

Univerzitet u Beogradu
Rudarsko-geološki fakultet

Snežana M. Ignjatović

Geološko-geofizički model dela Timočkog
magmatskog kompleksa

Doktorska disertacija

Beograd, 2014

University of Belgrade
Faculty of Mining and Geology

Snežana M. Ignjatović

Geological-geophysical model of the part of
the Timok Magmatic Complex

PhD thesis

Belgrade, 2014

Mentor: dr. Vladica Cvetković, redovan profesor
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

Članovi komisije:

1. dr. Vladica Cvetković, redovan profesor
naučna oblast: petrologija
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet
2. dr. Ivana Vasiljević, docent
naučna oblast: geofizika
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet
3. dr. Vesna Cvetkov, docent
naučna oblast: geofizika
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet
4. dr. Spomenko Mihajlović, viši naučni saradnik
naučna oblast: geofizika
Republički geodetski zavod
5. dr. Miodrag Banješević, docent
naučna oblast: rudarstvo i geologija
Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru

Datum odbrane: _____

*Aleksandri, Asji Popović i Nadeždi Ivanović
koje su uvek verovala u mene*

Zahvalnosta

Ova doktorska disertacija nastala je kao rezultat saradnje Univerziteta u Beogradu, Rudarsko-geološkog fakulteta, sa kompanijama „Dundee plemeniti metali d.o.o” (od 2009. godine kompanija se zove „Avala resources d.o.o”) i ”NIS Gazprom neft” (NTC-sektor za geofiziku).

Zahvaljujem se svim članovima komisije na stručnoj pomoći prilikom izrade doktorske disertacije. Posebnu zahvalnost dugujem mentoru, prof. dr Vladici Cvetkoviću, koji je imao razumevanje za sve probleme na koje sam nailazila prilikom izrade doktorske disertacije i pomogao mi da ih uspešno prevaziđem.

Svojim prijateljima Iliji Vasiljeviću i Branislavu Petroviću zahvaljujem na pomoći prilikom izrade grafičkih priloga u doktorskoj disertaciji. Hvala vam na strpljenju, razumevanju i trudu koji ste uložili i moje želje pretočili u stvarnost.

Zahvalnost na stručnoj pomoći dugujem i kolegama zaposlenim u sledećim kompanijama: ”NIS Gazprom neft” (NTC-sektor za geofiziku iz Beograda), „Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor” iz Bora i „Republički geodetski zavod” iz Beograd.

Zahvaljujem se svojim prijateljima, koji su u svakom trenutku bili uz mene. Vaša podrška mi je puno značila.

Geološko-geofizički model dela Timočkog magmatskog kompleksa

Rezime

Timočki magmatski kompleks (TMK) u geotektonskom smislu pripada Karpatobalkanidima istočne Srbije, koji su deo Tekijsko-Dakijske jedinice. TMK je nastao tokom kontinuirane vulkanske aktivnosti, koja je trajala oko deset miliona godina i odvijala se generalno u tri faze (Zimmerman et al., 2008, Kolb et al., 2013, Banješević, 2006). Pomeranje vulkanskog fronta je išlo od istoka ka zapadu (von Quadt et al., 2002, 2003, 2007). Ovaj kompleks pripada tetijskom evroazijskom metalogenetskom pojasu u svetu poznat po ležištima bakra i zlata (Janković, 1990).

U doktorskoj disertaciji su prikazani rezultati aeromagnetskih i gravimetrijskih istraživanja, kao i 2D geološko-geofizičko modelovanje duž 5 odabranih profila. Na osnovu geofizičkih podataka definisan je prostorni položaj magmatskih tela koja se ne vide na površini istražnog područja i definisani su odnosi magmatskih tela prema okolnim stenama. 2D geološko-geofizičkim modelovanjem utvrđeno je da magmatska tela imaju mnogo veće rasprostranjenje ispod površine, nego što je to do sada bilo poznato.

Plutonit Valja Strž u odnosu na njegovu otkrivenost na površini terena ima znatno veće rasprostranjenje, a rezultati modelovanja ukazuju da ispod površine ovaj plutonit nastavlja svoje pružanje ka severu i jugu. Pružanje ovog plutonita ka jugu je veće od njegovog pruženja ka severu.

Modeli pokazuju da geofizički definisana subvulkanska tela, koja se pretežno nalaze u centralnom, a manjim delom u zapadnom delu TMK, odgovaraju vulkanitima senonske starosti. Ove stene imaju veće rasprostranjenje u dubini, nego što je njihovo pojavljivanje na površini. U potpovršini postoje dve odvojene oblasti ovih stena, pri čemu svaka od njih ima širinu od oko 2.5-3 km, a u nekim delovima i preko 5 km. Rezultati modelovanja sugerišu da postoji blaga promena u sastavu stena ka zapadu, što se može dovesti u vezu s nešto nižim sadržajima silicije u vulkanskim stenama senonske starosti.

Rezultati 2D geološko – geofizičkog modelovanja su značajni i sa aspekta definisanja plitkih pojava hidrotermalno izmenjenih stena. Utvrđeno je da je rasprostranjenje ovih stena veće u odnosu na ono što je do sada bilo poznato.

Ključne reči: Timočki magmatski kompleks, aeromagnetska istraživanja, gravimetrijska istraživanja, 2D geološko-geofizički model, Valja Strž, magmatsko telo

Naučna oblast: Geološko inženjerstvo

Uža naučna oblast: Geofizika

UDK: 528.27:543.062

55:550.3/.83

551.763:552.32

(497.11)(043.3)

Geological-geophysical model of the part of the Timok Magmatic Complex

Abstract

The Timok Magmatic Complex (TMC) belongs to the East Serbian Carpatho-Balkanides which is part of the Tisza-Dacia Unit. The TMC was formed by continuous volcanic activity throughout the period of ten million years that developed in roughly three phases (Zimmerman et al., 2008, Kolb et al., 2013, Banješević, 2006). During this evolution the volcanic front continuously migrated from the east to the west (von Quadt et al., 2002, 2003, 2007). This complex is part of the Tethyan Eurasian metallogenic zone which is known in world for its ore deposits of copper and gold (Janković, 1990).

The results of aeromagnetic survey, gravity survey and 2D geological-geophysical model along 5 profiles are shown in this thesis. The location of unexposed magmatic bodies and special relationships with surrounding rocks in the survey area are determined by geophysical data. The 2D geological-geophysical model has shown that magmatic bodies had greater outspread beneath surface than it was known earlier.

The Valja Strž pluton has a much larger extent than is observable from its surface exposures. The results of modelling shown that pluton continues towards the south and north. The outspread of this pluton is larger in the south than in the north.

The model also revealed that the subvolcanic bodies, placed mostly in central part and partly in western part of the TMC, correspond to Senonian volcanics. These bodies are much more widespread in depth than they are exposed on the surface. Beneath the surface there are two separate subsurface regions of these rocks, each around 2.5-3 km in width and in some parts over 5 km. The results of the model suggested that there is also a gradual westward shift in composition which is evident from decreasing silica contents in the Senonian volcanic rocks.

The results of 2D geological-geophysical model are significant from side of shallow occurrences hydrothermally altered rocks. It is confirmed that outspread of these rocks is much larger than it was known earlier.

Keywords: Timok Magmatic Complex, aeromagnetic survey, gravity survey, 2D geological-geophysical model, Valja Strž, magmatic body.

Scientific area: Geological engineering

Narrow scientific area: Geophysics

UDC: 528.27:543.062

55:550.3/.83

551.763:552.32

(497.11)(043.3)

Sadržaj

1. Uvod	3
2. Opšti podaci o istražnom prostoru	6
2.1. Geografski položaj istraživanog područja	6
2.2. Pregled ranijih istraživanja na prostoru Timočkog magmatskog kompleksa.....	7
2.3. Geološka građa istražnog područja.....	11
2.3.1. Paleozoik	12
2.3.2. Mezozoik	12
2.3.3. Kenozoik.....	17
2.4. Geotektonika.....	17
2.5. Vulkanizam u Timočkom magmatskom kompleksu	19
3. Aeromagnetska i gravimetrijska istraživanja dela Timočkog magmatskog kompleksa	22
3.1. Aeromagnetski podaci	23
3.1.1. Opšti podaci o aeromagnetskim merenjima na istražnom području.....	23
3.1.2. Obrada aeromagnetskih podataka.....	26
3.2. Gravimetrijski podaci	34
3.2.1. Opšta svojstva gravimetrijskih merenja na istražnom području i obrada gravimetrijskih podataka	34
4. Matematičke transformacije primenjene na aeromagnetske i gravimetrijske podatke	38
4.1. Svođenje na pol (RTP)	39
4.2. Analitičko produženje polja.....	41
4.3. Prvi vertikalni izvod	42
4.4. Ukupni horizontalni izvod	43
4.5. Analitički signal.....	43
4.6. Ugao nagiba – Izvod nagiba	46
4.7. ”Theta map”.....	51
4.8. Normalizovana standardna devijacija (NSTD)	52
4.9. Ojlerova dekonvolucija.....	53
5. Diskusija	57

5.1. Kvalitativna interpretacija	57
5.1.1. Analiza i interpretacija aeromagnetskih podataka.....	57
5.1.2 Analiza i interpretacija gravimetrijskih podataka.....	91
5.1.3 Korelacija aeromagnetskih i gravimetriskih podataka sa geološkim podacima..	104
5.2. Kvantitativna interpretacija	108
5.2.1. Podaci dobijeni istražnim bušenjem	108
5.2.2. Izrada modela	109
5.2.3. Analiza i interpretacija podataka dobijenih 2D geološko – geofizičkim modelovanjem	113
5.2.3.1. Analiza 2D geofizičkih modela	119
5.2.3.2. Interpretacija 2D geološko-geofizičkih modela dela Timočkog magmatskog kompleksa.....	122
6. Zaključak	125
Literatura	128

1. Uvod

Timočki magmatski kompleks (TMK) predstavlja najveće vulkansko područje u Srbiji, prostire se između Majdanpeka na severu i sela Bučja (severno od Knjaževca) na jugu i ima generalni pravac pružanja sever severozapad-jug jugoistok. Ovaj kompleks je nastao tokom kontinuirane vulkanske aktivnosti, koja je trajala oko deset miliona godina (Zimmerman et al., 2008, Kolb et al., 2013). Vulkanska aktivnost je prvo počela u istočnim delovima, a zatim se tokom vremena pomerala ka zapadu (von Quadt et al., 2002, 2003, 2007). Migriranje vulkanskog fronta od istoka ka zapadu bilo je praćeno promenom sredine deponovanja, tako da na prostoru kompleksa preovlađuju ekstruzivne vulkanogene facije i facije nastale sin- i post-eruptivnim redeponovanjem u odnosu na eksplozivne i intruzivne facije, pri čemu među ovim facijama postoje oštri i česti facijalni prelazi (Đorđević i Banješević, 1997; Banješević, 2006). Vulkanizam se u okviru Timočkog magmatskog kompleksa odvijao generalno u tri faze (Drovenik, 1962). Prva faza vulkanizma počela je u turonu, kada su aktivne magme bile pretežno andezitskog i podređeno dacitskog karaktera. Druga faza se odvijala tokom senona, kada su emitovane andezitbazaltene lave i kada je došlo do formiranja izduženog depozicionog prostora. Treća faza vulkanizma je gornjokampanske starosti, a završava se hipoabisalnim intruzivima i dajkovima. Vulkanski front migrira dalje prema zapadu u Ridanjsko-krepoljinsku zonu, gde vulkanski procesi traju i do granice kreda-tercijer (Banješević, 2006).

U geotektonskom smislu, Timočki magmatski kompleks nalazi se između Srpsko-makedonske mase na zapadu i jugozapadu i Mezijske platforme na istoku. Severno od Dunava, ova složena geotektonska jedinica nastavlja se do severnih delova Apusena i Banata u Rumuniju, a ka jugoistoku se dalje pruža sve do Srednjogorija u Bugarskoj odakle se preko Pontida u Turskoj nastavlja sve do severnog Irana (Janković, 1990). Ovaj veliki kompleks je najznačajnije aktivno rudarsko i eksploataciono područje u Evropi, a pripada Tetijsko – evroazijskom metalogenetskom pojasu, koji je formiran na

ivici Evropske platforme, kao rezultat zatvaranja Tetisa u periodu od Mezozoika do Tercijara (Janković, 1977).

Ova svetski poznata oblast po ležištima bakra ušla je u novu fazu geoloških istraživanja poslednjih godina. Reservoir Minerals Inc i Freeport McMoRan objavili su rezultate o bušotini FMTC 1210, koji ukazuju na prisustvo porfirske bakar – zlato mineralizacije ispod Miocenskih sedimenata (<http://www.northernminer.com/news/reservoir-freeport-hit-high-grade-copper-at-timok/1001679498/>). Nove porfirske zlato-bakar pojave otkrivene u zapadnom delu TMK, oko plutonita Valja Strž (Avala Resources Ltd.) nagoveštavaju da ima još mnogo toga da se otkrije u TMK. Ovi rezultati su inicirali nova geološka istraživanja, posebno ona koja se odnose na integraciju geofizičkih istraživanja sa savremenim i tradicionalnim geološkim istraživanjima.

U doktorskoj disertaciji prikazani su rezultati dobijeni geološko – geofizičkim modelovanjem na istražnom prostoru, koji obuhvata deo Timočkog magmatskog kompleksa i to severni deo kompleksa. Ispitivano područje se pretežno nalazi severno i sverozapadno od Bora. Osnovni cilj modela je da se unaprede postojeća saznanja o geološkoj građi, a time i o geološkom razvoju istražnog područja. Rezultati dobijeni modelovanjem omogućavaju da se unapredi trenutno poznavanje geološke evolucije čitavog TMK. Geodinamičke implikacije dobijene korelacijom geofizičkih i geoloških podataka, od velike su koristi za bolje sagledavanje metalogenetske potencijalnosti, ne samo ispitivanog područja, već i celog Banatitskog magmatskog i metalogenetskog pojasa (eng. Banatitic Magmatic and Metallogenic Belt, Berza et al., 1998).

Izrada modela urađena je postupkom 2D gravimetrijskog i geomagnetskog modelovanja. Ovaj postupak se primenjuje kada uzročnici anomalija imaju izraženo pružanje duž jednog pravca, kao što je u ovom slučaju. Uzročnici anomalije na ispitivanom prostoru imaju generalni pravac pružanja sever severozapad - jug jugoistok, tako da se profili, duž kojih se vrši modelovanje, postavljaju da budu upravni na pravac pružanja uzročnika. Tokom samog postupka izrade geološko-geofizičkog modela koriste se geofizički podaci, geološki podaci i podaci dobijeni istražnim bušenjem.

Geofizički podaci, primenjeni prilikom modelovanja podeljeni su u dve grupe. Prvoj grupi pripadaju podaci dobijeni aeromagnetskim merenjem, dok drugoj grupi pripadaju gravimetrijski podaci. Aeromagnetski podaci su dobijeni merenjima, koja su izvršena u periodu od marta do juna 2006. godine. Gravimetrijska merenja obavljena su u periodu između 1952 i 1984. godine i podaci dobijeni ovim merenjima nalaze se u Bazi podataka Srbije. Prilikom obrade i analize aeromagnetskih i gravimetrijskih podataka, kao i izrade geološko – geofizičkog modela, primenjuju se postupci razvijeni u okviru geofizičkih softverskih paketa (Geosoft Oasis montaj, Golden Software Surfer i Golden Software Grapher), koji pripadaju standardnim postupcima obrade i analize podataka. Na ovaj način izdvajaju se zone različitih svojstava u okviru istražne oblasti, koje značajno mogu da pomognu pri definisanju strukturno – tektonskih odnosa na istražnom području.

Prostorni položaj magmatskih tela koji se ne vide na površini istražnog područja i odnosi magmatskih tela prema okolnim stenama su definisani pomoću geofizičkih podataka. Za određivanje prostornog položaja magmatskih tela i granice tih tela prema okolnim stenama, na geofizičkim podacima primenjeni su određeni postupci matematičkih transformacija. Na osnovu geofizičkih podataka urađeni su modeli raspodele fizičkih svojstava, a da bi modeli dobili geološki smisao u njih su ugrađujući svi raspoloživi geološki podaci o ispitivanom prostoru. Prilikom modelovanja koriste se podaci prikupljeni tokom različitih geoloških istraživanja, koji se na prostoru Timočkog magmatskog kompleksa izvode već dugi niz godina. Osim geofizičkih i geoloških podataka korišćeni su podaci dobijeni istražnim bušenjem, čiji je glavni zadatak da pomognu u određivanju fizičkih svojstava različitih vrsta stena u modelu.

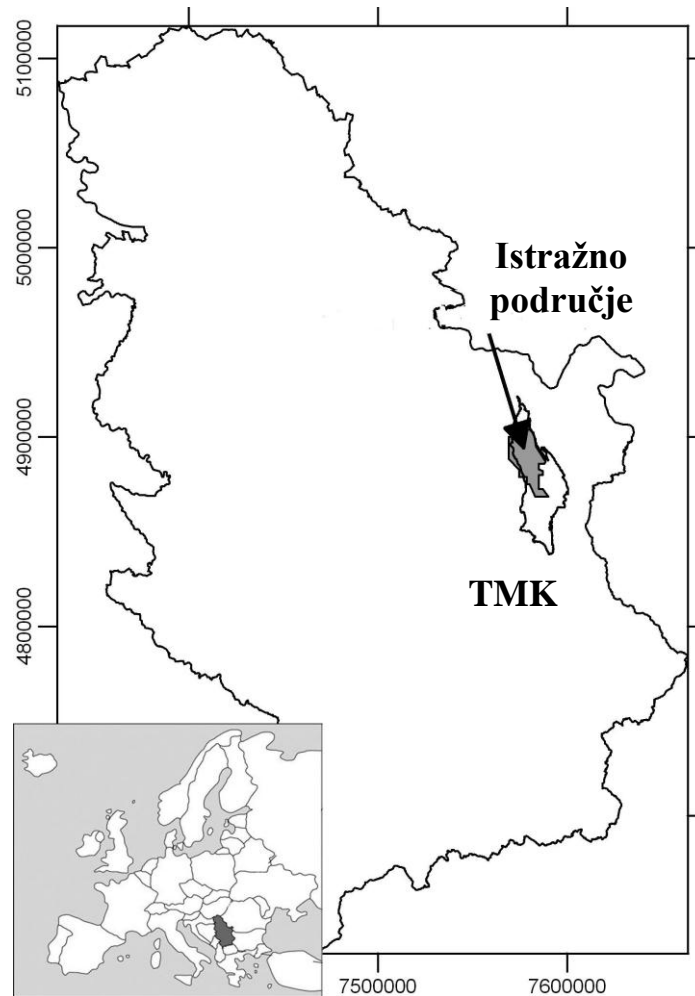
2. Opšti podaci o istražnom prostoru

2.1. Geografski položaj istraživanog područja

Timočki magmatski kompleks se prostire između Majdanpeka na severu i sela Bučja (severno od Knjaževca) na jugu. Dužina ovog kompleksa je oko 85 km, najveća širina je u središnjem delu i iznosi oko 25 km, dok njegova ukupna površina iznosi oko 1130 km². Ovaj kompleks ima generalni pravac pružanja sever severozapad - jug jugoistok.

Temom ove doktorske disertacije obuhvaćen je prostor Timočkog magmatskog kompleksa, koji se najvećim delom nalazi severno i severozapadno od Bora. Koordinate centralne oblasti istražnog područja su 48° 10' severne geografske širine i 22° 00' istočne geografske dužine, a u Gaus-Kriggerovim kordinatama istražno područje se nalazi između 7568600 m i 7594000 m, kao i između 4874570 m i 4905300 m. Sa zapadne strane istraživano područje je ograničeno padinama Beljanice i Kučaja, a na istoku Malim Kršom, Velikim Kršom i Stolom. Ovo područje je brdovito planinsko sa najvišom planinom Crni Vrh, čija je najveći vrh 1135m, a koja se nalazi severozapadno od Bora. Geografski položaj istražnog područja je prikazan na Slici 1.

U oblasti istražnog područja protiču reke Lipa, Crna reka, Beljevina, Jagnjilo, Kriveljska reka, Borska reka i Brestovačka reka. Svi vodeni tokovi pripadaju slivu Dunava. Deo terena je izgrađen od krečnjačkih sedimenata, pa je to uslovilo da se razviju mnogi oblici karstne hidrografije u istražnoj oblasti. Nedaleko od grada Bora nalazi se veštačka akumulacija Borsko jezero. Ovo jezero je napravljeno za potrebe industrije i stranovništva u Boru. Topli izvori se nalaze u Brestovačkoj banji. Od naseljenih mesta, pored grada Bora, izdvajaju se veće seoske zajednice Jasikovo, Vlaole, Krivelj, Oštrej i Zlot. Na ovom području prolaze dva magistralna puta: Žagubica-Bor, preko Crnog Vrh i Paraćin-Zaječar, kao i železnička pruga Beograd-Bor-Zaječar.



Slika 1. Geografski položaj područja istraživanja (Ignjatović i Burazer, 2011)

2.2. Pregled ranijih istraživanja na prostoru Timočkog magmatskog kompleksa

Prostor istočne Srbije, a posebno deo na kome se nalazi Timočki magmatski kompleks, od davnina privlači veliku pažnju domaćih i stranih istraživača. Prva istraživanja u oblasti istočne Srbije počela su u 19. veku i nastavljena su sve do današnjih dana (Nikolić, 1993, Banješević, 2006).

Posle drugog svetskog rata, geološka istraživanja u oblasti TMK postala su sve intezivnija usled velikog intresovanja za pronalaženjem novih rezervi bakra i drugih mineralnih sirovina. U prvim posleratnim godinama vrše se sistematska istraživanja TMK, počev od izrade geološke karte, preko praćenja zona mineralizacija, do detaljnih

istraživanja bakronosnih pojava, ležišta i lokaliteta (Nikolić, 1993, Banješević, 2006). Geolozi “Geozavoda” iz Beograda, Rudarsko-geološkog fakulteta iz Beograda i “Rudarsko topioničarskog basena” u Boru tokom 1956. i 1957. godine započeli su radove na prvom organizovanom geološkom kartiranju. Tom prilikom je sistematski prikupljen obiman materijal o geološkoj građi na osnovu kojeg je Drovenik (1960), u svojoj doktorskoj disertaciji “Geološka građa šire okoline Bora, istočna Srbija” izneo mišljenje o postojanju dve vulkanske faze. Dve godine kasnije, odnosno 1962. godine, Drovenik, Antonijević i Micić u radu “Novi pogledi na magmatizam i geološku građu timočke eruptivne oblasti” izneli su mišljenje o trofaznom vulkanizmu, koji će dugo godina će biti polazna osnova svim daljim geološkim istraživanjima.

Jedno od najznačajnijih sistematskih geoloških istraživanja počela su 1961. godine, izradom Geološke karte SFRJ 1:100000. Zatim, od 1963. godine, počinje i izrada Detaljne geološke karte 1:10000, na čemu se u TMK radilo skoro 10 godina. Na geološkim kartama i u tumačima za listove Žagubica (Antonijević i dr., 1963), Bor (Antonijević i dr., 1976), Boljevac (Veselinović i dr., 1964) i Zaječar (Veselinović i dr., 1967), koji u najvećoj meri pokrivaju oblast TMK, primenjena je Drovenikova koncepcija i raščlanjene su sedimentne i vulkanogene tvorevine gornje krede. Autori su prvu vulkansku fazu izdvojili u turon/senonu, a drugu i treću u senonu. Laramijski plutoniti se utiskuju i metamorfišu vulkanite, a uz njih su vezane hidrotermalno izmenjene i orudnjene stene. Ovako obimna geološka istraživanja donela su značajna saznanja o tome da se TMK razvio na podlozi od kristalastih škriljaca, paleozojskih tvorevina i sedimenata jure i donje krede. Knežević (1960) potvrđuje ova saznanja, koja ukazuju na postojanje blokova parcijalno stopljenih hercinskih granitoidnih stena u piroklastitima. Na osnovu podataka prikupljenih u toku izrade Osnovne geološke karte, mnogi autori su nastavili da razrađuju i Drovenikovu koncepciju razvoja TMK i objavljivali su prikupljene geološke podatke i svoje koncepcije (Pejović i Pašić, 1962; Rudolf, 1962/63; Antonijević i Micić, 1964; Nikolić, 1967, 1968, 1993; Nikolić i Anđelković, 1967; Nikolić i Đorđević, 1968; Nikolić i dr., 1968; Đorđević, 1967; Đorđević i dr., 1964, 1967; Bogdanović, 1968, 1971; Spasov, 1969; Pejović i dr., 1971, 1972; Petrović i Marković, 1975). Sistematska geološka istraživanja u okviru projekta Tematske geološke karte, kasnije projekat Geološka karta Srbije 1:50000, koja su

počela 1980. godine, donela su nove podatke i koncepcije o geološkom razvoju TMK, a takođe i formacioni pristup interpretacije podataka na geološkoj karti (Đorđević, 1989, 1994; Đorđević i Janjić, 1990; Đorđević i dr., 1994, 1997; Đorđević i Banješević, 1996, 1997, 1998; Banješević, 2002; Banješević i dr., 2003).

Pored toga što je Timočki magmatski kompleks najveće paleovulkansko područje u istočnoj Srbiji, veoma mali broj geologa se bavio vulkanološkim proučavanjem kompleksa. Prvi podaci o vulkanskim oblicima nalaze se u radovima Cvijića (1924), zatim u radovima Ilića (1953/54), koji prvi pominje andezit-bazaltski vulkanizam. Drovenik (1966) iznosi gledište o ultravulkanskoj aktivnosti pri nastajanju „borskih tufova i pelita”, a Obradović i Pavlović (1974, 1975) tvrde da su „borski tufovi i peliti” nastali jednom vrstom piroklastičnog turbulentnog toka, vezanog za freatomagmatske erupcije. Đorđević (1994) prvi put uvodi termin epiklastiti za pojedine tvorevine TMK. Cvetković (1995) navodi genetske razlike, kao i petrostrukturne karakteristike vulkanskih naslaga kod Brestovačke banje i Tilva Njagre. Đorđević i Banješević (1996) izdvajaju eruptivne tipove i sredine deponovanja vulkanskih stena u južnom delu TMK, a Đorđević i dr. (1990) i Banješević (1993) prikazuju podatke petrostrukturno-vulkanoloških proučavanja. Banješević (1999) u magistarskoj tezi "Gornjokredna vulkanska aktivnost Banjskog polja kod Brestovačke banje" primenjuje savremene metode istraživanja vulkanskih facija, terminologiju i nomenklaturu za njihovo opisivanje. Banješević (2006) se u svojoj doktorskoj disertaciji "Gornjokredni magmatizam Timočkog magmatskog kompleksa" bavi detaljnim prikazom razvića magmatizma u okviru određenih faza, kao i rekonstrukcijom vulkanskih facija.

Timočki magmatski kompleks, kao najznačajnije bakronosno područje ne samo u Srbiji, već i u Evropi, u poslednjih šezdesetpet godina privlači pažnju brojnih istraživača, koji se bave metalogenijom i istraživanjima hidrotermalno izmenjenih i mineralizovanih stena. Značajni su radovi sledećih istraživača: Drovenik (1962, 1966, 1968, 1983); Đorđević (1965, 1980); Janković (1965, 1968, 1977, 1990, 1996, 1997); Karamata (1969, 1974); Mihajlović-Vlajić (1969); Aleksić (1969, 1979); Jadranin (1969); Spasov (1969); Spasov i dr. (1972); Bilibajkić i dr. (1972); Nikolić i Đorđević (1975); Miličić i Grujičić (1979); Milovanović (1979/80); Knežević i dr. (1982); Karamata i dr., (1983); Petković i dr., (1984); Mišković (1989); Milojević (1989); Janković i dr. (1984, 1995,

1998, 2002); Antonijević (1997); Cocić i dr., (1998, 2002); Koželj i dr. (1998); Koželj (1999, 2002); Koželj i Jelenković (2001); Vakanjac i Jelenković (1999); Vakanjac i dr., (2002); Jelenković i Serafimovski (2000); Jelenković i dr. (2002); Zarić i dr. (2000).

Osim geoloških istraživanja, koja su u velikom obimu rađena na čitavom prostoru TMK, vršena su i geofizička ispitivanja. Na žalost, veći deo rezultata ovih istraživanja danas su sačuvani kao neobjavljeni podaci, koji se nalaze u sklopu fondovske dokumentacije (“Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor” iz Bora, “NIS Gazprom neft” iz Novog Sada), neki od rezultata su publikovani, dok je deo rezultata istraživanja izgubljen. Prva geofizička istraživanja u oblasti kompleksa obavljena su još 1930. godine i to na prostoru Crnog Vrh. Ova istraživanja izvršili su geofizičari iz Francuske, koji su nastavili da vrše istraživanja sve do 1938. godine. U tom periodu vršena su geoelektrična ispitivanja (postupkom sopstvenog potencijala) i geomagnetska merenja. Od 1938. godine, pa sve do 1942. godine, geofizička istraživanja izvodili su nemački geofizičari. Oni su, takođe, vršili geoelektrična ispitivanja, geomagnetska merenja, ali i elektromagnetska merenja. Ispitivanja su nastavljena i posle drugog svetskog rata pod rukovodstvom nemačkog geofizičara O. Majersa. Zatim su geofizička istraživanja nastavljena od strane naših istraživača iz “Zavoda za geološka i geofizička ispitivanja” iz Beograda i “Geofizičkog instituta” iz Beograda. Istraživanja su se vršila u severnom delu kompleksa, na potezu od Majdanpeka do Bora. Geofizička ispitivanja su se satojala od geoelektričnih, gravimetrijskih i geomagnetskih ispitivanja. Prilikom primene geoelektričnih metoda, najčešće su primenjivani postupci: sopstvenog električnog potencijala, izazvane polarizacije i specifične električne otpornosti. Ova istraživanja su najviše rađena između 1958. i 1963. godine, zatim između 1971. i 1973. godine, kao i između 1983. i 1985. godine. Gravimetrijska i geomagnetska merenja su rađena u periodu od 1952. do 1984. godine i kao rezultat ovih merenja dobijeni su podaci detaljnih gravimetrijskih i geomagnetskih merenja. Osim, pomenutih podataka detaljnog premera, postoje i gravimetrijski podaci rađeni u okviru državnog premera Srbije od strane “Geofizičkog instituta” iz Beograda. Podaci ovih gravimetrijskih merenja se nalaze u Bazi gravimetrijskih podataka Srbije. Jedan deo podataka detaljnog premera danas je sačuvan samo u obliku karata, što ograničava njihovu upotrebu, a mnogi izveštaji o tim istraživanjima su izgubljeni. “Geoinstitut” iz Beograda je 1983. godine

izvršio aerogamaspektrometrijska ispitivanja na čitavom prostoru između Majdanpeka i Bora, a kasnije i celog TMK. Rezultati ovog istraživanja su objavljeni u vidu publikacije “Aerogamaspektrometrija - primena u geologiji i ekologiji” (Milivojević, M., 1995). Prva aeromagnetska ispitivanja na čitavom prostoru TMK obavljena su u periodu 1978-1979. godine. Rezultati ovog istraživanja dostupni su u publikaciji “Anomalno magnetsko polje i geološka građa republike Srbije” Vukašinović (2005) u vidu karte i kratkog opisa rezultata merenja.

Istraživanja u oblasti TMK se obavljaju više od sto godina i za ovaj vremenski period je eksploatisano 6 miliona tona bakra i 300 tona (9.65 miliona unci) zlata (Monthel et al., 2002). Ova istraživanja su uglavnom bila zasnovana na ispitivanju ranije poznatih ležišta, tj. oslanjala su se na relativno stara geološka saznanja. U poslednjih desetak godina većina geoloških istraživanja je uglavnom usmerena na povećavanje rezolucije podataka o starosti (von Quadt et al., 2002, 2003, 2007; Lips et al., 2004, Clark i Ullrich, 2004; Banješević i dr., 2006; Zimmerman et al., 2008, Kolb et al., 2013), rekonstrukciju vulkanskih facija (Banješević i dr., 2001, 2002), kao i na ispitivanje lokalnih oblika mineralizacije i okolnih hidrotermalno izmenjenih stena (Pačevski et al., 2007, 2008, 2012).

2.3. Geološka građa istražnog područja

Timočki magmatski kompleks je razvijen na stenama kontinentalne kore (Andrić i dr., 1972; Antonijević i dr., 1974), koje po starosti variraju od proterozoika do donje krede. U geološkoj građi Timočkog magmatskog kompleksa pretežno učestvuju stene paleozojske i mezozojske starosti, dok se podređeno javljaju stene neogene i kvartarne starosti. Istražno područje, koje pripada severnom delu TMK, kao i celokupni prostor na kome se nalazi ovaj kompleks, odlikuje se složenom geološkom građom nastalom tokom duge geološke istorije stvaranja terena. Podaci o geološkoj građi istražnog područja dobijeni su prema podacima OGK 1:100000 i tumačima listova Žagubica L 34-140 (Antonijević i dr., 1963) i Bor L 34-141 (Antonijević i dr., 1976), kao i na osnovu dosadašnjih geoloških istraživanja, koja se na istražnom prostoru obavlja već dugi niz godina. Podlogu gornjokrednih vulkanogenih stena Timočkog magmatskog

kompleksa čine paleozojske, jurske i donjokredne stene, a povlatu čine paleogene, neogene i kvartarne naslage. Na istražnom području najveći deo terena je izgrađen od stena gornjokredne starosti. Na Slici 2 je prikazana pregledna geološka karta šire oblasti istražnog područja, sa izdvojenom granicom istražnog područja.

Osim složene geološke građe, kojom se odlikuje čitav TMK, za njega su karakteristične i pojave hidrotermalno izmenjenih stena. Hidrotermalno izmenjene stene su povezane i sa rudnim mineralizacijama u kojima se zapaža povećan sadržaj glavnih (Cu, Au) i pratećih (Ag, Mo) elemenata.

2.3.1. Paleozoik

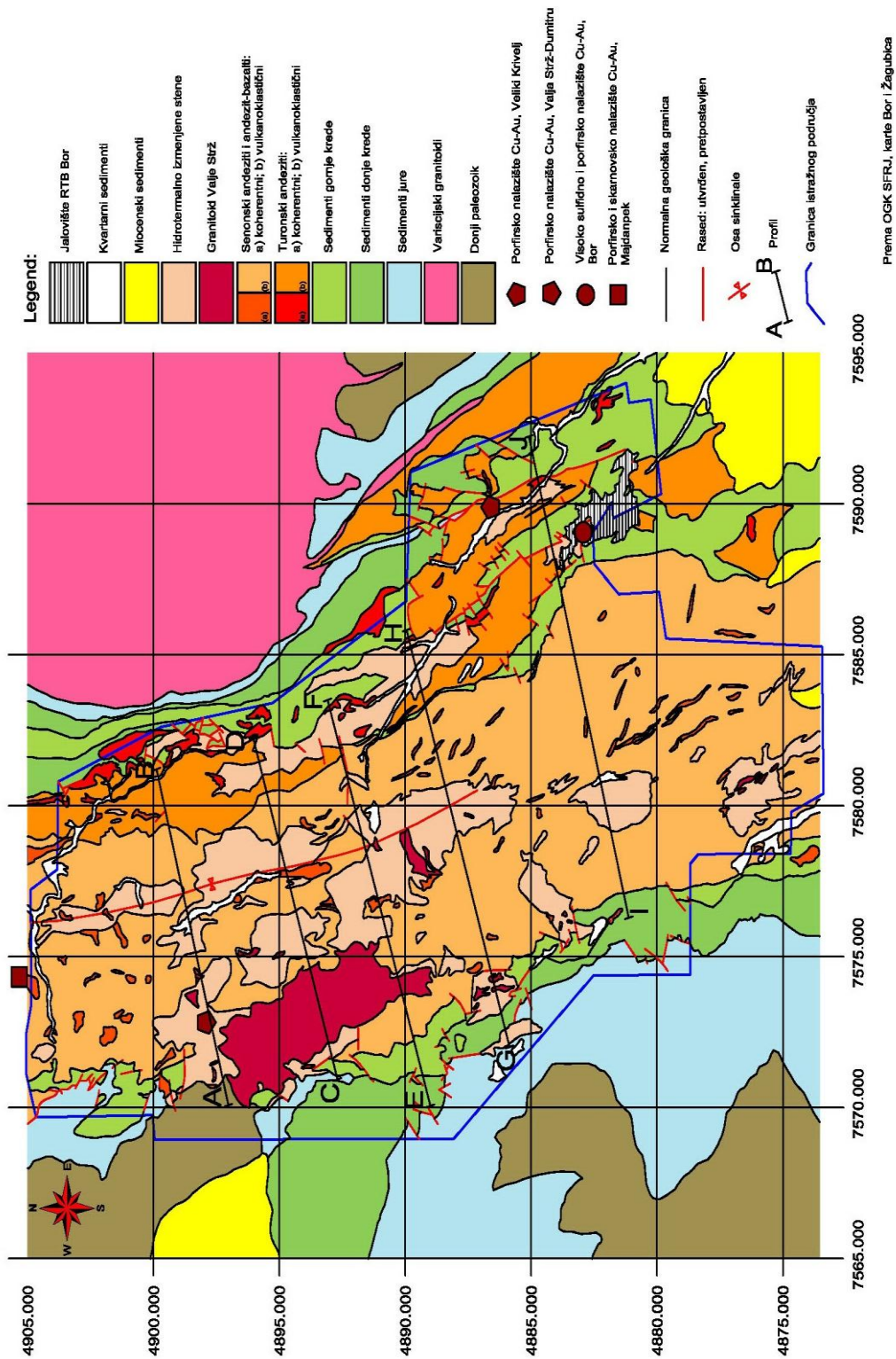
Najstarije kartirane geološke jedinice na istražnom području su stene paleozojske starosti. Ove stene se nalaze u podlozi TMK. Stene paleozojske starosti su izdvojene u severozapadnom delu terena i sastoje se od agrilofilita i metapeščara, čija starost pretežno odgovara ordovicijumu. U severoistočnom delu terena se izdvajaju granitoidne stene variscijske starosti.

