli na opsežnu analizu gustoće na uzorcima sa šireg područja Alpa, Dinarida i Panonskog bazena koja je sadržana u »Tumaču za gravimetrijsku kartu SFRJ« (Bilibajkić i dr., 1979). Ali, koristili smo i neke dostupne elaborate (premda namijenjene drugim svrhama u geofizičkoj prospekiji), u kojima se također nalaze poneke informacije i konkretni podaci o određivanju gustoće (pri)površinskog materijala različitih litoloških značajki na brojnim lokacijama unutar promatranog test-područja.

Uza sve to, kao dobra kontrola — osobito u smislu eliminiranja eventualnih sustavnih pogrešaka! — poslužio je već prije uspostavljeni DMG za susjednu Austriju, s nešto manjim mrežnim poljima od $1,5' \times 2,5'$ (Walach, 1987), i s neophodnim protezanjem na dijelove susjednih zemalja, pa tako i na sjeverni segment našeg test-područja. Uočena je sasvim dobra podudarnost naših i njihovih ρ -vrijednosti za istovrsne stijene, osim u relativno malom području Prekomurja, gdje su naši podaci jamačno puno podrobniji od onih kojima su raspolagali austrijski kolege. Općenito je stupanj razlučivanja u našim ρ -podacima osjetno veći, odnosno generalizacija znatno manja nego u Austriji, pa bi naš početni DMG morao još bolje zadovoljiti primarne potrebe fizikalne geodezije, ali i poslužiti kao polazište za buduće još kvalitetnije digitalne modele gustoće masa Zemljine kore u promatranom test-području, pa i šire od toga.

3. UTVRĐIVANJA POSTOJEĆIH »ZONA GUSTOĆE«

Operacija utvrđivanja zona gustoće uključuje, ne samo definiranje površinskih granica pojedinih zona, nego i usporedno određivanje pripadne vrijednosti gustoće za svaku od tih zona.

Kao polazna osnovica — uz prethodno predočeno laboratorijsko određivanje stvarne gustoće uzoraka — odlično je poslužila »inženjersko-geološka karta Jugoslavije«, uz neophodnu konzultaciju »geološke karte Jugoslavije«, obje u merilu 1:500 000. Prema ukazanoj potrebi u detaljima za pojedina područja korišteni su i raspoloživi listovi »osnovne geološke karte 1:100 000«. Uza sve te karte rabljeni su, dakako, i njihovi tumači. Kao dodatno pomagalo pri ostvarivanju postupaka dopustive generalizacije uzeli smo kao orijentaciju u obzir i pregledne geološke karte Republike Hrvatske (Velić I. i Velić J., 1983, 1991), te donekle (Dragaš i dr., 1990), a imali smo na raspolaganju i pregledne geološke karte Republike Slovenije i susjedne Republike Austrije.

U postupku zoniranja najprije smo na osnovi prikupljenih geoloških karata na pausu iscrtali kartu postojećih petroloških jedinica s utvrđenim $\rho(j)$, čak i onih jedinica sasvim maloga, gotovo lokalnog protezanja. To je učinjeno zato što se već unaprijed znalo da će za sada dimenzije najmanjih površinskih elemenata u digitalnom modelu gustoće za promatrano test-područje

iznositi $2,5' \times 2,5'$ — što odgovara otprilike površini $4,67 \text{ km} \times 3,10 \text{ km} \approx 14,5 \text{ km}^2$ — ali i da je poželjno da se u budućnosti prijeđe na četiri puta manje elemente dimenzija $1,25' \times 1,25'$, pa kasnije možda čak i na elemente $500 \text{ m} \times 500 \text{ m}$ (o čemu će biti više riječi drugom prigodom).

