

KVANTITATIVNA GRAVIMETRIJSKA INTERPRETACIJA PODRUČJA PTUJSKOG POLJA

Franjo ŠUMANOVAC, Željko ZAGORAC i Mladen LUKAČEVIĆ

Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, YU-41000 Zagreb

Ključne riječi: Gravimetrija, Gustoća, Gravimetrijsko modeliranje

Računanjem oblika struktura uz upotrebu podataka dubina iz bušotina, gravimetrijskim dvo- i trodimenzionalnim modeliranjem, geofizičke veličine su interpretirane u dubine. Interpretacijom su riješeni osnovni strukturni odnosi, a prikazanim postupkom računanja i interpretacije dan je doprinos boljem i svestranijem korištenju gravimetrijskih podataka.

Key-words: Gravity, Density, Gravity modelling

Gravimetric anomalies were converted into depth contours by using the depth and density data from bore holes. Gravity modelling was performed in two- and threedimensions. The forms of the structures were obtained using the computation methods described. The work performed represent a contribution towards a better use of the gravity data.

Uvod

Mnogi tereni, osobito u istraživanju nafte i plina, detaljno su gravimetrijski premjereni, a napravljeno je i niz drugih istraživanja, pri čemu se često raspolaze i s određenim brojem dubokih istražnih bušotina. Zbog svestranijeg i boljeg iskorištavanja raspoloživih podataka potrebno je razraditi postupak interpretacije kojim se mogu podaci geoloških i geofizičkih istraživanja, a posebno bušenja, iskoristiti zajedno s gravimetrijskim podacima. Pri tome bi krajnji cilj trebao biti interpretacija gravimetrijskih podataka u dubinske odnose, kako bismo dobili konkretnije podatke o dubinama i oblicima istraživanih struktura.

Objavljene su brojne metode za računanje gravimetrijskog djelovanja dvo- i trodimenzionalnih nepravilnih tijela (Talwani i dr. 1959. i 1960; Cordeil i Henderson, 1968; Plouff, 1976), međutim vrlo je malo pisano o tome kako iskoristiti i druge podatke, osobito dubine iz bušotina, zajedno s gravimetrijskim podacima i provesti trodimenzionalnu kvantitativnu gravimetrijsku interpretaciju.

Postupak računanja i interpretacije oblika struktura iz gravimetrijskih karata uz upotrebu podataka iz dubokih bušotina detaljno je razrađen u disertaciji Šumanovca (1989), a primijenjen je i u gravimetrijskoj interpretaciji područja Ptujskog polja.

S obzirom na veličinu istraživanog terena i raspoložive podatke, u gravimetrijskoj interpretaciji područja Ptujskog polja prvenstveni zadatak je bio riješiti glavne strukturne odnose: položaj rasjeda u sjevernom i sjeverozapadnom dijelu terena i iznose skokova, te što precizniji položaj uzdignute strukture, koja uzrokuje niz lokalnih gravimetrijskih maksimuma. Osim toga, bilo je potrebno riješiti i nedoumice oko maksimuma dobivenih rezidualnim metodama (da li potječu od rasjeda ili vrhova struktura).

Geološka grada terena

Istraživano područje nalazi se u Murskoj depresiji (slika 1.). Murska depresija zahvaća zapadno i sjeverozapadno rubno područje jugoslavenskog dijela Panonskog bazena. Zastupljene su naslage paleozoika, mezozoika, tercijara i kvartara. Kroz centralni dio depresije proteže se Ptuj-ljutomerska uleknina pružanja jugozapad-sjeveroistok. Na sjeverozapadu od uleknine Bodonci razdvaja ju Murskosobotski masiv a od Čakovečke uleknine na jugoistoku odvojena je Ormož-selničkom antiklinalom (Kisovar, 1979).

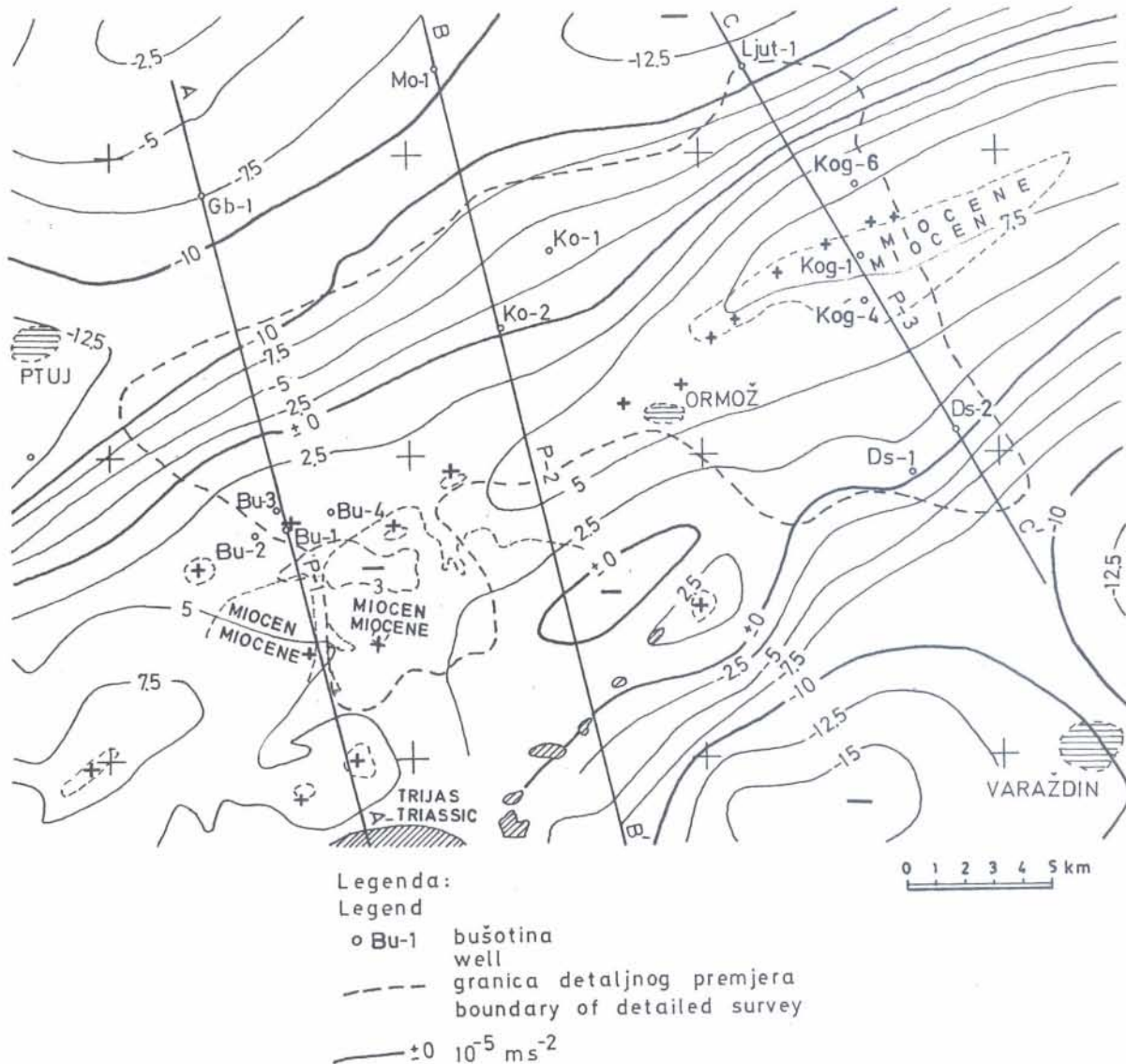
Pretežni dio terena pokrivaju naslage kvartara i pliocena. Miocen se na površini nalazi u području bušotina Kog, te II od bušotina Bukovci. Osnovno pružanje miocena i gravimetrijskih maksimuma je jugozapad-sjeveroistok. Uz sjeverni rub terena postoje rasjedi vrlo velikog skoka istog pružanja, na što ukazuju gravimetrija, seizmika i podaci iz bušotina.