2.3.2. Mezozoik

Najveći deo istražnog područja je izgrađen od stena mezozojske starosti. Najrasprostranije su stene gornjokredne starosti. Stene jurske i donjokredne starosti se nalaze u podlozi Timočkog magmatskog kompleksa.

Jura

U područjima duž celog oboda TMK izdvojene su stene Jurske starosti. Ove stene leže diskordantno preko paleozojskih stena, a u povlati su im donjokredni sedimenti, koji su razvijeni, kao i jurski sedimenti, na širokom prostoru uz obod TMK. Jurske tvorevine su predstavljene karbonatima, masivnim, bankovitim i slojevitim sprudnim i subsprudnim krečnjacima i dolomitima.



Slika 2. Geološka karta

Kreda

Na istražnom području se izdvajaju tvorevine donje i gornje krede, pri čemu tvorevine gornje krede zauzimaju dominantu površinu istražnog terena, dok se tvorevine donje krede nalaze duž oboda TMK.

Donja kreda

Preko stena jurske starosti konkordantno leže sedimenti donje krede i izdvojeni su skoro duž celog oboda TMK. Donjokredni sedimenti su u manjoj meri konstatovani u unutrašnjim delovima u kojima se pojavljaju kao horstovi u paleoreljefu i u tektonskom odnosu su sa gornjokrednim tvorevinama. Donjokredni sedimenti jedino izostaju u severnom i severozapadnom delu, na prostoru između Majdanpeka i zapadnog oboda plutona Valja Strž. Tvorevine donje krede su predstavljene masivnim i bankovitim krečnjacima, slojevitim i masivnim krečnjacima, slojevitim i bankovitim krečnjacima, konglomeratima, peščarima i glincima.

Gornja kreda

Stene gornjokredne starosti su najzastupljenije tvorevine na istražnom prostoru, a predstavljene su sedimentima, epiklastitima, vulkanitima, plutonitima i latitima.

Sedimente gornje krede čine peskoviti i alevrolitski krečnjaci, karbonatni peščari, breče, konglomerati, konglomeratični do sitnozrni peščari, alevroliti, laporci, glinoviti, laporoviti i peskoviti alevroliti, alevrolitski i peskoviti laporci, glinci. Najmlađe tvorevine gornje krede su „borski konglomerati” i sprudni sedimenti. „Borski konglomerati” su slojeviti do bankoviti klastični sedimenti sa svim prelazima od sitnozrnih peščara do blokovskih konglomerata uz česta proslojavanja, vrlo retko se javljaju alevroliti i laporci. U njima se, po prvi put u gornjoj kredi, javlja u velikim količinama materijal, čije je poreklo van basenskog prostora TMK. Izdvojeni su valuci metamorfita visokog i niskog stepena metamorfizma, gabroidnih i granitoidnih stena, vulkanita poreklom van TMK, paleozojskih sedimenata i metasedimenata, jurskih i

donjokrednih krečnjaka, kao i svih stena koje ulaze u sastav TMK (Đorđević i Banješević, 1997). Pojave sprudnih sedimenata su vezane za centralne delove TMK, a sastoje se od peščara, krečnjaka, peskovitih krečnjaka, krečnjačkih klastita, breča sa fragmentima andezitskih stena, alevrolitskih laporaca i peščara.

Osim sedimentarnih stena na istražnom prostoru jako veliko rasprostranjenje imaju vulkaniti. Oni su rasprostranjeni u najistočnijem delu TMK, kao i u centralnom i zapadnom delu TMK. U najistočnijem delu TMK vulkaniti su andezitskog, trahiandezitskog, dacitoandezitskog do dacitskog sastava. U literaturi ovi vulkaniti su poznati kao andeziti I vulkanske faze (Drovenik i dr., 1962) ili andeziti turona (Đorđević i Banješević, 1997). Vulkaniti koje se nalaze u centralnom i zapadnom delu TMK u literaturi su poznati kao andeziti i andezitbazalti II vulkanske faze (Drovenik i dr., 1962). Prvobitni vulkanizam je bio andezitbazaltskog karaktera i za njega su vezane uglavnom mirne, efuzivne, podmorske erupcije, koje izgrađuju manje vulkanske oblasti. U daljem razvoju vulkanske aktivnosti dolazi do snažnijih erupcija i stvaranja velike količine vulkanskog materijala koji izgrađuje ostrva. Tako vulkanska aktivnost počinje da se odvija i u kopnenim i u morskim uslovima (Đorđević i Banješević, 1996, 1997), a produkti su vulkaniti andezitskog i andezitbazaltskog sastava.

Na istražnom području ima i pojava epiklastita. Termin epiklastiti u TMK prvi je počeo da koristi Đorđević (1994) i to za posteruptivno redeponovane stene izgrađene od fragmenata koji potiču od andezitskih stena podloge. Epiklastiti su klastične stene, koje se često proslojavaju sa sedimentima ili se sedimenti nalaze u njihovoj povlati. Na nekoliko profila i bušotina u okolini Brestovca, kao i između Krivelja i Bora, u povlati epiklastita leže vulkanoklastiti piroksena andezitskog sastava. Epiklastiti se karakterišu i prisustvom valutaka rude bakra i hidrotermalno izmenjenih stena, kojih nekada ima u znatnoj količini.

Prisutna je pojava plutonita i latita na istražnom prostoru. Kao najveći plutonit na istražnom prostoru izdvaja se intruziv Valja Strž. Ovaj plutonit se nalazi u severozapadnom delu TMK, a otkriven je na više od 20 km². Plutonit Valja Strž je nepravilnog izduženog oblika i pruža se pravcem severozapad-jugoistok. Dužina

plutonita je oko 8,5 km, njegova najveća širina je u severnom delu i iznosi oko 3 km, dok se u južnom delu sužava. Zapadna granica plutonita Valja Strž je tektonska, a na jugu je utisnut u donjokredne krečnjake i gornjokredne sedimente, koje kontaktno metamorfiše. Najvećim delom se utiskuje u senonske vulkanite, koje slabo metamorfiše. Latiti se najvećim delom nalaze duž zapadnog oboda TMK i oni se utiskuju ili probijaju andezitbazalte i andezite. U literaturi se ove stene spominju pod različitim nazivima i to kao trahiandeziti kod sela Ilina (Žujović, 1900), trahiandeziti, subvulkanski latiti i bostoniti u žicama (Antonijević, 1957), latiti III vulkanske faze (Drovenik i dr., 1962), porfiroidni monconiti i monocabrovi (Đorđević i Banješević, 1997) i alkalni bazalti (Milovanović i dr., 2005).

Hidrotermalno izmenjne stene

Jedna od karakteristika Timočkog magmatskog kompleksa je velika zastupljenost hidrotermalno promenjenih stena nastalih kao posledica delovanja vrelih rastvora na okolne stene. Među najzastupljenijim tipovima alteracije su kalijska metasomatoza i propilitizacija (Koželj, 2002). Ove dve vrste hidrotermalnih alteracija prethode formiranju rudne mineralizacije u svim tipovima ležišta TMK i imaju regionalni značaj. Pored ove dve facije alteracija, u blizini ležišta bakra i pratećih rudnih elemenata, zapažaju se i sledeći tipovi alteracija: silifikacija, sericitizacija, argilitizacija (kaolinizacija), hlorotizacija, biotitizacija, piritizacija, sulfatizacija, alunitizacija i kalcifikacija. Osim navedenih facija, hidrotermalne alteracije mogu da budu prisutne i skarnizacija, zeolitizacija, epidotizacija, pirofilitizacija, kao i pojave hidro i sekundarnih kvarcita (Janković, 1990, Janković i dr, 2002, Koželj, 2002). U okviru Timočkog magmatskog kompleksa, hidrotermalno izmenjene stene rasprostranjene su na površini od oko 164 km², od toga površina izmenjenih stena prve vulkanske faze iznosi oko 27 km², druge vulkanske faze oko 125 km², a treće vulkanske faze oko 12 km² (Koželj, 2002).

Hidrotermalne izmene često pokazuju zonalnost, čiji intezitet slabi sa udaljvanjem od porfirskih intruzija (Janković, 1990). Hidrotermalne promene nisu uvek rudonosne, a

njihovo stvaranje vezano je delimično za delovanje vulkanskih para i gasova (propilitizacija) i nije praćeno mineralizovanim hidrotermalnim rastvorima.

Ležišta bakra (Cu) i pratećih metala (Au, Fe, Mo, Ag, Pb/Zn) prostorno i (para) genetski su vezani sa tvorevinama TMK, a nalaze se u ekstruzivnim vulkanskim facijama matičnih magmi, glavnim dovodnim kanalima, parazitskim vulkanskim kanalima i intruzivnim facijama (Janković i dr, 2002).

2.3.3. Kenozoik

Tvorevine, čija starost odgovara kenozoiku, veoma malo su rasprostranjene na istražnom prostoru. Paleogene i neogene tvorevine izostaju, samo se sporadično pojavljuju kvartarne tvorevine.

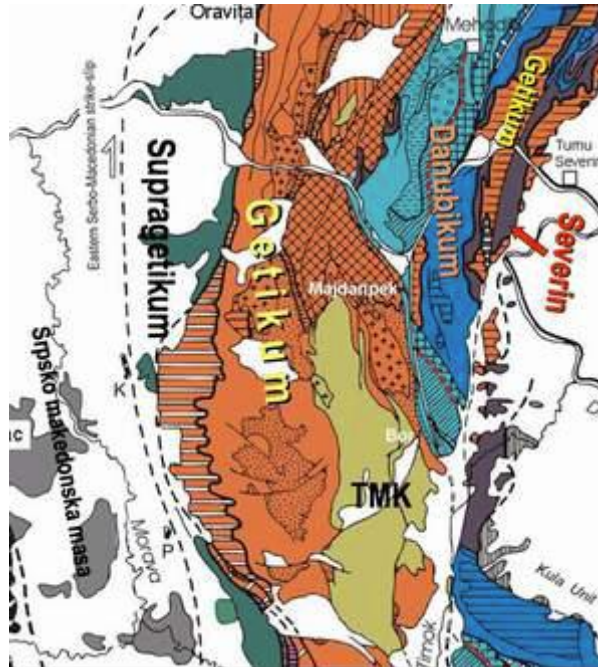
Kvartar

Od kvartarnih tvorevina izdvojeni su aluvijalni sedimenti i rečne terase u većim rekama, deluvijalne padinske breče i sipari i tehnogeni talozi i jalovišta, uglavnom u neposrednoj ili široj okolini rudnika.

2.4. Geotektonika

Timočki magmatski kompleks pripada Karpato-Balkanidima istočne Srbije, koji su deo Tekijsko-Dakijske jedinice. Tekijsko-Dakijaska jedinica predstavljala je zapadnu granicu Evropske ploče tokom poslednjih konvergencionih procesa u ovoj oblasti (Schmid et al., 2008). TMK predstavlja kompleksnu geotektonsku jedinicu, koja pripada Getskoj jedinici, getikumumu (Grubić, 1983; Kräutner i Krstić, 2003) ili kučajskom teranu, kao delu složenog terana Karpato-balkanida (Karamata i Krstić, 1996). TMK se nalazi između Srpsko-makedonske mase na zapadu i jugozapadu i Mezijske platforme na istoku. Ovaj kompleks magmatskih stena se na severu nastavlja do severnih delova Apusena i Banata u Rumuniji, a na jugu se sužava u diskontinuirani rov sve do Srednjogorija u Bugarskoj, gde ponovo pokriva veliku površinu. Ovaj magmatski pojas se prati i dalje preko Pontida u Turskoj sve do severnog Irana (Janković, 1990). Na

Slici 3 je prikazana skica položaja geotektonskih jedinica jednog dela Karpatobalkanida.



Slika 3. Skica položaja geotektonskih jedinica jednog dela Karpatobalkanida
(Banjesević, 2006)

Timočki magmatski kompleks čini deo jednog velikog pojasa, koji je u novijoj geološkoj literaturi poznat kao Banatitski magmatski i metalogenetski pojas (eng. Banatitic Magmatic and Metallogenic Belt, Berza et al., 1998) ili Apuseni-Banat-Timok-Srednogorie magmatski i metalogenetski pojas (eng. Apuseni-Banat-Timok-Srednogorie Magmatic and Metallogenic Belt, Popov et al., 2002), a koji se na sever pruža u rumunski deo Banata, a prema jugu, odnosno jugoistoku u Srednjejgorije u Bugarskoj.

Strukturno-tektonski odnosi u oblasti Timočkog magmatskog kompleksa su nastali kao rezultat tektonskih pokreta gravitacionog karaktera. Kao najveća geotektonska jedinica u ovom delu izdvaja se Timočka rov-sinklinala, koja je na zapadu ograničena zlotskom, a na istoku borsko-tupužničkom dislokacijom (Anđelković i Nikolić, 1974, 1976). Proces formiranja rov-sinklinalne strukture počeo je od gornjeg eocena i trajao je do gornje

krede (Andrić i dr, 1972). Pravac pružanja rova se poklapa sa pravcem pružanja glavnih struktura. Prema obodnim delovima rov-sinklinale dominiraju rasedi, koji imaju isti pravac pružanja, kao i glavni rasedi, sa tom razlikom što dosežu do manjih dubina, odnosno do bokova rova. Glavni rasedi u TMK imaju generalni pravac pružanja sever severozapad-jug jugoistok. Vrlo često su glavni rasedi presečeni mlađim rasedima, koji imaju pravac pružanja upravan na njih (istok-zapad, severoistok-jugozapad), a izvršili su njihova pomeranja u velikom broju slučajeva prema istoku. U oblasti TMK se pored Timočke rov sinklinale, kao najveće tektonske jedinice, može izdvojiti i više manjih antiklinala i sinklinala. Od većih raseda izdvajaju se Borski i Kriveljski rased (Antonijević i dr., 1976).

2.5. Vulkanizam u Timočkom magmatskom kompleksu

Karpato-Balkanidi istočne Srbije karakterišu se gornjokrednom vulkanskom aktivnošću, koja se razvijala duž dva subparalelna magmatska pojasa, kojima pripadaju Timočki magmatski kompleks na istoku i Ridanjsko-krepoljinska zona na zapadu. Magmatiti Timočkog magmatskog kompleksa su turonsko-kampanske starosti, dok su magmatiti ridanjsko-krepoljinske zone kampansko-masrtiltske starosti (Pecskay et al., 1992; Karamata i dr., 1997; Banješević i dr., 2003).

Timočki magmatski kompleks predstavlja najveće vulkansko područje u Srbiji, koje je nastalo tokom kontinuirane vulkanske aktivnosti, koja je trajala najmanje deset miliona godina. Tokom evolucije odvijalo se migriranje vulkanskog fronta od istoka prema zapadu (von Quadt et al., 2002, 2003, 2007). Za vulkanizam TMK je karakteristično da preovlađuju ekstruzivne vulkanogene facije u odnosu na eksplozivne i intruzivne facije. Prisutni su oštri i česti facijalni prelazi, debele naslage sin- i post-eruptivno resedimentovanih vulkanoklastita i intezivne postvulkanske i postmagnatske promene praćene bakrovim orudnjenjem i pratećom mineralizacijom (Đorđević i Banješević, 1997; Banješević, 2006).

Vulkanizam u TMK započeo je u turonu i bio je razvijen u istočnim delovima TMK. Prvobitni vulkanizam je bio pretežno andezitskog, a podređeno dacitskog karaktera.

Vulkanska aktivnost je najvećim delom bila kopnena, dominantno efuzivna i podređeno plitkointruzivna. Lave su bile dosta viskozne i u velikom stepenu iskristalisale, a lavični izlivi su uglavnom bili kratki i debeli. Turon-kampanski vulkanizam počeo je brojnim emisijama lave kada su se obrazovale vulkanske dome, ili su se dome obrazovale kasnije. Aktivni dovodni kanali bivaju zapunjeni finalnim rastopima i dolazi do nastanka izolovanih dajkova ili sistema subvertikalnih dajkova. Na kraju dolazi do postvulkanskih procesa, odnosno do cirkulisanja mineralizovanih rastvora, koji obrazuju ekonomski veoma značajna porfirna ležišta bakra u TMK i alterišu okolne stene (Banješević, 2006, Banješević, 2010).

U donjem senonu vulkanski front se premešta prema zapadu i tada se emituju lave andezitbazaltnog do andezitskog sastava. Ekstenzioni uslovi doveli su do stvaranja struktura nalik riftu, pa je vulkanska aktivnost uglavnom podmorska. Prvobitnu vulkansku aktivnost u senonu karakterišu mirne efuzivne erupcije, koje su bile uglavnom linearnog i pukotinskog tipa, bez jasnih centara aktivnosti. Ovakav tip vulkanizma formiran je kao posledica skoro potpune eliminacija lakoisparljivih komponenti iz sistema, slabe viskoznosti i iskristalisanosti lavične mase. Formiraju se facije lavičnih izliva, koje su pretvorene u hijaloklastite, dok su plitke intruzije sasvim retke. Dalji razvoj vulkanizma u senonu karakterišu efuzivno-eksplozivne erupcije. U ovom periodu se odlažu velike količine raznorodnog vulkanskog materijala i najverovatnije počinju da se formiraju vulkanska ostrva. Vulkanizam tako počinje da se vrši u kopnenim i morskim uslovima. Dolazi do obrazovanja koherentnih lavičnih izliva, ali i do nastajanja različitih autoklastičnih naslaga (Banješević, 2006, Banješević, 2010).

U završnoj fazi vulkanizma sledi intruzivna faza. Tokom ove faze vršilo se utiskivanje plutonskih stena, koje su bile uglavnom dioritskog i monconitskog sastava. Plutonite prate plitko konsolidovane intruzije, odnosno dajkovi, nekovi i silovi latitskog sastava. Centralni delovi plutonskih masa ukazuju na lagano hlađenje, za razliku od obodnih delova, koji pokazuju porfiroidne karakteristike. Veoma su izraženi postvulkanski procesi. Mineralizacioni i hidrotermalni procesi pojavljuju se na širokom prostoru. Kao najveći plutonit na ovom području izdvaja se plutonit Valja Strž. Radiometrijski,

metodom U/Pb, utvrđeno je da je starost intruziva Valja Strž iznosi 78.62 ± 0.44 Ma (von Quadt et al., 2002). Tokom ove faze, a i kasnije otvara se novi vulkanski front dalje na zapadu u području Ridanjsko-krepoljinske zone (Banješević, 2006, Banješević, 2010).

3. Aeromagnetska i gravimetrijska istraživanja dela Timočkog magmatskog kompleksa

Prilikom definisanja Zemljine potpovršine, geofizičke metode istraživanja imaju veoma veliki značaj. Primena geofizičkih metoda istraživanja zasniva se na činjenici da promene fizičkih svojstava stena izazivaju promene u vrednostima fizičkih veličina, koje se mere na površi Zemlje, iznad ili ispod nje. Zahvaljujući postojanju razlika u fizičkim svojstvima stenskih masa, moguće je, u zavisnosti od definisanog problema, koristiti gravimetrijske, geomagnetske, geoelektrične, seizmičke i druge geofizičke podatke, koji su dobijeni merenjima na terenu, kako bi se definisala potpovršina.

Pri izradi doktorske disertacije korišćeni su podaci dobijeni aeromagnetskim i gravimetrijskim merenjem, koja su u istočnoj Srbiji urađena na prostoru, čija površina najvećim delom odgovara površini severnog dela Timočkog magmatskog kompleksa.

Za geomagnetske metode istraživanja, a samim tim i aeromagnetska istraživanja, koja predstavljaju jedan od načina primene ove metode, značajna fizička svojstva stena su magnetska susceptibilnost i remanentna magnetizacija. Na osnovu magnetske susceptibilnosti može se zaključiti u kojoj meri se dati materijal lako magnetiše, dok remanentnu magnetizaciju stena stiče u procesu stvaranja i tokom geološke istorije stene pod uticajem magnetnog polja Zemlje.

Prilikom primene gravimetrijskih metoda istraživanja, fizičko svojstvo koje je od značaja jeste gustina stena. Promene gustine stena u Zemljinoj unutrašnjosti izazivaju širok spektar anomalija gravitacionog polja, pri čemu gustina stena zavisi, pre svega, od mineralnog sastava, poroznosti i strukturnih svojstava.

Prilikom obrade i analize aeromagnetskih i gravimetrijskih podataka, kao i pri izradi modela primenjeni su postupci razvijeni u okviru geofizičkih softverskih paketa (Geosoft Oasis montaj, Golden Software Surfer i Grapher), koji pripadaju standarnim postupcima obrade i analize podataka. Pored osnovnih postupaka obrade podataka primenjeni su i dodatni savremeni postupci obrade.

3.1. Aeromagnetski podaci

Aeromagnetski podaci, koji su korišćeni prilikom izrade ove doktorske disertacije, dobijeni su na korišćenje od kompanije „Dundee plemeniti metali d.o.o” (od 2009. godine kompanija se zove „Avala resources d.o.o”). Kompanija „Dundee plemeniti metali d.o.o ” angažovala je kompaniju „Geotech Airborne Ltd. (Geotech) ” iz Kanade da bi se obavila aeromagnetska merenja u oblasti Timočkog magmatskog kompleksa. Aeromagnetska merenja su izvršena u periodu od 24. 03. 2006. do 18. 06. 2006. godine (Geotech Airborne Ltd, 2006).

3.1.1. Opšti podaci o aeromagnetskim merenjima na istražnom području

Na istražnom prostoru, aeromagnetska merenja su obavljena pomoću helikoptera marke Astra 350 B3 (Slika 4). Prosečna brzina leta helikoptera iznosila je 80 km/h, a helikopter je leteo na visini od 90 metara iznad Zemljine površi. Rastojanje između linija leta (aeromagnetskih profila) iznosilo je 50 ili 100 m. Mrežu profila, pored poprečnih (glavnih) profila, činili su i profili koji su upravni na njih (vezni), a koji su se nalazili na rastojanju od 500 ili 1000 m. Ukupan broj podataka na istražnom području iznosio je 2 814 332 podatka, dok je ukupna dužina profila 8417,7 km. Profili su bili postavljeni upravno na pružanje geoloških struktura, odnosno pravac putanje leta, tj. azimut, je bio S 80 I za linije i S 170 I za vezne linije (čvorove).

Merenja su obavljena pomoću *cezijumovog optičkog magnetometra*. Senzorski deo instrumenta bio je postavljen na kraju dugačkog kabla, koji je helikopter vukao ispod i iza sebe u konstrukciji nazvanoj ”ptica”. Senzor instrumenta bio je postavljen na udaljenosti od 15 m. Na ovaj način je postignuto da senzor bude udaljen od mase helikoptera, kako bi se smanjili efekti magnetskih poremećaja, koje stvara motor. Negativni efekti su kompenzovani tako što je u helikopteru bio ugrađen sistem za kompenzaciju stalne i promenljive magnetizacije helikoptera. Uz pomoć ovog sistema u velikom procentu eliminisan je efekat krivudanja letilice, promene nagiba letilice i kovitlanje. Aeromagnetska merenja su izvršena na visini od 75 m od površi terena. Osetljivost magnetskog senzora instrumenta iznosila je 0.02 nT, dok je interval

uzorkovanja bio 0.1 s. Magnetometar je slao izmerene vrednosti inteziteta magnetskog polja u nano Teslama (nT) do sistema za prikupljanje (akviziciju) podataka preko RS-232 kanala. Sistem za aeromagnetska ispitivanja je, pored magnetometra, imao i pomoćne sisteme: radarski altimeter, GPS navigacioni sistem i digitalni sistem za prikupljanje podataka.

Radarski altimeter bio je marke Terra TRA 3000/TRI 30 i korišćen je za snimanje terena. Antena je bila montirana ispod balona pilotske kabine helikoptera. Interval uzorkovanja je iznosio 0.2 s.



Slika 4. Helikopter korišćen za aeromagnetska merenja

Kao navigacioni sistem upotrebljen je Geotech PC sistem. Ovaj sistem koristi Geotech navigacioni softver i NovAtel WAAS prijamnik sa OEM4-G2-3151W GPS standardom. NovAtel GPS antena je bila montirana na repu helikoptera. Pilot pomoću ovog navigacionog sistema održava pravac leta helikoptera.

Kao digitalni sistem za prikupljanje podataka korišćen je Geotech sistem za prikupljanje podataka sa digitalnim zapisom podataka istraživanja. Podaci su prikazivani na LCD ekranu kao tragovi, kako bi operateri mogli da prate integritet sistema.

Prilikom aeromagnetskih istraživanja korišćena je kombinacija magnetometara i GPS bazne stanice, koja je bila smeštena na aerodromu u Boru. Bazna stanica je beležila intezitet magnetskog polja zajedno sa GPS vremenom. Osetljivost senzora magnetometra iznosila je 0.01 nT. Magnetometar na baznoj stanici bio je udaljen od električnih dalekovoda i automobila, kako bi se na najbolji način umanjio i eliminisao uticaj spoljašnjih faktora, koji su mogli da izazovu smetnje prilikom rada instrumenta.

Putanja leta registrovana je u programima za skupljanje podataka, kao geografska širina/dužina na WGS84 elipsoidu i prikazana je u metrima u UTM (Universal Transverse Mercator) sistemu, zona 34 sever. Položaji su ažurirani svake sekunde. U Tabeli 1 prikazane su podaci o putanji leta helikoptera.

Tabela 1. Podaci o putanji leta

Datum	WGS84
Tip projekcije	Universal Transverse Mercator
Elipsoid	WGS84
Jedinica za dužinu	metar
Zona	34 sever
Duža osa	6378137.0
Ekscentricitet	0.08181919084
Lokalni datum	WGS84
Originalna širina	0°
Originalna dužina	21°
Faktor razmere	0.9996
Lažni sever	0 m
Lažni istok	500000 m

3.1.2. Obrada aeromagnetskih podataka

Aeromagnetskim merenjima na terenu dobijaju se merene vrednosti ukupnog magnetnog polja Zemlje, koje je bilo potrebno obraditi i pripremiti za dalji rad. Sam proces obrade aeromagnetskih podataka obuhvatao je:

1. popravku za uticaj dnevnih varijacija Zemljinog magnetnog polja,
2. postupak „leveling“,
3. postupak „microleveling“,
4. računanje normalne vrednosti ukupnog magnetnog polja,
5. računanje anomaljske vrednosti ukupnog magnetnog polja Zemlje,
6. određivanje dimenzije mreže interpolacije (grid), na osnovu rastojanja između linija leta i gustine tačaka merenja,
7. izbor metode interpolacije, na osnovu rasporeda tačaka merenja i
8. izradu karata.

Ustupljeni aeromagnetski podaci, koji predstavljaju merene vrednosti ukupnog magnetnog polja Zemlje, u sebi su sadržali popravku za uticaj dnevnih varijacija Zemljinog magnetnog polja i postupak „leveling“.

Popravka za uticaj dnevnih varijacija Zemljinog magnetnog polja urađena je pomoću podataka dobijenih sa bazne stanice, koji su bili neophodni kako bi se aeromagnetski podaci korigovali za vrednost dnevne varijacije Zemljinog magnetnog polja u periodu kada su merenja vršena.

Postupak „leveling“ je primenjen da bi se smanjile zaostale razlike u visini između susednih linija leta i da bi se smanjile greške u velikim talasnim dužinama duž linija, koje zaostaju nakon izravnavanja i primene popravke za uticaj dnevnih varijacija Zemljinog magnetnog polja. Ovaj postupak se vrši pomoću skupa veznih linija, koje su normalne na glavne linije i na ovaj način se razlike između čitanja u svakoj tački ukrštanja (tzv. greške presecanja) smanjuju. Smanjene se vrši sistematskim

proporcionalnim izravanjem između čvorova i linija (Luyendyk, 1997, Nabighian et al., 2005).

Primenom popravke za uticaj dnevnih varijacija i postupka „leveling“ na merenim vrednostima ukupnog magnetnog polja otklonjene su smetnje, koje su na bilo koji način mogle da dovedu do problema prilikom dalje obrade, a kasnije i interpretacije podataka.

U Tabeli 2 prikazani su podaci, koji su dobijeni merenjem na terenu za odabranu liniju leta. S obzirom da su dužine linija leta velike, u Tabeli 2 je, za odabranu liniju leta, prikazan samo deo podataka. U ovoj tabeli, merene vrednosti ukupnog magnetnog polja (TMI), u sebi sadrže popravku za uticaj dnevni varijacija Zemljinog magnetnog polja i postupak „leveling“.

Tabela 2. Izgled podataka dobijen aeromagnetskim merenjem

Linija leta	x	y	z	Radar	DEM	TMI
L380	584701.13	4878073.01	487.124	98.804	389.584	47993.16
L380	584704.08	4878073.47	487.135	98.9745	389.428	47997.39
L380	584707.02	4878073.91	487.147	99.1563	389.262	48001.49
L380	584709.96	4878074.34	487.161	99.3482	389.088	48005.45
L380	584712.89	4878074.77	487.177	99.5484	388.907	48009.27
L380	584715.83	4878075.18	487.195	99.7554	388.723	48012.93
L380	584718.76	4878075.59	487.217	99.9675	388.536	48016.44
L380	584721.69	4878076	487.241	100.183	388.350	48019.78
L380	584724.61	4878076.41	487.269	100.400	388.165	48022.95
L380	584727.53	4878076.81	487.300	100.617	387.985	48025.94

gde su

x, y, z – koordinate tačke u UTM koordinatnom sistemu (m),

Radar – visina radara (visina helikoptera iznad površi terena) u m,

DEM – digitalni model reljefa,

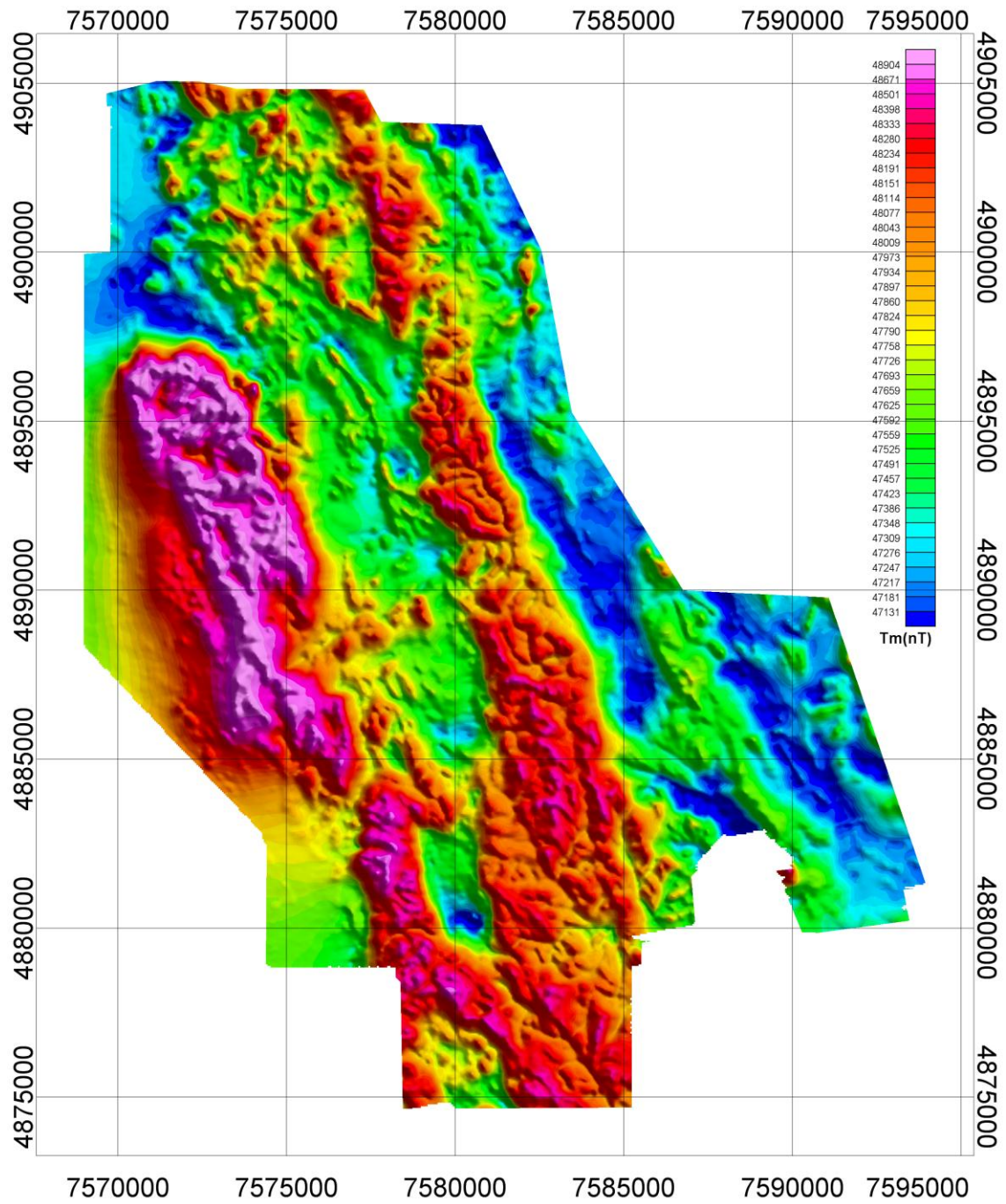
TMI – merena vrednost ukupnog magnetnog polja Zemlje (nT).

Koordinate tačaka dobijene aeromagnetskim merenjima prikazane su u UTM koordinatnom sistemu. U Srbiji je Gaus-Kriggerovo koordinatni sistem zvanični referentni sistem. Da bi se izvršila korelacija podataka dobijenih aeromagnetskim merenjem sa ranije izvršenim gravimetrijskim podacima, kao i podacima dobijenim geološkim istraživanjima, bilo je neophodno da se aeromagnetski podaci prikažu u Gaus-Kriggerovom koordinatnom sistemu. Preračunavanje koordinata iz UTM koordinatnog sistema u Gaus-Kriggerov koordinatni sistemem urađeno je korišćenjem programa TraSis.

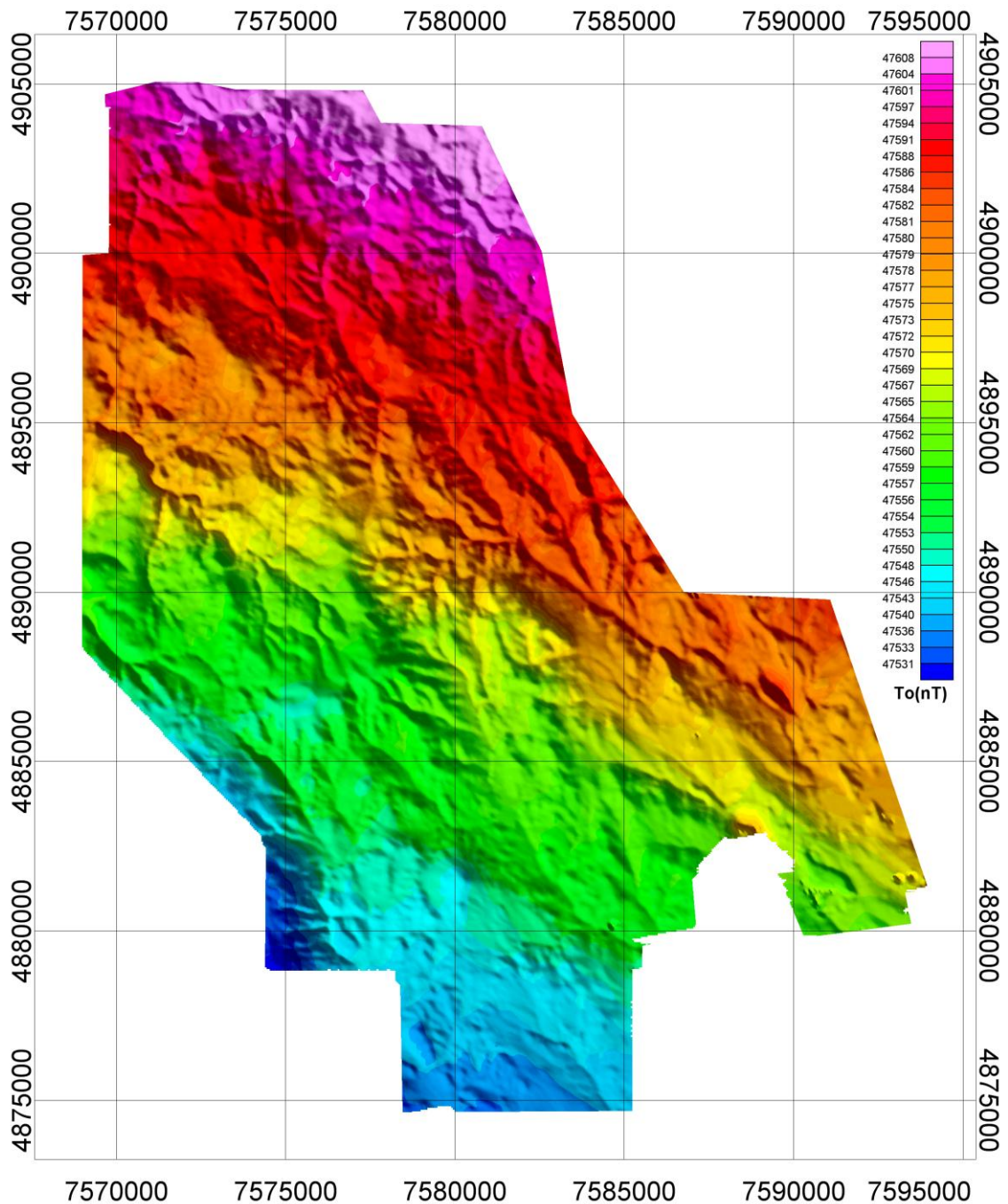
Na osnovu rastojanja između linija leta i gustine tačaka merenja, određeno je da dimenzija mreže interpolacije (grid) za aeromagnetske podatke iznosi 50x50m, a na osnovu rasporeda tačaka merenja interpolacija je urađena postupkom Kriging. Merene vrednosti ukupnog magnetnog polja Zemlje za istražno područje, koje u sebi sadrže popravku za uticaj dnevnih varijacija i postupak „leveling“, prikazane su na Slici 5 . Na ovoj slici se vidi da se merene vrednosti kreću u intervalu od oko 37500 nT do oko 52500 nT.