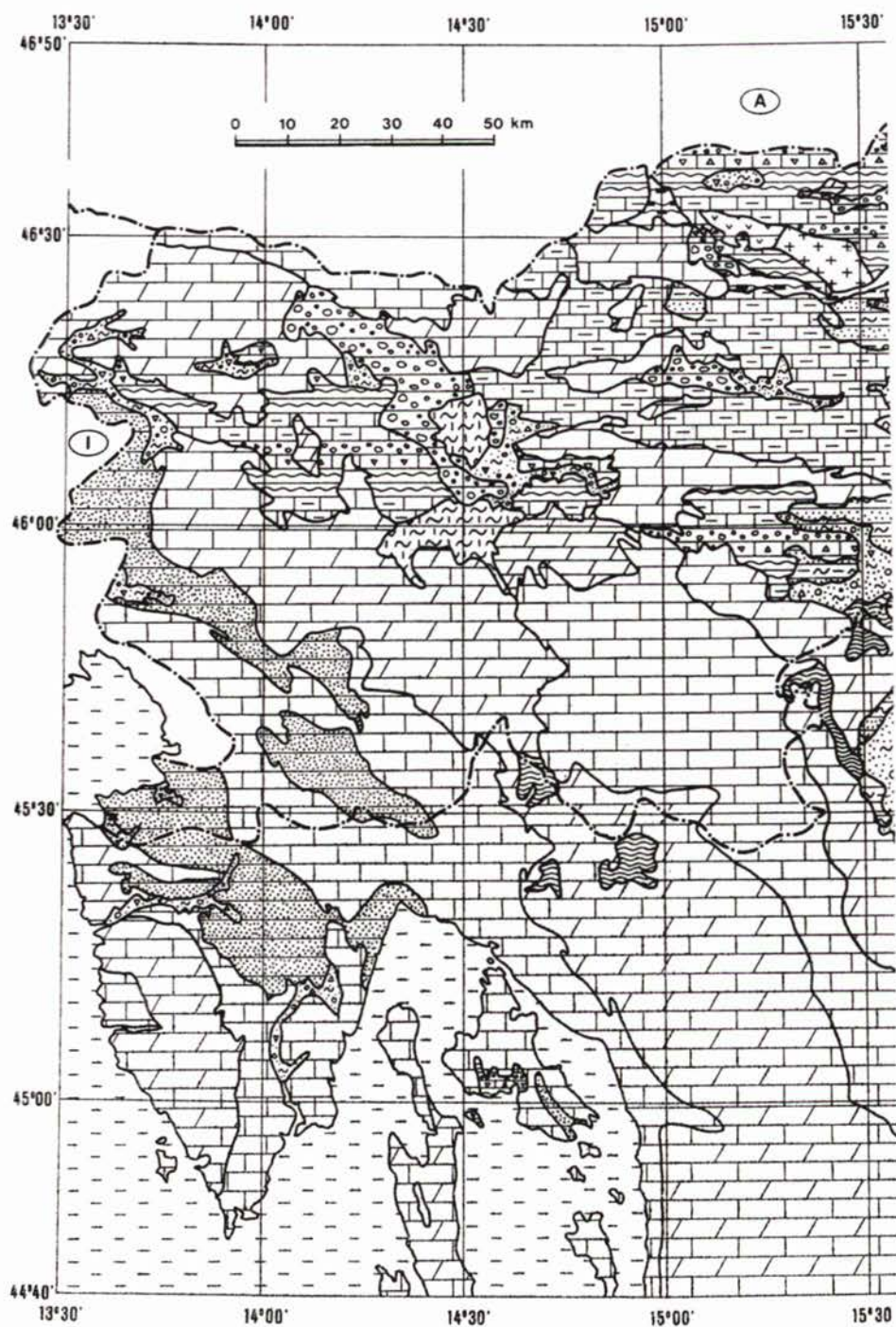
Međutim, činjenica je da su iskazane geološke granice na karti različitog stupnja pouzdanosti — utvrđene, pokrivene, pretpostavljene ili nesigurno locirane, te da su neke od stijena ne samo male rasprostranjenosti, nego često i vrlo tanke. Stoga se čini opravdanim ustanoviti mali stupanj generalizacije u početnom »nultom« 2D-DMG za naše test-područje, već i zbog njegove moguće jednostavnosti i bolje preglednosti. Pritom je trebalo postupiti oprezno i poduzeti samo ona pojednostavnjenja koja ne mijenjaju bitno sliku postojećega površinskog rasporeda gustoće masa u promatranom području. Na taj način smo se ipak donekle približili postojećim pojednostavnjenjima u DMG $1,5' \times 2,5'$ za susjednu Austriju (Granser i dr., 1983), (Steinhauser i dr., 1983), (Walach, 1986, 1987), premda je u nas ostao i dalje postojati znatan dio površinski relativno malih zona gustoće.

Slika 1. je nastala smanjenjem originala karte zona gustoće za test-područje »Slovenija plus okolni dio Hrvatske« u mjerilu 1:1,000,000 na listu formata A3. Da bi se mogla napraviti ovakva karta, bilo je potrebno prethodno razvrstati stijene, s obzirom na njihove gustoće, u odgovarajuće »razrede gustoće« (ili: klase). Radi preglednosti napravljena je tablica gustoće za cijelo naše »test-područje«, počev opet iz zahvaćenog dijela Republike Hrvatske. Iz tablice se može uočiti ukupno 12 osnovnih razreda, plus Jadransko more, pri čemu su srednje gustoće pojedinih vrsti stijena zaokružene na 50 odnosno $100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, a temelje se na rezultatima izloženim u prethodnim poglavljima.