Neposredno izvan istraživanog terena nalazi se os Ptuj-ljutomerske uleknine, a dalje prema sjeveru je Mursko-sobotski masiv. U bušotinama Gb-1 i Mo-1 ustanovljene su stijene podloge tercijara. Trijaski dolomiti ustanovljeni su u bušotinama DS-1 i DS-2, a idući jugozapadno od ovih bušotina na površini se nalaze manje krpice trijasa, koje završavaju s jednim većim izdankom.

Postupak računanja

Postupak računanja primijenjen u interpretaciji gravimetrijskih podataka sastoji se iz nekoliko osnovnih koraka:

- analizom gustoća potrebno je odrediti horizont ili horizonte kontrasta gustoće i vezati ih za određene stratigrafske ili litološke granice, kako bi se mogli



Slika 1. Pregledna gravimetrijska karta područja Ptujskog polja
Figure 1. Reconnaissance gravity map of the Ptujsko polje area

pratiti na bušotinama i eventualno raspoloživim seizmičkim profilima,

- na temelju dubina praćenog horizonta kontrasta gustoće iz bušotina, gravimetrijskih karata i svih ostalih raspoloživih podataka konstruirana se prva pretpostavljena struktura,
- na bušotinama i ostalim točkama s poznatim dubinama praćenog horizonta izračunavaju se vrijednosti kvantitativnog regionala (oduzimanjem od mjerenih gravimetrijskih anomalija teoretskih vrijednosti za pretpostavljenu strukturu), a interpolacijom i ekstrapolacijom izoliraju se dobije se karta kvantitativnog regionala,
- na cijelom istraživanom području u mreži točaka od mjerenih vrijednosti oduzmu se odgovarajuće vrijednosti kvantitativnog regionala i dobiju se vrijednosti prvog reziduala,
- struktura se varira, dok se ne dobije struktura koja uzrokuje gravimetrijsku anomaliju podudarnu s anomalijom prvog reziduala na točkama računanja.

Nakon postizanja dovoljno preciznog podudaranja gravimetrijskih anomalija završava se prva iteracija i cijeli se postupak po potrebi može ponoviti.

Postoje brojne metode za računanje gravimetrijskog djelovanja dvo- i trodimenzionalnih nepravilnih tijela. Ovdje su korištene metode Talwani i dr. (1959. i 1960.), gdje se dvodimenzionalno tijelo aproksimira poligonom, a trodimenzionalno poligonim laminama.

Analiza gustoća

U interpretaciji ovog terena raspolagali smo relativno malim brojem podataka o gustoćama (vaganje jezgara iz bušotina). Zbog toga smo pokušali dobiti gustoće iz seizmičkih brzina koje su određene iz NMO brzina određenih iz mjerenja na površini. Razdioba gustoća izgleda dosta logično, međutim pokušaji modeliranja s takvom razdiobom nisu dali zadovoljavajuće rezultate, budući da su kontrasti gustoće bili premali, te se teoretska anomalija nije

mogla približiti mjerenoj anomaliji. Uzrok tome je u nemogućnosti preciznog određivanja intervalnih brzina osobito u plićim horizontima. Osim toga, granice promjene brzina, a time i gustoća, ne prate refleksije.

Gustoća je računata po formuli (A n s t e y, 1974):

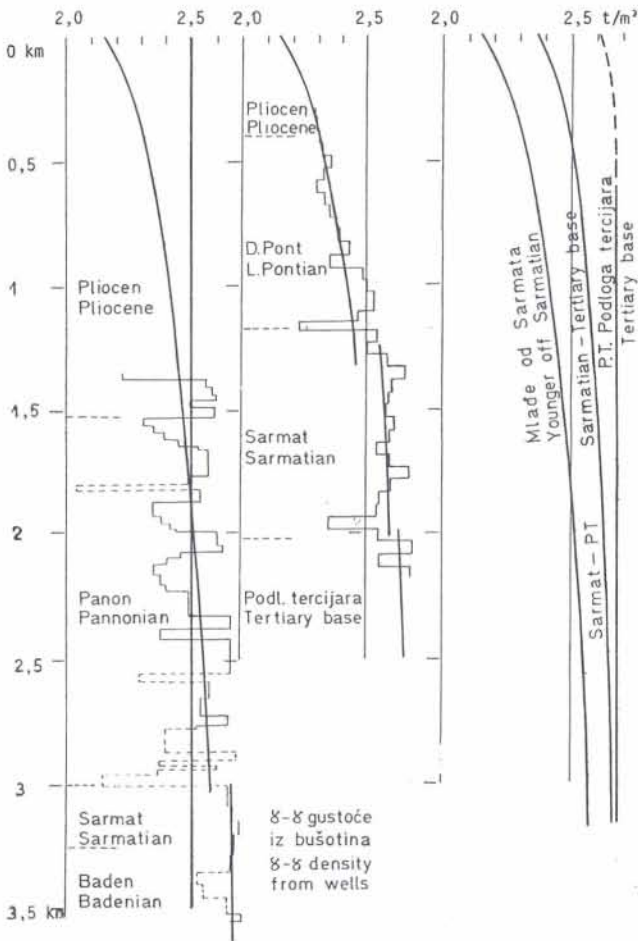
$$\rho = 310 V_i^{0.25} \quad (V_i - \text{ms}^{-1}, \rho - \text{kgm}^{-3}),$$

gdje je V_i intervalna brzina.