Naredni korak u obradi podataka je računanje anomalijских vrednosti ukupnog magnetnog polja. Da bi se izračunale anomalijске vrednosti potrebno je da se poznaju normalne vrednosti ukupnog geomagnetnog polja za oblast gde su izvršena merenja.

Normalne vrednosti magnetnog polja su izračunate pomoću modela IGRF-11, (Međunarodno geomagnetno referentno polje, na eng. International Geomagnetic Reference Field) za 01.03.2006. godine, odnosno vremenski period kada su urađena aeromagnetska merenja. Prilikom računanja normalnih vrednosti ukupnog magnetnog polja, uključene su i vrednosti za visinu terena, odnosno topografska popravka. Na ovaj način dobijena je vrednost inklinacije (I), koja iznosi 61° i vrednost deklinacije (D), koja iznosi 3.8° . Na Slici 6 prikazana je karta raspodele normalne vrednosti ukupnog geomagnetnog polja Zemlje za istražno područje, čije se vrednosti kreću u intervalu od oko 47500 nT do oko 47600 nT.



Slika 5. Karta merenih vrednosti ukupnog magnetnog polja Zemlje

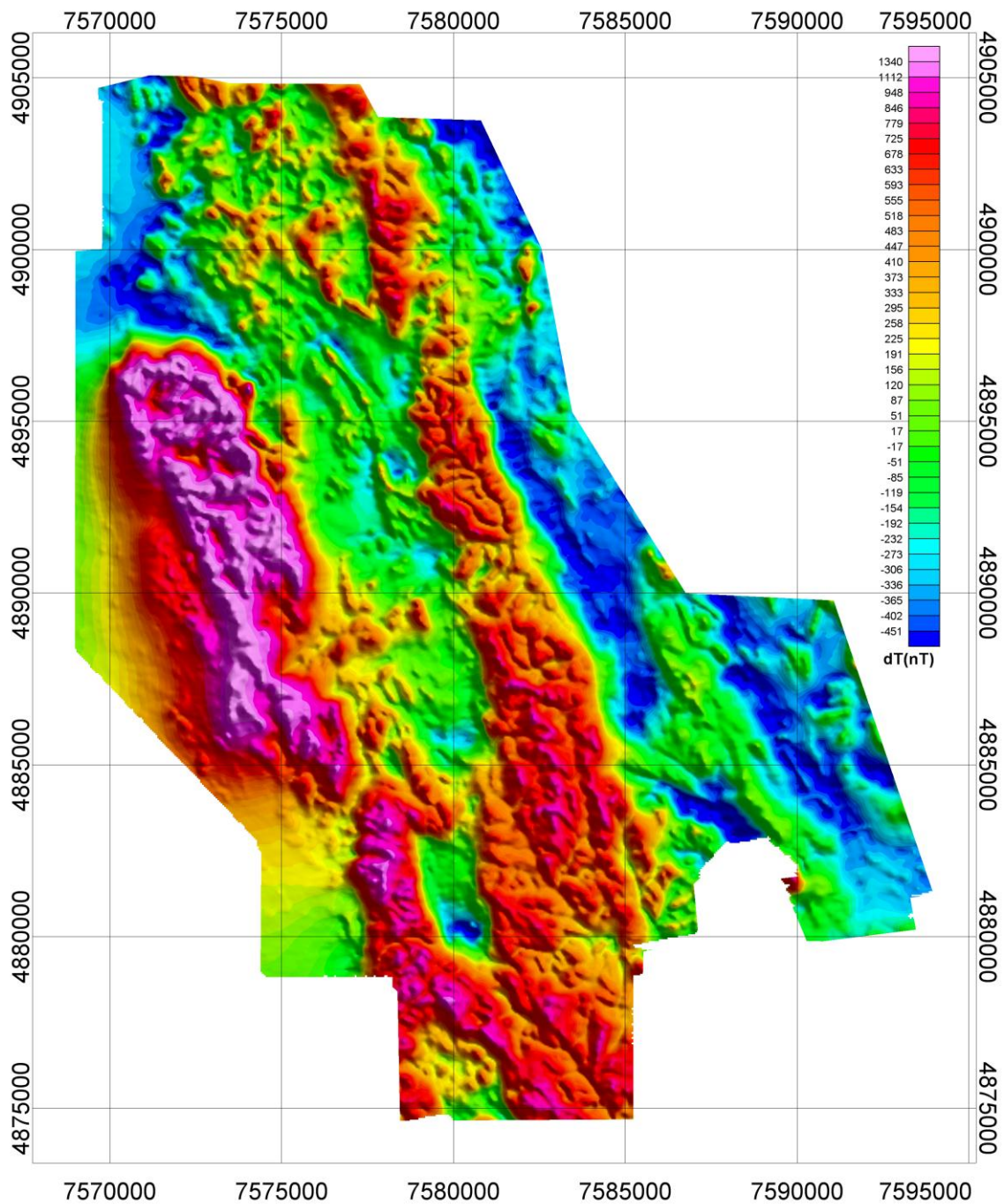


Slika 6. Karta raspodele normalne vrednosti ukupnog geomagnetnog polja Zemlje

Anomalijska vrednost ukupnog magnetnog polja (ΔT) u tački posmatranja dobija se kao razlika između inteziteta izmerene vrednosti ukupnog magnetskog polja (T_m) i normalne vrednosti ukupnog magnetnog polja (T_0) u tački posmatranja

$$\Delta T = dT = T_m - T_0.$$

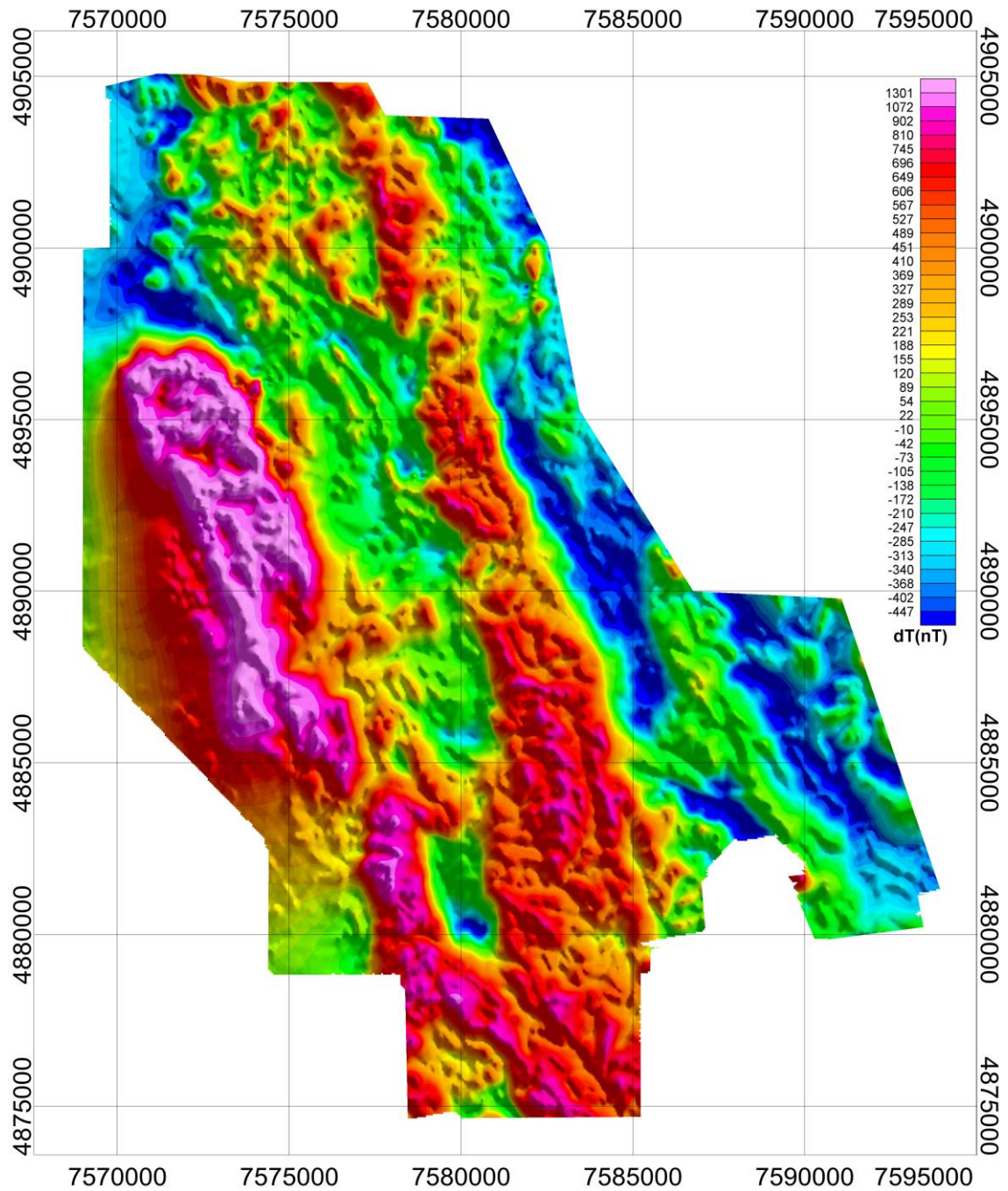
Anomalijske vrednosti ukupnog magnetnog polja Zemlje su prikazane na Slici 7.



Slika 7. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje

Sledeći korak u obradi aeromagnetskih podataka sastojao se u primeni postupka „microleveling“. Postupak „microleveling“ se primenjuje posle popravke za uticaj dnevnih varijacija zemaljskog magnetnog polja i postupka „leveling“ ili nakon računanja anomalijских vrednosti. U ovom slučaju postupak „microleveling“ je

primenjen nakon računanja anomalijских vrednosti ukupnog magnetnog polja Zemlje. Postupak se primenjuje da bi se uklonile zaostale greške u aeromagnetskim podacima, koje prethodnim popravkama nisu uklonjene. Postupak „microleveling“ se sastoji od filtriranja podataka, koji mogu biti dati u interpolacionoj mreži (tzv. gridovani podaci) ili kao mereni podaci. Filtriranjem gridovanih podataka, postupkom „microleveling“ se smanjuju ili uklanjaju ne-geološki efekti izazvani šumovima velikih talasnih dužina duž linije leta, odnosno ovim postupkom vrši se uklanjanje uporno prisutnih komponenti sa niskim amplitudama, koje su prisutne u podacima (Luyendyk, 1997, Nabighian et al., 2005). Naime, greške u podacima, u nekim slučajevima, mogu da postanu jasno vidljive tek kada se interpolaciona mreža (grid) prikaže kao slika, kao što je bilo u slučaju ovih aeromagnetskih podataka. Greške, odnosno šumovi, u podacima su se manifestovali kao očigledna promena podataka od jedne istražne linije do druge, stvarajući na taj način pruge, odnosno šrafte na karti (Slika 7). Na aeromagnetskim podacima postupak „microleveling“ je urađen korišćenjem programskog paketa Geosoft Oasis montaj™. Na Slici 8 prikazana je karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje posle primene postupka „mikroleveling“. Karta prikazana na Slici 8 predstavlja polaznu osnovu pri daljoj analizi aeromagnetskih podataka. Primena postupka „microleveling“ imala je za cilj da pomogne pri analizi aeromagnetskih podataka, jer puno manjih grešaka u podacima može da izazove greške prilikom njihove interpretacije, pošto može da prikrije, odnosno maskira prave uzročnike anomalija.



Slika 8. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje, nakon primene postupka „microleveling“

3.2. Gravimetrijski podaci

Gravimetrijski podaci, za potrebe izrade doktorske disertacije, dobijeni su od kompanije "NIS Gazprom neft" i pripadaju Bazi gravimetrijskih podataka Srbije. U Bazi se nalaze gravimetrijski podaci dobijeni tokom državnog premera, kao i podaci detaljnijih gravimetrijskih istraživanja. Gravimetrijska merenja rađena su tokom dugog vremenskog perioda, odnosno u periodu između 1952. i 1984. godine. Različite institucije su izvodile gravimetrijska istraživanja na prostoru istočne Srbije, pri čemu je Geofizički institut iz Beograda obavio većinu gravimetrijskih istraživanja. Tokom ovog perioda, gravimetrijska mreža prvog i drugog reda je bila urađena. Osnovni cilj ovih merenja je bio pronalaženje novih ležišta mineralnih sirovina.

3.2.1. Opšta svojstva gravimetrijskih merenja na istražnom području i obrada gravimetrijskih podataka

Gravimetrijska merenja na istražnom prostoru urađena su gravimetrom tipa *Worden* po nepravilnoj mreži (Starčević i Vasiljević, 2003). Ovim merenjima dobijene su relativne vrednosti gravitacionog ubrzanja. Ovako dobijene vrednosti nisu mogle direktno da se porede, pošto su se tačke merenja nalazile na različitim geografskim širinama i na različitim nadmorskim visinama. Takođe, prosečna gustina materijala (stene) je različita i merenja su vršena u različito vreme. Kako bi se merene vrednosti direktno poredile bilo je potrebno uraditi popravke. Za redukciju gravitacionog ubrzanja koristile su se popravke za lunisolarni uticaj i hod gravimetra, popravka za visinu (popravka za "slobodan vazduh"), popravka za sloj (Bugeova popravka) i popravka za uticaj reljefa u okolini tačke posmatranja (topografska popravka). Na ovaj način dobijene su korigovane merene vrednosti gravitacionog ubrzanja, koje se nalaze u Bazi gravimetrijskih podataka Srbije. Ova Baza sadrži 86370 tačaka merenja, a prosečna gustina tačaka merenja iznosi oko 1 tačka na 1 km². Raspored tačaka, na kojima su vršena merenja, nije bio ravnomeran.

Gravimetrijski podaci, koji se nalaze u Bazi sadrže:

1. redni broj tačke,
2. koordinate tačke (u Gaus-Kriggerovom koordinatnom sistemu),
3. nadmorsku visinu tačke (h),
4. merenu vrednost gravitacionog ubrzanja (g_m),
5. vrednost topografske popravke, koja je računata za gustinu od 2 g/cm^3 (Δg_t) i
6. vrednost normalnog polja, računatu po formuli Kasinisa iz 1930. godine (g_0).

S obzirom da gravimetrijski podaci vode poreklo iz Baze podataka, obrada gravimetrijskih podataka u ovom slučaju sastojala se iz sledećih postupka:

1. definisanje granica istražnog prostora i izdvajanje podataka iz baze (prilikom izdvajanja podataka iz baze izdvojeni su podaci za šire područje od onog, koje je definisano, da bi se omogućila kvalitetna interpolacija po obodu karte),
2. određivanje gustine tačaka merenja (broj tačaka merenja po kvadratnom kilometru),
3. računanje Bugeovih anomalija (prethodno je izvršena procena prosečne gustine stena na istražnom prostoru na osnovu dostupnih podataka),
4. određivanje dimenzije mreže interpolacije (grid), na osnovu gustine tačaka merenja,
5. izbor metode interpolacije, na osnovu rasporeda tačaka merenja,
6. određivanje ekvidistance izolinija, u skladu sa razmerom karte i gustinom tačaka merenja,
7. izrada karte Bugeovih anomalija.

Ukupan broj podataka za istražno područje iznosi 1830. Na osnovu podataka iz Baze mogu da se izračunaju anomalije gravitacionog ubrzanja, koje se dobijaju kao razlika merenih i normalnih vrednosti gravitacionog ubrzanja, uz odgovarajuće popravke. Za deo terena, koji pripada severnom delu Timočkog magmatskog kompleksa na osnovu podataka iz Baze izračunate su Bugeove anomalija (Δg_B) na osnovu formule:

$$\Delta g_B = g_m - g_0 + (0.3086 - 0.04196\sigma)h + \Delta g_t \quad [10^{-5} \text{ m s}^{-2}].$$

Prilikom računanja Bugeovih anomalija korišćena je procenjena prosečna gustina stenske mase, koja za ispitivano područje iznosi 2.67 t/m^3 . U Tabeli 3 prikazan je izgled baze gravimetrijskih podataka, sa 10 odabranih tačaka, koje su date kao primer:

Tabela 3. Izgled baze gravimetrijskih podataka

Broj tačke	x	y	h	g_m	g_0	Δg_t	Δg_B
951	7580083	4893029	650.95	421.22	2.05	555.14	-3.12
952	7580593	4892512	565.13	438.20	1.29	554.71	-3.61
953	7579903	4883156	457.07	458.47	1.68	547.12	3.52
954	7579221	4883407	513.29	447.12	1.01	547.33	2.12
955	7579083	4883846	509.85	447.51	1.70	547.69	2.40
956	7578688	4884383	513.71	447.16	1.67	548.13	2.33
957	7578461	4884678	533.68	443.69	1.40	548.37	2.18
958	7578238	4885215	553.23	440.78	1.59	548.81	2.93
959	7577511	4888578	913.75	371.75	2.93	551.55	3.88
960	7577045	4888088	920.75	371.17	2.78	551.15	4.88

gde su

x, y – koordinate tačke u Gaus – Krigerovom koordinatnom sistemu (m),

h – visina tačke (m),

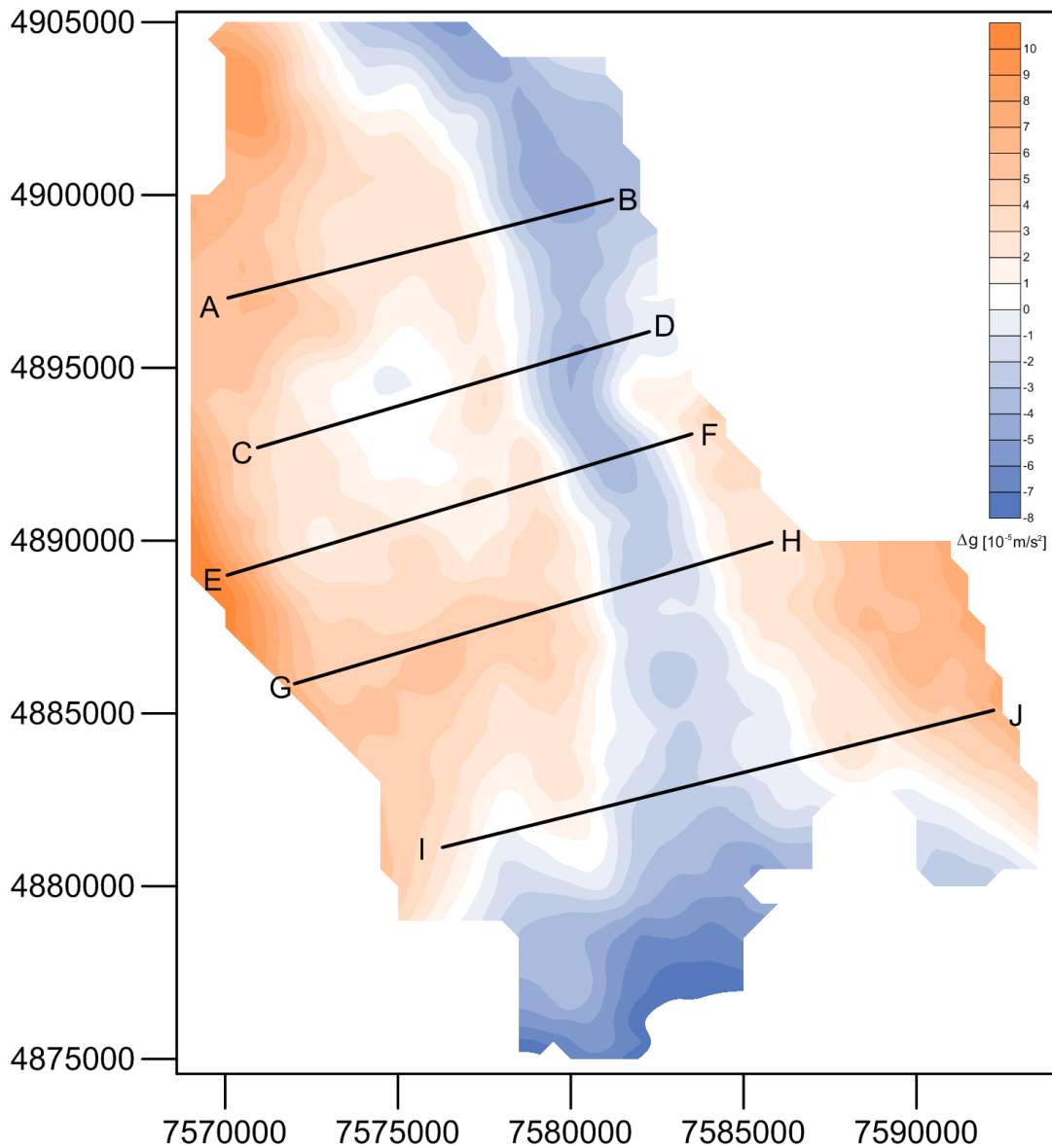
g_m – merena vrednost gravitacionog ubrzanja (10^{-5} m/s^2), od koje je oduzeto 980000,

g_0 – normalna vrednost gravitacionog ubrzanja (10^{-5} m/s^2), od koje je oduzeto 980000, a koja je računata po formuli Kasinisa,

Δg_t – popravka za uticaj reljefa (topografska popravka) za gustinu 2 g/cm^3 ,

Δg_B – Bugeova anomalija, izračunata za gustinu $\sigma = 2.67 \text{ g/cm}^3$.

Prosečna gustina tačaka za istražno područje iznosi 1 tačka po kilometru kvadratnom, pa je zato na osnovu prosečne gustine tačaka merenja određeno da dimenzija interpolacije (grid) bude 500x500m. Na osnovu rasporeda tačaka merenja, interpolacija je rađena postupkom Kriging. Karta Bugeovih anomalija za istražno područje prikazana je na Slici 9 i ona predstavlja polaznu osnovu pri analizi i interpretaciji gravimetrijskih anomalija na istražnom prostoru.



Slika 9. Karta Bugeovih anomalija sa položajem profila duž kojih je vršeno modelovanje

4. Matematičke transformacije primenjene na aeromagnetske i gravimetrijske podatke

Matematičke transformacije potencijalnih polja (gravitacionog i geomagnetnog polja) predstavljaju primenu različitih postupaka na merenim vrednostima, u cilju definisanja strukturno-tektonskih odnosa na istražnom području, ali isto tako mogu da pomognu u definisanju ispitivanog poluprostora, omogućavajući da izabrani početni model posmatranog poluprostora bude što približniji stvarnom stanju (Ignjatović i dr., 2013). Svaka matematička transformacija izvornih podataka, odnosno, podataka dobijenih merenjem na terenu, predstavlja filtriranje u okviru određenih frekvencija. Osnovni cilj primene različitih matematičkih transformacija jeste da se pronađe transformacija koja će pomoći da se sačuvaju ili pojačaju spektralne (frekventne) komponente korisnog signala, a oslabe spektralne komponente smetnji.

Da bi se određeni geološki problemi uspešno rešili, neophodno je iz ukupnog polja izdvojiti anomalije, koje se odnose na pojedine geološke objekte koji su predmet proučavanja. Anomalije (gravitacionog ili geomagnetnog polja) se podvrgavaju matematičkim transformacijama, kako bi se dobili tačno određeni odzivi iz ukupnog signala, odnosno da bi se nepoželjni odzivi prigušili. Uzročnici anomalija mogu da imaju regionalni i lokalni karakter. U zavisnosti od problema koji rešavamo, pokušavamo da, pravilnim odabirom postupaka matematičkih transformacija, zadati problem na najbolji mogući način rešimo. Na osnovu izgleda anomalije (oblik, veličina, pružanje) može da se donese zaključak o dubini i o veličini uzročnika. Postupci matematičkih transformacija se mogu uspešno primeniti na ukupnim vrednostima potencijalnih polja, ali isto tako i na anomalijским vrednostima.

Na aeromagnetskim podacima, odnosno na anomalijским vrednostima, primenjene su sledeće matematičke transformacije:

1. Svođenje na pol (RTP),
2. Analitičko produženje polja (naviše),
3. Prvi vertikalni izvod,

4. Ukupni horizontalni izvod,
5. Analitički signal,
6. Ugao nagiba – Izvod nagiba (TDR),
7. Horizontalni izvod ugla nagiba (HD_TDR),
8. "Theta map",
9. Ojlerova dekonvolucija.

Na gravimetrijskim podacima, odnosno na anomalijskim vrednostima, primenjene su sledeće matematičke transformacije:

1. Analitičko produženje polja (naviše),
2. Ugao nagiba – Izvod nagiba,
3. Normalizovana standardna devijacija (NSTD).

Veoma je važno napomenuti da primenom matematičkih transformacijama ne mogu da se dobiju novi podaci, koji nisu dobijeni merenjima na terenu, već se primenom transformacija ističu pojedine karakteristike polja, odnosno prigušuju se ili se potpuno isključuju neke druge, koje često maskiraju koristan signal (Ignjatović i dr., 2013).

4.1. Svođenje na pol (RTP)

Anomalija magnetnog polja ima oblik koji zavisi od oblika uzročnika anomalije, od inklinacije i deklinacije namagnetisanog tela, od inklinacije i deklinacije lokalnog magnetnog polja Zemlje, kao i od orijentacije tela u odnosu na magnetski sever. Magnetno polje ima bipolarnu prirodu, tako da su geomagnetske anomalije, koje se nalaze bilo gde osim na magnetskom polu i ekvatoru, asimetrične, iako je izvor magnetizacije (namagnetisanja) raspoređen simetrično (Cooper et al., 2005). Kako bi pojednostavili oblik anomalije, a samim tim i olakšali interpretaciju magnetskih anomalija, Baranov (1957), a kasnije Baranov i Naudy (1964) su predložili matematički postupak, koji je poznat pod nazivom svođenje na pol (eng. reduction to pole – RTP).

Postupkom svođenja na pol, anomalija, izmerena na bilo kojoj geografskoj (tj. magnetskoj) širini, transformiše se u anomaliju izmerenu na magnetskom polu, tj. u oblasti gde je inklinacija polja vertikalna, tako da anomalije, čiji su uzročnici simetrična tela, budu simetričnog oblika. Ovim postupkom se transformiše posmatrana magnetska anomalija u anomaliju koja bi bila izmerena da su magnetizacija tela i ambijentalno polje vertikalni. Za primenu ovog postupka nepohodno je da se poznaje pravac magnetizacije, pri čemu se često pretpostavlja da je paralelan sa ambijentalnim poljem, što se dešava u slučaju da je remanentna magnetizacija ili zanemarljiva ili paralelna sa ambijentalnim poljem. U suprotnom, postupak svođenja na pol neće dati zadovoljavajuće rezultate (Baranov, 1957, Baranov et al., 1964, Cooper et al., 2005, Nabighian et al., 2005).

Oblik magnetne anomalije se postupkom svođenja na pol dovodi u vezu sa položajem tela, koji je izvor magnetizacije, a samim tim i uzročnik anomalije. Na ovaj način se maksimumi anomalija magnetnog polja pomeraju iznad izvora magnetizacije, pod uslovom da nije prisutna remanentna magnetizacija, pri čemu intepretacija magnetskih anomalija postaje lakša (Salem et al., 2007, Li, 2008, Lahti et al., 2010).

Kada nema remanentne magnetizacije ili je magnetizacija tela kolinearna, tada, u frekventom (talasnom) domenu, operator svođenja na pol $R(\theta)$ u polarnom koordinarnom sistemu može da se izrazi kao (Baranov, 1957, Mendonça et al., 1993, Cooper et al., 2005, Li, 2008):

$$R(\theta) = \frac{1}{[\sin(I) + i \cos(I) \cos(D - \theta)]^2}, \quad (1)$$

gde je

θ - talasni broj,

I - inklinacija magnetnog polja,

D - deklinacija magnetnog polja.

Na magnetskim širinama koje su manje od 20° postupak svođenja na pol ne daje dobre rezultate (Li, 2008.) Teorijski, razlog tome je što operacija RTP postaje nestabilna zbog singularnosti koja se pojavljuje kada se azimut tela i inklinacija približavaju nuli (Nabighian et al., 2005). U praksi ovaj operator postaje nestabilan (približava se beskonačnosti) kada je apsolutna vrednost magnetne inklinacije (I) mala ($I \cong 0^\circ$) i kada je $D - \theta$ blizu $\pm 90^\circ$, iz čega proizilazi da se imaginarni deo u izrazu (1) približava nuli (Mendonça et al., 1993, Li, 2008). Da bi se ovaj problem uspešno rešio, potrebno je primeniti dodatne transformacije, koje su razvijene od različitih autora, a koje, u stvari, predstavljaju dopunu postupka svođenja na pol (Nabighian et al., 2005).

4.2. Analitičko produženje polja

Postupak analitičkog produženja polja zasniva se na činjenici da se podaci mereni na datoj fizičkoj površi mogu transformisati u podatke koji bi bili mereni na višem ili nižem nivou, tako da se prigušuju (produženje polja naviše) ili naglašavaju (produženje polja naniže) anomalije kraćih talasnih dužina. Analitičko produženje polja dovodi do konvolucije integrala, koji može da bude rešen u prostornom ili u frekventnom domenu (Nabighian et al., 2005, Reeves, 2005).

Efekat postupka produženja polja naviše, odnosno naniže, može da se shvati ispitivanjem operatora produženja u domenu talasnog broja. Jednačina operatora produženja u domenu talasnog broja (F) ima oblik

$$F = e^{\pm k|z|}, \quad (2)$$

gde je

$$|k| = 2\pi\lambda \text{ - talasni broj,}$$

λ - talasna dužina,

z - nivo produženja.

Negativan znak u eksponentu u jednačini (2) ukazuje na produženje polja naviše, dok pozitivan znak ukazuje na produženje polja naniže (Dean, 1958, Gubbins et al., 2007).

Operatori produženja naviše i naniže su određeni tako da mogu da umanje samo plitke (kratko-talasne) delove spektra, ostavljajući duboke (dugo-talasne) delove spektra nepromenjene ili prioritarno pojačaju samo dublje (dugo-talasne) delove spektra, bez štetnih efekata pojačanja kratko-talasnog šuma (Dean, 1958, Gubbins et al., 2007).

Na aeromagnetskim i gravimetrijskim podacima, koji su prikazani u ovoj doktorskoj disertaciji, primenjen je postupak analitičkog produženja polja naviše. Ovaj postupak omogućava da se proceni uticaj uzročnika anaomalije, koji se nalaze na većoj dubini i imaju regionalni značaj. Primenom ovog postupka na aeromagnetskim i gravimetrijskim podacima uticaji plićih (kratko-talasnih) uzročnika se umanjuju.

4.3. Prvi vertikalni izvod

Prvi vertikalni izvod (VDR) predstavlja promenu ukupnog magnetnog polja (T) duž vertikalnog pravca (z), a može se izraziti kao:

$$VDR = -\frac{\partial T}{\partial z}. \quad (3)$$

Ovaj postupak se primenjuje za isticanje plitkih, bliskopovršinskih, uzročnika anomalija. Prvi vertikalni izvod može da se računa u vremenskom ili u frekventnom domenu i spada u grupu visoko-propusnih filtera (Cooper et al., 2005, Nabighian et al., 2005, Reeves, 2005, GETECH, 2007).

Prvi vertikalni izvod je pozitivan iznad tela koje izaziva pozitivnu anomaliju, nula vrednost ima iznad ivice uzročnika, a negativan je izvan uzročnika anomalije (Miller et al., 1994, GETECH, 2007).

4.4. Ukupni horizontalni izvod

Ukupni horizontalni izvod (THDR), se koristi za otkrivanje granica (ivica) bliskopovršinskih uzročnika geomagnetskih anomalija. Definiše se kao:

$$THDR = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2} \quad (4),$$

gde je

T - magnetno polje,

$\frac{\partial T}{\partial x}$, $\frac{\partial T}{\partial y}$ su prvi izvod polja T , duž x i y pravca (Cooper i dr. 2008.).

Maksimum ukupnog horizontalnog izvoda se nalazi iznad granica (ivica) uzročnika anomalije, a nula vrednost je iznad tela koje je uzročnik anomalije (Miller et al., 1994, GETECH, 2007, Lahit et al., 2010).

4.5. Analitički signal

Analitički signal predstavlja kombinaciju horizontalnog i vertikalnog izvoda magnetske anomalije. Iznad uzročnika anomalije, analitički signal ima oblik koji zavisi od položaja uzročnika, ali ne od njegovog pravca magnetizacije (Blakely, 1995). Analitički signal, kao postupak matematičke transformacije potencijalnih polja prvi je uveo Nabighian (1972, 1974, 1984). On je, takođe, u svom radu (1972) predstavio postupak za određivanje anomalije magnetnog polja, koje izaziva „dvodimenzionalno” (2D) telo. Ovaj postupak pretpostavlja da sva tela, koja su uzročnici anomalija, imaju uniformnu magnetizaciju, koja može da se predstavi mnogouglokom bilo konačne ili beskonačne dubine pružanja.

Nabighian (1972) je izveo izraze za vertikalni i horizontalni izvod magnetnog polja (T), koji je prouzrokovan telom pod nagibom beskonačnog pružanja u dubinu

$$\frac{\partial T}{\partial z} = 2\kappa Fc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90) - h \sin(2I - d - 90)}{h^2 + x^2}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 2\kappa Fc \sin d \frac{h \cos(2I - d - 90) + x \sin(2I - d - 90)}{h^2 + x^2}, \quad (6)$$

gde je

κ - razlika susceptibilnosti na kontaktu,

F - magnetno polje Zemlje (ambijentalno polje),

$$c = 1 - \cos^2 i \sin^2 \beta,$$

β - ugao između pozitivnog dela x -ose i pravca magnetskog severa,

i - inklinacija ambijentalnog polja,

$$\tan I = \tan i / \cos \beta,$$

d - pad (nagib meren od pozitivnog dela x -ose),

h - dubina do vrha kontakta.

U izrazima (5) i (6) sve trigonometrijske funkcije su date u stepenima.

U svojim radovima Nabighian je pokazao kako analitički signal može biti primenjen u interpretaciji potencijalnog polja. Analitički signal iznad tela ima oblik koji zavisi od položaja tela, ali ne od njegovog pravca magnetizacije, tako da se jednostavnim transformacijama u frekventnom domenu dobija analitička funkcija čiji je realni deo horizontalni izvod, a imaginarni deo vertikalni izvod. Amplituda analitičkog signala je ista kao ukupni gradijent i ne zavisi od pravca magnetizacije, a predstavlja vertikalni i horizontalni izvod u svim mogućim pravcima Zemljinog polja i izvora (uzročnika) magnetizacije (Nabighian 1972, 1974).

Analitički signal za 2D telo je definisan izrazom (Thurston, 1997):

$$A(x, z) = \frac{\partial T(x, z)}{\partial x} - i \frac{\partial T(x, z)}{\partial z}, \quad (7)$$

gde je

$T(x, y)$ - ukupno magnetno polje,

i - imaginaran broj,

z i x - koordinate pravouglog koordinatnog sistema za zadati vertikalni pravac i pravac koji je upravan na njega.

Amplituda analitičkog signala daje funkciju u obliku „zvona” (na engleskom bell-shaped) iznad svakog ugla 2D tela sa mnogougaoim poprečnim presekom. Za izolovani ugao, maksimum funkcije u obliku zvona nalazi se tačno iznad ugla, a širina krive na polovini njene maksimalne amplitude jednaka je dvostrukoj dubini do ugla. Ovim postupkom se može dobro utvrditi horizontalni položaji tela, uzročnika anomalija međutim, određivanje dubine je jedino pouzdano za poliedarna tela (Nabighian 1972, 1974). Zbog toga su Roest et al., (1992), predložili novi postupak za interpretaciju potencijalnog polja, analitički signala u tri dimenzije (3D), koji predstavljao proširenje 2D slučaja. Za razliku od 2D slučaja, ukupni gradijent u 3D slučaju zavisi od pravca magnetizacije i ne predstavlja vertikalni i horizontalni izvod u svim mogućim pravcima geomagnetskog polja i izvora magnetizacije.

Ako se \hat{x} , \hat{y} i \hat{z} definišu kao jedinični vektori duž x , y i z pravca, 3D analitički signal anomalije magnetnog polja (T) može da se napiše kao:

$$A(x, y) = \left(\frac{\partial T}{\partial x} \hat{x} + \frac{\partial T}{\partial y} \hat{y} + \frac{\partial T}{\partial z} \hat{z} \right), \quad (8)$$

gde su $\partial T / \partial x$, $\partial T / \partial y$ i $\partial T / \partial z$ izvodi magnetnog polja T duž x , y i z pravca.

Iz jednačine (8) sledi da je apsolutna vrednost analitičkog signala definisana kao kvadratni koren zbira kvadrata vertikalnog izvoda i dva horizontalna izvoda magnetnog polja, odnosno amplituda funkcije može da se napiše kao:

$$|A(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)^2} . \quad (9)$$

Ova jednačina pokazuje da se maksimumi nalaze iznad mesta gde postoje kontrasti u magnetizaciji. Na osnovu položaja maksimuma mogu da se odrede konture uzročnika (izvora) magnetizacije, odnosno da se definišu granice uzročnika anomalije. Samo pod pretpostavkom da su anomalije prouzrokovane vertikalnim kontaktima, analitički signal se može koristiti da se proceni dubina do uzročnika anomalije.