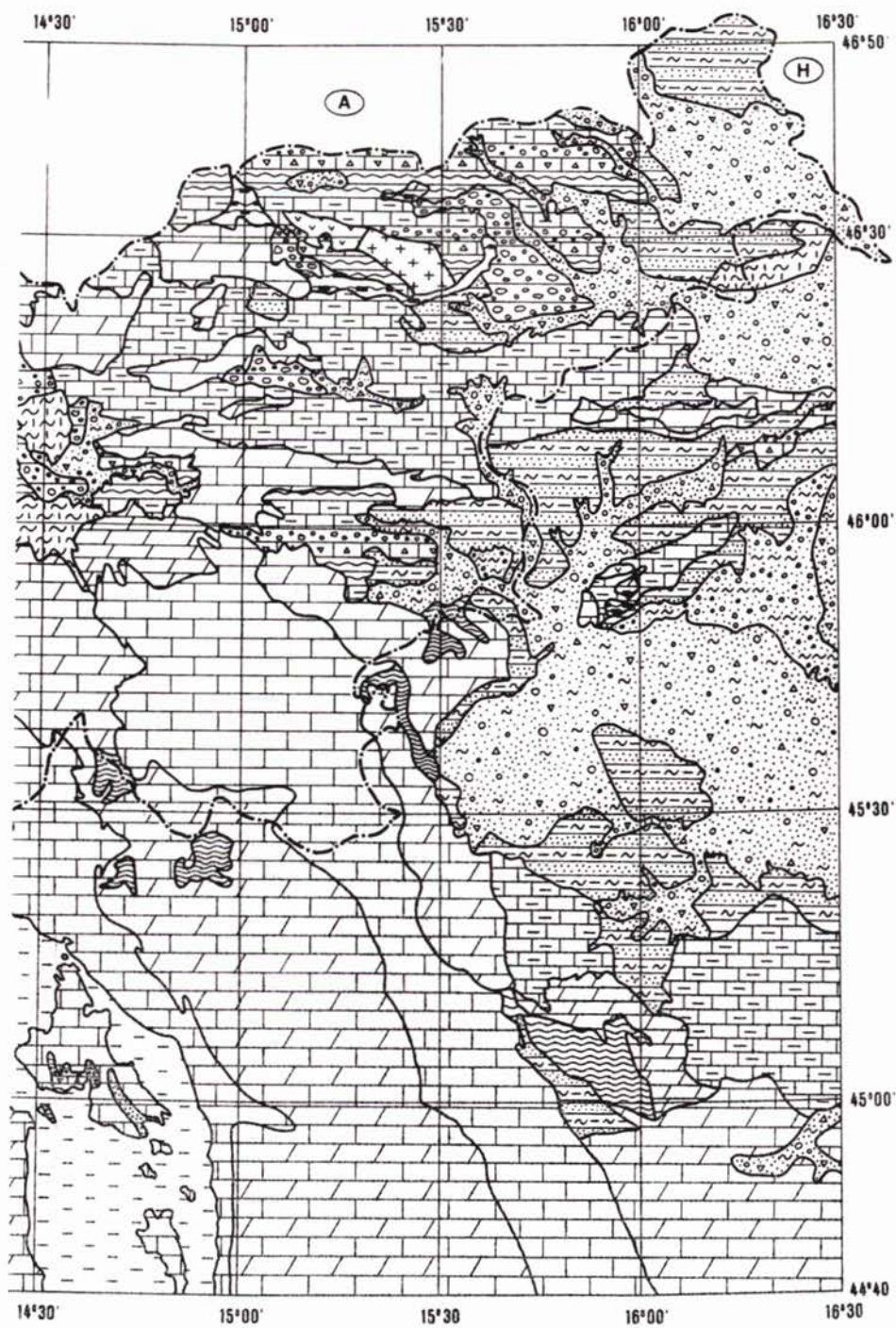
Kao što je poznato, gustoća stijena prvenstveno ovisi o petrološkom (litološkom) tipu stijene, a zatim i o njenoj starosti. S tog razloga i ovdje se prvenstveno vodilo računa o vrsti stijene, a kao dodatni kriterij uzimana je u obzir i starost stijena (tzv. kronostratigrafski kriterij). Što se tiče karbonatnih sedimenata (uglavnom vapnenci i dolomiti), može se reći da se njihove utvrđene srednje gustoće mogu uzeti s dostatnom dozom sigurnosti, a oni prekrivaju veliki dio promatranog područja! Jedini problem su naslage u kojima se vapnenci i dolomiti nalaze izmiješani, budući da je teško odrediti njihove volumetrijske odnose, pa je pretpostavljeno da su u manje-više jednakim količinama.

S druge strane, znatno je teže odrediti srednje gustoće klasičnih naslaga, osobito miješanih članova kao što je fliš. Gustoća može znatno varirati budući da se i poroznost tih stijena mijenja ovisno o konkretnim geološkim uvjetima na nekom terenu. Flišne naslage zbog litološke heterogenosti predstavljaju veliku teškoću za precizno određivanje srednjih gustoća, jer je u njima zaista teško odrediti volumetrijske odnose sastavnih članova.

Ipak, mišljenja smo da pripadni odnosi u tablici 2. dosta dobro odgovaraju većini slučajeva na zahvaćenom području. U narednim preciznijim istraživanjima posebnu pažnju valja posvetiti navedenim neriješenim pitanjima, a i nekim drugim stijenama ograničene rasprostranjenosti, koje će se sigurno morati uzeti u obzir pri detaljnijim raščlambama. U tom kontekstu treba uključiti u razmatranje i eruptivne i neke metamorfne stijene, te miješani vulkanogeno-sedimentni kompleks, pa makar njihova pojava bila doista rijetka i vrlo malih površinskih protezanja na čitavom test-području.














Slika 1. Zone gustoće u test-području »Slovenija plus okolni dio Hrvatske«



Načelno, razlika između susjednih razreda je $50 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, a samo između 2. i 3., 4. i 5. te 6. i 7. razreda je veća i iznosi 100, odnosno $200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Gustoća raste od nevezanih, krupnoklastičnih taložina, da bi najveće vrijednosti karakterizirale stanovite vrste magmatita i metamorfita. Prigodom određivanja gustoće petrografskih (kartografskih) jedinica jednostavnoga sastava, dvoumljenja nije bilo. No, ona su se pojavila u primjerima kompleksnih sastava, osobito onda kada se radilo o naslagama u kojih se izmjenjuju leće, proslojci i slojevi različitih značajki — napose granulometrijskih, te nejednake zastupljenosti pojedinih minerala. Do izražaja je došao i stupanj konsolidacije, tj. postignuta faza dijageneze. U tom je smislu indikativan fliš, koji se pojavljuje u čak tri razreda. Načinjena je razlika na osnovi geološke

Tablica 2. Usvojenih trinaest razreda gustoće u test-području »Slovenija plus okolni dio Hrvatske (u jedinicama $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