Jelić (1984) dao je formulu

$$\rho = 444 V_i^{0.208} \quad (V_i - \text{ms}^{-1}, \rho - \text{kgm}^{-3}),$$

koja je rezultat obrade terena u Hrvatskoj, ali zbog navedenih nepreciznosti u određivanju intervalnih brzina vjerojatno se ne bi mogli dobiti dovoljno precizni podaci za analizu gustoća. Zbog toga je napravljena razdioba gustoća bazirana na podacima gama-gama karotaže iz bušotina Gb-1 i Ljut-1 (slika 2) i na podacima o vaganju uzoraka s površine, te iz gravimetrijskih profila, metodom Nettleton i triplet. Na ostalim bušotinama, koje su i ranije izrađene, nije mjerena gama-gama karotaža, nego samo otpornost.



Slika 2. Razdioba gustoće – konačna varijanta
Figure 2. Density distribution – final solution

Za teren JI od bušotina Bukovci izvršena je dodatna korekcija za površinsku gustoću određenu metodom triplet, budući da su anomalije podudarne

s reljefom terena. Ovo je napravljeno za dubine od površine do kote +200 m, a ostalo je već uzeto u računu kod modeliranja. Površinska gustoća se kretala od $2000 - 2510 \text{ kg/m}^3$, a srednja vrijednost je bila $2350 \pm 40 \text{ kg/m}^3$, dok je za 29 vaganih uzoraka s tog terena srednja vrijednost gustoće iznosila $2350 \pm 50 \text{ kg/m}^3$. Nakon korekcije gravimetrijskih podataka tog dijela terena, gravimetrijske anomalije su bile neovisne o reljefu terena, te se smatra da predstavljaju djelovanje podzemnih struktura.

Gustoća je računata iz tripleta i za područje oko bušotina Kog, te je iz 10 tripleta dobivena srednja gustoća $2340 \pm 40 \text{ kg/m}^3$.

Za područje pokriveno naslagama pliocena i kvartera u sjevernom dijelu terena iz 15 tripleta srednja gustoća je $2150 \pm 20 \text{ kg/m}^3$, a iz 6 tripleta u području maksimuma kod Ormoža srednja gustoća iznosi 2085 kg/m^3 .

Konačna varijanta razdiobe gustoća (slika 2) ukazala je na dva horizonta kontrasta gustoće, na podini panona i na podini tercijara. Iz ove analize je vidljivo da se razlike gustoće formacija s dubinom smanjuju. Za podlogu tercijara pretpostavljena je, a na osnovi petrografskog sastava, srednja gustoća koja je bila najlogičnija. Odstupanja od ove gustoće radi drugog petrografskog sastava djelomično ulaze u regionalno djelovanje, a djelomično uzrokuju netočnost interpretacije i ne mogu se izbjeći.

Kvantitativna gravimetrijska interpretacija

Za interpretaciju je korišten najnoviji gravimetrijski i gravimagnetski premjer, koji je napravila »Geofizika« 1987 godine. Prema karti Bouguerovih anomalija osnovno pružanje struktura je jugozapad – sjeveroistok, a struktura se generalno može razmatrati kao dvodimenzionalna pa je stoga u prvoj fazi računanja napravljeno dvodimenzionalno modeliranje. Ovakvo računanje je potrebno i zbog ograničenog broja bušotinskih podataka o dubinama, a kod dvodimenzionalnog modeliranja ovi podaci se mogu bolje iskoristiti, jer profil možemo postaviti ovisno o položaju bušotina. Postavljena su tri profila (slika 1); u istočnom, središnjem i zapadnom dijelu, približno okomito na pružanje izolinija.

Prvi pretpostavljeni (privremeni) dubinski profili konstruirani su na temelju bušotinskih podataka i nekih seizmičkih profila. Osim dubina prema bušenju, kao sigurni podaci uzimani su i izdanci trijasa u južnom dijelu, ali izvan mjenenog terena (slika 3).

Budući da na ovom terenu ne postoji samo jedan horizont kontrasta gustoće a nije konstantan ni iznos kontrasta gustoće, kod konstruiranja privremenih struktura morala se uzeti u obzir složenija razdioba gustoća.