4.6. Ugao nagiba – Izvod nagiba

Ugao nagiba (na engleskom tilt angle) ili izvod nagiba (na engleskom tilt derivative) predstavlja postupak, koji omogućava definisanje uzročnika anomalije potencijalnog polja i dobijanje informacija o horizontalnom rasprostranjenju uzročnika anomalije (Miller et al., 1994, Verduzko et al., 2004, Salem et al., 2007, 2008).

Nagib potencijalnog polja (na engleskom potential field tilt), kao postupak za obradu i interpretaciju potencijalnog polja, prvo su razvili Miller i Singh (1994). Oni su definisali ugao nagiba (θ), kao odnos vertikalnog izvoda i apsolutne vrednosti horizontalnog izvoda

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\text{vertikalna komponenta gradijenta}}{\text{horizontalna komponenta gradijenta}} .$$

Ugao nagiba (Miller i Singh, 1994; Verduzo et al., 2004) se može predstaviti kao:

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{\frac{\partial f}{\partial z}}{\frac{\partial f}{\partial h}} \right], \quad (10)$$

$$\frac{\partial f}{\partial h} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}, \quad (11)$$

gde je

f - magnetno polje ili gravitaciono ubrzanje,

$\frac{\partial f}{\partial x}$, $\frac{\partial f}{\partial y}$, $\frac{\partial f}{\partial z}$ - prvi izvodi f duž x , y i z pravca.

S obzirom na prirodu trigonometrijske funkcije arctan, sve amplitude su ograničene vrednostima između $+\pi/2$ i $-\pi/2$ ($+90^\circ$ i -90°), bez obzira na vrednosti vertikalnog izvoda ili apsolutne vrednosti ukupnog horizontalnog izvoda (Verduzko et al., 2004 ; Salem et al., 2007 i 2008).

Ovaj postupak podrazumeva da strukture, koje su uzročnici magnetskih anomalija imaju vertikalne kontakte, da nemaju remanentnu magnetizaciju i da je magnetizacija vertikalna (Salem et al., 2007).

Nabighian (1972) je izveo opšte izraze za vertikalni i horizontalni izvod magnetnog polja (T) iznad kontakta, koji se nalazi na horizontalnom rastojanju $h = 0$ i na dubini z_c :

$$\frac{\partial T}{\partial z} = 2\kappa Fc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90) - h \sin(2I - d - 90)}{h^2 + z_c^2}, \quad (12)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 2\kappa Fc \sin d \frac{h \cos(2I - d - 90) + x \sin(2I - d - 90)}{h^2 + z_c^2}, \quad (13)$$

gde je:

κ – razlika susceptibilnosti na kontaktu,

F – Zemljino magnetno polje (ambijentalno polje),

$$c = 1 - \cos^2 i \sin^2 A,$$

A – ugao između pozitivnog dela h – ose i pravca magnetskog severa,

i – inklinacija ambijentalnog polja,

$$\tan I = \tan i / \cos A,$$

d - ugao nagiba (meren od pozitivnog dela h – ose).

Pod pretpostavkama da su kontakti skoro vertikalni i da je magnetno polje vertikalno ili je izvršena transformacija svođenja na pol, jednačine (12) i (13) se mogu napisati kao:

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 2KFc \frac{z_c}{h^2 + z_c^2}, \quad (14)$$

$$\frac{\partial T}{\partial z} = 2KFc \frac{h}{h^2 + z_c^2}. \quad (15)$$

Ako izraze (14) i (15) zamenimo u izraz (10), dobija se

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{h}{z_c} \right]. \quad (16)$$

Jednačina (16) pokazuje da je vrednost ugla nagiba iznad ivica kontakta jednaka 0° ($h = 0$), a da je 45° kada je $h = z_c$ odnosno -45° kada je $h = -z_c$.

Pomoću ugla nagiba može da se definiše položaj ($\theta = 0^\circ$) i dubina struktura (polovina fizičkog rastojanja između $\pm 45^\circ$ kontura). Nulte konture ocrtavaju prostorni položaj ivica uzročnika anomalija u horizontalnoj ravni, dok dubina do uzročnika predstavlja rastojanje između nulte konture i $\pm 45^\circ$ konture ili njihove srednje vrednosti (Salem et al., 2007).

Za razliku od gore pomenutih transformacija (VDR, THDR i AS) postupak izvoda nagiba uglavnom daje dobre rezultate prilikom definisanja uzročnika anomalija, kako na manjim tako i na većim dubinama. Takođe, ovim postupkom je moguće detektovati ivice uzročnika anomalija koji se nalaze na većoj dubini, a često su prikrivene plitkim uzročnicima (Miller et al., 1994).

Ugao nagiba ili izvod nagiba je pozitivan kada se nalazi iznad uzročnika, a negativan je izvan oblasti gde se nalazi uzročnik, odnosno gde je vertikalni izvod negativan. Prolazi kroz nulu kada je iznad ili blizu granice uzročnika, tj. gde je vertikalni izvod jednak nuli, a horizontalni izvod je maksimalan (Miller et al., 1994, Cooper et al., 2006).

Kada se prikaže u obliku karte, postupak omogućava interpretatoru da odredi približno horizontalni položaj i lateralno (bočno) rasprostanjenje plitkih i dubokih uzročnika anomalije (Miller et al., 1994).

Promena ugla nagiba θ , za magnetske podatke u odnosu na x , y i z pravac, može da se prikaže i kao talasni brojevi k_x, k_y, k_z (Salem et al., 2008):

$$k_x = \frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{1}{A^2} \left(\frac{\partial T}{\partial h} \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial z} - \frac{\partial T}{\partial z} \left(\frac{\partial T}{\partial h} \right)^{-1} \times \left(\frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial^2 T}{\partial y \partial x} \right) \right), \quad (17)$$

$$k_y = \frac{\partial \theta}{\partial y} = \frac{1}{A^2} \left(\frac{\partial T}{\partial h} \frac{\partial^2 T}{\partial y \partial z} - \frac{\partial T}{\partial z} \left(\frac{\partial T}{\partial h} \right)^{-1} \times \left(\frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial y} + \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \right), \quad (18)$$

$$k_x = \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{1}{A^2} \left(\frac{\partial T}{\partial h} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - \frac{\partial T}{\partial z} \left(\frac{\partial T}{\partial h} \right)^{-1} \times \left(\frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial z} + \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial^2 T}{\partial y \partial z} \right) \right), \quad (19)$$

gde je

$$A = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2} - \text{ukupni gradijent magnetnog polja,}$$

T - ukupno magnetno polje.

Pored postupka ugla nagiba ili izvoda nagiba, za otkrivanje uzročnika anomalije može se koristiti i postupak koji je zasnovan na korišćenju ukupnog horizontalnog izvoda ugla nagiba.

Ukupan horizontalni izvod ugla nagiba ne zavisi od inklinacije (pravca magnetizacije) i ima najviše vrednosti iznad kontakta i granica uzročnika anomalije (Verduzko et al., 2004, Wijns et al., 2005). Ukupni horizontalni izvod (TDR_THDR) ugla nagiba ili izvoda nagiba (TDR) za profil je dat sledećim izrazom:

$$TDR_THDR = \left| \frac{\partial TDR}{\partial x} \right|, \quad (20)$$

dok je za interpolacionu mrežu (grid), odnosno kartu, dat izrazom:

$$TDR_THDR = \sqrt{\left(\frac{\partial TDR}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial TDR}{\partial y} \right)^2}. \quad (21)$$

4.7. "Theta map"

"Theta map" predstavlja postupak koji je razvijen iz analitičkog signala (Wijns et al., 2005). Koristi se za definisanje granica (ivica) potencijalnih uzročnika magnetskih anomalija. S obzirom da ne zavisi od pravca magnetizacije i inteziteta magnetnog polja podjednako je uspešan kako za podatke koji su svedeni na pol ili ekvator, tako i za podatke sa malim magnetskim širinama. Pored definisanja granica uzročnika, ovaj postupak može da se koristi i za kvantitativnu procenu nagiba tela.

Analitički signal anomalije magnetnog polja definisan je od strane Roest et al., (1992) kao:

$$A = \frac{\partial T}{\partial x} \hat{x} + \frac{\partial T}{\partial y} \hat{y} + i \frac{\partial T}{\partial z} \hat{z}, \quad (22)$$

gde je

T – ukupno magnetno polje,

$$i = \sqrt{-1},$$

\hat{x} , \hat{y} i \hat{z} - jedinični vektori duž x , y i z pravca u Dekartovom koordinatnom sistemu.

Direktno iznad vertikalnog kontakta $\frac{\partial T}{\partial z} = 0$, tako da vektor analitičkog signala gradi ugao $\theta = 0$ sa horizontalom. Ako sa \hat{s} definišemo jedinični vektor duž horizontalnog pravca analitičkog signala, tada se ugao θ računa pomoću sledećeg izraza:

$$\cos(\theta) = \frac{A \cdot \hat{s}}{|A||\hat{s}|} = \frac{\sqrt{(\partial T/\partial x)^2 + (\partial T/\partial y)^2}}{|A|}, \quad (23)$$

gde je $|A| = \sqrt{(\partial T/\partial x)^2 + (\partial T/\partial y)^2 + (\partial T/\partial z)^2}$.

Na osnovu izraza (23), rezultat primene postupka "theta map" se može posmatrati kao kosinus ugla između horizontalnog gradijenta i analitičkog signala ili kao normalizovan horizontalni gradijent ukupnog magnetnog polja. Ugao θ se nalazi između 0 i $\pi/2$, pri čemu $\cos(\theta)$ iznad kontakta ima najvišu vrednost (Wijns et al., 2005).

Postupak "theta map" se može primeniti i u slučajevima, kada je potrebno da se izbegne bilo kakva upotreba izvoda višeg reda, pošto je postupak manje osetljiv na šum, koji se pojavljuje u podacima, u odnosu na neke druge postupke. Na ovaj način primena postupka "theta map" omogućava jednostavan i brz način okunturivanja granica (ivica) magnetskih tela (Wijns et al., 2005).

4.8. Normalizovana standardna devijacija (NSTD)

Normalizovana standardna devijacija (NSTD), kao postupak koji se primenjuje za definisane granice (ivice) uzročnika anomalije razvijen je od strane Cooper i Cowan (2008). Postupak NSTD je baziran na odnosima standardne devijacije izvoda polja, koji se računaju u okviru određenih „prozora“. Na ovaj način računanje standardne devijacije po određenim „prozorima“ predstavlja meru lokalnih promena.

Da bi se definisale granice uzročnika anomalije, Cooper i Cowan su predložili upotrebu filtera, definisanog izrazom (24), a koji je zasnovan na odnosu normalizovane standardne devijacije (NSTD):

$$NSTD = \frac{\sigma(\partial f / \partial z)}{\sigma(\partial f / \partial x) + \sigma(\partial f / \partial y) + \sigma(\partial f / \partial z)}, \quad (24)$$

gde je

f – magnetno polje ili gravitaciono ubrzanje,

$\partial f / \partial x, \partial f / \partial y$ i $\partial f / \partial z$ - izvodi f duž x, y i z pravca,

σ - standardna devijacija.

Primena postupka NSTD omogućava da istovremeno budu vidljive granice uzročnika anomalije, koje imaju velike i male vrednosti normalizovane standardne devijacije.

Da bi se izračunale vrednosti standardne devijacije (σ) date u jednačini (24), koristi se kvadratni prozor, koji se pomera po tačkama podataka. Standardna devijacija može da se izračuna u zatom pravcu, pri čemu se prvenstveno pojačavaju granice uzročnika, koje su normalne na dati pravac. Prilikom korišćenja ovog postupka veoma je važno napomenuti da su veći „prozori” manje osetljivi na šum od manjih „prozora”. Izvorni kod omogućava korisniku da izabere po želji veličinu „prozora”.

4.9. Ojlerova dekonvolucija

Postupak Ojlerove dekonvolucija omogućava procenu dubine do uzročnika anomalije na osnovu magnetskih i gravimetrijskih podataka, prikazanih u interpolacionoj mreži (gridu), koristeći Ojlerovu relaciju homogenosti. Ojlerova dekonvolucija predstavlja postupak koji omogućava da se definiše položaj i dubina do uzročnika anomalije (Thompson, 1982, Reid et al., 1990, Durrheim and Cooper, 1998, Cooper, 2002, FitzGerald et al., 2004). Ojlerova dekonvolucija koristi izvode prvog reda duž x, y i z pravca, kako bi se definisao položaj i dubina različitih uzročnika (sfera, cilindar, tanki dajk, kontakt), pri čemu se svaki uzročnik odlikuje specifičnim strukturnim indeksom (Thompson, 1982, Nabighian et al., 2005). Dajk, sil, ivica tela ili rased sa ograničenim skokom se najbolje opisuje sa indeksom 1, dok se rased sa velikim skokom i nepravilni kontakti dobro opisuju sa indeksom nula (Reid et al, 1990).

Thompson (1982) je prvi predložio postupak za analizu magnetnih profila (2D podataka) na osnovu Ojlerove jednačine za homogenost, a kasnije su Reid et al. (1990) proširili postupak Ojlerove dekonvolucije i primenili ga na 3D podatke, koji su dati u mreži (grid). Ovaj postupak je neosetljiv na magnetsku inklinaciju, deklinaciju i remanentnu magnetizaciju i vrlo je pogodan za 3D analize (Bastani and Kero, 2004). Važno je naglasiti da se Ojlerova dekonvolucija može primeni samo na funkcijama koje su homogene (Thomson, 1982).

Ako se posmatra funkcija $f(x, y, z)$ u pravouglom kordinatnom sistemu x, y, z (za ravan posmatranja se uzima ravan $z = 0$, pri čemu je pozitivan deo z -ose na dole, y -osa je u pravcu severa i x -osa u pravcu istoka) za nju se kaže da ima stepen homogenosti n ako je:

$$f(tx, ty, tz) = t^n f(x, y, z), \quad (25)$$

gde je t - realni broj.

Pošto je funkcija $f(x, y, z)$ homogena funkcija n -tog stepena, tada je zadovoljena jednačina:

$$x \frac{\partial f}{\partial x} + y \frac{\partial f}{\partial y} + z \frac{\partial f}{\partial z} = nf. \quad (26)$$

Ova parcijalna diferencijalna jednačina je poznata kao Ojlerova jednačina. Postupak Ojlerova dekonvolucija se zasniva na rešenjima ove jednačine u odgovarajućim slučajevima.

Funkcija $f(x, y, z)$ se može napisati i u obliku:

$$f(x, y, z) = \frac{G}{r^N}, \quad (27)$$

gde je $r = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$, G je proporcionalno magnetizaciji i ne zavisi od x, y, z , a N je strukturni indeks čije se vrednosti nalaze između nule i tri (videti Tabelu 4). Jednačina (27) je homogena jednačina stepena $n = -N$. Mnogi jednostavni tačkasti magnetski izvori imaju oblik dat jednačinom (27).

Tabela 4. Strukturni indeksi za jednostavne modele

Model	Strukturni indeks
Linijski pol	1
Tačkasti pol	2
Linijski dipol	2
Tačkasti dipol	3

Za tačkasti izvor (kao što su magnetski pol ili magnetski dipol) koji se nalazi u tački x_0 , y_0 , z_0 u odnosu na ravan merenja, anomalijско magnetnog polja (ΔT) imaće oblik

$$\Delta T(x, y) = f[(x - x_0), (y - y_0), z_0]. \quad (28)$$

Ojlerova jednačina za izraz (28) može da se napiše kao

$$(x - x_0) \frac{\partial \Delta T}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial \Delta T}{\partial y} - z_0 \frac{\partial \Delta T}{\partial z} = -N \Delta T(x, y). \quad (29)$$

Gradijenti u pravouglom koordinatnom sistemu mogu da se izračunaju koristeći teoriju potencijalnih polja u prostornom domenu ili u domenu talasnog broja. Jednačina (29) se može koristiti za analizu geomagnetskih karata, ali se najčešće koristi za analizu profila.

Ako se pretpostavi da je transferzalni gradijent $\left(\frac{\partial \Delta T}{\partial y} \right)$ u jednačini (29) jednak nuli, tada je i drugi izraz na levoj strani u jednačini jednak nuli. Ovo važi ako je anomalija 2D, tj. ako je anomalija upravna u odnosu na položaj profila. U ovom slučaju jednačina (29) se može napisati kao

$$(x - x_0) \frac{\partial \Delta T}{\partial x} - z_0 \frac{\partial \Delta T}{\partial z} = -N \Delta T(x), \quad (30)$$

odnosno sređivanjem jednačine (30) dobija se

$$x_0 \frac{\partial \Delta T}{\partial x} + z_0 \frac{\partial \Delta T}{\partial z} = x \frac{\partial \Delta T}{\partial x} + N \Delta T(x) . \quad (31)$$

Izvodi ili gradijenti u jednačini (31) mogu da se dobiju direktnim merenjem ili da se izračunaju iz podataka, tako da su jedine nepoznate veličine u jednačini (31) x_0 , z_0 i N . Koordinate (x_0, z_0) predstavljaju položaj i dubinu tačke duž profila, koja je ekvivalentna izvoru (uzročniku), a N predstavlja vrstu izvora koji najbolje opisuju anomaliju.

Ukupno magnetno polje može da se izrazi kao zbir regionalnog polja i anomalijskog polja, koje izaziva tačkasti izvor

$$T(x) = \Delta T(x) + B , \quad (32)$$

gde je B regionalno polje.

Zamenom izraza (32) u izraz (31) dobija se

$$x_0 \frac{\partial T}{\partial x} + z_0 \frac{\partial T}{\partial z} + NB = x \frac{\partial T}{\partial x} + NT . \quad (33)$$

Na osnovu jednačine (33) položaj (x_0) , dubina (z_0) i B mogu da se dobiju, ako su poznate vrednosti ukupnog magnetnog polja, horizontalni i vertikalni gradijent u tri tačke duž profila.

U praksi, prava magnetska tela su veoma kompleksna u odnosu na jednostavne polove ili dipole, a i podaci dobijeni merenjem na terenu su opterećeni šumom, pa je zato neophodno da se uzmu podaci sa najmanje sedam tačaka, kako bi se definisao položaj i dubina do uzročnika anomalije. Na ovaj način dobija se sedam jednačina sa tri nepoznate x_0 , z_0 i B , koje mogu da se reše koristeći postupak najmanjih kvadrata. Postupak Ojlerova dekonvolucija može da se ponavlja za različite vrednosti strukturnog indeksa N .

5. Diskusija

Interpretacija bilo kojih geofizičkih podataka, samim tim geomagnetskih i gravimetrijskih, može da bude kvalitativna i kvantitativna. Cilj kvalitativne interpretacije podataka je da se dobiju osnovne informacije o položaju i pružanju uzročnika anomalije u horizontalnoj ravni, kao i da se izvrši korelacija geofizičkih podataka sa geološkim. Na osnovu rezultata kvalitativne interpretacije, moguće je izvršiti kvantitativnu interpretaciju podataka i dobiti informacije o pružanju uzročnika anomalije ne samo u horizontalnoj ravni, već i u vertikalnoj, odnosno odrediti pružanje po dubini.

5.1. Kvalitativna interpretacija

Kvalitativna interpretacija podataka na istražnom području obuhvata analizu i interpretaciju anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje, raspodele Bugeovih anomalija, analizu i interpretaciju aeromagnetskih i gravimetrijskih podataka na kojima su primenjene matematičke transformacije, kao i korelaciju dobijenih geofizičkih podataka sa dosada poznatim geološkim podacima.

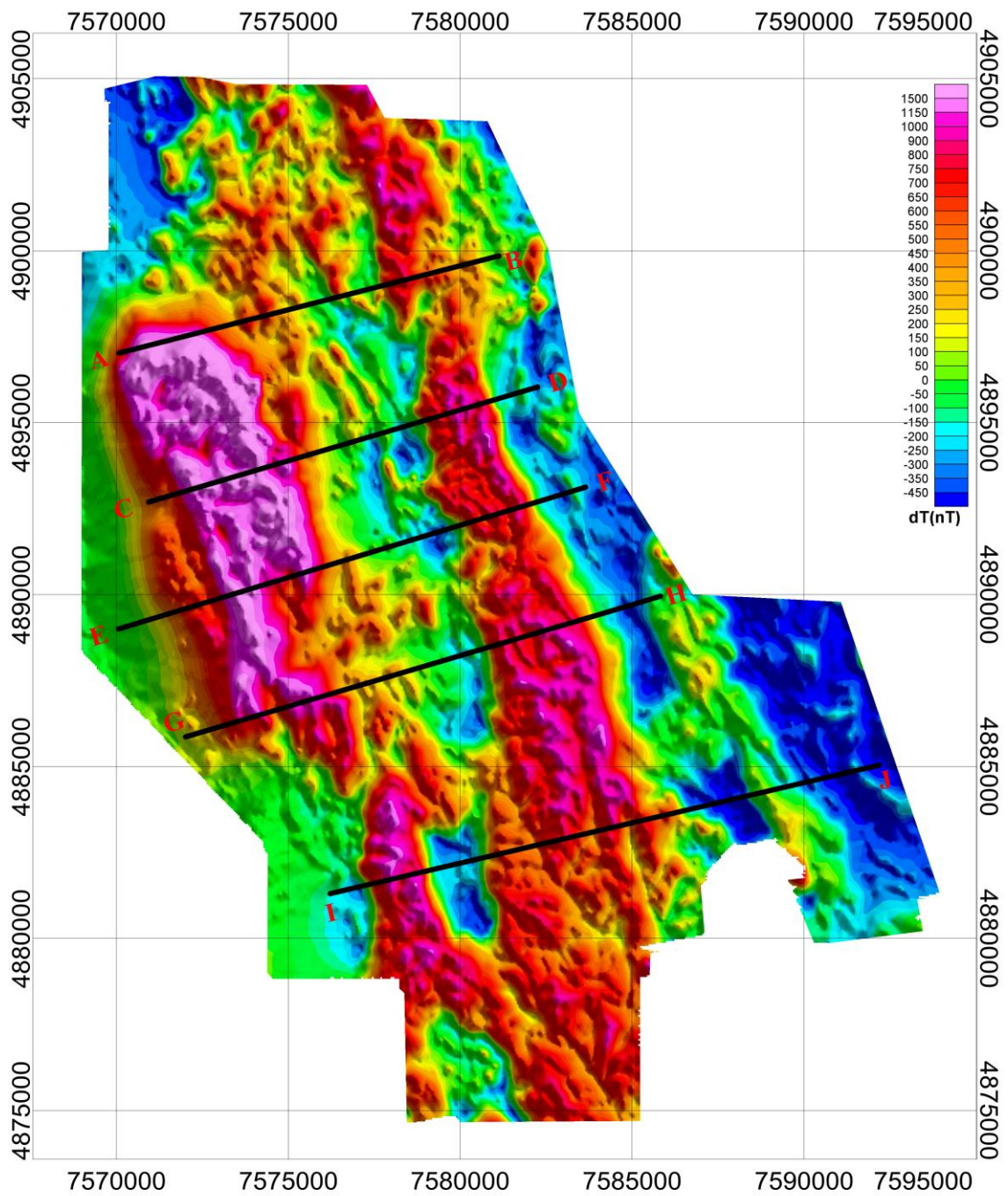
5.1.1. Analiza i interpretacija aeromagnetskih podataka

Analiza i interpretacija podataka dobijenih aeromagnetskim merenjima zasnovana je na analizi anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje, kao i na analizi anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje na koje su primenjene određene matematičke transformacije. Oblik, veličina i pružanje anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje mogu da pomognu prilikom definisanja geološkog sklopa, odnosno strukturno-tektonskih odnosa na istražnom području. Podaci dobijeni aeromagnetskim merenjima omogućavaju da se u istražnoj oblasti odredi prostorni položaj geoloških tela ili struktura, koji su uzročnici magnetskih anomalija.

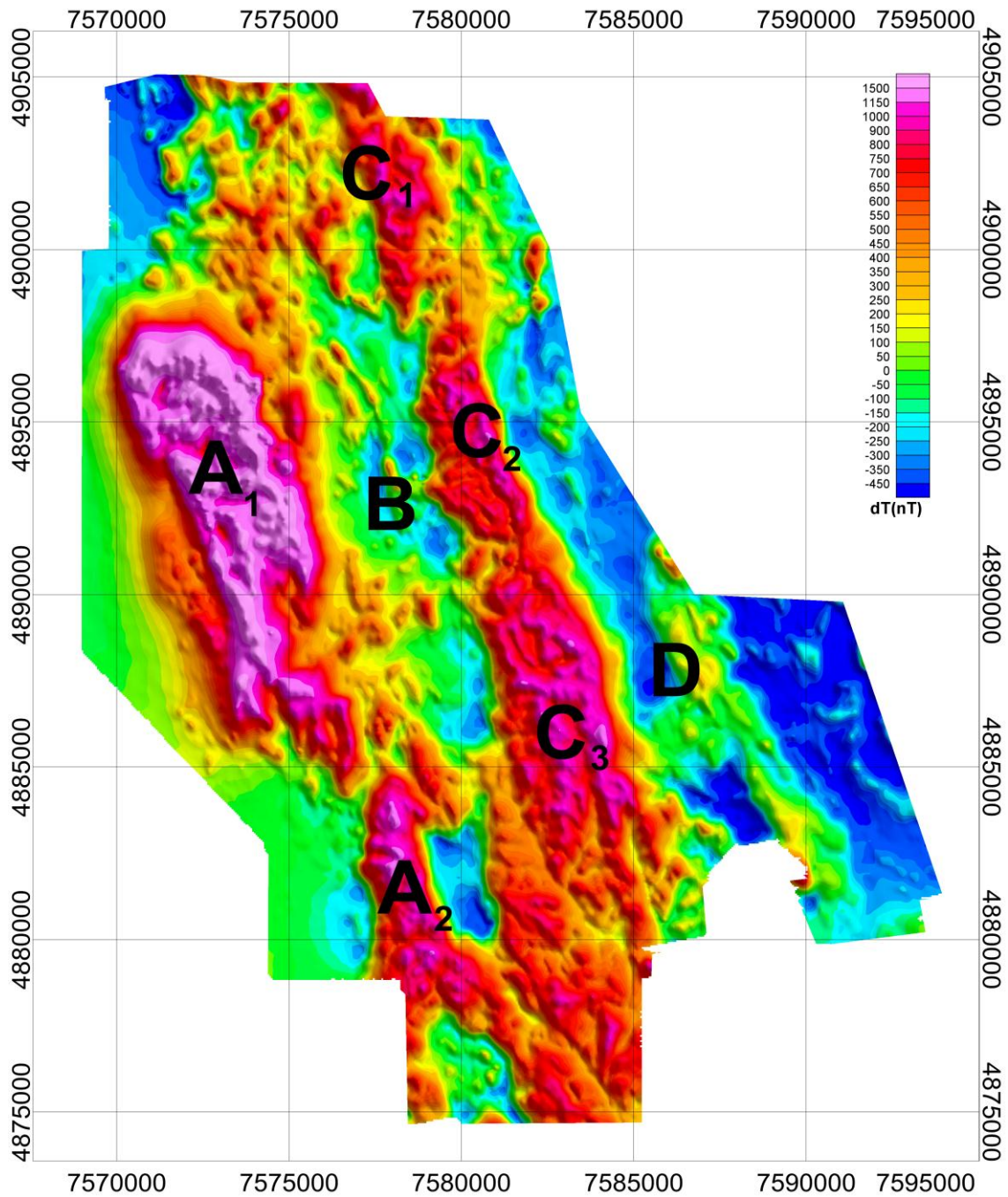
Zemljino magnetno polje ima bipolarnu prirodu, tako da je, pre analize anomalijских vrednosti ukupnog magnetnog polja Zemlje (Slika 8) i primene određenih matematičkih transformacija u cilju otkrivanja i definisanja granica (ivica) uzročnika anomalija,

neophodno primeniti postupak svođenja na pol (videti Poglavlje 4.1). Primena ovog postupka omogućava da se anomalije magnetnog polja asimetričnog oblika zamene anomalijama simetričnog oblika (pod uslovom da je uzročnik simetričan), koje bi se dobile kada bi se uzročnici magnetskih anomalija nalazili na magnetskom polu. Maksimumi anomalija magnetnog polja pomeraju se tako da budu iznad izvora magnetizacije. Da bi se anomalijske vrednosti ukupnog magnetnog polja, koje su dobijene za istražno područje, svele na pol, korišćene su vrednosti inklinacije od 61° i deklinacije od 4° (IGRF-11). Ove vrednosti odgovaraju geomagnetnom polju za vremenski period kada su urađena aeromagnetska merenja na istražnom prostoru. Primenom postupka svođenja na pol, kao rezultat dobijena je nova karta prikazana na Slici 10. Ako se uporede karte, prikazane na Slikama 8 i 10 jasno se može primetiti da je postupkom svođenja na pol došlo do pomeranja položaja magnetskih anomalija u ravni posmatranja, tako da se maksimumi anomalija magnetnog polja sada nalaze iznad izvora magnetizacije. Karta prikazana na Slici 10 predstavlja polaznu osnovu pri analizi aeromagnetskih podataka i primeni određenih matematičkih transformacija u cilju definsanja uzročnika anomalija.

Anomalijske vrednosti ukupnog magnetnog polja Zemlje, na istražnom prostoru, kreću se u intervalu od oko -500 nT do oko 1700 nT. Analizom karte (Slika 10) uočavaju se dve zone sa pozitivnim vrednostima anomalija, koje imaju isti pravac pružanja (sever severozapad – jug jugoistok). Između ove dve zone sa visokim vrednostima anomalija uočava se zona sa nižim vrednostima anomalija. Zona sa niskim vrednostima anomalija zapaža se i u istočnom delu karte. Kako bi se na najbolji način izvršila analiza karte, kao i korelacija aeromagnetskih i geoloških podataka na Slici 11 su prikazane i slovima obeležene anomalijske zone.



Slika 10. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedena na pol sa položajem profila duž kojih je vršeno modelovanje



Slika 11. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedena na pol sa prikazanim anomalijским zonama

U zapadnom delu karte uočava se zona sa pozitivnim vrednostima anomalija, koja se sastoji od anomalija A_1 i A_2 . Anomalija A_1 ima pravac pružanja sever severozapad - jug jugoistok i njena najviša vrednost iznosi preko 1700 nT. Jugoistočno od anomalije A_1 konstatovana je pozitivna anomalija A_2 . Anomalija A_2 ima isti pravac pružanja, kao i anomalija A_1 , ali je znatno uža od nje. U ovoj oblasti, najviša vrednost anomalija iznosi oko 1000 nT, što navodi na zaključak da je uzročnik ove anomalije na većoj dubini u odnosu na uzročnik anomalije A_1 . Između ove dve anomalije uočava se nagla promena vrednosti, koja ukazuje na postojanje kontakta, odnosno rasedne zone, čiji je pravac pružanja jugozapad-sevroistok (upravno na pružanje uzročnika).

U centralnom delu karte zapaža se zona B, koja se razlikuje po intezitetu anomalija u odnosu na anomalijске zone, koje se nalaze sa njene zapadne, odnosno istočne strane. Vrednosti anomalija kreću se u intervalu od oko -100 nT do oko 100 nT.

Sa istočne strane zone B, uočava se zona sa pozitivnim vrednostima anomalija, koja ima pravac pružanja sever severozapad - jug jugoistok. Anomalijске vrednosti ove zone kreću se u rasponu od oko 100 nT do oko 1000 nT. Ova zona, može da se podeli na zone C_1 , C_2 i C_3 , međusobno odvojene kontaktima, a koji ukazuju na postojanje rasednih struktura upravnih na pravac pružanja zona. Deo označen sa C_1 nalazi se u severnom delu karte i u okviru njega primećuje se više manjih oblasti sa pozitivnim vrednostima anomalija. Anomalije C_2 i C_3 predstavljaju produžetak anomalijске oblasti C_1 , imaju isti pravac pružanja i paralelne su sa anomalijama A_1 i A_2 .

U istočnom delu karte zapaža se zona D u kojoj se vrednosti anomalija kreću u rasponu od oko -500 nT do oko 250 nT.

Na osnovu dosadašnjih geoloških istraživanja, kao i upoređivanjem karte prikazane na Slici 11 sa geološkom kartom istražnog područja (Slika 2), uočava se da se određene anomalijске oblasti poklapaju sa geološkim tvorevinama, koje predstavljaju potencijalne uzročnike magnetskih anomalija, ali se isto tako uzročnici pojedinih anomalija ne mogu direktno povezati sa geološkim tvorevinama, koje su vidljive na geološkoj karti, odnosno koje se nalaze na površini terena. Na osnovu oblika i veličine

anomalija (Slika 11) može da se zaključi da pojedini uzročnici anomalija imaju veliko rasprostranjenje lateralno i po dubini, što ukazuje da je jedan deo uzročnika prekriven, odnosno ne vidi se na površini terena.

U zapadnom delu karte (Slika 11) pozitivna anomalija A_1 delimično odgovara položaju plutonita Valja Strž, koji je najverovatnije uzročnik ove anomalije. Oblik i veličina ove anomalije ukazuju da se ispod površine najverovatnije nalazi nastavak ovog plutonita, koji ima mnogo veće rasprostranjenje, nego što je to do sada bilo poznato na osnovu geoloških istraživanja. Na osnovu ranijih istraživanja i na osnovu geološke kate (Slika 2), poznato je da deo terena, koji odgovara anomaliji A_2 , izgrađen pretežno od vulkanoklastičnih i sedimentnih stena sa manjom pojavom vulkanita nastalih tokom senonske vulkanske faze. Intenzitet anomalije, oblik i pružanje ukazuju da se najverovatnije uzročnik ove anomalije nalazi ispod površine. Oblik, pružanje i veličina anomalija A_1 i A_2 ukazuju da je veliki deo kompleksa magmatskih stena, koji su uzročnici anomalija u ovom delu istražnog područja, prekriven vulkanoklastičnim i sedimentnim stenama, a samo jednim delom se magmatske stene pojavljuju na površini.

U centralnom delu karte (Slika 11) u zoni B uočava se smena lokalnih maksimuma i minimuma malog intenziteta. Dosadašnjim geološkim istraživanjima utvrđeno je da je ovaj deo istražnog područja izgrađen od vulkanoklastičnih i sedimentnih stena, sa pojavama magmatskih stena nastalih tokom senonske vulkanske faze. Ovakva geološka građa terena uslovlila je smenu lokalnih minimuma i maksimuma. Takođe, na osnovu ranijih geoloških istraživanja utvrđeno je da se u ovom delu istražnog područja nalazi Timočka rov-sinklinala, koja ima regionalni značaj i čije je postojanje aeromagnetskim istraživanjima potvrđeno.

Istočno od anomalijске zone B, nalazi se pozitivna anomalijска zona C u okviru koje su izdvojene anomalije C_1 , C_2 i C_3 . U delu terena, koji obuhvata C_1 primećuje se više manjih oblasti sa pozitivnim vrednostima anomalija. Na osnovu geoloških podataka, poznato je da je ovaj deo terena izgrađen od vulkanoklastičnih i sedimentnih stena sa mestimičnom pojavom magmatskih stena na površini, koje su nastalih tokom turonske i senonske vulkanske faze. U ovom delu istražnog područja uzročnici anomalija su

najverovatnije magmatske stene, koje se najvećim delom nalaze u podini, a samo u pojedinim delovima su vidljive na površini. Jugoistočno od C_1 nalazi se anomalija C_2 . Ovaj deo terena je, takođe, izgrađen od vulkanoklastičnih i setimentnih stena, sa pojavama magmatskih stena nastalih tokom turonske i senonske vulkanske faze. Po obliku, veličini i intezitetu anomalije, može da se zaključi da se uzročnici ove anomalije nalaze u podini i u pitanju su isti kompleksi magmatskih stena, kao i kod C_1 . Anomalija C_3 ima mnogo veće rasprostranjenje u odnosu na anomaliju C_2 , ali isto kao i kod C_1 i C_2 uzročnici anomalije su najverovatnije magmatske stene, koje se nalaze u podini i koje imaju mnogo veće rasprostranjenje nego što je do sada bilo poznato. Magma stene, koje su uzročnici anomalija u ovom delu istražnog područja, u pojedinim delovima terena su vidljive na površini (Slika 2).

U istočnom delu karte (Slika 11) nalazi se zona D u kojoj se smenjuju pozitivne i negativne vrednosti anomalija, niskog intenziteta. S obzirom na geološku građu čitavog istražnog područja postojanje izraženog minimuma ukazuje da se stene, koje čine podlogu u ovom delu terena razlikuju po svojim fizičkim svojstvima u odnosu na stene koje čine podlogu u ostalom delu istražnog područja.