Razred	Raster:	Gustoća	Litološke karakteristike
1		1000	Jadransko more
2		2000	Pjeskoviti šljunci Drobine, šljunci, pjesci Pjesci i gline
3		2100	Pjesci, šljunci i gline (pliocen)
4		2150	Praporne prašinate gline (pliocen)
5		2350	Pješčenjaci i laporne gline
6		2400	Konglomerati i šljunci
7		2500	Fliški kompleks paleogena (pješčenjaci)
8		2550	Paleozojski glineni škriljavci i pješčenjaci Fliški kompleks mezozojka (pješč., vod.lapori)
9		2600	Konglomerati, Vapneni lapori i škriljave tvrde gline, Flišoliki kompleks mezozojka, Vapnenjačke breče, škriljave tvrde gline, Tufovi i tufiti, vulkanske breče (tercijar) Dijabazi, Glineni škriljavci
10		2650	Mezozojski vapnenci Graniti, Granodioriti paleozojski, tonalit
11		2750	Mezozojski dolomiti Zeleni škriljavci
12		2700	Mezozojski vapnenci i dolomiti
13		2800	Daciti i andeziti Gnajs, porfir, porfirit, keratofir

starosti te prema dominantnom litološkom članu. Konkretno, razdvojeni su paleogenski od mezozoičkih fliševa, a flišni, odnosno flišoliki kompleks mezozojka uvršten je u dva razreda, sukladno prevazi pješčenjaka ili vapnenačkoga lapora.

Na obuhvaćenom dijelu Hrvatske izdvojeni razredi prema gustoći stijena u početnoj »nultoj« fazi DMG primjerno zadovoljavaju i za područje Slovenije. No, za pojedine je litološke članove poznato da im gustoća varira, primjerice kod permokarbonskih klastičnih taložina. Analizom uzoraka tih stijena iz okolice Ljubljane dobiven je podatak od $2700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Međutim, to su bili uzorci prikupljeni na dubinama od 50 do 1700 m bušenjem, a u takvim slučajevima su vrijednosti jednakih stijena na površini terena jamačno nešto niže.

Zbog svega toga može se ustvrditi da tablica 2. zadovoljava i vrijedi za cijelo promatrano »test-područje«.

4. USPOSTAVLJANJE DVODIMENZIONALNOG DMG POVRŠINSKIH MASA

4.1. DMG $2,5' \times 2,5'$ za test-područje veličine $44^{\circ}40' \leq B \leq 46^{\circ}40'$ i $13^{\circ}30' \leq L \leq 16^{\circ}30'$

S već prikazanim dijelom istraživanja učinjen je važan korak u svrhu pretvorbe raspoloživih podataka o gustoći površinskih i pripovršinskih masa — koje dopiru do nekih zasad nepoznatih, ali sigurno u dobroj većini slučajeva relativno malih dubina (ponekad manjih i od nadmorskih visina reljefa, što znači da tada ne sežu niti sasvim do plohe geoida!) — u oblik pogodan za daljnje kompjutorsko računanje. Međutim, time je ostvarena još uvijek samo grafička predodžba plošnog rasporeda gustoće, koju je trebalo pretvoriti u željeni digitalni model.

U tom smislu najprije je utvrđena mrežna podjela (raster) kojom se obuhvaćene mase Zemljine kore dijele u pravilne uspravne elemente. Kao što je u uvodu napomenuto, prihvaćen je bazični raster s elementima $2,5' \times 2,5'$, koji je temeljni i u već uspostavljenim digitalnim modelima reljefa (DMR) za promatrano područje (Bašić i dr., 1982), (Capek i dr., 1980).

U mjerilu napravljene »pročišćene« — malo generalizirane — karte zona gustoće 1:500.000 nacrtana je na prozirnoj foliji usvojena mrežna podjela $2,5' \times 2,5'$. Ona je položena i točno uklopljena u okvire navedene karte gustoće (prikazane u ovom članku umanjeno na slici 1.). Potom je obavljena digitalizacija tako da je svaki element rastera — pojedinačne površine Δf_{ij} , označene posebno na slici 1. u njenom mjerilu — dobio svoju numeričku vrijednost za srednju gustoću $\bar{\rho}_{ij}$. Dakako, velika veličina elemenata pala je površinski u po jednu zonu gustoće, ali bilo je i takvih elemenata koji su se upravo našli na spoju dviju ili više zona. Ako neki element ne leži unutar samo jedne zone gustoće, tada je pripadna $\bar{\rho}_{ij}$ -vrijednost utvrđena kao opća aritmetička sredina iz zastupljenih gustoća, razmjerno njihovoj površini u dotičnom elementu.

Tako određene $\bar{\rho}_{ij}$ -vrijednosti upisivane su u priručni zapisnik, da bi potom bile unijete u memoriju kompjutora, odnosno definitivno pohranjene na disketu. Na taj način formirana je datoteka DMG $2,5' \times 2,5'$ za test-područje »Slovenija plus okolni dio Hrvatske«. Riječ je o sekvencijalnoj datoteci, jer je cijelo test-područje podijeljeno u blokove $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, pri čemu je svaki takav blok posebna datoteka. Blok se sastoji od 24 reda i 24 stupca, a radi lakšeg i djelotvornijeg organiziranja zapisa u ovakvoj datoteci, blokovi su podijeljeni na podblokove dimenzija $10' \times 10'$ odnosno u 4×4 elementa,

tako da po jedan podblok stane u svaki redak zapisa. Podblokovi se unutar bloka nadovezuju u pravcu zapad—istok, a na isti način nižu se i elementi unutar podbloka. U imenu pojedine datoteke, npr. RASTER $2,5 \times 2,5$; $B=46$, $L=14$, stoje dimenzije rasterskog polja i koordinate njezina sjeverozapadnog vrha.