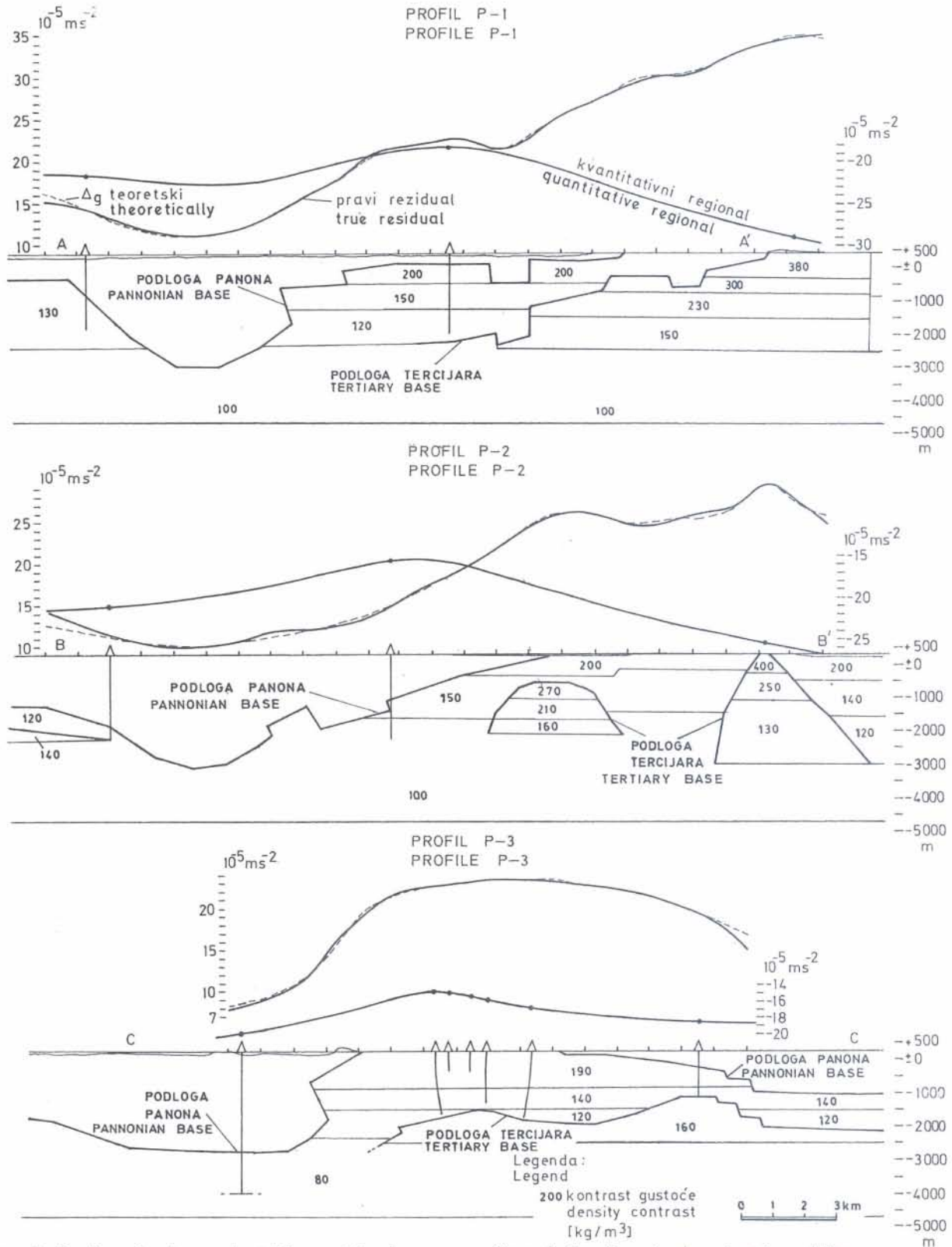
Strukture su raščlanjene na niz manjih blokova za koje su izračunati srednji iznosi kontrasta gustoće, a sumarno djelovanje svih pojedinačnih blokova dalo je teoretsku gravimetrijsku anomaliju. Zadovoljavajući rezultati su dobiveni na profilu P-1 i P-3 nakon druge iteracije, a na profilu P-2 nakon prve iteracije.

Na sva tri profila su dobivene velike dubine horizonata kontrasta gustoće u sjeverozapadnom dijelu neposredno izvan mjenenog terena, a dubine podine panona su između 2900 i 3300 metara. Na profilima

P-1 i P-3 interpretirani su rasjedi s velikim skokom (oko 1100 m), i to u sjeverozapadnom dijelu mjerenog terena dok na profilu P-2 imamo niz rasjeda s manjim skokovima (slika 3).

Kvantitativni regional je nelinearan, i njegov maksimum se ne podudara s vrhovima strukture i gravimetrijskim maksimumom nego se nalazi nešto sjevernije (profil P-2 i P-3).

Na profilu P-1 u području gravimetrijskog minimuma kod bušotine Gb-1, nemoguće je variranjem strukture postići zadovoljavajuće podudaranje između teoretske i mjerene anomalije. Zbog toga je u tom dijelu prva granica (podina panona) spuštana do 3300 m, a slična dubina je dobivena i na ostalim profilima. Zatim je korigiran kvantitativni regional, nakon čega se na profilu P-1 u kvantitativnom regio-



Slika 3. Dvodimenzionalno gravimetrijsko modeliranje

Figure 3. Twodimensional gravimetric modelling

nalu iskazao i jedan blagi minimum kojega nema na ostalim profilima.

Na profilima P-1 i P-2 kao fiksne dubine uzeti su i izdanci trijasa u južnom dijelu karte. U tom su području dobiveni prilično mali iznosi gravimetrijske anomalije, pa bi se na temelju toga moglo zaključiti da se tu eventualno radi o malim navučenim ljuskama. Kako nije bilo dovoljno podataka o tim strukturama (debljini, veličini i položaju), nije ih se moglo dovoljno precizno pretpostaviti. Naime, ako bi se radilo o malim navučenim ljuskama dobili bismo drugačije iznose regionala, a time i pravog reziduala, što bi sve skupa rezultiralo i drugačijim izgledom strukture na tom području.

U slijedećoj fazi napravljeno je trodimenzionalno modeliranje. Osnovni zadatak je bio rješavanje glavnih strukturnih odnosa, osobito položaja rasjeda u sjeverozapadnom dijelu terena, i položaj uzdignutog bloka na potezu Kog-Bukovci koji uzrokuje gravimetrijski maksimum. Za detaljniju analizu nije bilo dovoljno podataka. Teren je prilično velik, a postoji ograničen broj bušotina i to s prilično oskudnim podacima. Dodatna otežavajuća okolnost je prilično komplicirana razdioba gustoće.