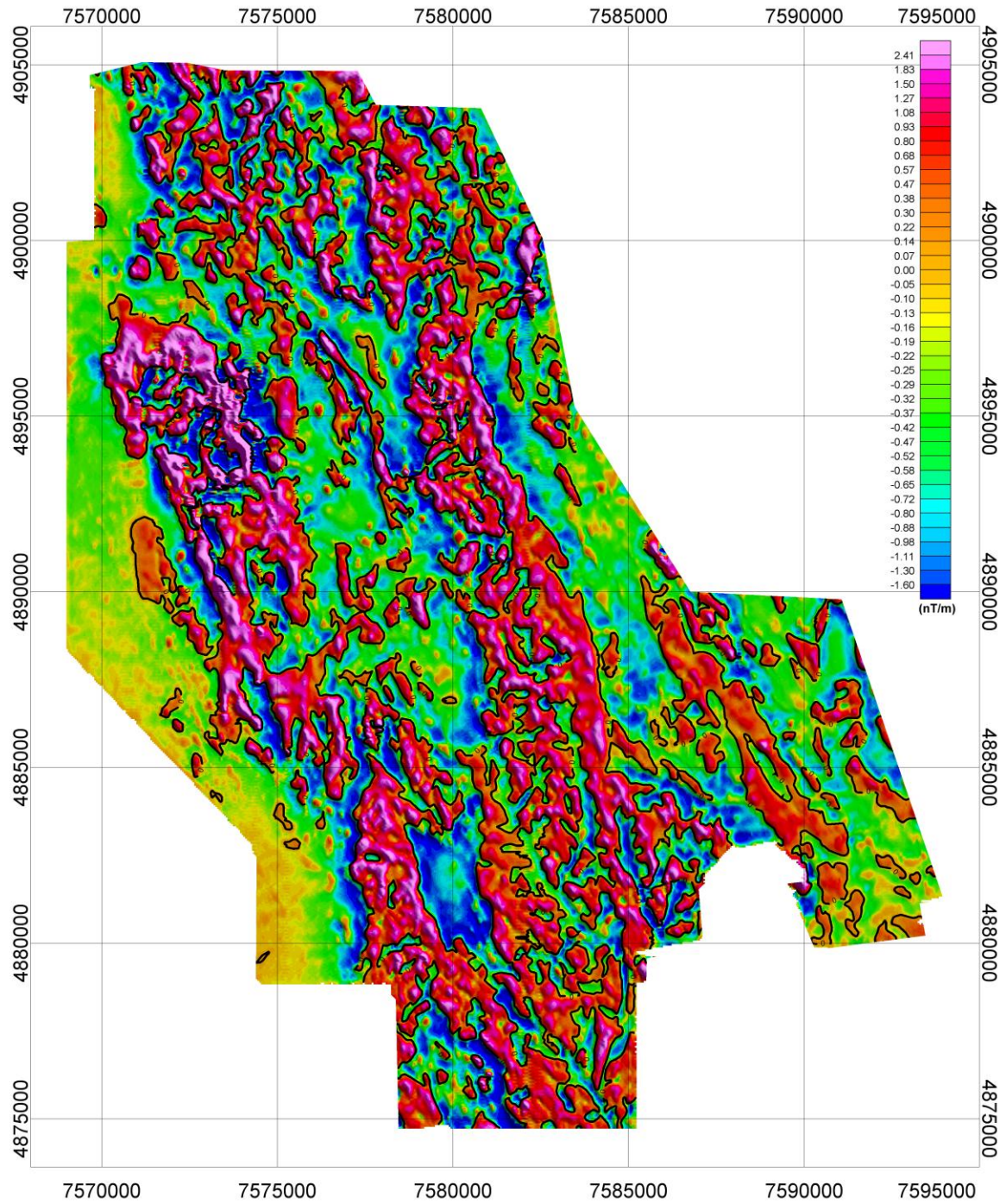
U cilju definisanja položaja i oblika potencijalnih uzročnika magnetskih anomalija u horizontalnoj ravni, kao i da bi se odredile granice uzročnika tih anomalija i okolnih stena (u daljem tekstu granice), na anomalijske vrednosti ukupnog magnetnog polja Zemlje, svedene na pol, primenjene su sledeće matematičke transformacije: *prvi vertikalni izvod*, *ukupni horizontalni izvod*, *analitički signal*, *ugao nagiba (izvod nagiba)*, *ukupni horizontalni izvod nagiba*, *"theta map"*, *analitičko produženje polja*, kao i međusobna kombinacija postupka *analitičko produženje polja* i *ugao nagiba (izvod nagiba)*. Aeromagnetski podaci, na kojima su primenjeni određeni postupci matematičkih transformacija, mogu da pomognu u definisanju ne samo granica uzročnika magnetskih anomalija, već i u definisanju prostornog položaja struktura, koje su tokom duge geološke istorije stvaranja terena predstavljale predisponirane pravce za utiskivanje magme.

Primenom postupka *prvi vertikalni izvod* (Slika 12) i postupka *ukupni horizontalni izvod* (Slika 13) može da se odredi položaj uzročnika anomalija u horizontalnoj ravni i da se

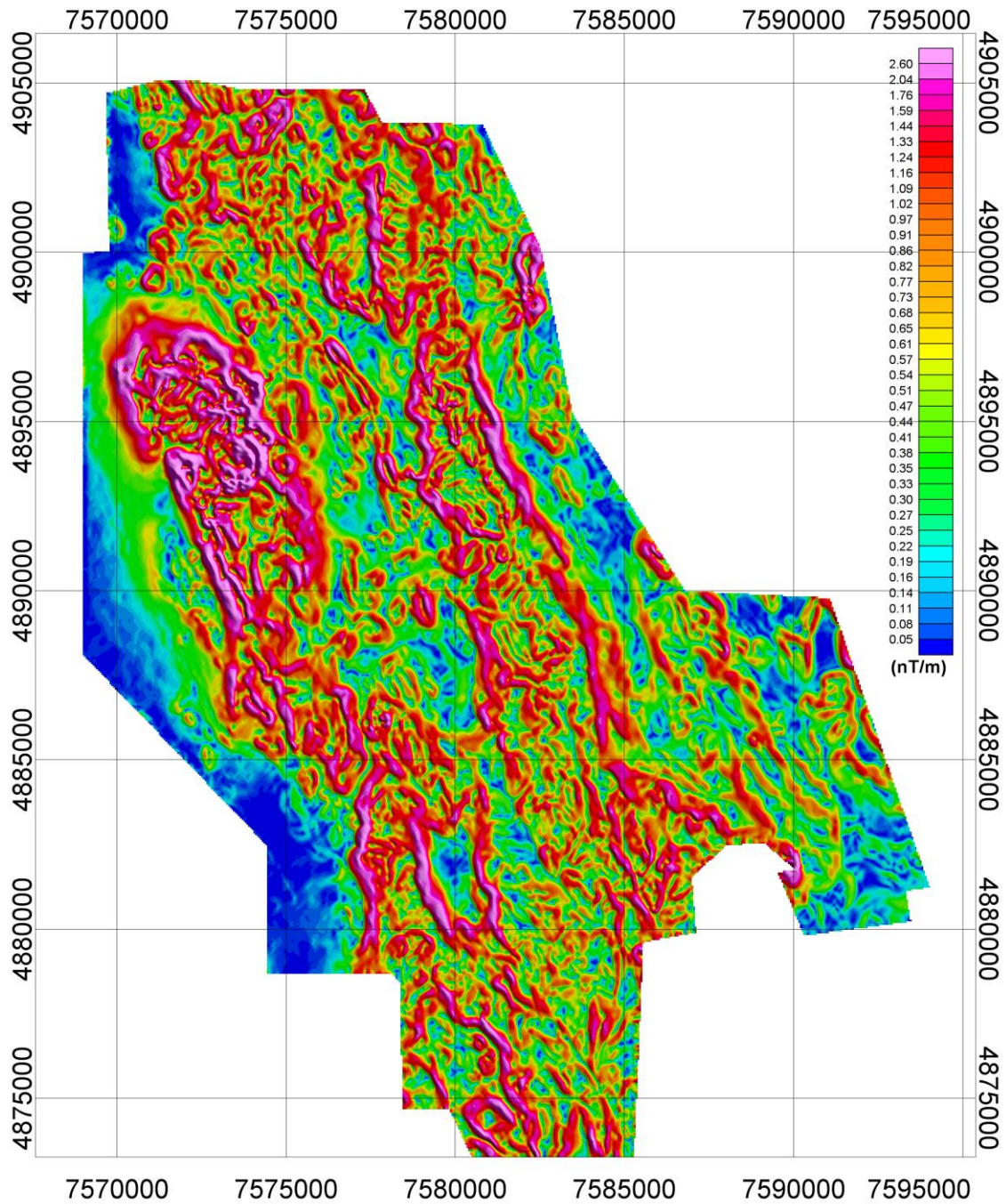
izdvoje granice, koje se nalaze ispod površine istražnog područja. Na karti prikazanoj na Slici 12 uočavaju se pozitivne i negativne vrednosti anomalija, pri čemu se pozitivne vrednosti nalaze iznad uzročnika anomalije, negativne vrednosti su izvan uzročnika anomalije, dok je vrednost nula iznad granice uzročnika anomalije. Nulta izolinija na Slici 12 označena je crnom bojom i ona pokazuje granice uzročnika anomalije u horizontalnoj ravni. Na Slici 13 se najveće vrednosti, odnosno maksimumi, ukupnog horizontalnog izvoda nalaze iznad granica uzročnika anomalije. Primenom postupaka *prvi vertikalni izvod* i *ukupni horizontalni izvod* konstatovani su položaji i izdvojene granice uzročnika anomalije, a njihovom analizom i međusobnom korelacijom uočava se da se granice dobro poklapaju. Na kartama prikazanim na slikama 12 i 13 definisani su položaji i granice uzročnika, koji uslovljavaju pojavu pozitivnih anomalijских oblasti A_1 , A_2 , C_1 , C_2 i C_3 (Slika 11), ali su isto tako i naglašeni položaji uzročnika u anomalijским zonama B i D. Izgledi karata, na kojima su prikazani postupci *prvi vertikalni izvod* i *ukupni horizontalni izvod* ukazuju na izuzetno kompleksnu građu uzročnika anomalija na istražnom području.

Postupak *analitički signal* (Slika 14) predstavlja kombinaciju horizontalnog i vertikalnog izvoda magnetske anomalije, takođe, je primenjen u cilju definisanja položaja uzročnika i njegovih granica. Maksimalna vrednost analitičkog signala nalazi se iznad izolovanih uzročnika anomalije i iznad granica uzročnika anomalija i okolnih stena. Oblik, položaj i granice uzročnika anomalija prikazane na Slici 14 poklapaju se sa anomalijским oblastima (Slika 11), koje su uočene i primenom gore navedenih transformacijama (slike 12 i 13).

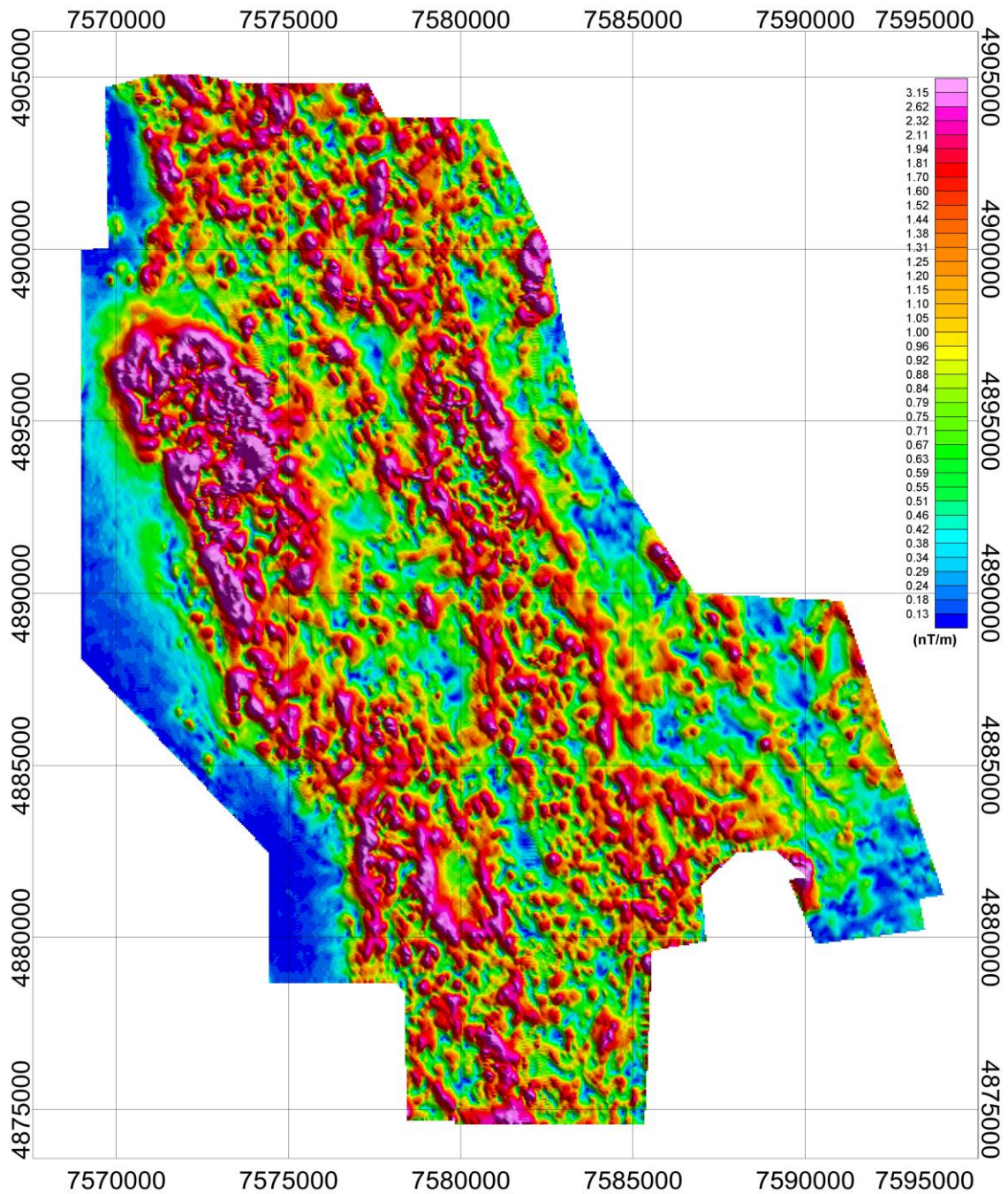
Za razliku od postupka *prvi verikalni izvod* i postupka *ukupni horizontalni izvod*, koji se primenjuju za definisanje položaja uzročnika anomalije i granica na malim dubinama, postupak *ugao nagiba* (*izvod nagiba*) daje dobre rezultate, ne samo prilikom definisanja položaja uzročnika blizu površine terena, već i na većim dubinama. Ovaj postupak pomaže u otkrivanju položaja uzročnika anomalija i granica, koje se nalaze na velikoj dubini, a često su prikriveni uzročnicima, koji su na manjoj dubini. Na karti prikazanoj na Slici 15 pozitivne vrednosti se nalaze iznad izvora anomalije, dok su negativane vrednosti izvan oblasti gde se nalazi uzročnik anomalije. Izvod nagiba prolazi kroz nulu kada je iznad ili blizu granice, koja je na Slici 15 označena crnom bojom.



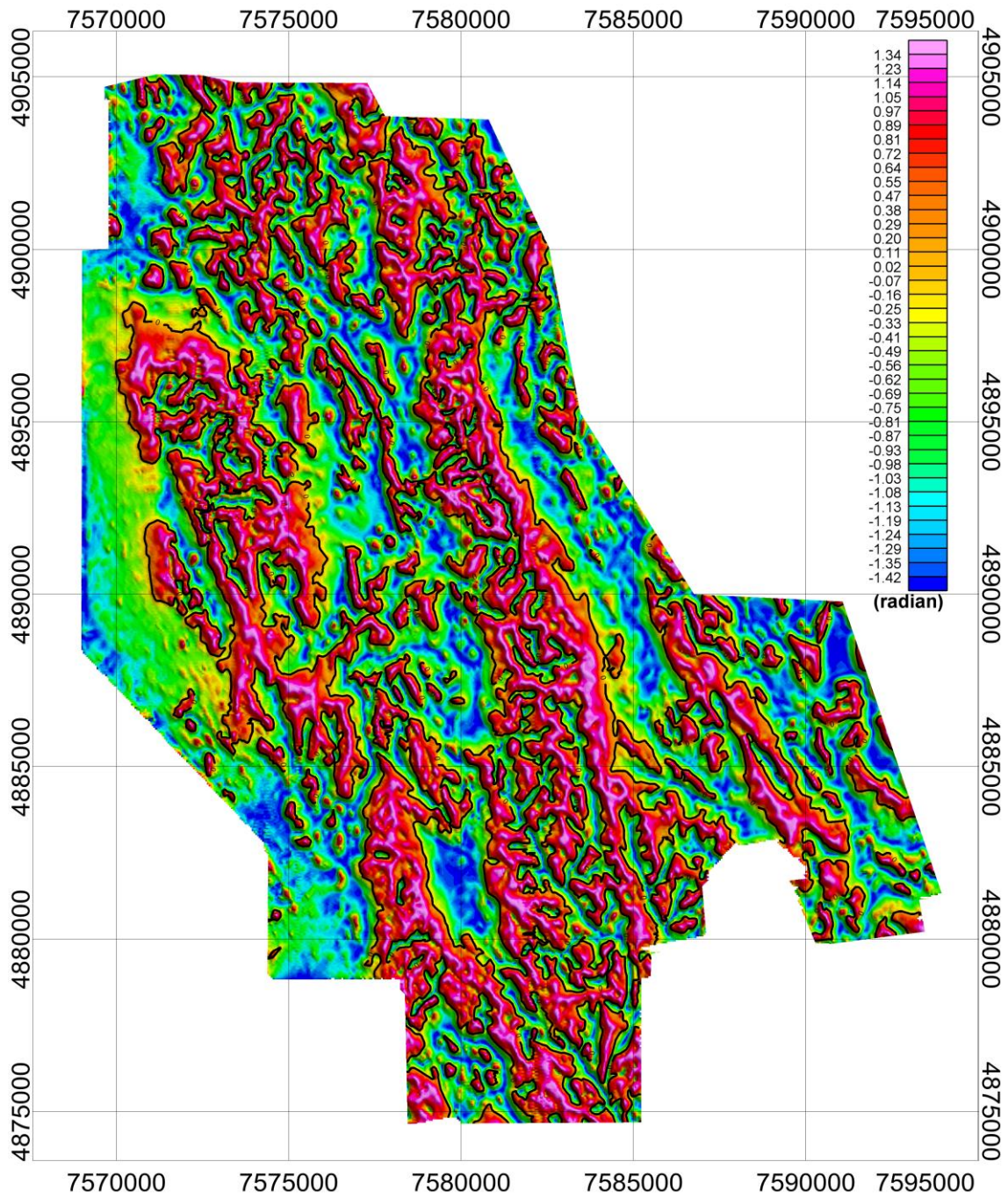
Slika 12. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedena na pol na koju je primenjen postupak *prvi vertikalni izvod*



Slika 13. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedena na pol na koju je primenjen postupak *horizontalni izvod*



Slika 14. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedena na pol na koju je primenjen postupak *analitički signal*

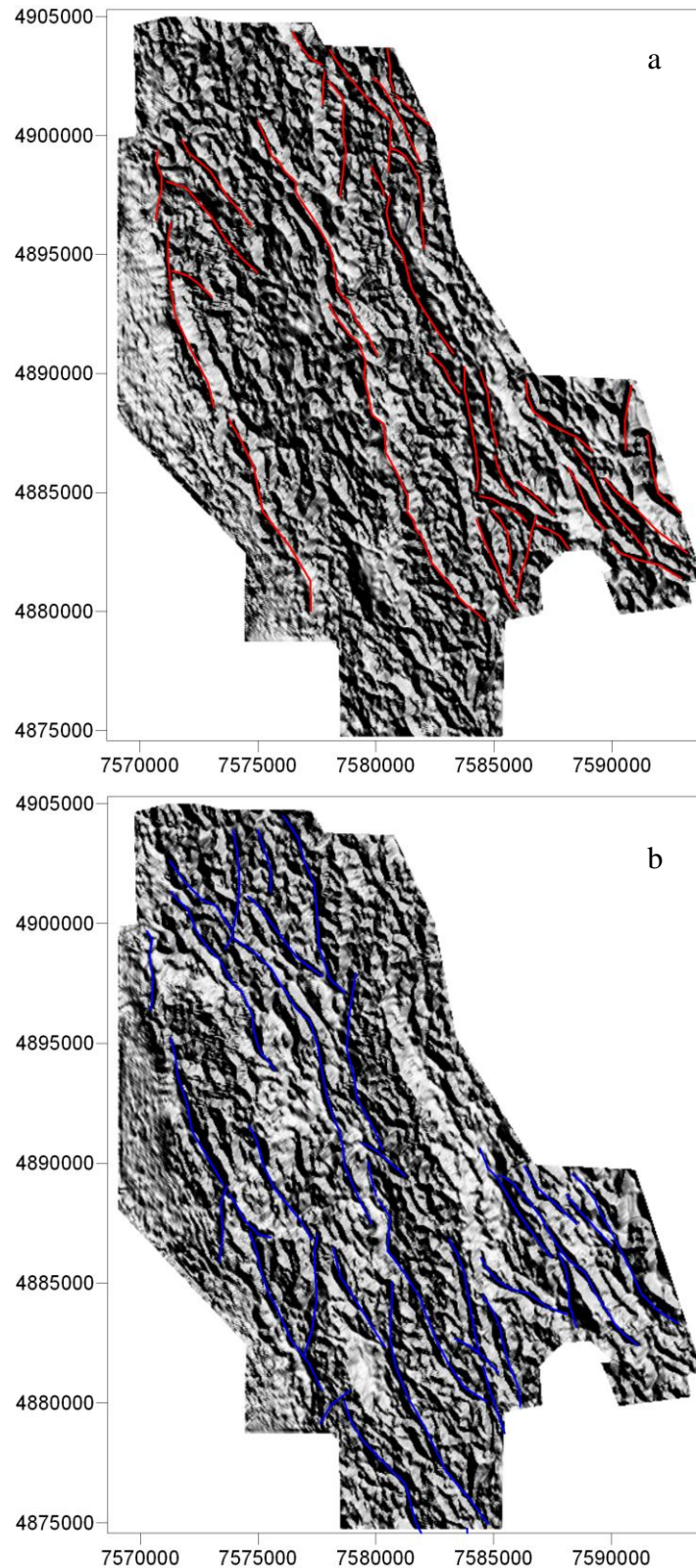


Slika 15. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedena na pol na koju je primenjen postupak *izvod nagiba*

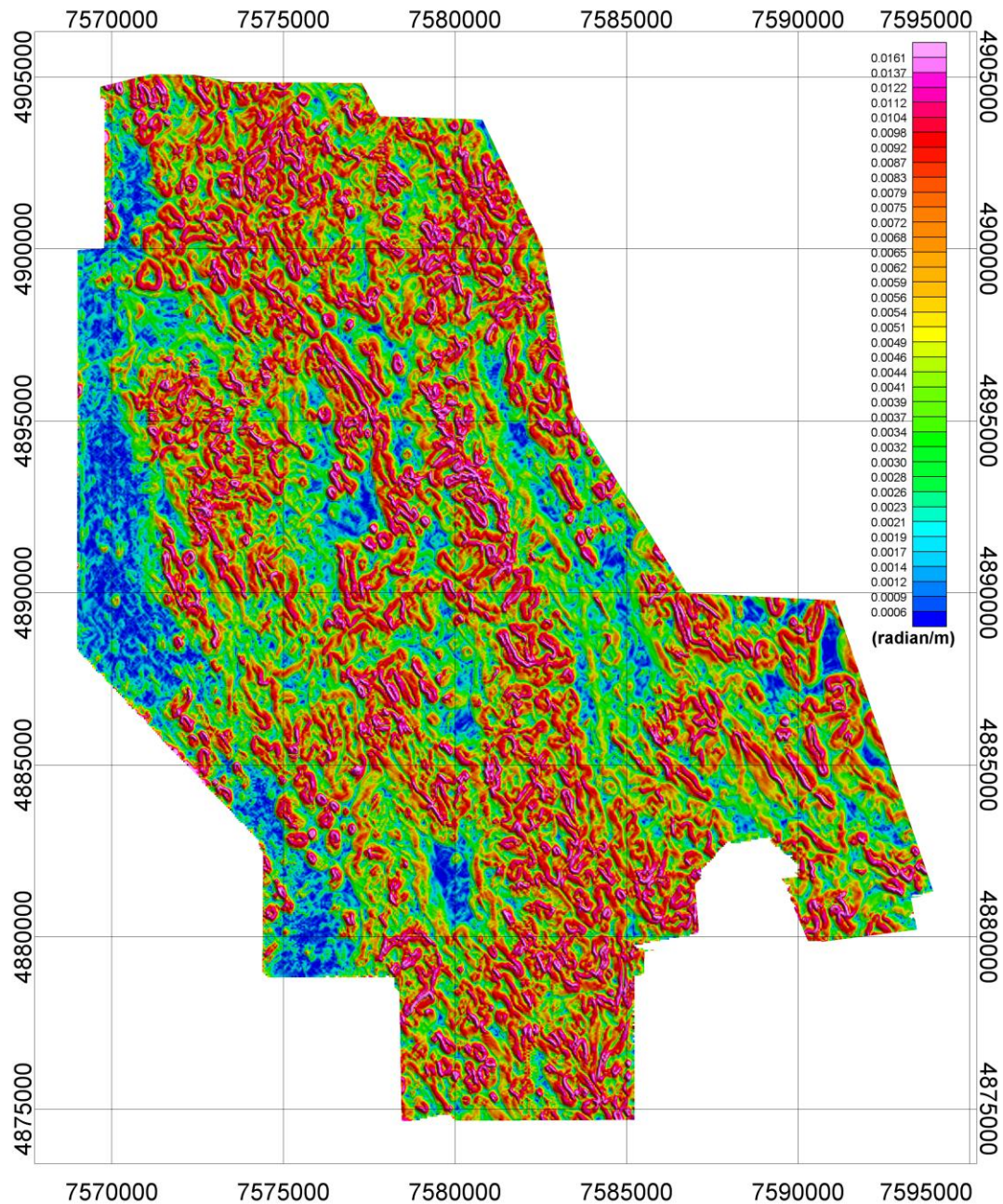
Ako se uporedi karta prikazana na Slici 15 sa kartama prikazanim na slikama 12, 13 i 14, primećuje se dosta dobra korelacija, s tim što su uzročnici na većoj dubini jasnije okontureni. Primenom postupka *izvod nagiba* bolje su definisane granice uzročnika u anomalijским oblastima A₁, A₂, B, C₁, C₂, C₃, D (Slika 11).

Kako bi se što jasnije definisali položaji uzročnika anomalija, granice, međusobni kontakti uzročnika, kao i kontakti uzročnika sa okolnim stenama postupak *izvod nagiba* prikazan je na slikama 15a i b tehnikom senčenja (na engleskom Shaded Relief Map). Pri prikazivanju karata tehnikom senčenja, posebno se vodi računa o postavljanju osvetljenja, kako bi se što bolje istakle granice potencijalnih uzročnika anomalija. Prilikom prikazivanja karta primenom ove tehnike, osvetljenje je postavljeno tako da bude upravno u odnosu na položaj glavnih struktura na istražnom području, koje su utvrđene na terenu tokom ranijih istraživanja. Na istraživanom području strukture imaju generalni pravac pružanja severozapad-jugoistok, pa su prilikom analize karata uzeta dva položaja osvetljenja. Položaj jednog osvetljenja je postavljen na jugozapad (Slika 15a), dok je položaj drugo osvetljenje postavljeno na severoistok (Slika 15b). Detaljnom analizom ove dve karte prikazane su granice uzročnika anomalija i kontaktne zone, koje su na Slici 15a prikazane crvenom bojom, a na Slici 15b plavom bojom. Kontaktne zone ukazuju na mogućnost postojanja raseda, odnosno rasednih zona, na istražnom području.

Da bi se jasnije odredili fini detalji u obliku velikih uzročnika anomalije A₁, A₂, C₁, C₂ i C₃, koji su izdvojeni u prednodno opisanim postupcima, primenjen je postupak *ukupni horizontalni izvod nagiba* (Slika 16). Primenom ovog postupka, takođe je omogućeno i definisanje položaja i granica manjih uzročnika anomalija. Granice cele mase tela, koje su uzročnici anomalija, dobro su definisane postupkom *izvod nagiba* (Slika 15), dok su primenom postupkom *ukupni horizontalni izvod nagiba* (Slika 16) te granice manje jasnije, ali su zato detalji u okviru velikih uzročnika bolje definisani.



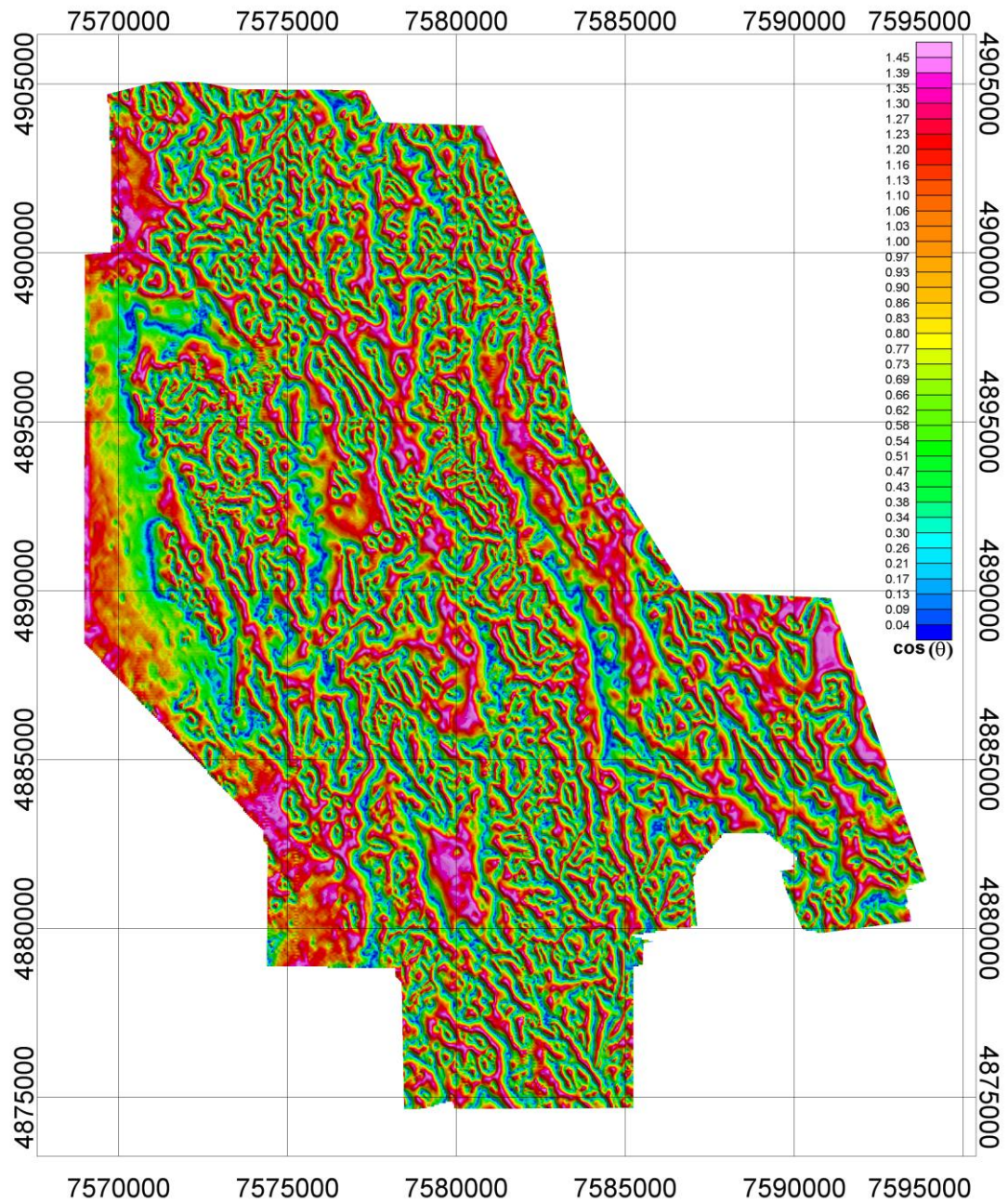
Slika 15a i b. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedena na pol na koju je primenjen postupak *izvod nagib* prikazana tehnikom Shaded Relief Map (a- položaj osvetljenja na JZ, b- položaj osvetljenja na SI)



Slika 16. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedena na pol na koju je primenjen postupak *ukupni horizontalni izvod nagiba*

Na Slici 17 prikazan je postupak "theta map", kojim je potvrđena izuzetno kompleksna građa uzročnika anomalija. Korelacijom karte na kojima je prikazan postupak "theta map" sa kartom na kojoj je prikazan postupak *ukupan horizontalni izvod* (Slika 13) moguće je izdvojiti granice glavnih uzročnika magnetskih anomalija A₁, A₂, C₁, C₂ i C₃

(Slika 11). Zahvaljujući postupku "theta map" u okviru glavnih uzročnika anomalije moguće je izdvojiti fine detalje.



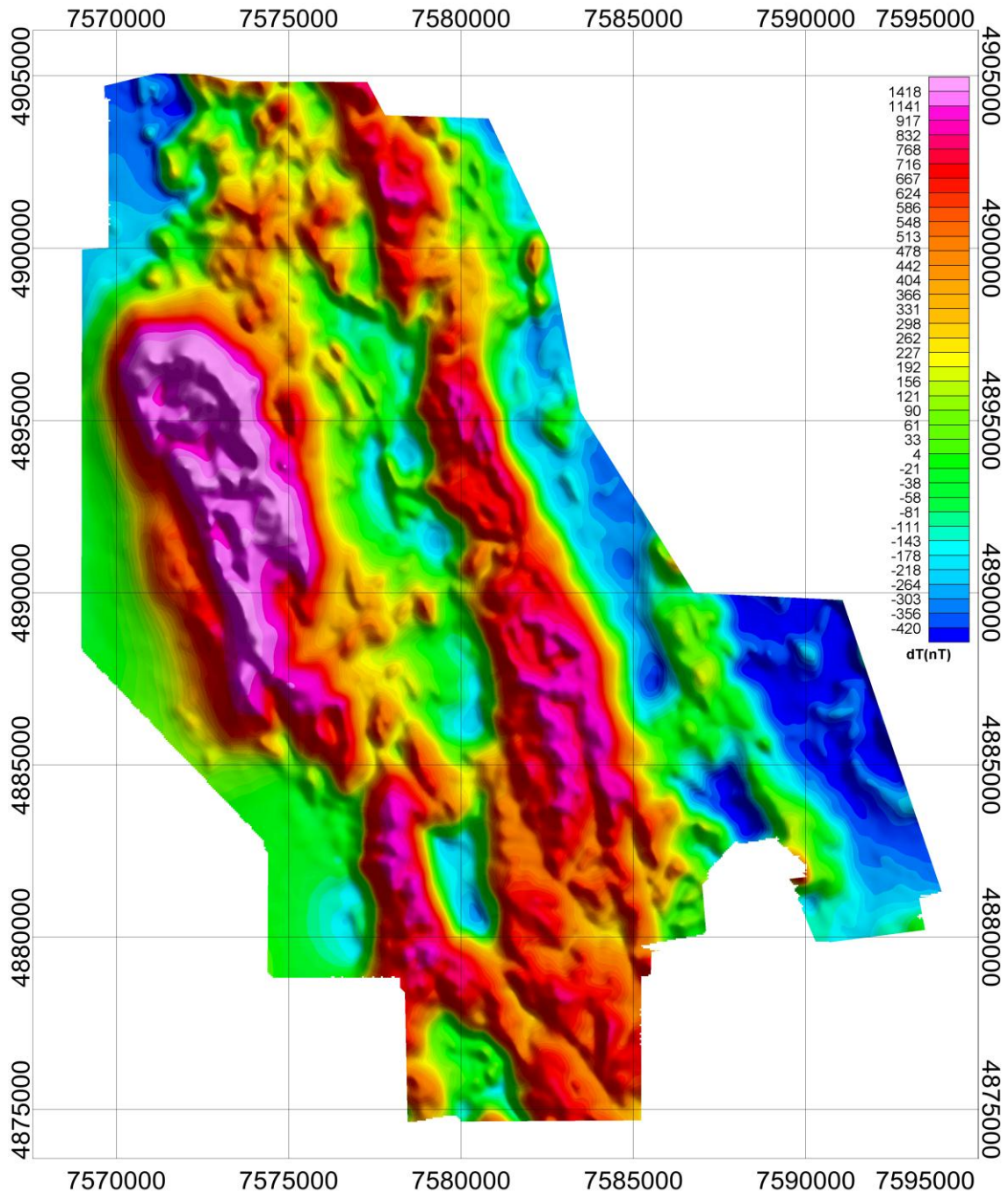
Slika 17. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedena na pol na koju je primenjen postupak "theta map"

Do sada primenjene matematičke transformacije imale su zadatak da pomognu u definisanju položaja uzročnika magnetskih anomalija u horizontalnoj ravni, a takođe, su korišćene za izdvajanje granica uzročnika tih anomalija i izdvajanje kontaktnih zona, koje ukazuju na mogućnost postojanja raseda. Sledeći korak u analizi aeromagnetskih podataka bio je da se izdvoje samo one zone u kojima uzročnici anomalija imaju regionalni značaj, odnosno da se izdvoje uzročnici velikih dimenzija, kao i da se definišu granice tih uzročnika na istražnom prostoru i da se odrede kontaktne zone.