Prvi zapis (podblok) u datoteci navedenog bloka, uzetog ovdje kao primjer, izgleda ovako:

— 14600114001, $\rho_{1,1}$, $\rho_{1,2}$, , $\rho_{4,8}$, $\rho_{4,4}$

U prvom dijelu zapisa je: »1« (1. i 2. znamenka) — oznaka rastera, »46« (3. i 4. znamenka) — geografska širina sjeverozapadnog vrha bloka, »0« (5. i 10. znamenka) — znamenke za odvajanje, »01« (6. i 7. znamenka) — broj retka u bloku u kojemu se nalazi početni element podbloka, »14« (8. i 9. znamenka) — geografska duljina sjeverozapadnog vrha bloka, »01« (11. i 12. znamenka) — broj stupca u bloku u kojemu se nalazi početni element podbloka. U drugom dijelu zapisa nalazi se 16 vrijednosti gustoće (ρ_{ij}), u jedinicama $100 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

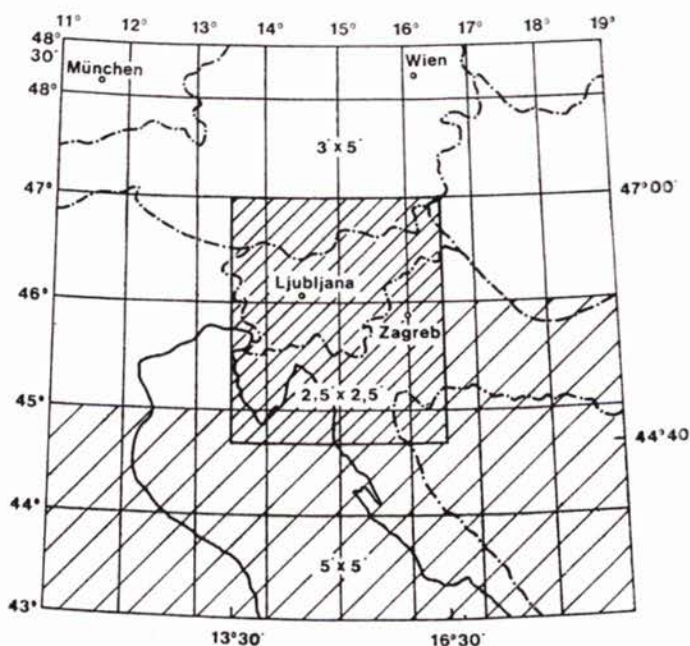
Valja konačno napomenuti da je ovakva organizacija datoteke korištena i u DMG Austrije, kako smo se uvjerali na temelju zapisa na disketi koju nam je ljubazno stavio na raspolaganje doc. dr. Georg Walach (Montanuniversität, Leoben).

4.2. DMG $3' \times 5'$ i $5' \times 5'$ za »vanjski sektor« velikih dimenzija $43^{\circ}00' \leq B \leq 48^{\circ}30'$ i $11^{\circ}00' \leq L \leq 19^{\circ}00'$

Radi izvođenja predviđenih računanja plohe geoida i ostalih karakterističnih veličina polja sile teže uz korištenje tzv. topo-izostatiskih redukcija polaznih otklona vertikalne (i eventualno anomalije sile teže), potrebno je digitalnim modelima gustoće (dakako, i digitalnim modelima reljefa) zahvatiti mnogo veću površinu od one koju obuhvaća test-područje »Slovenija plus okolni dio Hrvatske«, koje nosi naziv: »unutarnji sektor«. Austrijske kolege su u tom smislu napravile dodatni DMG s rasterom $3' \times 5'$, nadovezujući se tako na svoj temeljni raster $1,5' \times 2,5'$. Kako je naš temeljni raster $2,5' \times 2,5'$, odlučili smo da raster za širi »vanjski sektor« u nas bude $5' \times 5'$, s time da on također pokriva i unutarnje područje, tj., sve u svemu, čitavo područje računanja.

Naše test-područje uključuje teritorij po geografskoj (geodetskoj) širini između $44^{\circ}40' \leq B \leq 47^{\circ}00'$, a po geodetskoj duljini $13^{\circ}30' \leq L \leq 16^{\circ}30'$. Pozivajući se na uobičajeno protezanje pri računanju topo-izostatiskih otklona vertikalne, odlučili smo to promatrano područje za sada proširiti još uokolo za otprilike 180 km. Uvažavajući pritom princip okruglih vrijednosti, došli smo na dimenzije vanjskog područja od $43^{\circ}00' \leq B \leq 48^{\circ}30'$, $11^{\circ}00' \leq L \leq 19^{\circ}00'$ (slika 2.).

Odmah se može uočiti da vanjski sektor ima zasad dva rastera: $3' \times 5'$ i $5' \times 5'$. Razlog je tomu što je njegov gornji dio preuzet iz postojećega grubog DMG s rasterom $3' \times 5'$ (Walach, 1987), koji je uspostavljen za određivanje austrijskoga geoida, dok je njegov južni dio, s još nešto grubljim rasterom $5' \times 5'$, nastao u sklopu naših radova na ovom istraživačkom projektu. Dakako, lako se može prijeći od $\bar{\rho}$ -vrijednosti u rasteru $3' \times 5'$ na pripadne



Slika 2. Vanjski i unutarnji sektor digitalnog modela gustoće (DMG) za test-područje »Slovenija i okolni dio Hrvatske«

vrijednosti za naš raster $5' \times 5'$, i to s pomoću formule za opću aritmetičku sredinu, pri čemu se za »težine« uzimaju zahvaćeni dijelovi površine elemenata $3' \times 5'$ u pojedinom elementu $5' \times 5'$. Ipak, da se ne bi odmah izgubio dio informacija koje donosi nešto sitniji raster austrijskih kolega, to jednostavno kompjutorsko preračunavanje nije obavezno, nego je ostavljeno da se prema potrebi naknadno učini.