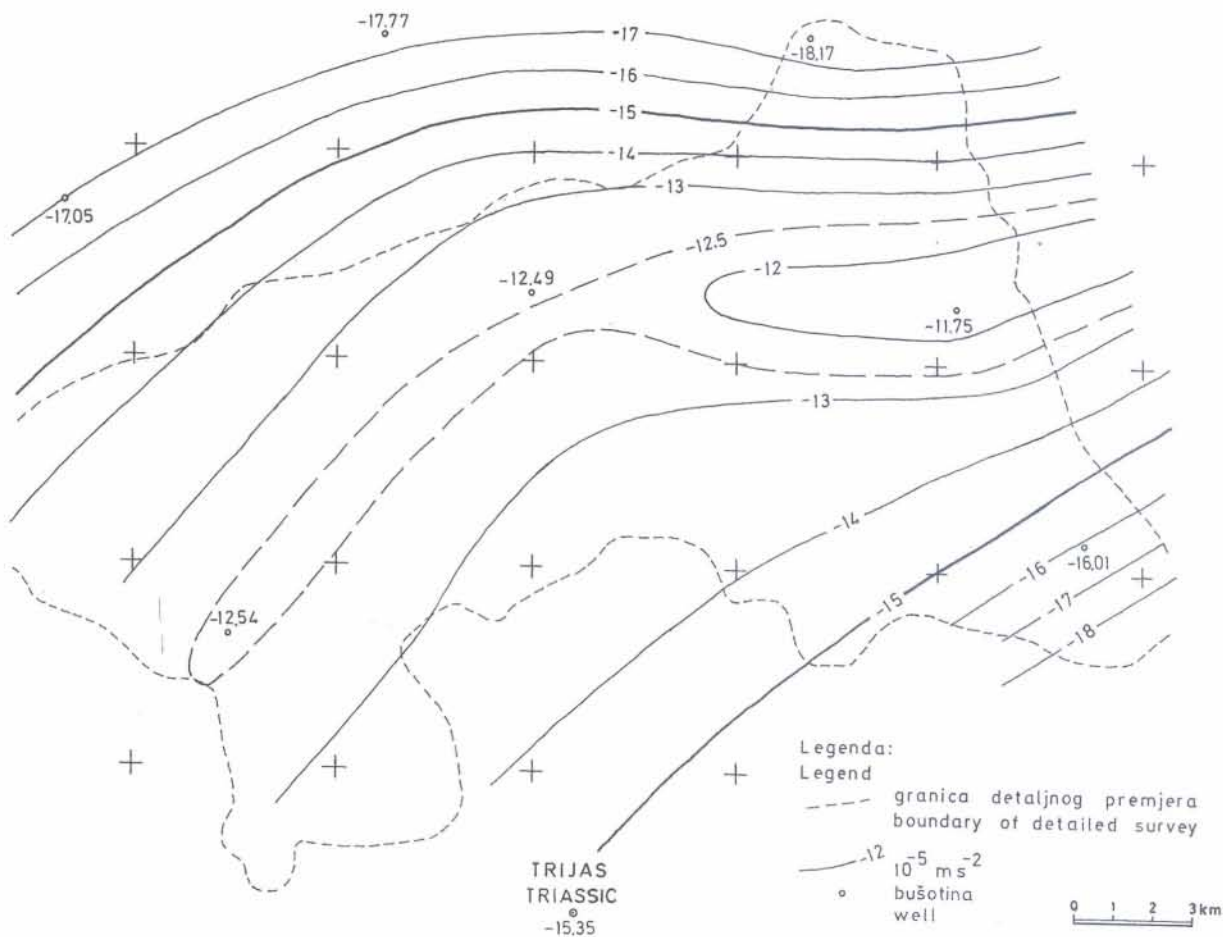
Računanje je provedeno u pravokutnoj mreži s razmakom točaka od 1 km. Za prvu privremenu strukturu korišteni su podaci iz dvodimenzionalnog modeliranja, bušotina i gravimetrijske karte. Budući da postoje dva horizonta kontrasta gustoće napravljene su i dvije karte: za podinu panona i podinu tercijara.

Prema profilima dobivenim na dvodimenzionalnim modelima bilo je jasno da je kvantitativni regional izrazito nelinearan, a radi malog broja bušotina, koje su uz to prilično udaljene, veliki je problem interpolacija izolinija kvantitativnog regionala. Karta kvantitativnog regionala je napravljena na osnovi vrijednosti kvantitativnog regionala izračunatog na bušotinama i izdancima trijasa, a prilikom izvlačenja izolinija uzeti su u obzir osnovni trendovi kvantitativnog regionala dobiveni dvodimenzionalnim modeliranjem (slika 4).

Računanjem vrijednosti pravog reziduala u mreži točaka 1x1 km i interpolacijom izolinija dobivena je karta pravog reziduala (slika 5). Na ovoj karti se ističe lokalni maksimum koji se nalazi jugozapadno od bušotina Kog i pruža se u pravcu jugozapad – sjeveroistok, a sjeverozapadno od njega uočava se nagli pad gravimetrijskih vrijednosti. Rezultat interpretacije trodimenzionalnim modeliranjem su strukture prikazane na slikama 6 i 7.

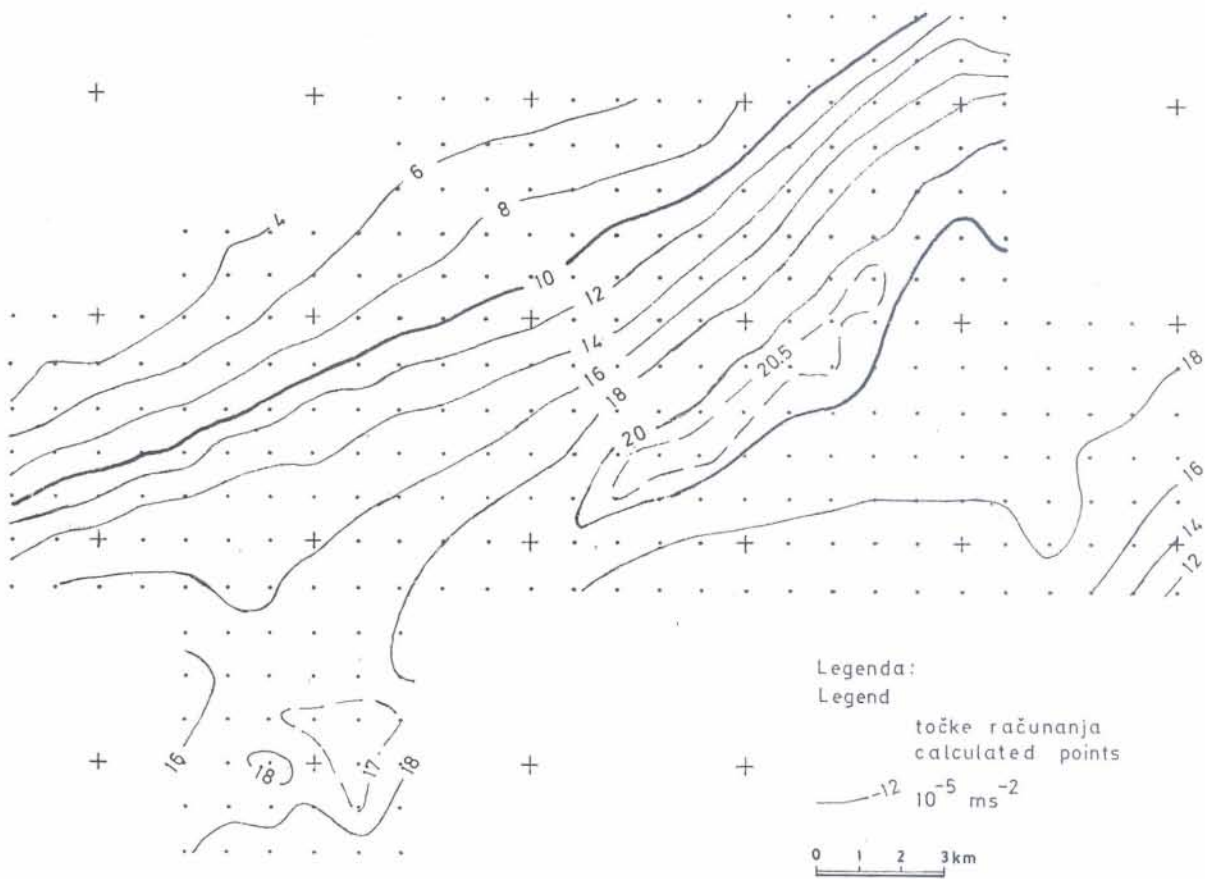
Na pojedinim dijelovima terena nije bilo moguće postići zadovoljavajuće podudaranje teoretske anomalije i pravog reziduala. Naime, u pojedinim dijelovima zbog velike dubine horizontata kontrasta gustoće ne mogu se dobiti dovoljno veliki iznosi teoretske anomalije. Raspoložive bušotine (Ko-1, Ko-2 i Ko-6) ne dopuštaju veće dubinske varijacije, jer bi se time morale modelirati geološki nelogične strukture.