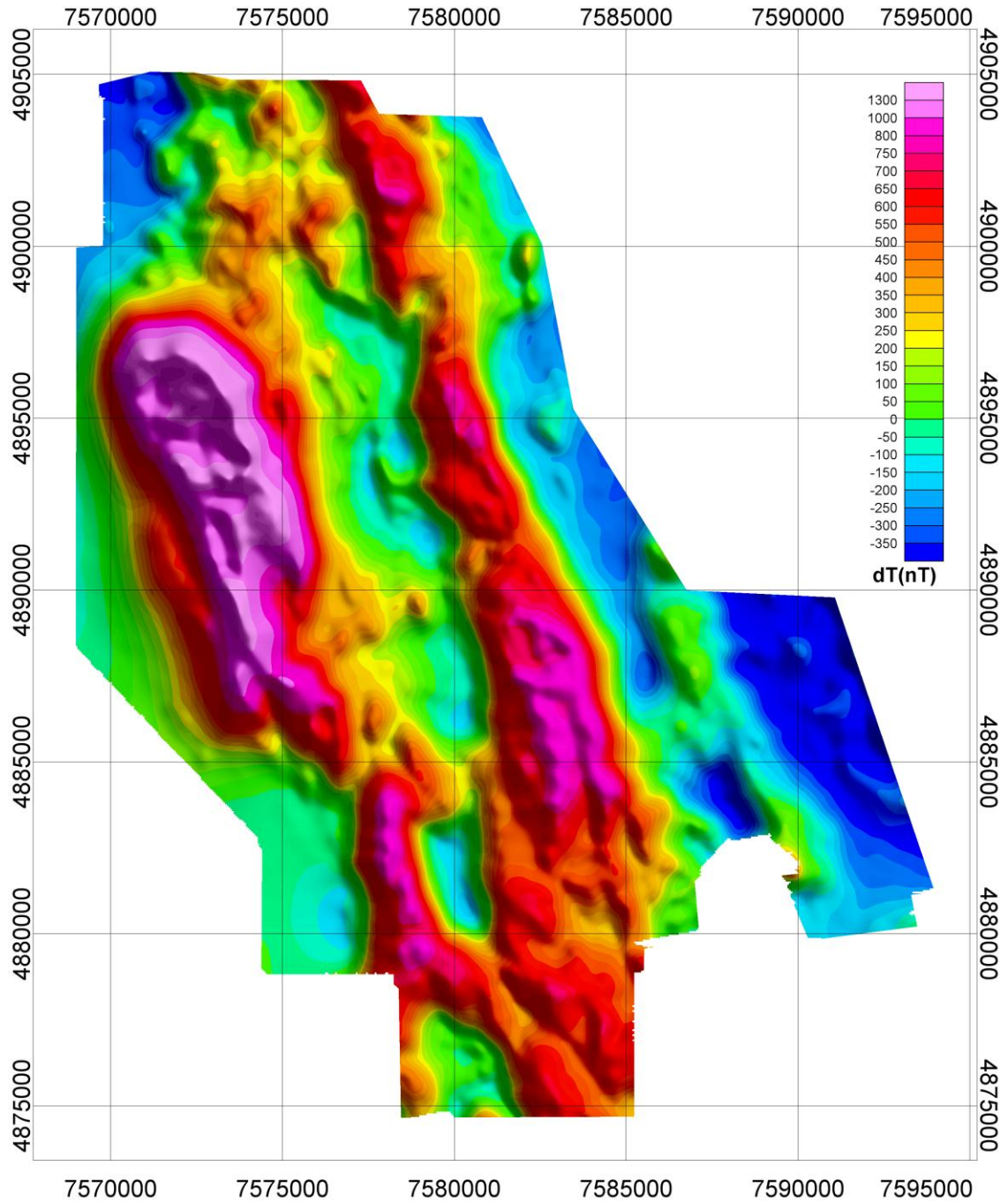
Na karti anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedene na pol izdvajanje uzročnika magnetskih anomalija, koji imaju regionalni značaj, postignuto je primenom postupka analitičko produženje polja naviše. Ovim postupkom ističu se uzročnici velikih dimenzija, koji imaju veliko pružanje u dubinu i/ili u širinu i gube se detalji. Podaci dobijeni u ravni u kojoj su vršena aeromagnetska merenja (visina od 75m) produženjem polja naviše su pomerena na površi, koje se u odnosu na površ merenja nalaze na visini od 100 m, 200 m, 300 m, 400 m, 500 m i 1000 m. Na anomaljskoj karti (Slika 10) postupak produženje polja naviše urađen je sa korakom 0.1K, 0.2K, 0.3K, 0.4K, 0.5K i 1K, pri čemu vrednosti koraka respektivno odgovaraju visinama od 100 m, 200 m, 300 m, 400 m, 500 m i 1000 m na kojima se vrši produženje polja naviše. Na slikama 18a, 18b, 18c, 18d, 18e i 18f prikazane su karte na kojima je primenjen postupak analitičkog produženja polja naviše za različite nivoe. Analizom karata i njihovim međusobnim upoređivanjem može se primetiti da se za različite nivoe produženja polja naviše, uticaji pojedinih uzročnika anomalija smanjuju, odnosno više se ne mogu videti na karti. Produžavanjem polja naviše anomalije A_1 i A_2 , kao i anomalije C_1 , C_2 i C_3 jasno se uočavaju i kada se udaljavamo od površi na kojoj su vršena merenja. Na osnovu svega ovoga se može zaključiti, da se u ovim delovima istražnog područja nalaze uzročnici anomalija, koji imaju regionalni značaj.

Izdvajanje granica uzročnika anomalija i okolnih stena, koji imaju regionalni značaj, urađeno je postupkom nastalim kombinacijom *analitičkog produženja polja naviše* i *izvoda nagiba*. Kombinacija postupaka *analitičkog produženja polja naviše* sa korakom 0.1K (100 m), 0.2K (200 m), 0.3K (300 m), 0.4K (400 m), 0.5K (500 m), 1K (1000 m) zajedno sa *izvodom ugla nagiba* prikazana je na slikama 19a, 19b, 19c, 19d, 19e i 19f.

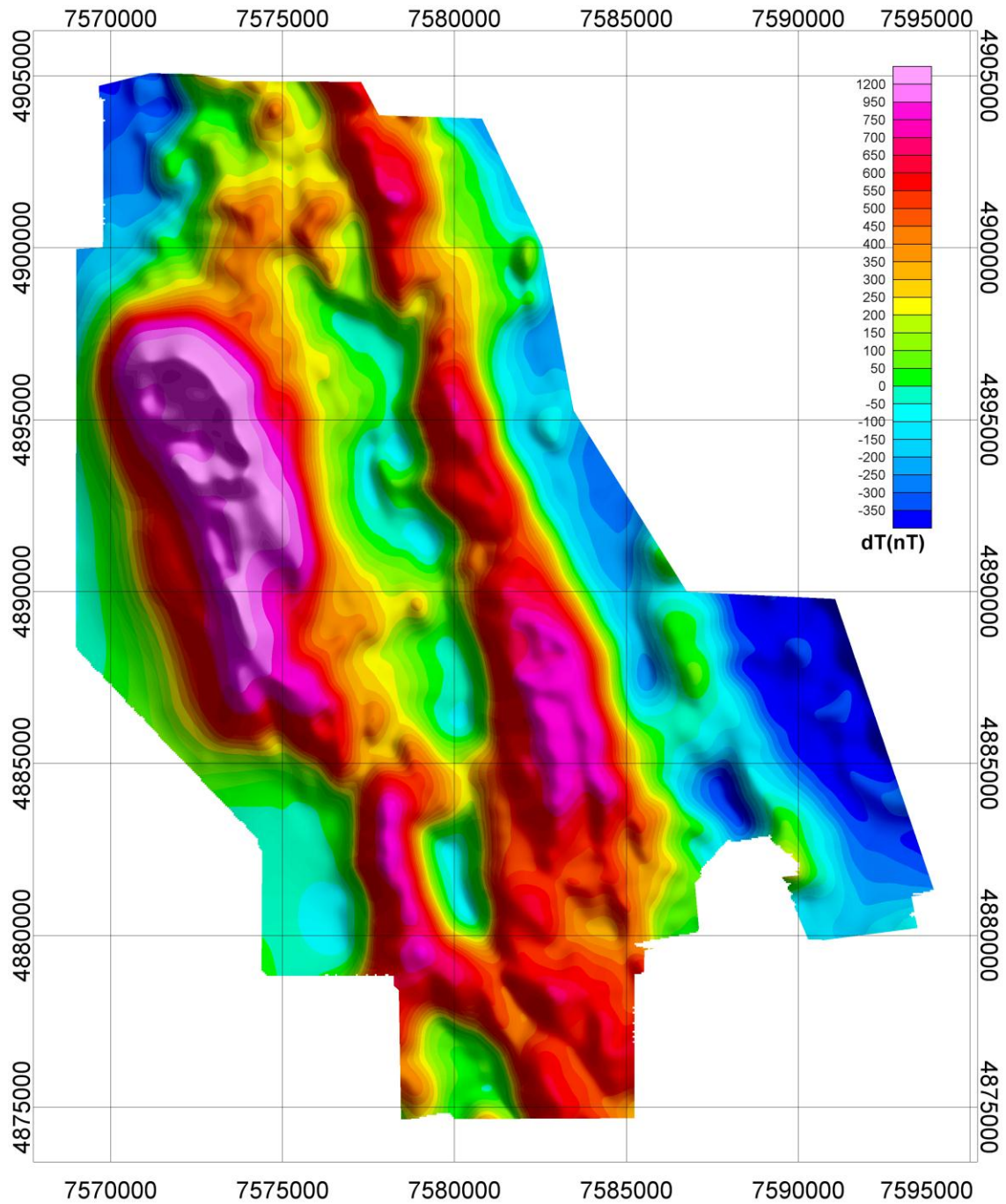
Nulte izololinije označene su crnom bojom i tako su izdvojene granice potencijalnih uzročnika magnetskih anomalija u horizontalnoj ravni na velikim dubinama, kao i kontakti.



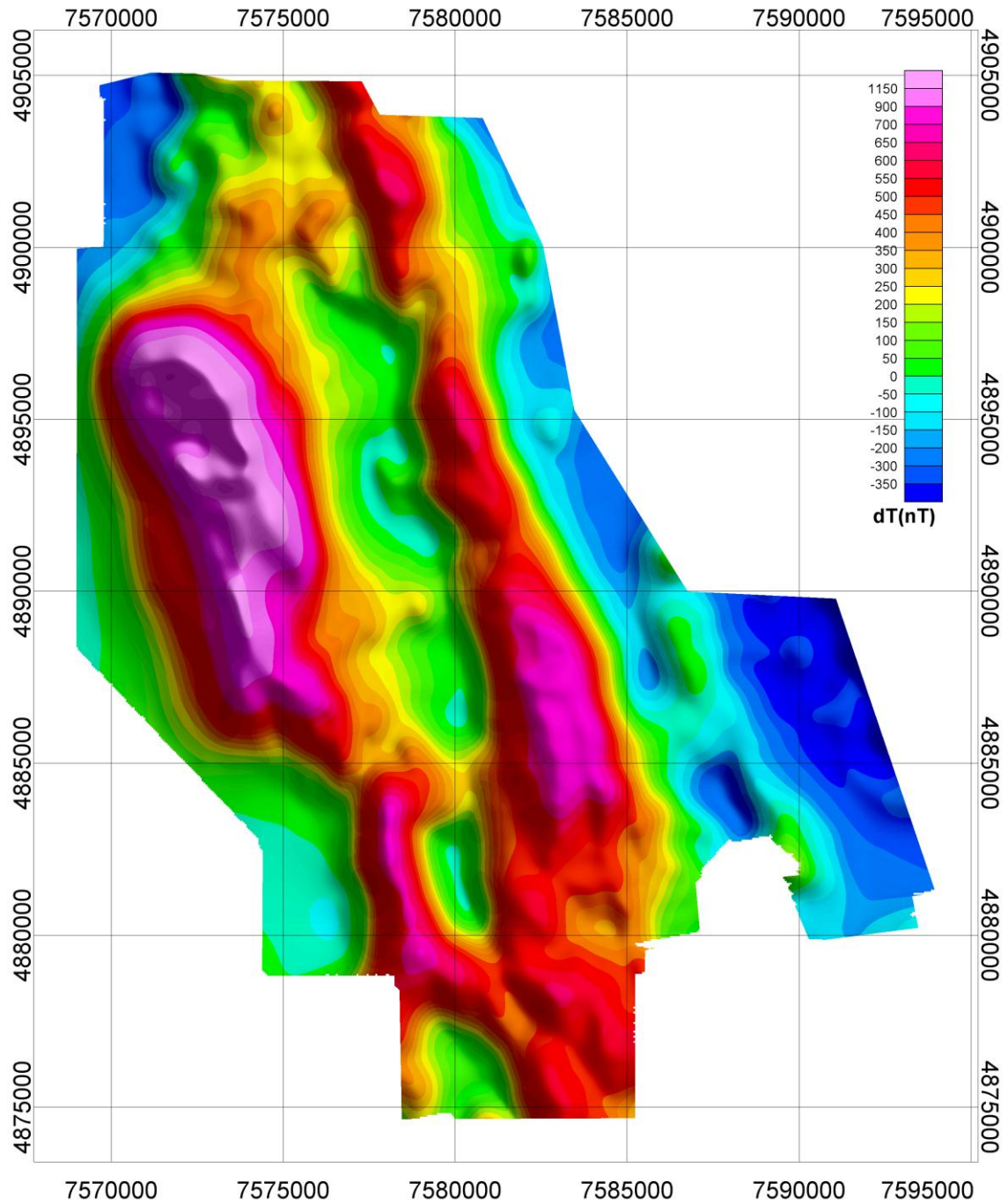
Slika 18a. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedena na pol na koju je primenjen postupak produženje polja naviše na nivo od 100 m



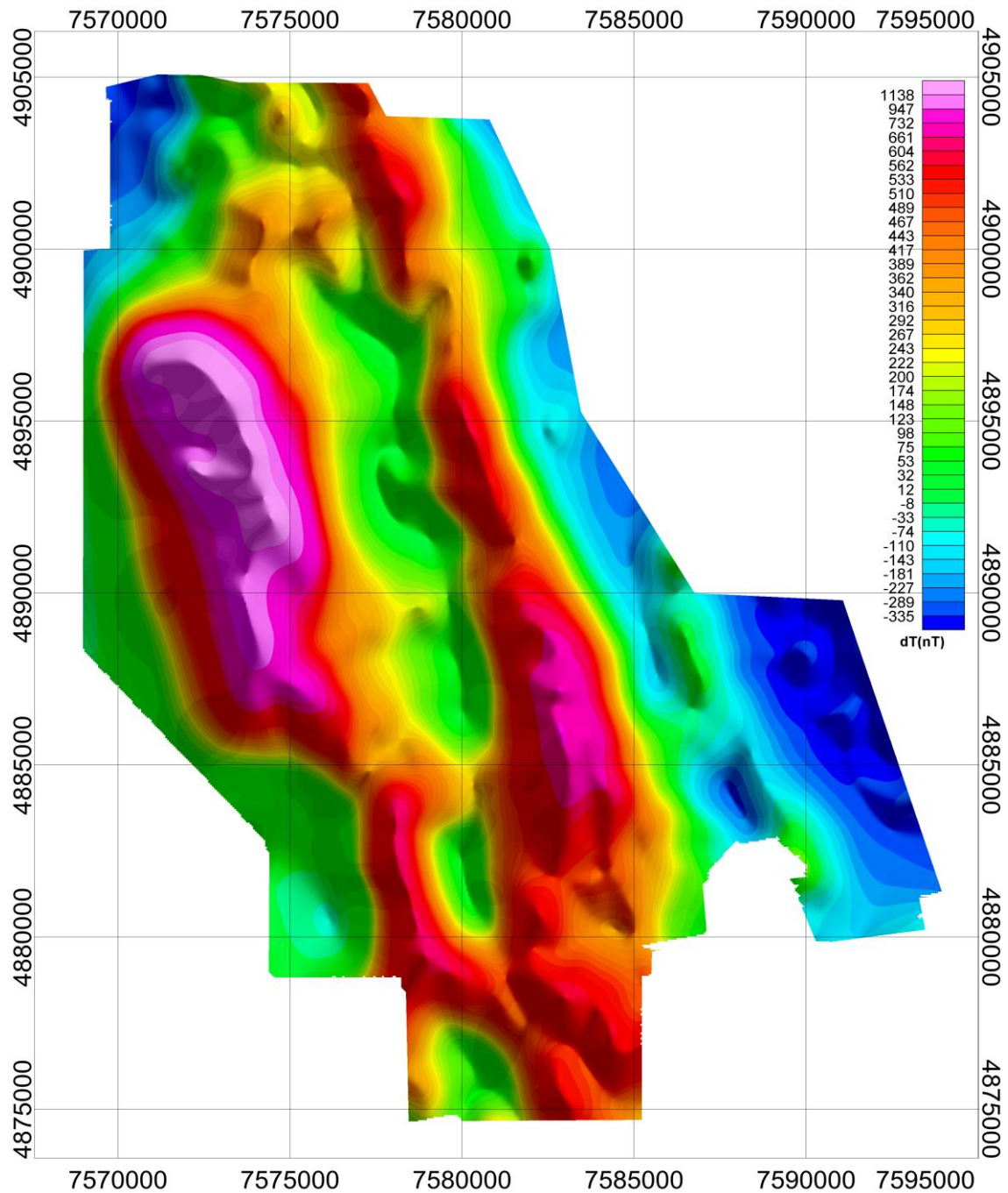
Slika 18b. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedena na pol na koju je primenjen postupak produženje polja navise na nivo od 200 m



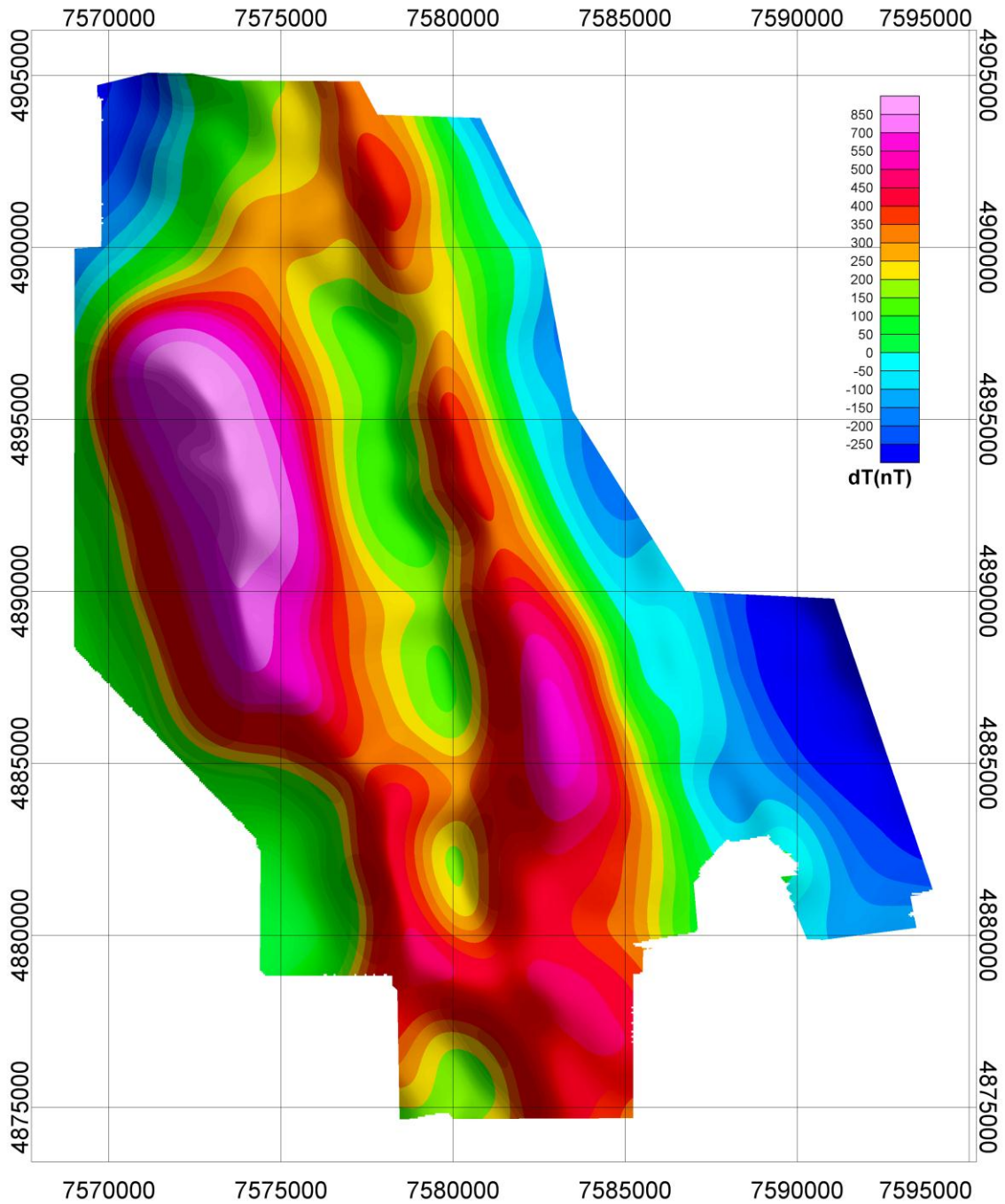
Slika 18c. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedena na pol na koju je primenjen postupak produženje polja naviše na nivo od 300 m



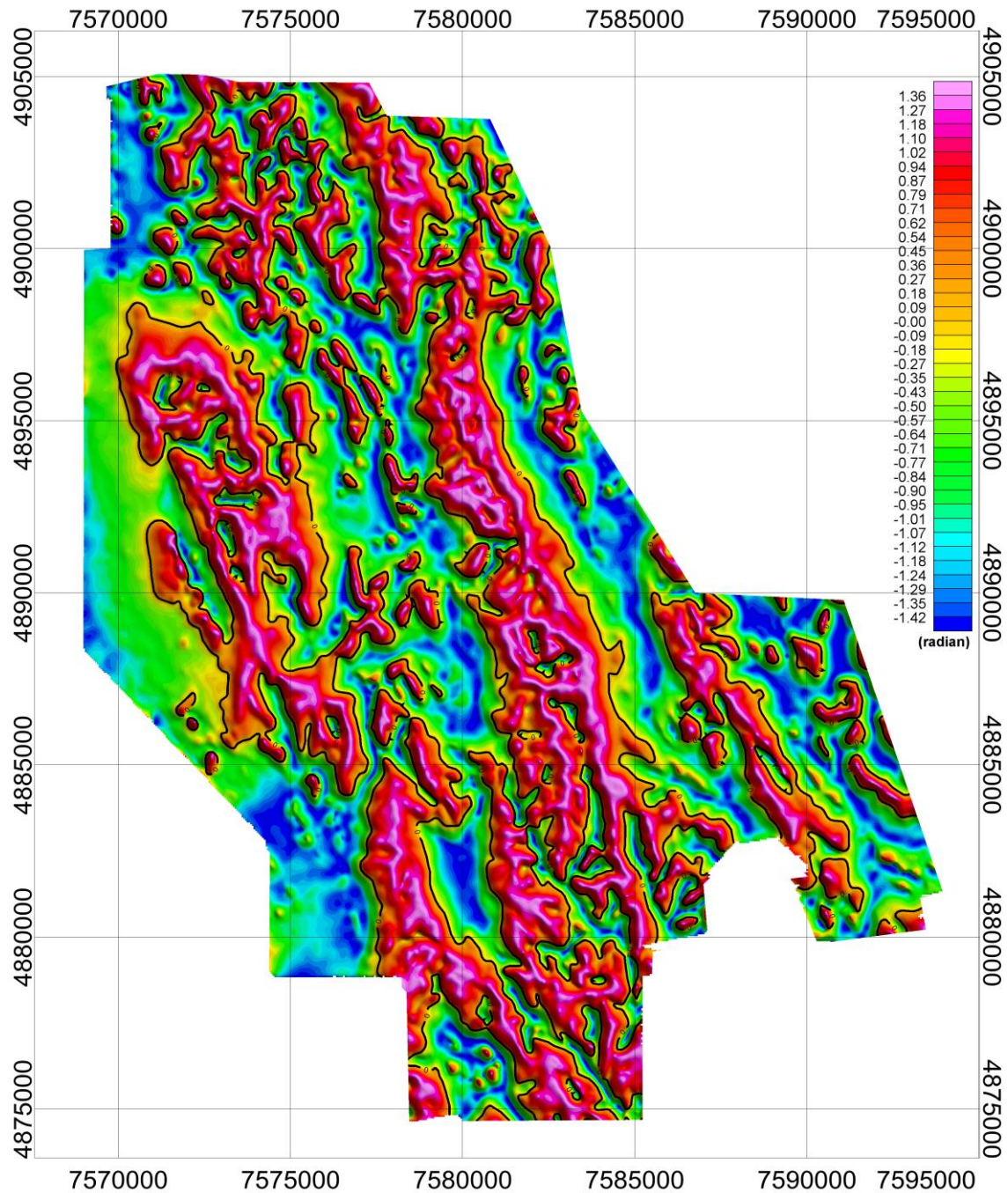
Slika 18d. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedena na pol na koju je primenjen postupak produženje polja naviše na nivo od 400 m



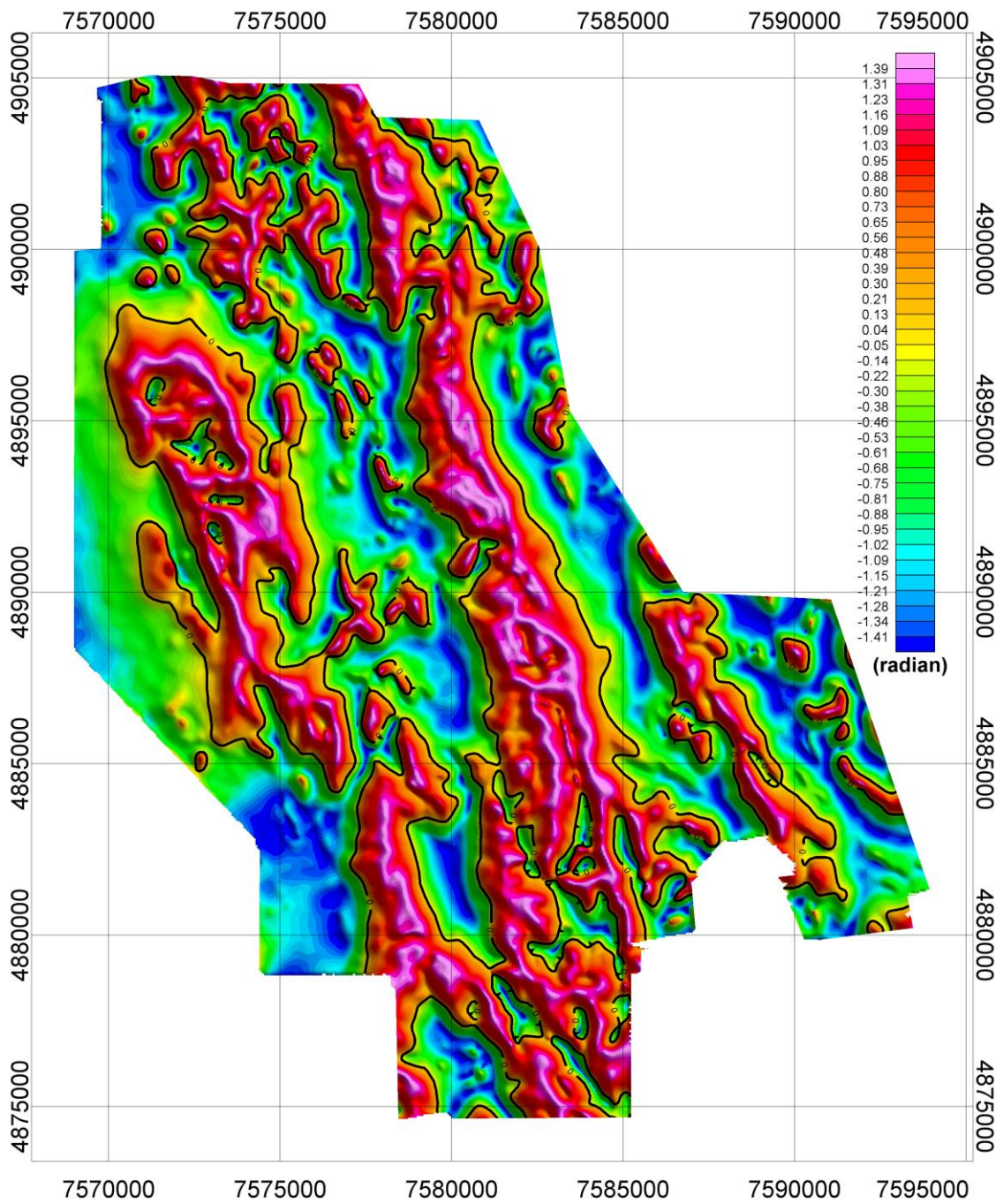
Slika 18e. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedena na pol na koju je primenjen postupak produženje polja naviše na nivo od 500 m



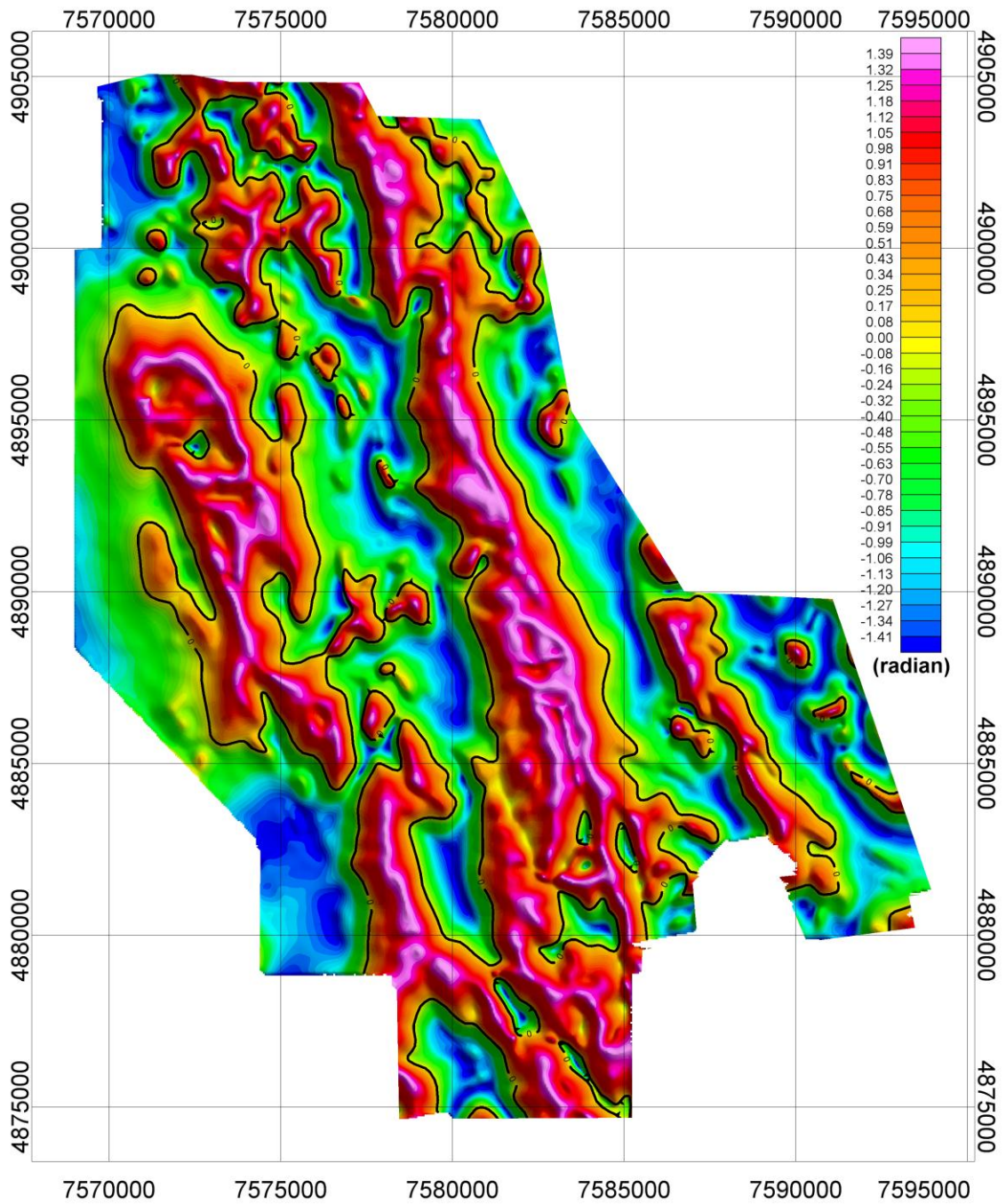
Slika 18f. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedena na pol na koju je primenjen postupak produženje polja naviše na nivo od 1000 m



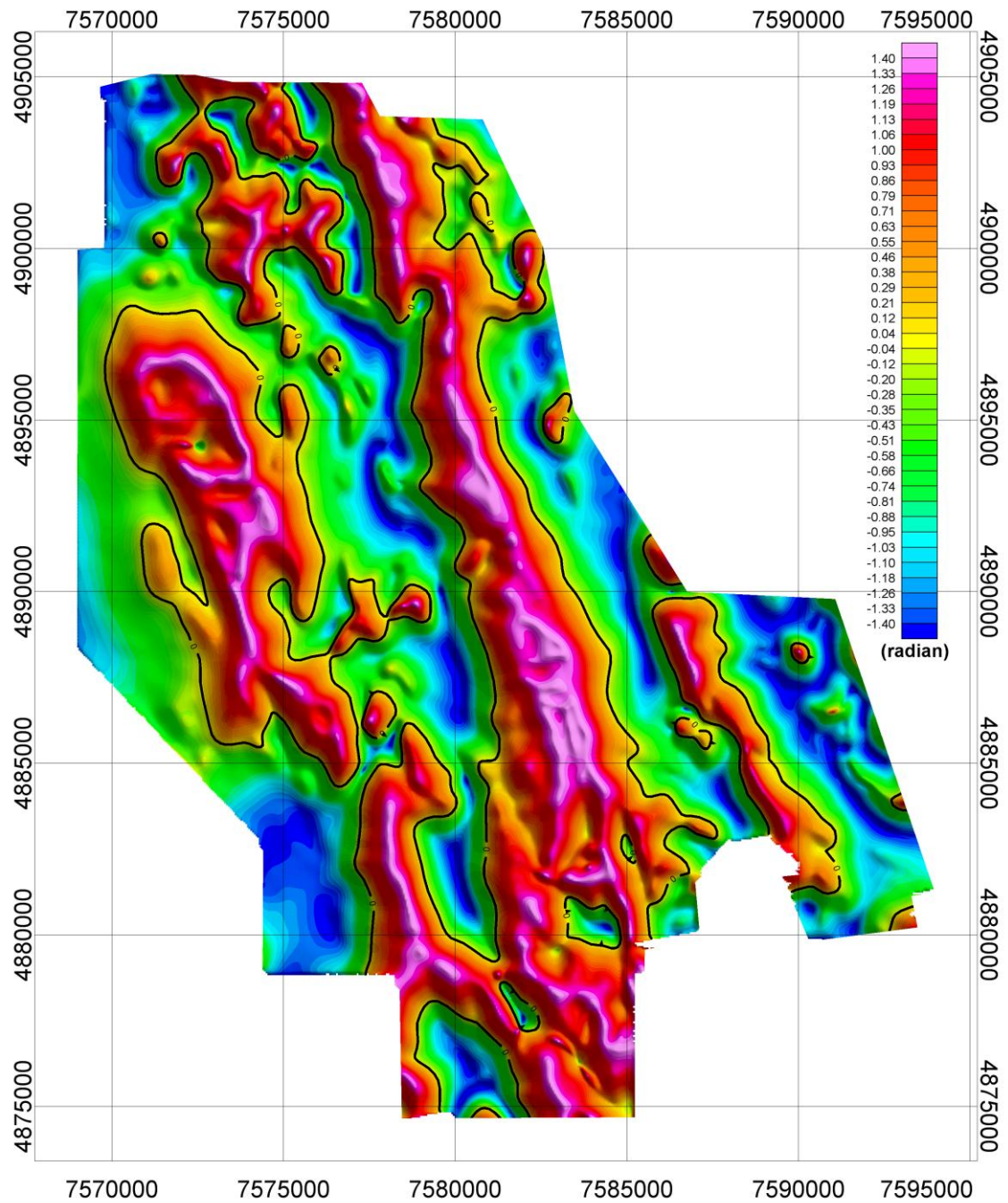
Slika 19a. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedena na pol na koju je primenjen postupak produženje polja na više na nivo 100 m sa izvodom ugla nagiba



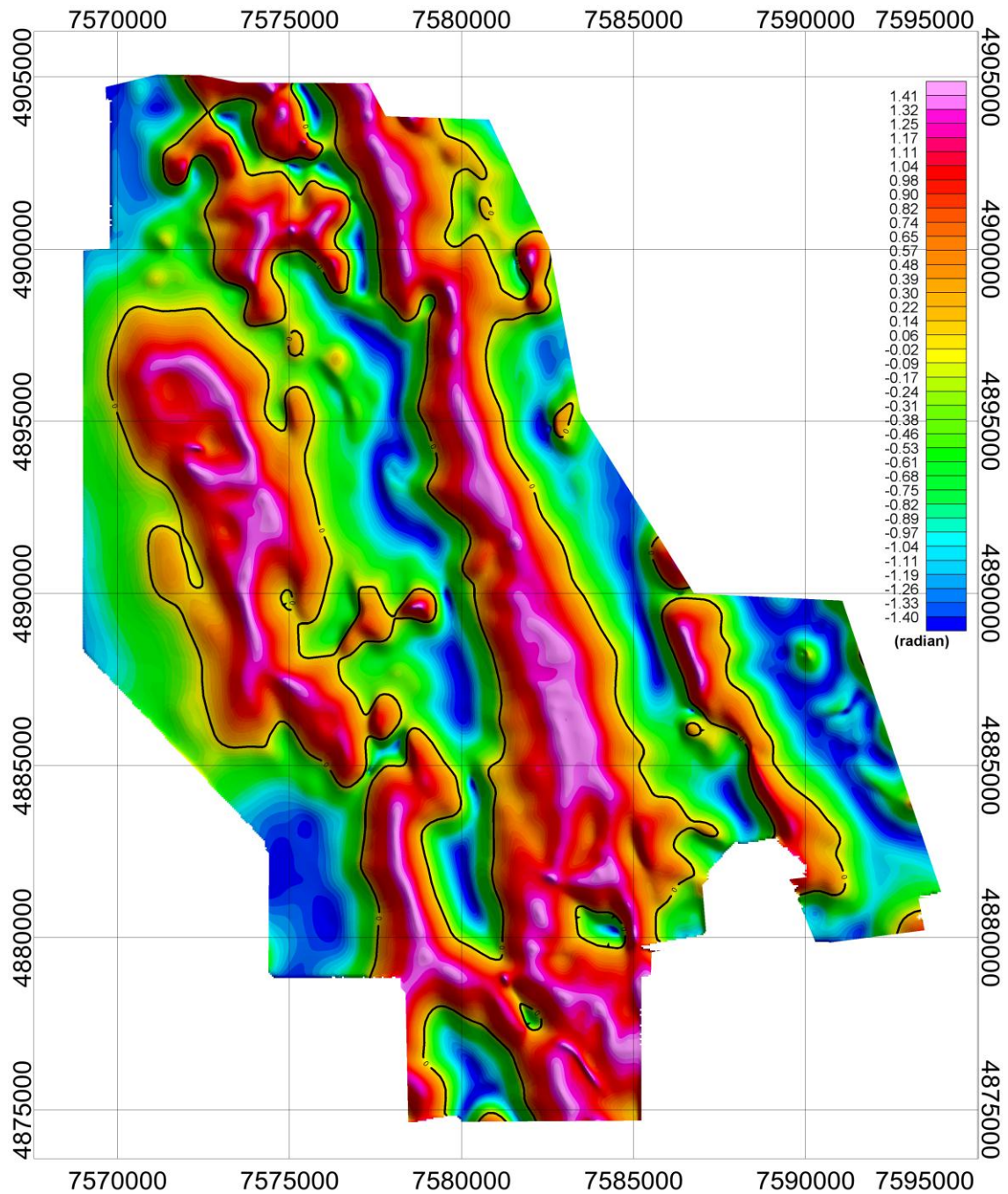
Slika 19b. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedena na pol na koju je primenjen postupak produženje polja naviše na nivo 200 m sa izvodom ugla nagiba