Uspostavljanjem DMG u rasteru $5' \times 5'$ učinjeno je, jer se radi o udaljenim masama s obzirom na točke računanja u test-području, s manje detaljnom podjelom u zone gustoće u odnosu na usvojene zone gustoće za bliže mase u rasteru $2,5' \times 2,5'$. Umjesto 12 razreda, zapravo s Jadranskim morem i 13 razreda, u »unutarnjem sektoru« (s protezanjem identičnim našem test-području), za vanjski sektor usvojili smo samo 5 razreda gustoće. Na taj način ostvarili smo nesmetanu vezu s austrijskim DMG $3' \times 5'$ (Walach, 1987), a s druge smo strane doista osigurali da tipične petrografske (litološke) grupacije nađu zadovoljavajući odraz u novooblikovanom DMG $5' \times 5'$. Naime, tim reduciranim brojem razreda (klasa) gustoće obuhvaćeni su:

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1000 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ | — Jadransko more, |
| 2000 (1900—2100) | — kvartarni i mlađi tercijarni (nekonsolidirani) sedimenti |
| 2200 (2100—2300) | — tercijarni sedimenti općenito, |
| 2450 (2300—2600) | — stariji tercijarni i mezozoički (konsolidirani) sedimenti, |
| 2700 (2600—2850) | — metamorfiti i magmatiti. |

Rastavljanje u zone gustoće prema ovoj podjeli u razrede obavila je u kratkom vremenu J. Velić uz sudjelovanje I. Velića, kojemu se srdačno zahvaljujemo na suradnji. Dobra okolnost je bila da su se pritom mogle rabiti geološke karte sve u mjerilu 1 : 500.000, kako za područje republika bivše Jugoslavije, tako i za susjedne nam zemlje, za razliku od kolega u Austriji, koji su morali koristiti geološke karte čak i u mjerilu 1 : 2.000.000 (usporedi: Walach, 1987).

Proces digitalizacije načinjenih podloga također nije zahtijevao puno posla, pa je dosta brzo stvorena na opisani način i datoteka DMG u rasteru $5' \times 5'$.

Na taj bi se način uspostavljanje početnog (»nultog«) 2D-digitalnog modela gustoće (DMG) s rasterima $2,5' \times 2,5'$ i $5' \times 5'$ za test-područje moglo smatrati završenim.

4.3 DMG $2,5' \times 2,5'$ povećanog razlučivanja

Ipak, vrijedilo je pokušati, uz prednji DMG za promatrano unutarnje područje, tj. cijelo test-područje »Slovenija plus okolni dio Hrvatske«, načiniti i jedan puno detaljniji, ali također 2D-model i u istom rasteru $2,5' \times 2,5'$. Njega smo dobili tako da smo još prije skromne generalizacije polazne karte gustoće i prijelaza na osnovne, šire zone gustoće u samom test-području proveli već unaprijed postupak digitalizacije, na jednak način kako je pokazano u poglavlju 3.4. Naime, u tom trenutku na karti gustoće nalazile su se još uvijek i površinski dosta male zone gustoće, kao što su kiseli i neutralni eruptivi, te bazični i ultrabazni eruptivi, ali i piroklastični sedimenti i klastični nevezani sedimenti kvartara.

Te su male zone gustoće onda uvažene u postupku digitalizacije u elemente $2,5' \times 2,5'$, premda se mislilo odmah ići čak na četiri puta manje elemente $1,25' \times 1,25'$, ali će se to naknadno učiniti. Tako smo postigli još bolju polaznu osnovicu za buduće faze istraživanja građe Zemljine kore u promatranom području od one što je daje djelomično generalizirana karta, prikazana smanjeno na slici 1.

Uskoro namjeravamo izraditi, u prikladnom mjerilu 1 : 1.000.000 (format A3), i tu detaljniju kartu gustoće (pri)površinskih masa Zemljine kore za obuhvaćeno test-područje (čije su ukupne dimenzije okruglo $2^\circ \times 3^\circ$), te je staviti zainteresiranim geoznanstvenicima u nas na raspolaganje. Uostalom, digitalni oblik modela gustoće zaista je neizbježan za kompjutorska računanja, ali je analogni prikaz još uvijek većini korisnika bliži, a i zorniji je od bilo kakvog ispisa pripadne datoteke.

5. ZAVRŠNE TVRDNJE

a) Vjerujemo da će predočena početna (»nulta«) faza uspostavljanja digitalnog modela gustoće (pri)površinskih masa Zemljine kore u test-području »Slovenija plus okolni dio Hrvatske«, zahvaljujući postignutim rezultatima, moći poslužiti ne samo kao izazov nego i kao polazište za iduće produbljene faze istih istraživanja, protegnutih na čitav hrvatski teritorij, odnosno, prema iskazanoj potrebi, i puno šire. U idućim fazama će — uz njihovu istaknutu prostornu (dubinsku) usmjerenost — više mjesta zasluženo dobiti pitanja

lokalnih značajki u strukturi Zemljine kore. Dakako, u tim radovima geodetski će stručnjaci imati malu ulogu, no ostaje činjenica da su *prvo uspostavljanje digitalnog modela gustoće masa Zemljine kore i u nas potaknuti upravo geodeti!*

Svakako će u idućim fazama istraživanja građe Zemljine kore u promatranom test-području trebati ponajprije uključiti Zemljinoj površini najbliže granične plohe između stijena različitih osnovnih značajki, napose s postojećim kontrastima gustoće. Zatim će trebati uzeti u obzir i sve ostale elemente, koji će omogućiti postupni prijelaz od 2D-digitalnog modela gustoće k željenom 3D-DMG. Dakako, to vrijedi i za očekivano proširenje od sadašnjeg test-područja na čitavo područje Republike Hrvatske i (djelomično) Republike Bosne i Hercegovine.