Očito je, da se zbog malog broja bušotina a velike površine terena, nije uspjelo dovoljno precizno odvo-



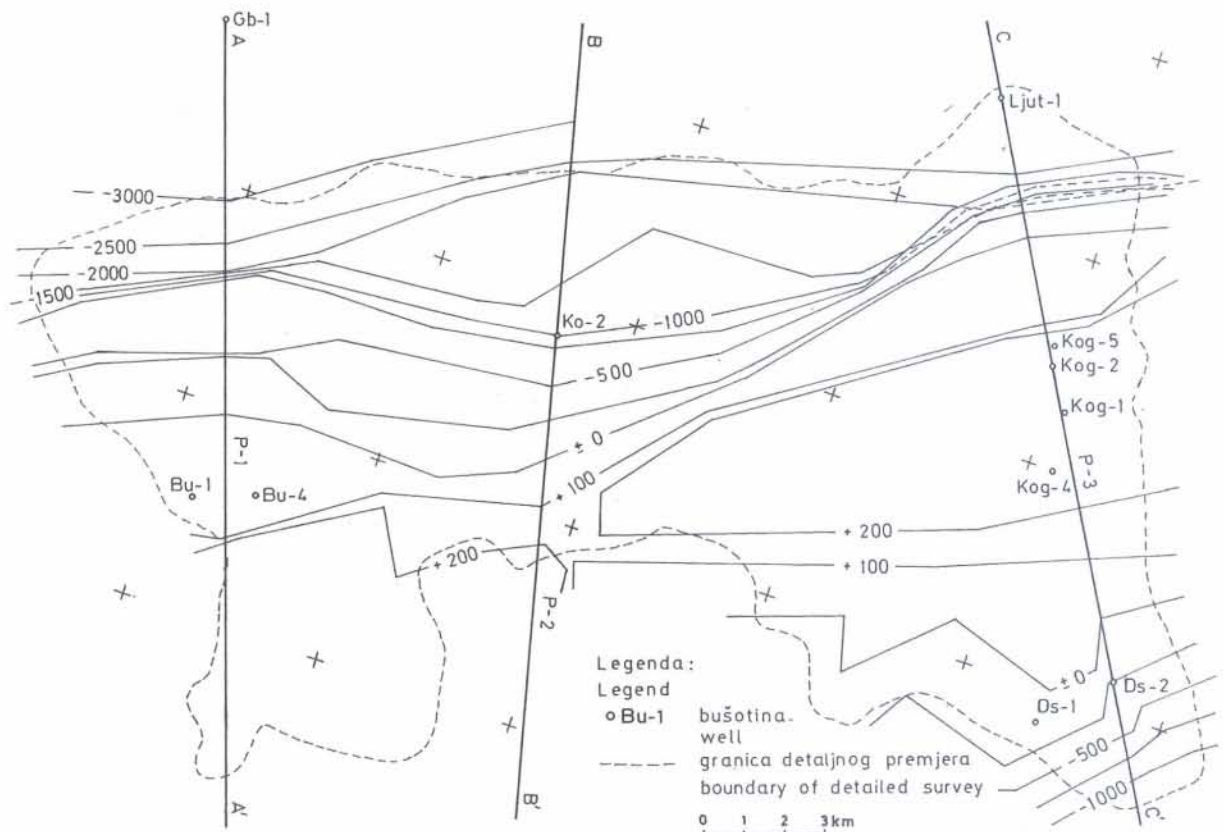
Slika 4. Karta kvantitativnog regionala

Figure 4. Quantitative regional map



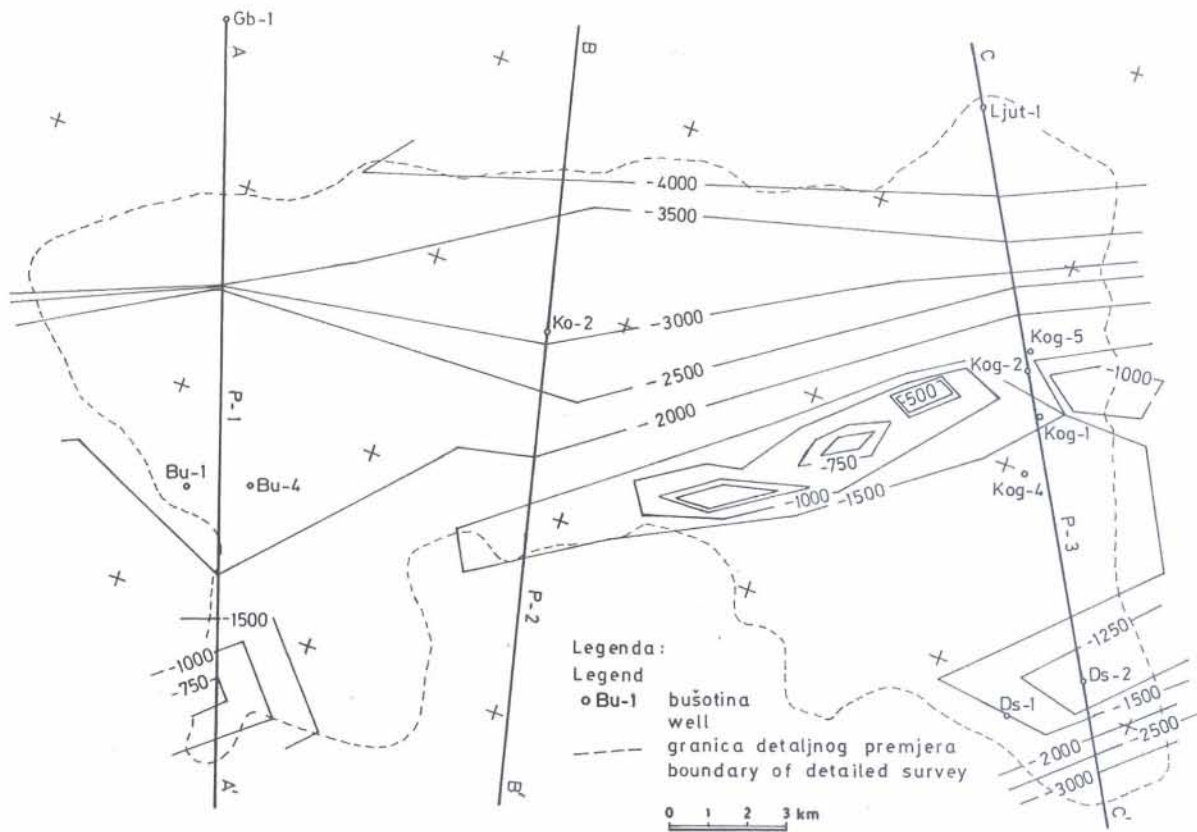
Slika 5. Karta pravog reziduala

Figure 5. True residual map



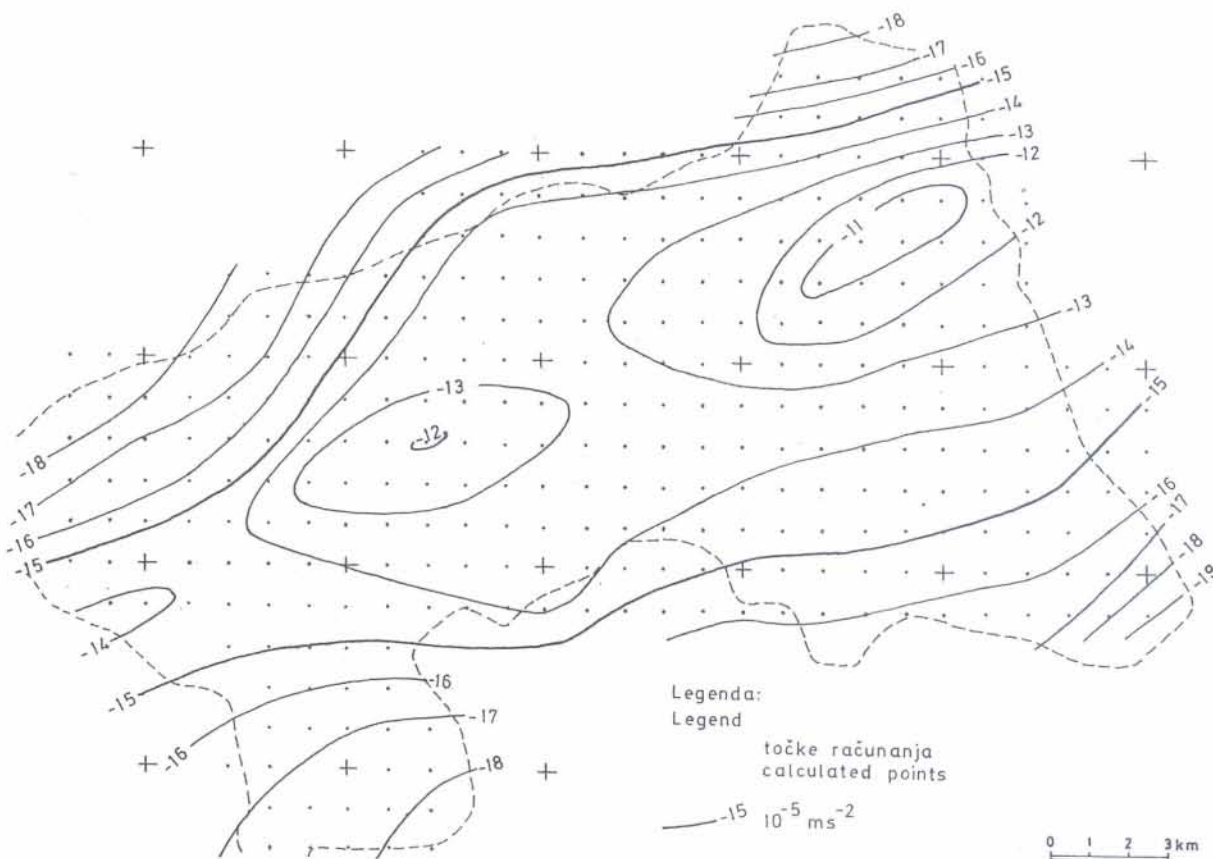
Slika 6. Izobate podine panona

Figure 6. Depth contour lines of the Pannonian floor



Slika 7. Izobate podloge tercijara

Figure 7. Depth contour lines of the Tertiary base



Slika 8. Korigirana karta kvantitativnog regionala

Figure 8. Corrected quantitative regional map

jiti kvantitativni regional. Bilo je stoga potrebno napraviti korekciju kvantitativnog regionala na osnovi strukture koja je smatrana konačnom i geološki logičnom (slike 6 i 7).