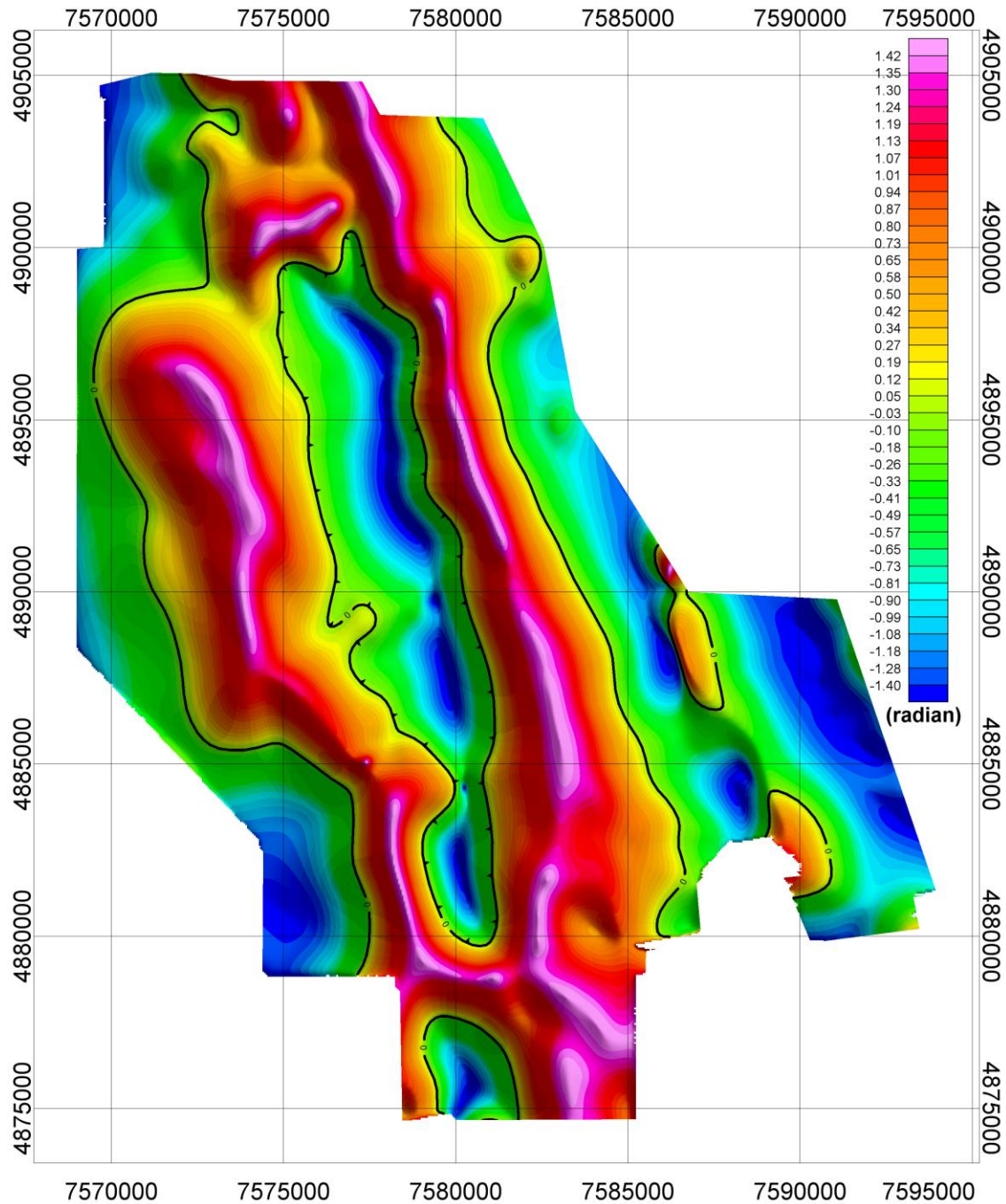
Slika 19c. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedena na pol na koju je primenjen postupak produženje polja naviše na nivo 300 m sa izvodom ugla nagiba



Slika 19d. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedena na pol na koju je primenjen postupak produženje polja naviše na nivo 400 m sa izvodom ugla nagiba

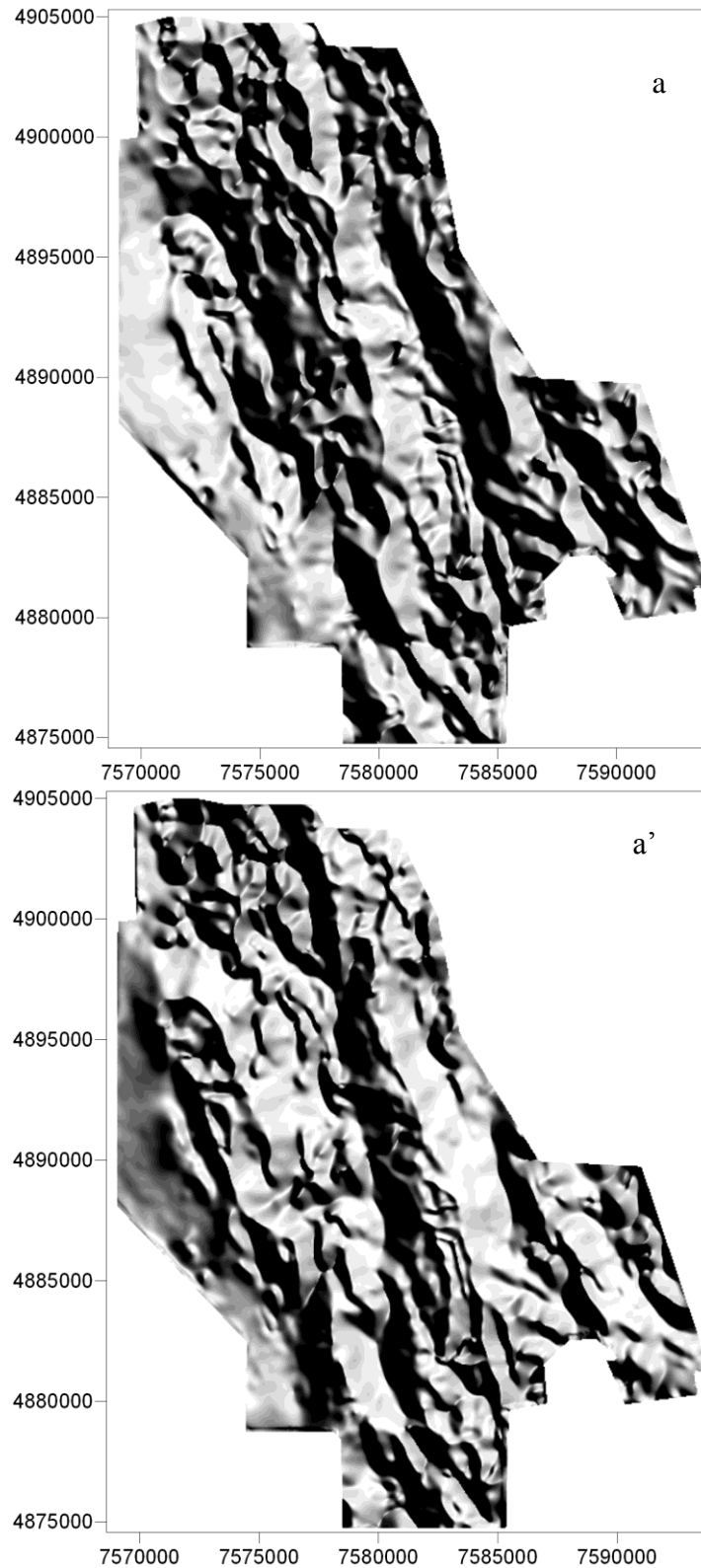


Slika 19e. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedena na pol na koju je primenjen postupak produženje polja na više na nivo 500 m sa izvodom ugla nagiba

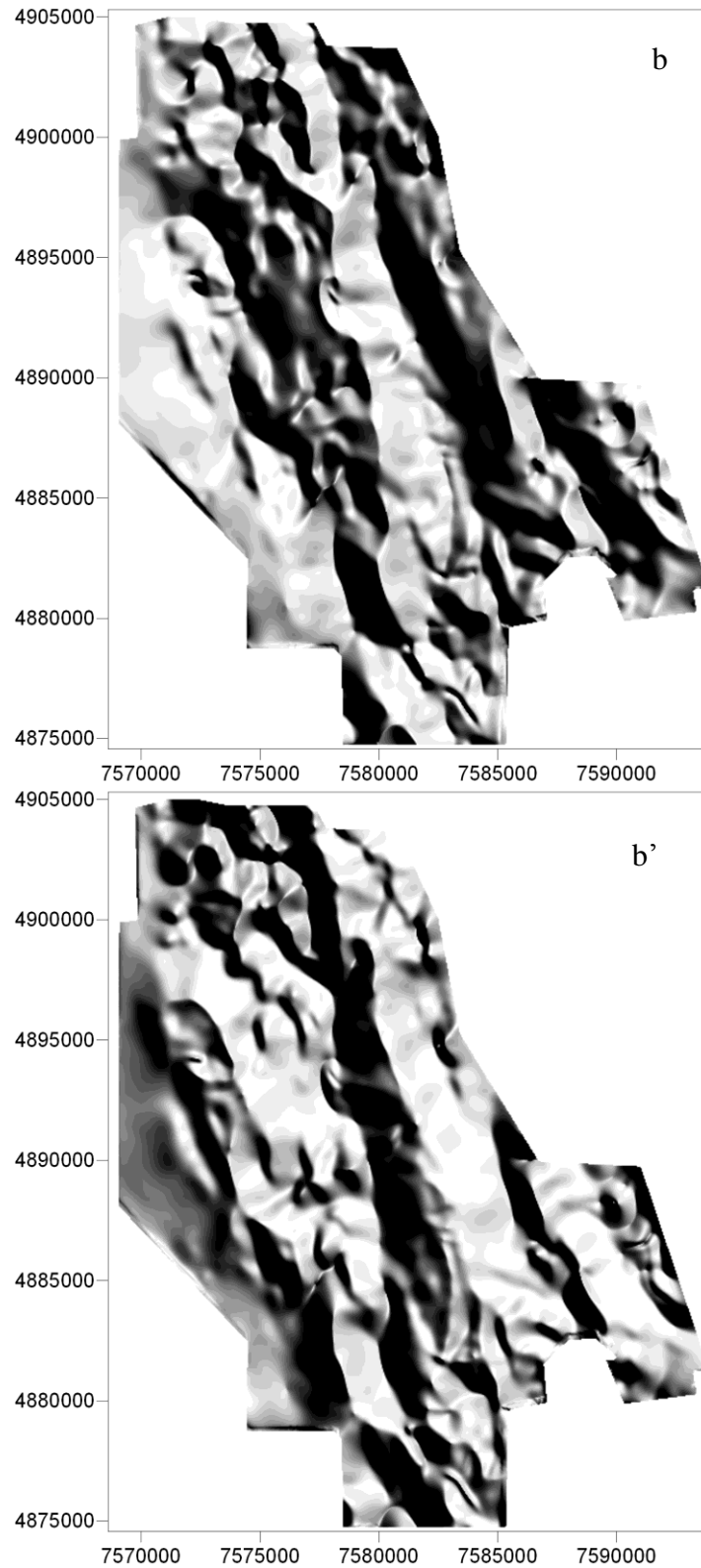


Slika 19f. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedena na pol na koju je primenjen postupak produženje polja naviše na nivo 1000 m sa izvodom ugla nagiba

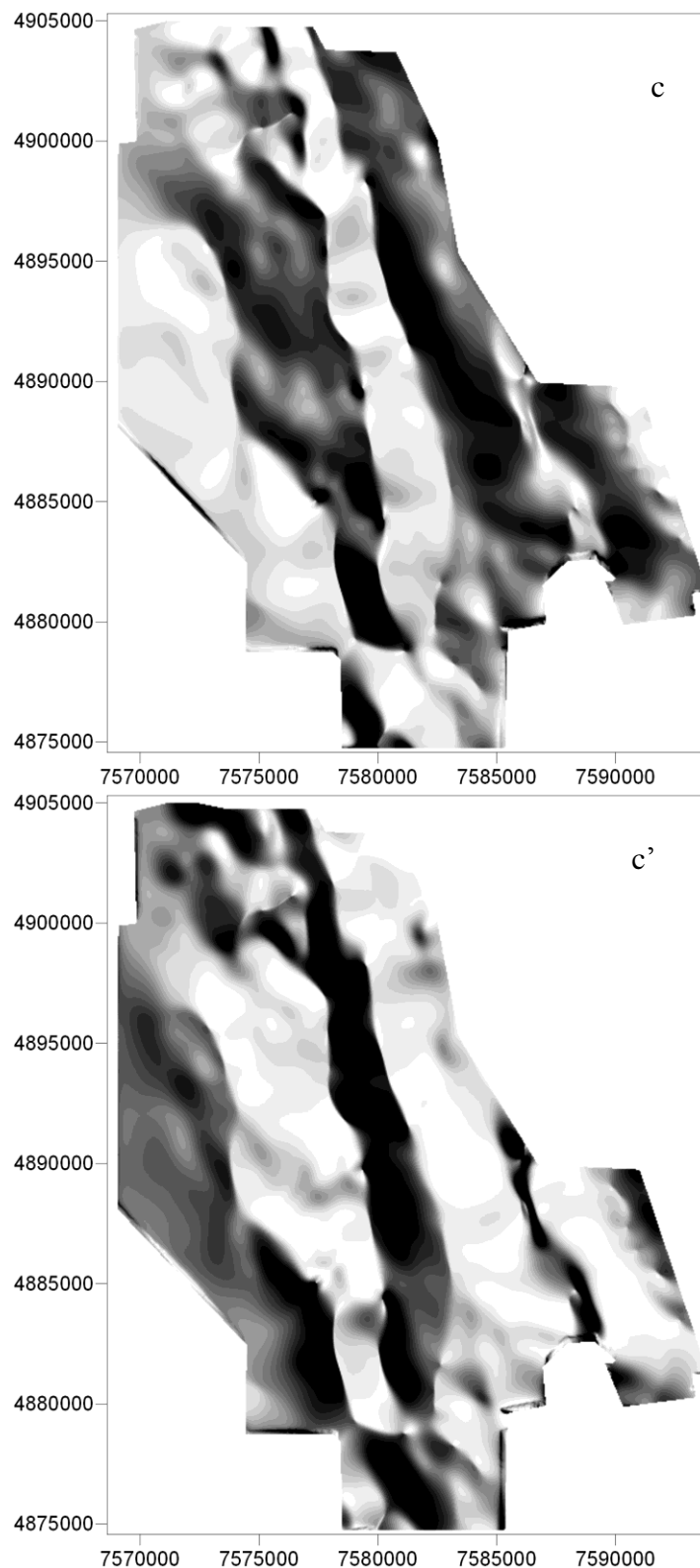
Da bi se upotpunila analiza karata, dobijenih kombinacijom postupka produženje polja naviše sa izvodom nagiba, neke od karata su prikazane tehnikom senčenja, sa položajem osvetljenja na jugozapadu (JZ) i severoistoku (SI), na slikama 20 *a* i *a'*, 21 *b* i *b'* i 22 *c* i *c'*.



Slika 20. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedena na pol na koju je primenjen postupak produženje polja naviše sa korakom 0.3K (300 m) i izvod ugla nagiba : a) položaj osvetljenja na JZ i a') položaj osvetljenja na SI



Slika 21. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedena na pol na koju je primenjen postupak produženje polja naviše sa korakom 0.5K (500 m) i izvod ugla nagiba: b) položaj osvetljenja na JZ i b') položaj osvetljenja na SI

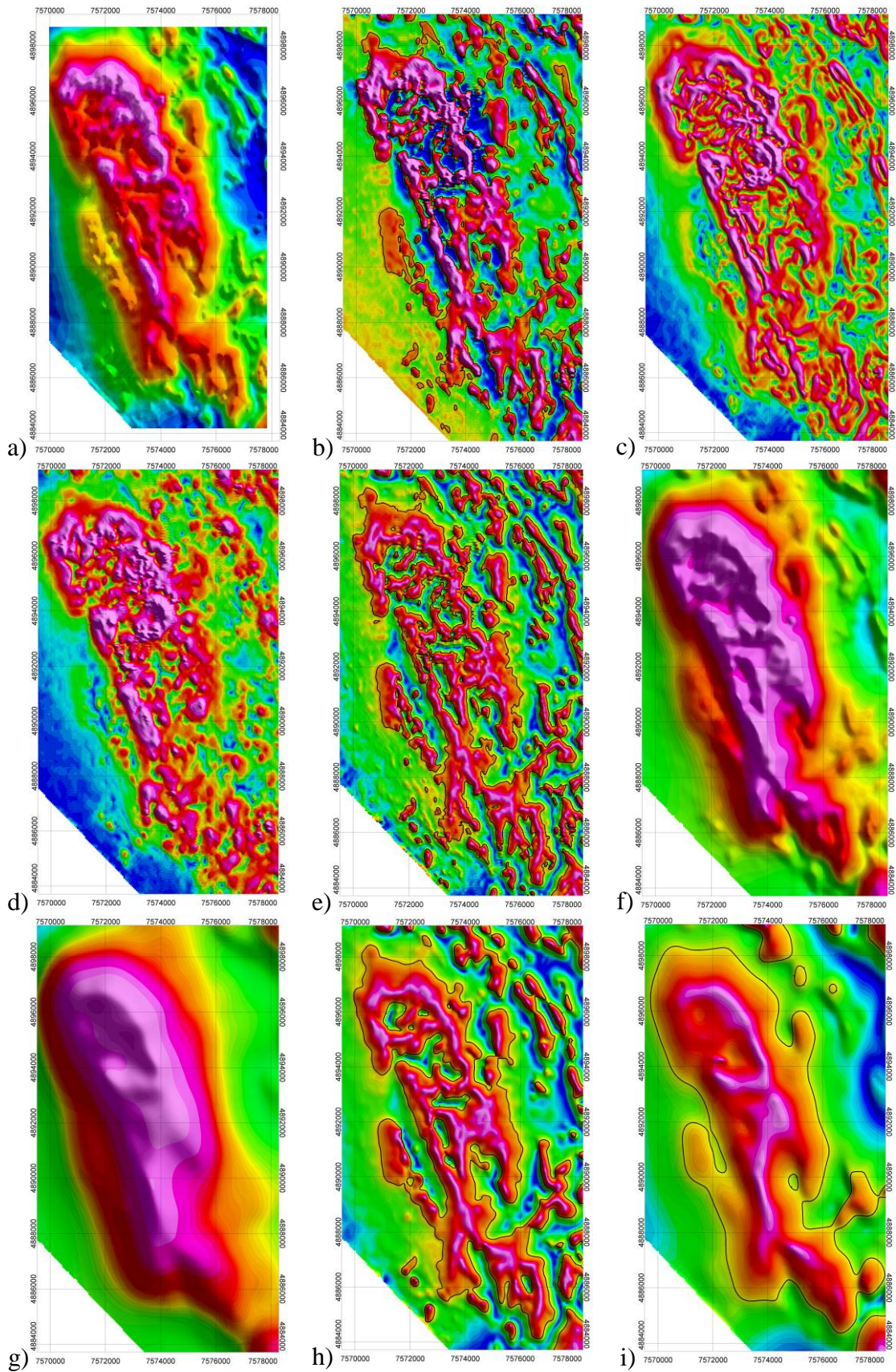


Slika 22. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedena na pol na koju je primenjen postupak produženje polja naviše sa korakom 1K (1000 m) i izvod ugla nagiba : c) položaj osvetljenja na JZ i c') položaj osvetljenja na SI

Primenom različitih postupaka matematičkih transformacija na anomalijске vrednosti ukupnog magnetnog polja Zemlje svedenog na pol definisani su položaji uzročnika anomalija, izdvojene su granice uzročnika u horizontalnoj ravni, i izdvojene su kontaktne zone, koje ukazuju na postojanje raseda ili sistema raseda na istražnom području.

Na Slici 23 prikazano je kako se pomoću matematičkih transformacija vrlo jasno može definisati položaj uzročnika anomalije A_1 (Slika 11) i njegove granice. Anomalija A_1 ima pravac pružanja sever severozapad – jug jugoistok i jako veliko rasprostranjenje u horizontalnoj ravni. Ova anomalija je izdvojena od ostalih anomalijских oblasti i prikazana na Slici 23a. Osim anomalije A_1 na Slici 23 su prikazani rezultati dobijeni nakon primene različitih postupaka matematičkih transformacija, koji su korišćeni u cilju definisanja uzročnika anomalije u horizontalnoj ravni. Primenom postupka prvi vertikalni izvod (Slika 23b), ukupni horizontalni izvod (Slika 23c), analitični signal (Slika 23d), izvod nagiba (Slika 23e), analitičko produženje polja navise na visinu od 100 m i 500 m (Slike 23f i 23g), kao i kombinacija analitičkog produženja polja navise sa izvodom nagiba na visinu od 100 m i 500 m (Slike 23h i 23i), utvrđen je položaj i granice plutonita Valja Strž, koji je uzročnik ove anomalije. Na osnovu dobijenih rezultata jasno se zapaža da plutonit ima mnogo veće rasprostranjenje nego što je to do sada bilo poznato, odnosno veći deo plutonita Valja Strž se ne vidi se na površini terena.

Pored definisanja granica plutonita Valja Strž u horizontalnoj ravni, različitim postupcima matematičkih transformacija definisane su i granice drugih uzročnika anomalija. Dobijeni rezultati biće primenjeni prilikom kvantitativne interpretacije podataka, odnosno prilikom izrade geološko-geofizičkih modela, o kojima će biti reči u poglavlju 5.2.



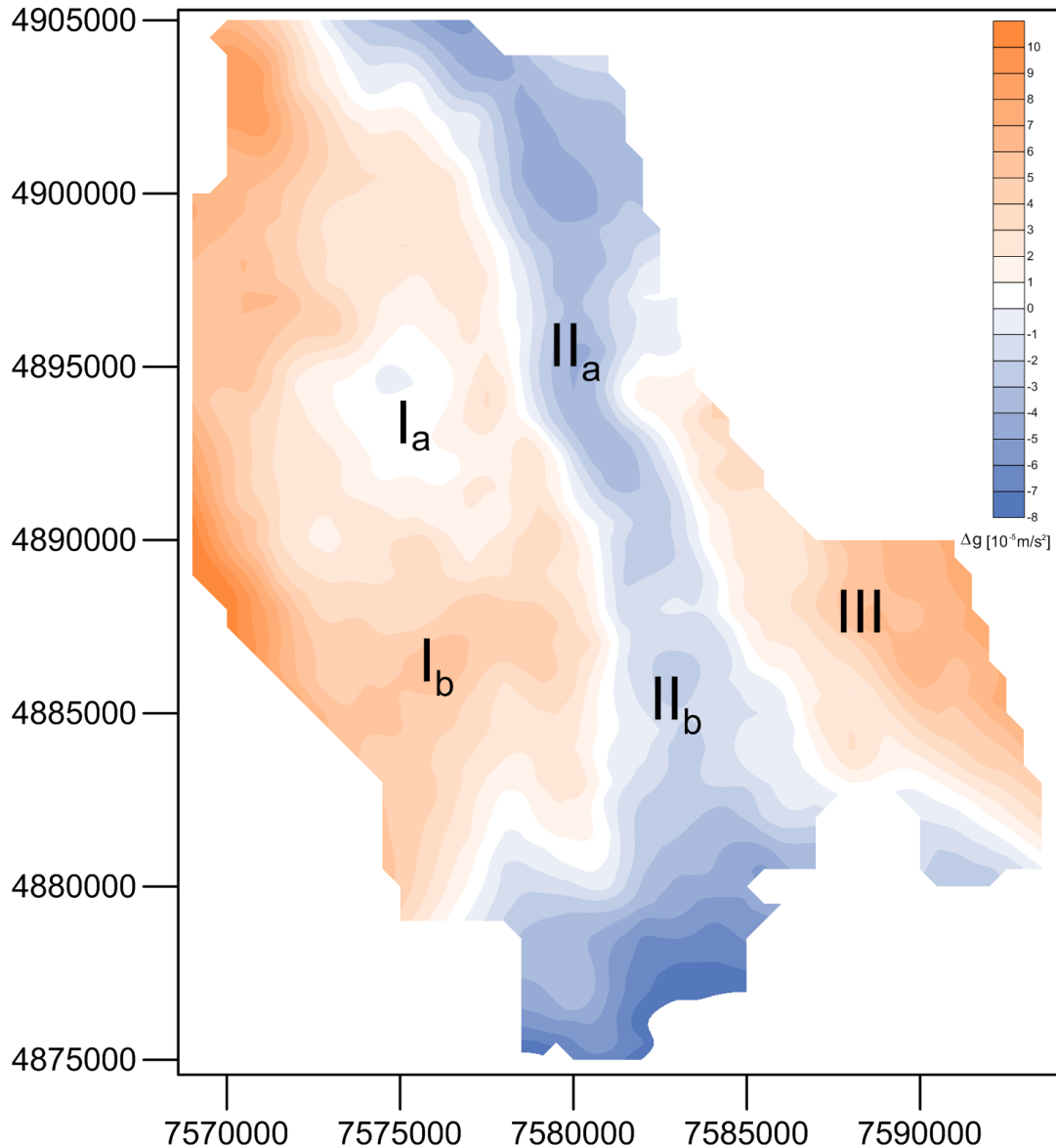
Slika 23. Primena matematičkih transformacija u cilju definisanja granica uzročnika anomalije (na primeru anomalije A_1)

5.1.2 Analiza i interpretacija gravimetrijskih podataka

Analiza i interpretacija gravimetrijskih podataka sastoji se iz analize karte Bugeovih anomalija, kao i analize karte Bugeovih anomalija na kojoj su primenjene matematičke transformacije. Kao i prilikom analize aeromagnetskih podataka, geološki sklop na istražnom području može da se definiše na osnovu oblika, veličine i pružanja gravimetrijskih anomalija, kao i primenom matematičkih transformacija na kartu gravimetrijskih anomalija. Podaci dobijeni gravimetrijskim merenjem omogućavaju da se definišu odnosi magmatskih stena prema okolnim stenama. Karta Bugeovih anomalija (Slika 9) predstavlja polaznu osnovu pri analizi gravimetrijskih podataka i na njoj su primenjene određene matematičke transformacije, kako bi se što jasnije odredili i definisali uzročnici anomalija.

Analizom karte (Slika 9) uočava se više anomalijjskih zona, koje ukazuju na smenu sredina različitih gustina, kao i na izraženu tektoniku. Anomalijjske vrednosti gravitacionog ubrzanja (Δg) kreću se u intervalu od oko $-8 \cdot 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$ do oko $10 \cdot 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$. Da bi se na što bolji način izvršila analiza gravimetrijske karte, kao i korelacija gravimetrijskih i geoloških podataka, na Slici 24 su prikazane i slovima obeležene anomalijjske zone.

U zapadnom i delom u centralnom delu karte zapaža se zona u kojoj je prisutna smena lokalnih maksimuma i minimuma. U okviru ove zone izdvajaju se anomalije Ia i Ib. Anomalijjske vrednosti u ovoj zoni kreću se od oko $-1 \cdot 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$ do oko $10 \cdot 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$. Anomalija Ia je izdužena u pravcu sever severozapad - jug jugoistok, dok anomalija Ib ima pravac pružanja jugozapad - severoistok.



Slika 24. Karta Bugeovih anomalija sa prikazanim anomalijskim zonama

Istočno od ove anomalijske zone nalazi se zona sa negativnim vrednostima anomalija, koja ima pravac pružanja sever severozapad - jug jugoistok. Anomalijske vrednosti u ovoj zoni se kreću od oko $-1 \cdot 10^{-5}$ do oko $-8 \cdot 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$. U okviru ove zone izdvajaju se anomalije IIa i IIb. Između ove dve anomalije prisutna je promena anomalijske vrednosti gravitacionog ubrzanja, koja ukazuje na postojanje kontakta, odnosno rasedne zone, čiji je pravac pružanja jugozapad-severoistok. Između zone u zapadnom delu karte i zone sa negativnim vrednostima anomalija uočava se nagla promena vrednosti, koja ukazuje na kontakte dve sredine različite gustine, koji može da se interpretira kao

sistem raseda. Ovaj sistem raseda ima generalni pravac pružanja sever severozapad - jug jugoistok.

U istočnom delu karte nalazi se zona III sa pozitivnim vrednostima anomalija. Između ove zone i zone sa negativnim vrednostima anomalija uočava se nagla promena vrednosti anomalija, koja ukazuje na postojanje kontakta između ovih sredina, različite gustine, pri čemu ovaj kontakt možemo interpretirati kao rased. Ovaj rased ima pravac pružanja severozapad – jugoistok. Vrednosti anomalija u zoni III kreću se od oko $1 \cdot 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$ do oko $7 \cdot 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$.

Analizom karte Bugeovih anomalija (Slika 24) i njenom korelacijom sa geološkom kartom istražnog područja (Slika 2), kao i na osnovu dosadašnjih geoloških istraživanja, može da se zaključi da se uzročnici anomalija u pojedinim delovima terena dosta dobro poklapaju sa određenim geološkim tvorevinama, koje se mogu izdvojiti kao mogući uzročnici anomalija, dok u pojedinim delovima postoje odstupanja. Na osnovu oblika, veličine i pružanja anomalija (Slika 24) uočava se da pojedini uzročnici imaju veliko rasprostranjenje lateralno i po dubini, odnosno da se pojedini uzročnici anomalija nalaze ispod površine terena i prekriveni su drugim tvorevinama.

U zapadnom delu karte (Slika 24) zapaža se anomalija Ia, čiji oblik i veličina ukazuju da ova anomalija nije nastala kao posledica delovanja jednog uzročnika, već je nastala usled delovanja više uzročnika. Uzročnik anomalije u njenom zapadnom delu je plutonit Valja Strž. Oblik i veličina ove anomalije u horizontalnoj ravni, ukazuju da ovaj plutonit ima mnogo veće rasprostranjenje nego što je to do sada bilo poznato na osnovu ranijih istraživanja. Anomalije u njenom istočnom delu su prouzrokovane pojavama vulkanskih i/ili vulkanoklastičnih stena nastalih tokom senonske vulkanske faze. Jugoistočno od anomalije Ia nalazi se anomalija Ib. Ovaj deo terena je izgrađen pretežno od sedimentnih stena sa pojavama magmatskih stena nastalih tokom senonske vulkanske faze. Na osnovu oblika i veličine anomalije pretpostavlja se da su uzročnici ove anomalije magmatske stene koje se nalaze na većoj dubini i verovatno „tonu” ka jugu. Vrednosti anomalija ukazuju da je podloga plića u ovom delu istražnog područja ili je manje probijena magmatskim telima.

Na osnovu geoloških podataka, deo terena, koji je obuhvaćen anomalijom IIa izgrađen je od vulkanoklastičnih i sedimentnih stena sa pojavom magmatskih stena nastalih tokom turonske i senonske vulkanske faze. Oblik, veličina i vrednosti anomalija ukazuju da su uzročnici ove anomalije najverovatnije magmatske stene, koje se najvećim delom nalaze u podini. Jugoistočno od anomalije IIa nalazi se anomalija IIb. Dosadašnja geološka istraživanja ukazuju da je ovaj deo terena, takođe, izgrađen od vulkanoklastičnih i sedimentnih stena sa pojavom magmatskih stena nastalih tokom turonske i senonske vulkanske faze. Na osnovu oblika, veličine i vrednosti anomalija može da se pretpostavi da su uzročnici ove anomalije najverovatnije isti kao i u slučaju anomalije IIa i nalaze se u podini. Izraziti minimumu anomalija u ovom delu istražnog područja ukazuju da magmatske stene, kao uzročnici anomalija u ovom delu terena, imaju manju gustinu od magmatskih stena, koje se nalaze u zapadnom delu istražnog područja, a imaju i manju gustinu od magmatskih stena nastalih tokom turona (u istočnom delu istražnog područja). Isto tako negativne vrednosti anomalija ukazuju i da se uzročnici nalaze na većoj dubini, odnosno ukazuju da postoji promena u podlozi sedimenata.

U istočnom delu karte (Slika 24) nalazi se zona III, koja se karakteriše pozitivnim vrednostima anomalija. Analizom geološke karte (Slika 2), kao i na osnovu geoloških istraživanja, poznato je da je ovaj deo terena izgrađen od vulkanoklastičnih i sedimentnih stena sa većim pojavom magmatskih stena nastalih tokom turonske vulkanske faze. Razlog porasta vrednosti anomalija u ovom delu istražnog područja je podloga, koja u ovom delu terena ponovo počinje naglo da oplićava.

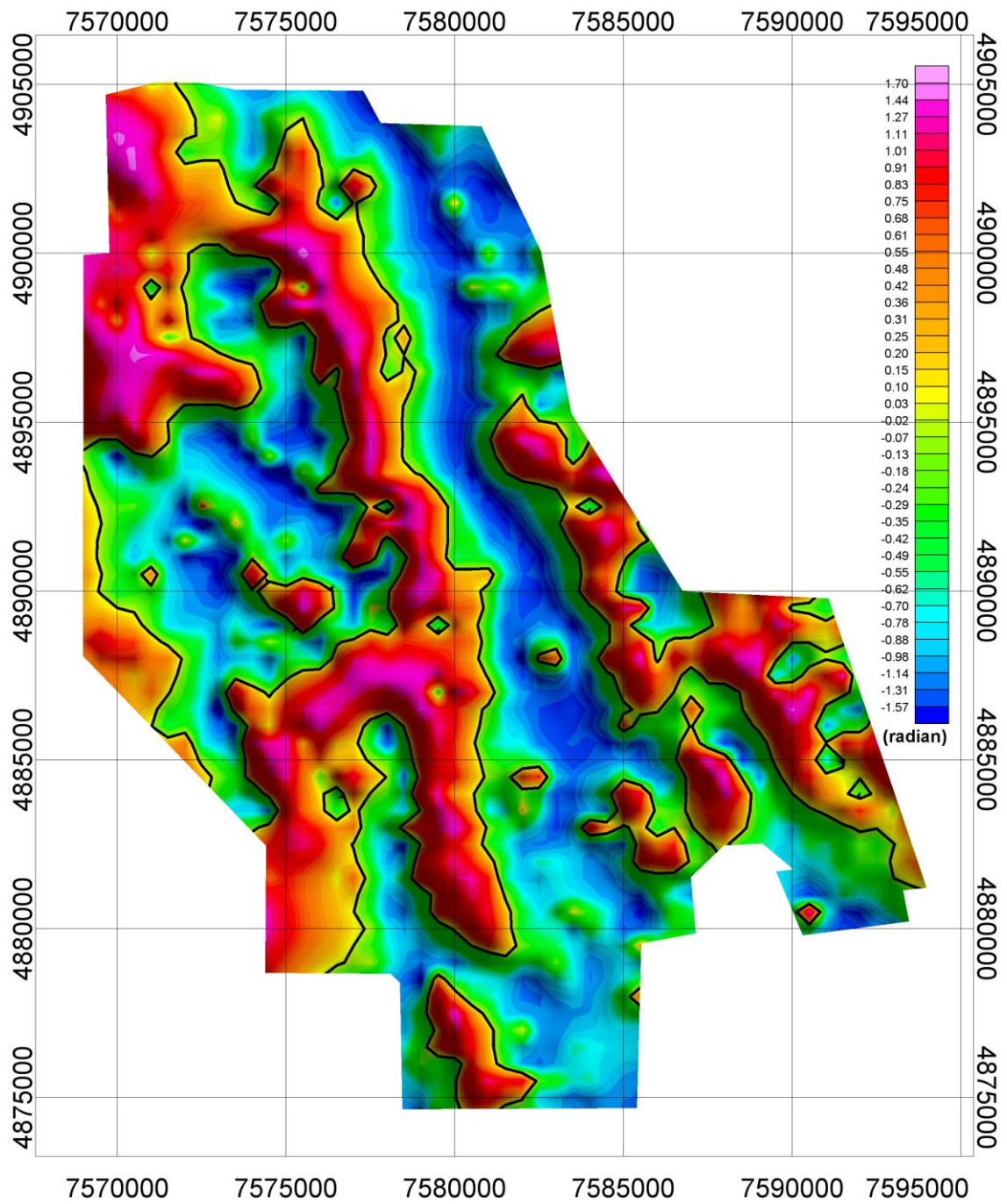
Gravimetrski podaci, koji su prikazani na gravimetrijskim kartama, mogu da ukažu i na prostiranje pojedinih linearnih struktura. Nagle promene vrednosti anomalija ukazuju na postojanje vertikalnih ili subvertikalnih kontakata dve sredine različite gustine, pri čemu se taj kontakt može interpretirati kao rased. Analizom karte (Slika 24) potvrđeni su markantni rasedi, koji su tokom ranijih geoloških istraživanja otkriveni na ovom istražnom području. Ovo se pre svega odnosi na Timočku rov-sinklinalu. Rasedi imaju generalni pravac pružanja sever-sevrozapad – jug-jugoistok. Pored markantnih raseda uočava se veći broj manjih raseda, čiji je pravac pružanja severoistok - jugozapad i

sevrozapad - jugoistok, odnosno upravani na pravac pružanja markantnih raseda, nastalih usled relaksacije terena.