b) *Što se tiče istraživanja polja sile teže na istom području, vjerojatno će većinu sada predvidljivih potreba moći zadovoljiti već »kvazitridomenzionalni« digitalni model masa Zemljine kore.* On će sadržavati — uz odgovarajuće digitalne modele reljefa (DMR), jer se njima definira Zemljina fizička površina kao gornja, vanjska granica Zemljine kore, kao i uz upravo uspostavljeni 2D-model gustoće (pri)površinskih masa — još i digitalne modele baze sedimenata, zatim, po mogućnosti, makar grubo definirane granice između granitnog i bazalnog dijela Zemljine kore i na kraju digitalni model Mohorovičićevog diskontinuiteta, kao donje granice Zemljine kore naspram Zemljinog plašta, dakako sve to s pripadnim kontrastima gustoće $\Delta\rho$.

Za uspostavljanje takvog »kvazi 3D«-modela gustoće na apostrofiranom, pa i širem, području *zadovoljene su već određene osnovne pretpostavke.* Štoviše, u znanstvenom projektu »Gravitacijsko polje u geodeziji, geofizici i geodinamici« postoje potrebni digitalni modeli reljefa različite detaljnosti, zatim digitalni model baze sedimenata u zadovoljavajućoj krupnijoj mrežnoj podjeli od $\delta B=10'$ i $\delta L=15'$, te u istom rasteru $10' \times 15'$, uz digitalne modele za nekoliko predodžbi Mohorovičićevog diskontinuiteta naših geofizičara, još i digitalni modeli »geodetskih« rješenja za tu graničnu plohu vlastitog istraživačkog tima (npr. Čolić i dr., 1989).

c) Nedvojbeno je da se jedino korištenjem kombinacije dobrih digitalnih modela reljefa s neizbježnim geofizičkim podacima i geološkim informacijama može — umjesto uspostavljanja guste mreže geoidnih točaka s određenim astro-geodetskim otklonima vertikalne i još mnogo gušće mreže gravimetrijskih točaka — udovoljiti sve većim zahtjevima na točnost i detaljnost određivanja parametara Zemljinog polja sile teže. Ona su uvjetovana ne samo sve preciznijim klasičnim terestričkim mjerenjima i stoga potrebom za što točnijim njihovim redukcijama iz fizikalne stvarnosti u geometrijski model za daljnju numeričku obradu, nego još više s budućom širokom primjenom modernih i djelotvornih GPS-mjerenja i dr. (Čolić i dr., 1990).

Uostalom i danas već ustaljeni »remove-restore« postupak u računanju karakterističnih veličina Zemljinog polja sile teže u tri koraka: 1. uklanjanje topografsko-izostatskih masa i efekata iz izmjerenih komponenata otklona vertikalne (»glačanje«), 2. primjena metode kolokacije po najmanjim kvadratima za predikciju uglačanih vrijednosti za geoidne undulacije, otklone vertikalne i anomalije sile teže u odabranoj pravilnoj mreži točaka, 3. vraćanje topografsko-izostatskih masa i računanje »posrednih« učinaka za sve para-

metre Zemljinog polja sile teže, zahtijeva spomenute kombinacije DMR i DMG. Premda Gertsbach (1990) uvodi već pojam »astrogeološki geoid«, budućnost će pokazati je li moguće određivanje zaista »cm-geoida«, ali je put do njega nezamisliv bez dobrih geološko-geofizičkih informacija. To je nedvojbena dokaz da je geodezija ne samo jedna od inženjersko-tehničkih disciplina, nego i važna karika u širokoj sferi geoznanosti.