Na svim točkama u mreži izračunate su vrijednosti kvantitativnog regionala. Zbog oštih promjena tih vrijednosti od točke do točke, bilo je nepotrebno napraviti izgladivanje izolinija, budući da su takve promjene posljedica plitkih i površinskih varijacija gustoće, pa se ne mogu eliminirati promjenom struktura. Eventualno bi se još moglo pretpostaviti da su vrhovi struktura prikazani na slici 7 jače uzdignuti.

Karta kvantitativnog regionala (slika 8) pokazuje izrazitu nelinearnost. Uočavamo niz zatvorenih maksimuma, koji se protežu duž cijelog istraživanog terena. Ovakav izgled karte kvantitativnog regionala vjerojatno je posljedica izrazitih horizontalnih promjena gustoće, što je u vezi s promjenom facijesa u sedimentima. Glavni uzrok tih promjena su rasjedanja s velikim skokovima uz sjeverozapadni rub terena, a čije posljedice mogu biti velike razlike u debljinama pojedinih serija u horizontalnom pravcu.

Zaključak

Računanje oblika struktura uz upotrebu podataka dubina iz bušotina doprinosi uspješnijoj interpretaciji gravimetrijskih podataka a time i dobivanju preciznijih informacija o dubinskim odnosima. Uspješnost ovog načina interpretacije ovisi prije svega o preciznom utvrđivanju horizonta kontrasta gustoće, odnosno o iznosima kontrasta gustoće i pravilnosti regionalnih promjena.

Zbog malog broja podataka o gustoćama i komplicirane razdiobe gustoće, u trodimenzionalnom modeliranju morali smo ići na pojednostavnjenje modela i rješavanje samo osnovnih strukturnih odnosa. Osim toga, teren je prilično velik za ovakav način interpretacije, a i kvantitativni regional pokazuje izrazitu nepravilnost, te ga je vrlo teško precizno utvrditi. Zbog tih neregularnosti postoji i određena višeznačnost kvantitativne gravimetrijske interpretacije. Bolji rezultati dobiveni su kod interpretacije pojedinih detalja, budući da je na manjim područjima lakše odvojiti kvantitativni regional, jer obično pokazuje veću pravilnost – više se približava linearnom trendu.

Quantitative Gravimetric Interpretation of the Ptujsko Polje Area

F. Šumanovac, Ž. Zagorac, and M. Lukačević

The interpretation was carried out by computing the structure forms from gravimetric maps using the data on well depths, whereby the ambiguity of gravimetric interpretation is considerably decreased. The available data on rock densities of the explored area were analysed, by which two main horizons of density contrast were established. These horizons were identified in relation to certain stratigraphic boundaries in order to enable their control in boreholes. By twodimensional and threedimensional gravimetric modelling the structure forms on the horizons of density contrast were computed – on the Pannonian floor and the Tertiary base.

The computing procedure consists of several basic steps. Based on available data, the first structure assumption is created. On the points with the familiar depths of density contrast horizons, the values of quantitative regional are computed (as the difference

Rezultati ovakve interpretacije omogućuju izdavanje perspektivnih područja na koje bi trebalo usmjeriti istraživačku aktivnost. Budući da su geofizičke veličine interpretirane u dubine horizonata kontrasta gustoće, rezultati gravimetrijske interpretacije mogu se lakše koristiti i korelirati s podacima drugih istraživanja.

Analizirajući rezultate dvodimenzionalnog i trodimenzionalnog gravimetrijskog modeliranja, može se zaključiti da između mjesta Koga i Bukovca postoji još nekoliko uzdignutih struktura, koje su zanimljive za daljnja istraživanja. Pažnju treba obratiti na rasjede – rasjednu zonu uz sjeverozapadni rub terena, čiji su položaji i skokovi preciznije određeni dvodimenzionalnim modeliranjem. Uz povoljan litološki razvoj i oni mogu biti zanimljivi za daljnja naftnogeološka istraživanja.

Podaci narednih istražnih radova, a osobito bušenja te novi podaci o gustoćama, mogu poslužiti za korekciju cijelog proračuna, a time bi mogli dobiti precizniji položaj interesantnih struktura.

Primljeno: 22. VI. 1990.

Prihvaćeno: 25. VI. 1991.

LITERATURA:

- Anstey N. A., (1974): The new seismic interpreter, IHRDC, Boston.
- Cordell L., Henderson G. R., (1968): Iterative three-dimensional solution of gravity anomaly data using a digital computer, *Geophysics*, 33, 596–601.
- Jelić K., (1984): Odnos gustoće i poroznosti s dubinom litostratigrafskih formacija savske i dravske potoline, *Nafta*, 35, 637–643, Zagreb.
- Kisovar M., (1979): Prilog rješavanju strukturnih odnosa našeg dijela Murske depresije, Zbornik III god. nauč. skupa Sekcije za primjenu geologije, geofizike i geokemije znanstvenog savjeta za naftu, 311–322, Zagreb.
- Plouff D., (1976): Gravity and magnetic fields of polygonal prisms and application to magnetic terrain corrections, *Geophysics*, 41, 727–741.
- Šumanovac F., (1989): Kvantitativna gravimetrijska interpretacija i njena primjena u kompleksnim geofizičkim istraživanjima, doktorska disertacija, 1–145, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- Talwani M., Ewing M., (1960): Rapid computation of gravitational attractions of three dimensional bodies of arbitrary shape, *Geophysics*, 25, 203–225.
- Talwani M., Worzel J. L., Landisman M., (1959): Rapid gravity computation for the two-dimensional bodies with application to the Mendocino submarine fracture zone, *Journal of Geophysical Research*, 64, 49–59.

between the theoretical and measured gravimetric anomaly) and the map of the quantitative regional is constructed. Then on the points in regular net the residual gravimetric action is computed – a true residual, as a difference between the measured and regional anomaly. By a successive approximation it is searched for a structure that gives gravimetric action compatible to the map of the residual. The whole procedure is repeated until the appropriate precision is attained.

By the quantitative gravimetric interpretation of the explored area the basic structure relations are solved and a considerable contribution to a more precise definition of depth relations is achieved. Due to some constraints these results need to be used together with the results of other explorations. The results of interpretations enable separation of perspective areas and the orientation to the research activity.