LITERATURA

- Bašić, T., Čolić, K., Capek, B., Krnic, M. (1982): Metodologija tvorbe »temeljnih« digitalnih modela reljefa za potrebe fizikalne geodezije. Geodetski list, 4–6, 111–121, Zagreb.
- Bernauer, I., Geiger, A. (1986): Lokale Schwerefeldbestimmung und gravimetrische Modellrechnungen im Satelliten (GPS)-Testnetz »Turtmann« (Wallis). Geodetisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, 38. Band. Schweizerische Geodetische Kommission (SGK), Zürich, 1982.
- Bilibajkić, P., Mladenović, M., Mujagić, S., Rimac, I. (1979): Tumač za gravimetrijsku kartu SFRJ. Beograd.
- Bürki, B. (1989): Integrale Schwerefeldbestimmung in der Ivrea-Zone und deren geophysikalische Interpretation. Geodätischgeophysikalische Arbeiten in der Schweiz, 40. Band, SGK, Zürich.
- Capek, B., Čolić, K., Konsuo, P., Bašić, T. (1980): Formiranje datoteka »temeljnih modela reljefa (TDMR). Geodetski list, 10–12, 216–224, Zagreb.
- Čolić, K., Pribičević, B., Ratkajec, M. (1990): Projekt nastavljanja astro-geodetskih radova u Republici Sloveniji od 1991. na dalje. Republiška geodetska uprava Slovenije, 1–19, Zagreb–Ljubljana.
- Čolić, K., Vučetić, N., Petrović, S. (1989): The geoid and the Mohorovičić discontinuity. Akademie der Wissenschaften der DDR, Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde, Nr. 102, Teil II, 168–179, Potsdam.
- Dragaš, M., Jagačić, T., Britvić, V., Škansi, R., Periša, R., (1990): Geološka karta Hrvatske 1:2.000.000. INA-Naftaplin i Hrvatsko geološko društvo, Zagreb.
- Elminger, A. (1973): Einfluss von Lotabweichungen und Geoidhöhen auf die Absteckung des Gothard-Strassentunnels. Zeitschrift für Vermessung, Photogrammetrie und Kulturtechnik, Nr. 4, 119–131.
- Gerstbach, G. (1990): Ein Weg zum Zentimeter-Geoid in Österreich. -Wie GPS und »Astro-geologisches Geoid« das Nivellement ersetzen können. Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie, I, 14–38, Wien.
- Grafarend, E. (1987): Der Einfluss der Lotrichtung auf lokale geodätische Netze. Zeitschrift für Vermessungswesen, 413–424.
- Granser, H., Hösch, K., Steinhäuser, P., Zych, D. (1983): Über das Dichtemodell in Österreich. Das Geoid in Österreich, 159–182, Graz.
- Jung, K. (1961): Schwerekraftverfahren in der angewandten Geophysik. Akademie Verlagsgesellschaft Goest & Portig KG, Leipzig.
- JUS U. Bl. 016 (1968): Jugoslavenski standard sa obaveznom primjenom od 1. 7. 1967. Geomehanička ispitivanja, JUS U. Bl. 016; službeni list SFRJ br. 1/1968. Jugoslavenski zavod za standard.
- Ljubimov, G. A., Ljubimov, A. A. (1988): Metodika gravimagnitnyh issledovanij s ispolzovaniem EVM. »Nedra«, Moskva 1988.
- Meissner, R., Stegena, L. (1977): Praxis der seismischen Feldmessung und Auswertung. Borntraeger.
- ÖKIE (1983): Das Geoid in Österreich. Geodätische Arbeiten Österreichs für die Internationale Erdmessung, Neue Folge, Band III, Graz.
- Steinhäuser, P., Ruess, D., Zych, D., Haitzmann, H., Walach, G. (1983): The geoid in Austria: Digital models of mean topographic heights and rock densities. Proceedings of the International Association of Geodesy (IAG) symposia, Vol. I, symposium c »Improved gravity field estimations on a global basis«, 322–338, OSU, Columbus.

- SGPK (1984—...): Dichteprovinzkarte der Schweizerischen Geophysikalischen Kommission, Zürich 1984., (nemamo informaciju da je objavljeno)
- Sünkel, H. (Ed., 1987): The gravity field in Austria. Geodätische Arbeiten Österreichs für die Internationale Erdmessung, Neue Folge, Band IV, Graz.
- Sünkel, H., Hofmann-Wellenhof, B., Kreiger, G., Küntreiber, N. (1988): Höhenmodell, Dichtemodell, Schwerefeld und ortometrische Höhen am Beispiel Österreichs. Tagungsbericht über das 4. Internationale Alpengravimetrie — Kolloquium, Wien 1986. Berichte über den Tiefbau der Ostalpen, Heft 13, 171–175. Wien.
- Šumanovac, F., Zagorac, Ž., Lukačević, M. (1991): Kvantitativna gravimetrijska interpretacija područja Ptujskog polja. Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Vol. 3, 15–22, Zagreb.
- Velić, I., Velić, J. (1983): Petrografska karta SFR Jugoslavije. Šumarska enciklopedija, knjiga 2, Jugoslavenski leksikografski zavod, Zagreb.
- Velić, I., Velić, J. (1991): Geološka karta Jugoslavije. Enciklopedija Jugoslavije (lat.), knjiga 6, Jugoslavenski leksikografski zavod »Miroslav Krleža«, Zagreb.
- Walach, G. (1986): Digitale Dichtemodelle und andere gesteinsphysikalische Daten in Österreich. GeOLIS-I-Tagung. Geowissenschaftliche Mitteilungen der Technischen Universität Wien, Heft 27, Wien.
- Walach, G. (1987): A digital model of surface rock densities of Austria and the Alpine area. The Gravity field in Austria (Ed. H. Sünkel), Part A, 3–7, Graz.
- Zeger, J. (1987): Untersuchungen über die trigonometrische Höhenmessung und die Horizontierung von schräg gemessenen Strecken. Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie, Sonderheft 32, Wien.

INITIAL DIGITAL DENSITY MODEL OF THE SURFACE EARTH'S CORE MASSES IN THE TEST AREA »SLOVENIA AND SURROUNDING PART OF CROATIA« FOR THE REGIONAL USES IN PHYSICAL GEODESY

Within the scientific project 'Gravity field in geodesy, geophysics and geodynamics' a two-dimensional digital density model of surface masses in the test area 'Slovenia and Surrounding Part of Croatia' has been established. This research on the density is of regional character and represents the first phase in an interdisciplinary cooperation, being so far assigned to the determination of the characteristic quantities of the earth's gravity field in the contemplated $2^\circ \times 3^\circ$ test area. Firstly, the density values of separate petrographical units were determined with an accuracy between 50 and 100 kgm^{-3} , using predominantly a weighing method of mass samples, taken on the chosen locations, but partly also the quicksilver method and others. After that, the existing 'density zones' were fixed with the additional help of accessible geodetic maps, adopting 12 'density classes' plus the Adriatic sea area with a density of $1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Finally, a digital density model with the grid raster of $2.5' \times 2.5'$ for the 'inner sector' (covering test area) and a rougher model with the grid raster of $3' \times 5'$ and $5' \times 5'$ respectively, for the 'outer sector' ($43^\circ \leq B \leq 48.5^\circ$ and $11^\circ \leq L \leq 19^\circ$) were created. For the test area alone a higher density resolution digital model in the $2.5' \times 2.5'$ grid raster was established too.