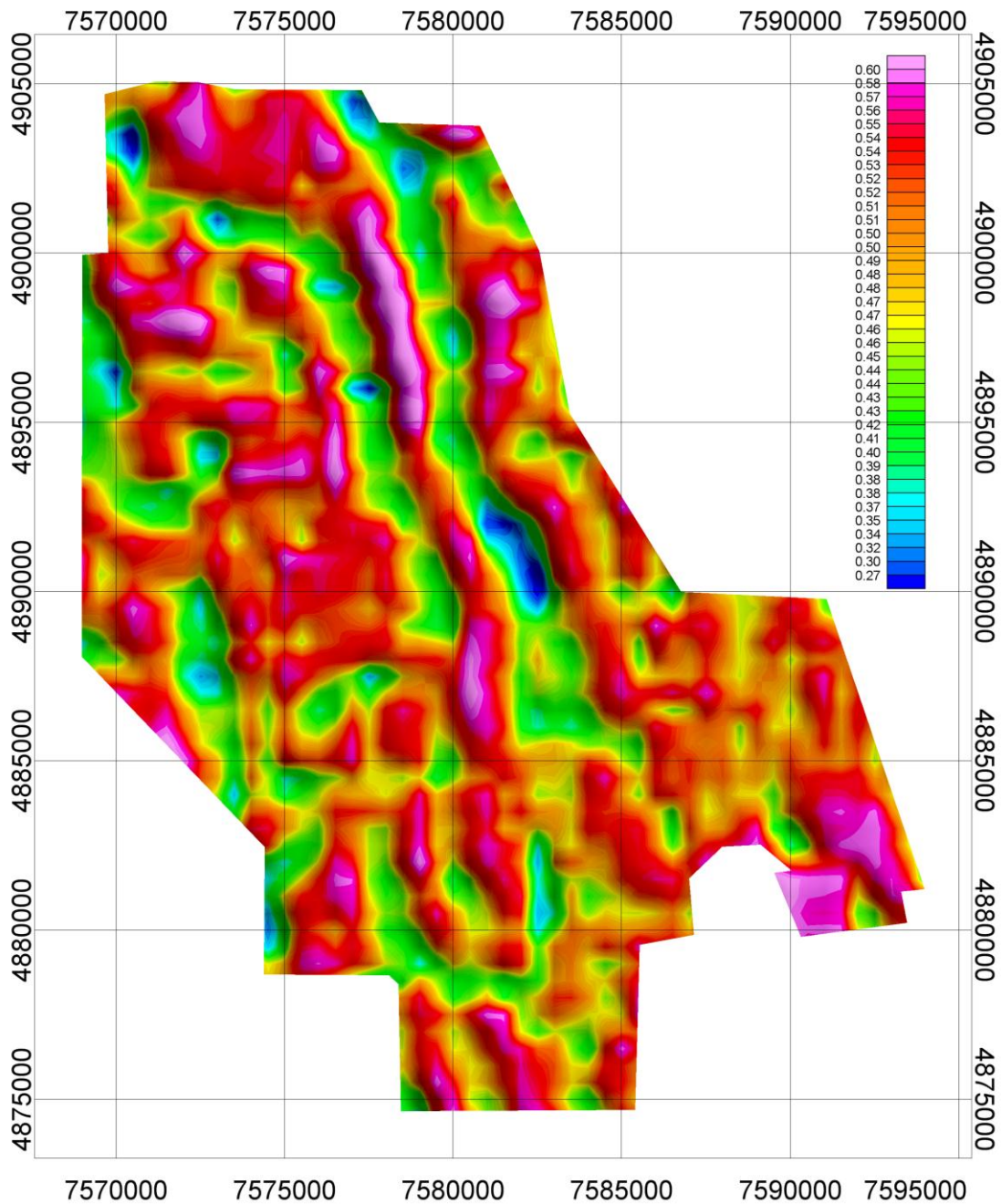
Na osnovu karte raspodele Bugeovih anomalija (Slika 24) izdvojene su oblasti, koje ukazuju na postojanje uzročnika gravimetrijskih anomalija. Kako bi se odredio položaj i oblik pretpostavljenih uzročnika anomalija u horizontalnoj ravni i da bi se definisale granice između uzročnika anomalija i okolnih stena (u daljem tekstu granice) na anomalijске vrednosti primenjene su sledeće matematičke transformacije: *ugao nagiba (izvod nagiba)*, *normalizovana standardna devijacija* i *analitičko produženje polja naviše*.

Analiza gravimetrijskih podataka, na kojima su primenjene određene matematičke transformacije, bila je otežana zbog postojanja male razlike u fizičkim svojstvima (gustina) stena koje izgrađuju teren, kao i usled male gustine tačaka merenja. Pošto je gustina tačaka mala, izraženiji je regional, nego detalj. Za razliku od aeromagnetskih podataka, kod kojih su matematičke transformacije pomogle da se izdvoje fini detalji, kod gravimetriskih podataka, transformacije su pomogle pri odeđivanju oblika dubokih uzročnika. Karta Bugeovih anomalija (Slika 24) daje više informacija o položaju podloge sedimenata, nego o plitkim uzročnicima.

Analizom karata na kojima su prikazani postupci *izvod nagiba* (Slika 25) i *normalizovana standardna devijacija* (Slika 26) uočava se da se položaji potencijalnih uzročnika gravimetrijskih anomalija poklapaju sa anomalijским oblastima i kontaktima prikazanim na Slici 24.



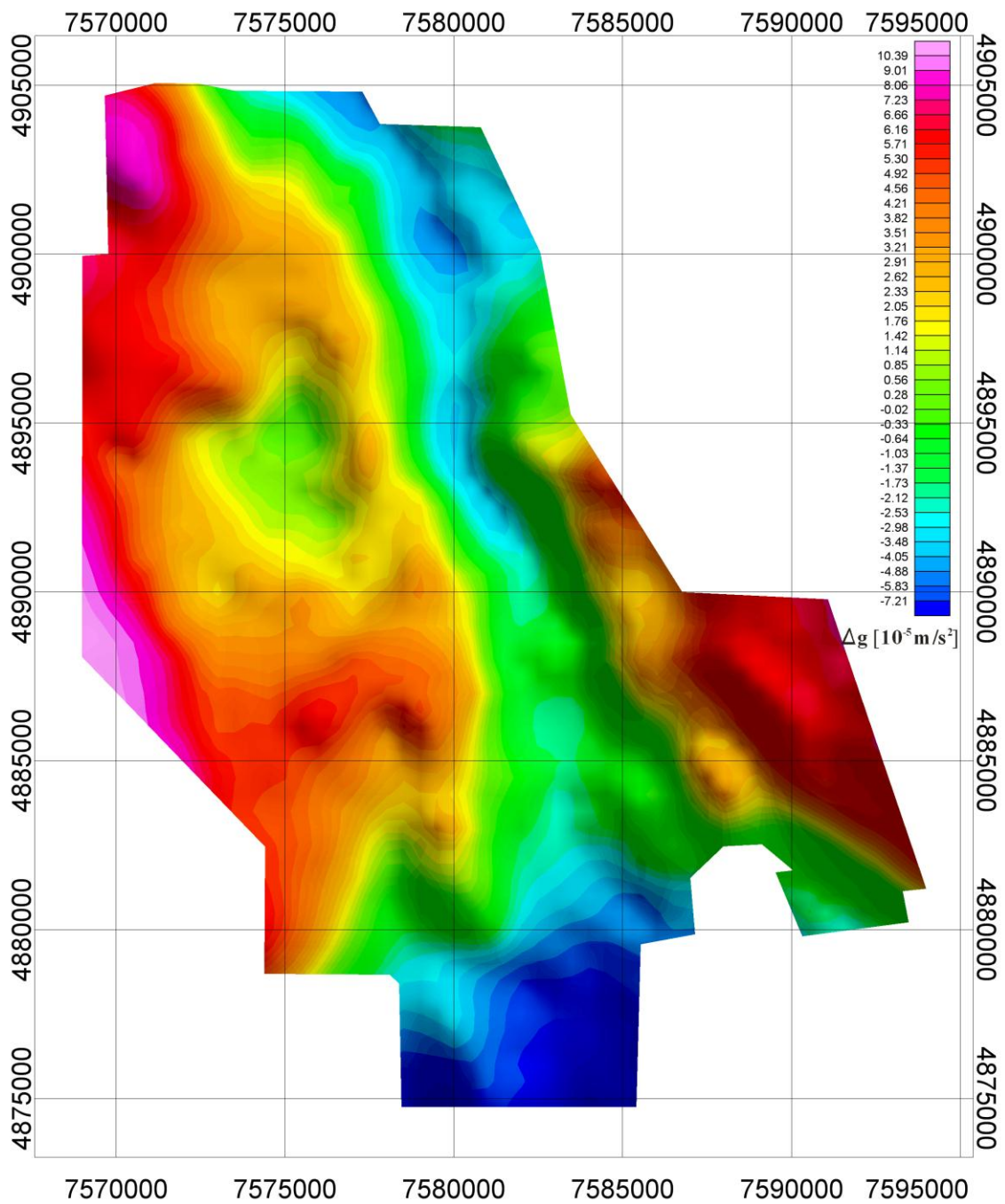
Slika 25. Karta Bugeovih anomalija na koju je primenjen postupak *izvod nagiba*



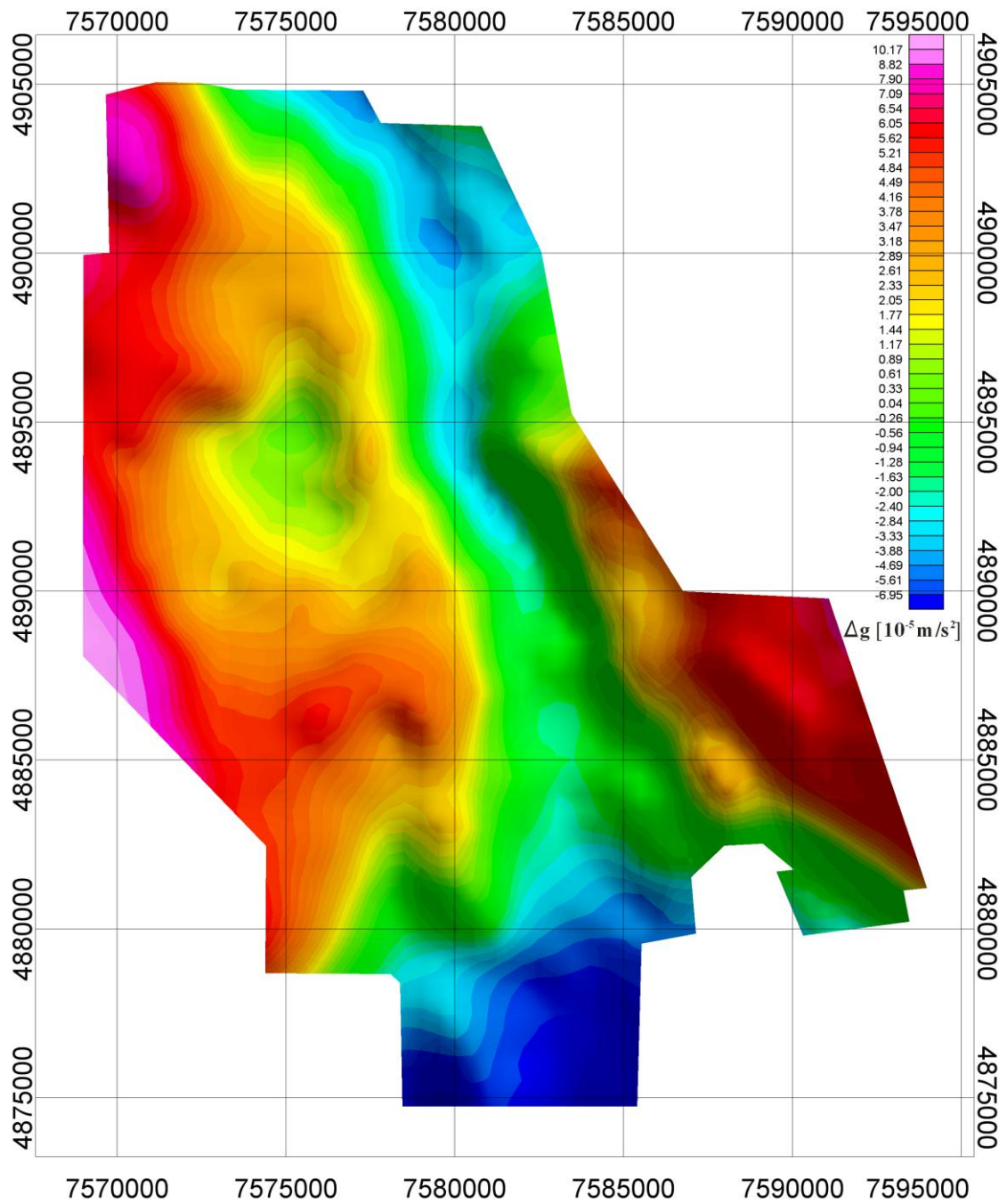
Slika 26. Karta Bugeovih anomalija na koju je primenjen postupak *normalizovana standardna devijacija*

Da bi se odvojili i istakli samo oni uzročnici anomalija koji imaju regionalni značaj, a nalaze se na većoj dubini, primenjen je postupak *analitičkog produženja polja naviše* na karti Bugeovih anomalija. Ovaj postupak je urađen sa korakom 0.1K, 0.2K, 0.4K, 0.5K i 1K pri čemu ove vrednosti odgovaraju visinama redom od 100 m, 200 m, 300 m,

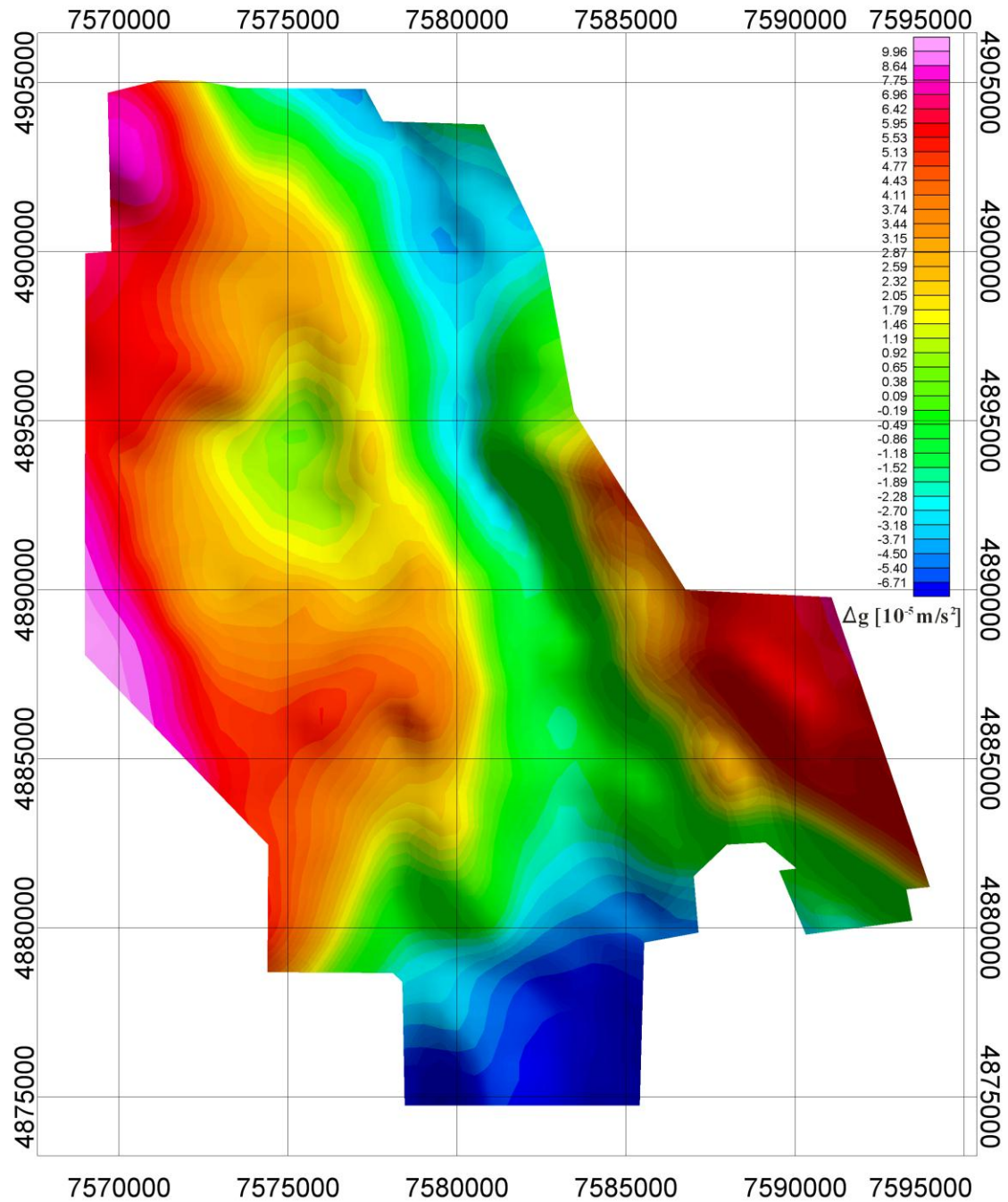
400 m, 500 m i 1000 m. Postupak *analitičkog produženja polja naviše* za različite nivoe prikazan je na Slikama 27a, 27b, 27c, 27d, 27e, 27f.



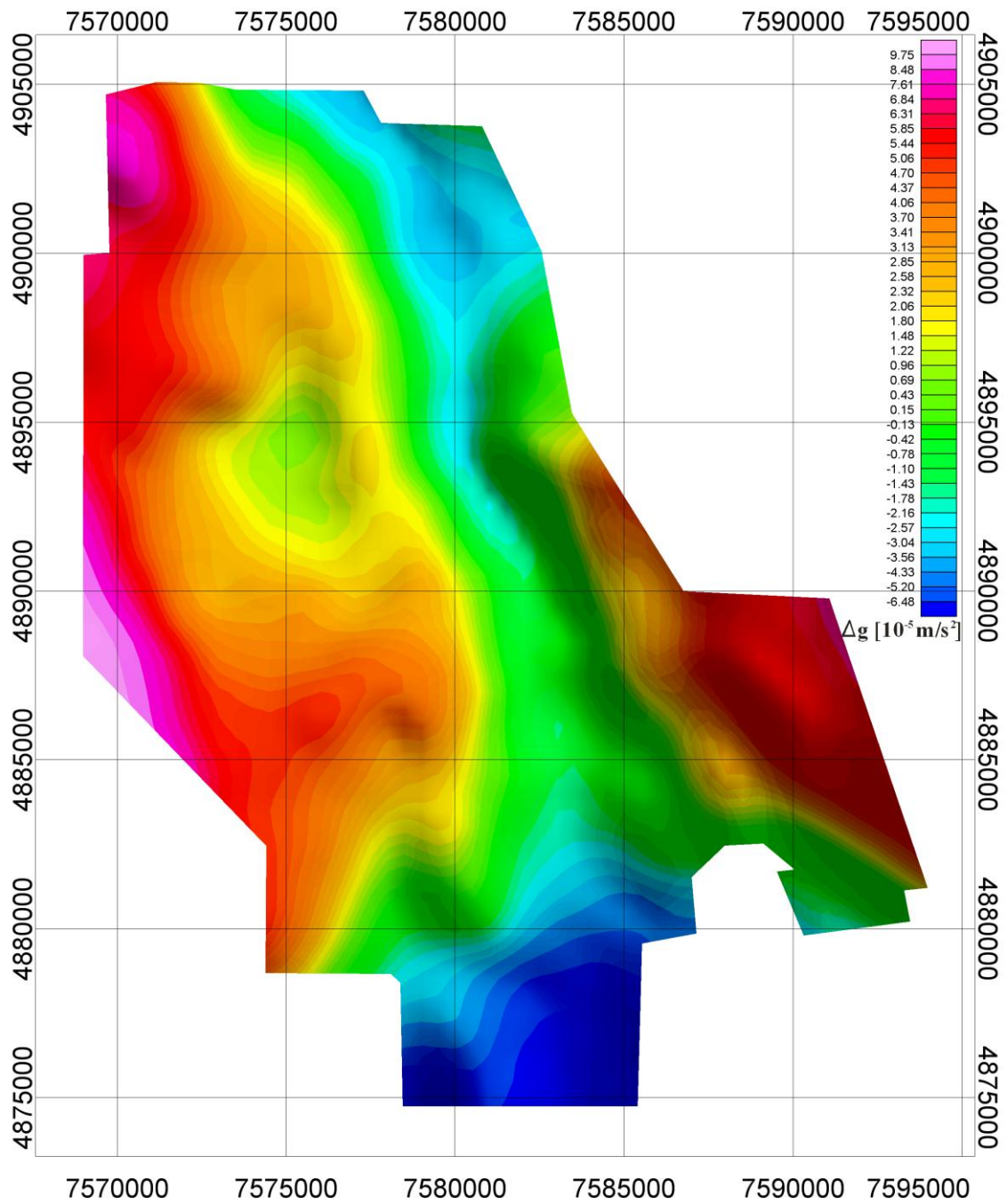
Slika 27a. Karta Bugeovih anomalija na koju je primenjen postupak produženje polja naviše na nivo od 100 m



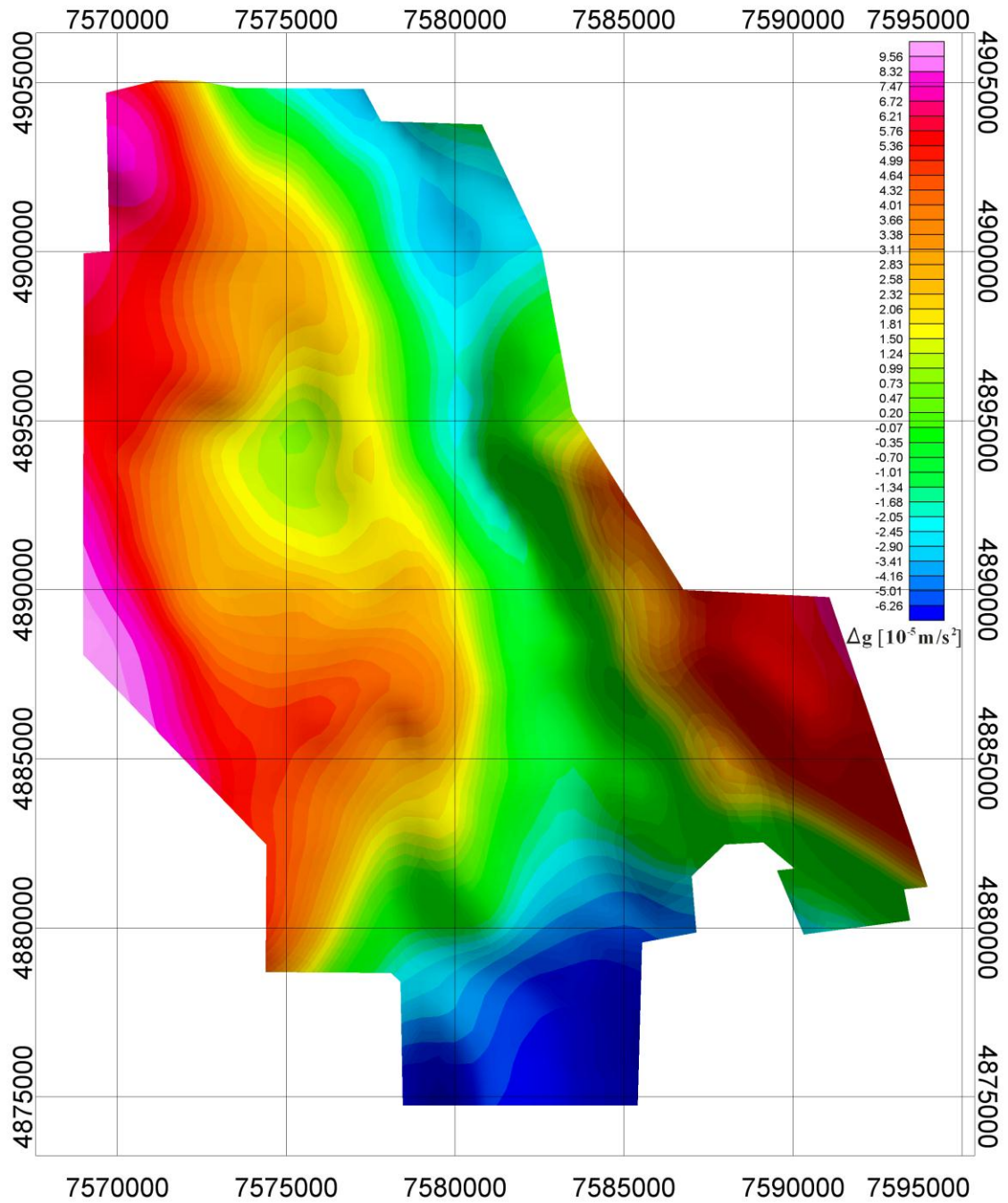
Slika 27b. Karta Bugeovih anomalija na koju je primenjen postupak produženje polja naviše na nivo od 200 m



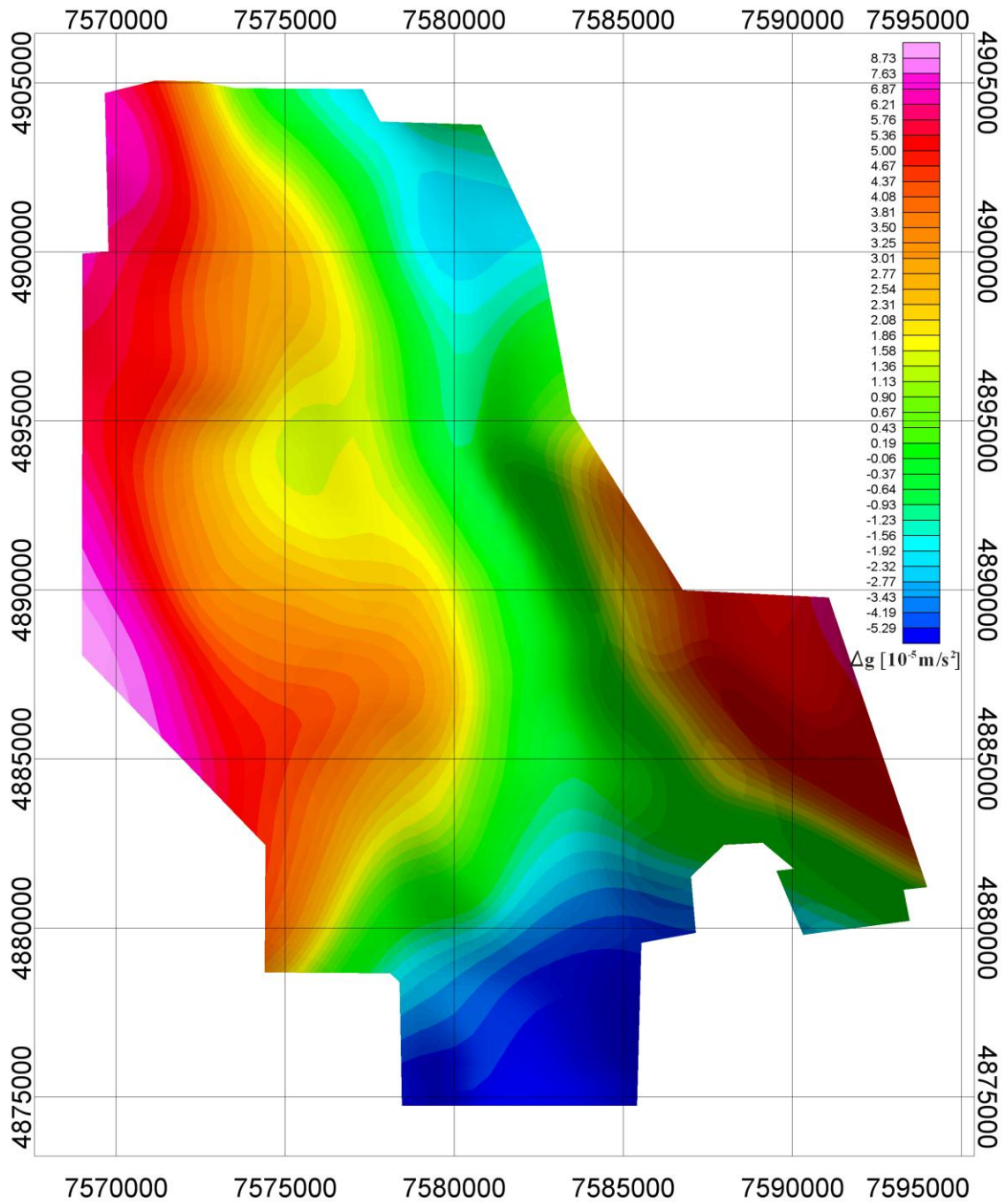
Slika 27c. Karta Bugeovih anomalija na koju je primenjen postupak produženje polja naviše na nivo od 300 m



Slika 27d. Karta Bugeovih anomalija na koju je primenjen postupak produženje polja naviše na nivo od 400 m



Slika 27e. Karta Bugeovih anomalija na koju je primenjen postupak produženje polja naviše na nivo od 500 m



Slika 27f. Karta Bugeovih anomalija na koju je primenjen postupak produženje polja
naviše na nivo od 1000 m

Analizom ovih karata i njihovim međusobnim upoređivanjem sa Slikom 24 primećuje se da se produžavanjem polja naviše uticaji pojedinih uzročnika smanjuju i ne mogu se videti na karti. Anomalije Ia, Ib, IIa i IIb produžavanjem polja naviše jasno se uočavaju i kada se udaljavamo od površi u kojoj su vršena merenja, tako da ove anomalije ukazuju da se u ovom delu terena nalaze uzročnici, koji imaju regionalni značaj.

Rezultati dobijeni analizom gravimetriskih podataka biće primenjeni prilikom kvantitativne interpretacije (poglavlje 5.2), odnosno prilikom izrade geološko-geofizičkih modela.

5.1.3 Korelacija aeromagnetskih i gravimetriskih podataka sa geološkim podacima

Korelacija aeromagnetskih i gravimetriskih podataka pojednostavljena je činjenicom da geomagnetno i gravitaciono polje Zemlje pripadaju grupi potencijalnih polja. Potencijalna polja su ona fizička (vektorska) polja čije su sile-izazivači, gradijenti njihovih potencijala (Kuzmanović i dr., 2003). Ako znamo funkcije promena geomagnetnog i gravitacionog polja, onda možemo i anomalije tih polja izazvane uzročnicima u Zemlji da upoređujemo, odnosno da vršimo međusobnu korelaciju.

Upoređivanjem karte anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje (slike 10 i 11) i karte Bugeovih anomalija (slike 9 i 24), kao i karata na kojima su prikazane određene matematičke transformacije, uočava se dobro slaganje podataka. Ova korelacija podataka se, pre svega, odnosi na zone u okviru kojih su izdvojeni uzročnici anomalija, koji imaju regionalni značaj.

U zapadnom delu karte na Slici 11 vidi se magnetska anomalija A_1 , dok je na Slici 24 u ovom delu uočava gravimetrijska anomalija Ia. Geološka istraživanja su pokazala da se u ovom delu terena nalazi plutonit Valja Strž. Ovaj plutonit se može smatrati uzročnikom anomalije A_1 i jednim delom uzročnikom anomalije Ia (zapadni deo anomalije). Oblik i veličina aeromagnetske i gravimetrijske anomalije ukazuje da uzročnik anomalije ima veliko horizontalno i vertikalno rasprostranjenje. Ako se uporede dobijeni geofizički rezultati za ovaj deo terena sa geološkim podacima, može da se zaključi da plutonit Valja Strž ima mnogo veće rasprostranjenje, nego što to

pokazuje geološka karta (Slika 2), odnosno da je nastavak ovog kiselog plutonita prekriven. Istočni deo anomalije Ia (Slika 24) delimično se poklapa sa anomalijom B (Slika 11), a uzročnici anomalije u ovom delu su vulkanoklastične i sedimentne stene, kao i lokalne pojave magmatskih stena.

Na Slici 11 anomalija A_2 poklapa se sa položajem anomalije Ib, i delom sa anomalijom Iib prikazane na Slici 24. Ovaj deo terena je izgrađen od sedimentnih i vulkanoklastičnih stena sa manjom pojavom magmatskih stena na površini, tako da se geološke tvorevine, koje su otkrivene na površini terena ne mogu smatrati direktnim uzročnicima anomalije u ovom delu. Na osnovu oblika, veličine i vrednosti anomalija u ovom delu terena pretpostavlja se da je u pitanju uzročnik, koji ima veliko rasprostranjenje u vertikalnoj ravni. Vrednosti anomalija ukazuju da su uzročnici anomalije u ovom delu istražnog područja magmatske stene, koje se nalaze u podini.

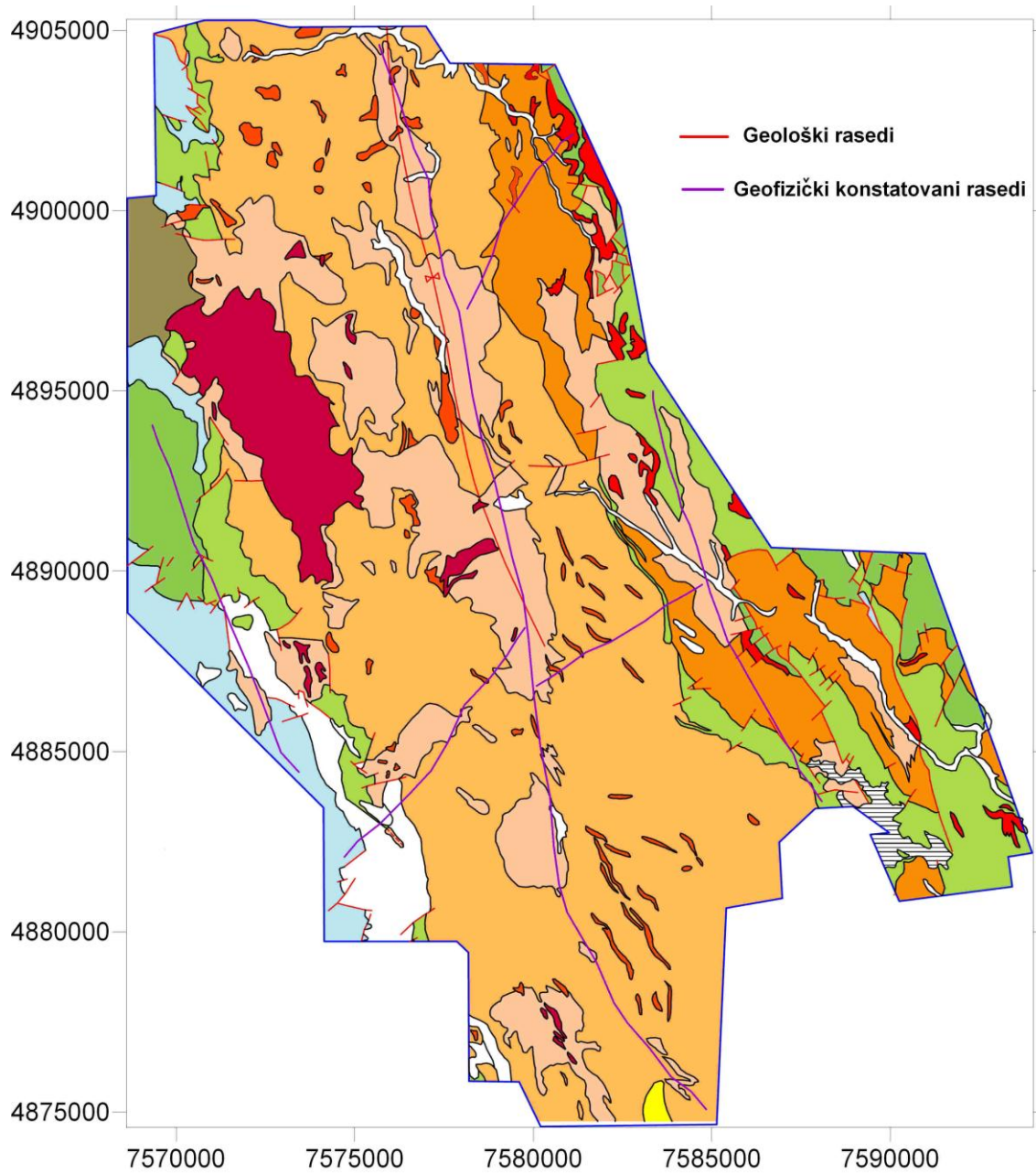
Između anomalije A_1 i A_2 (Slika 11) uočava se kontakt, odnosno postojanje rasedne zone. Takođe, na Slici 24 između anomalija Ib i Iib uočava se nagla promena vrednosti anomalija, koja ukazuje na postojanje kontakta, odnosno rasedne zone u ovom delu istražnog područja.

Pozitivna magnetska anomalijaska zona C (Slika 11) poklapa se sa negativnom gravimetrijskom anomalijom zonom II (Slika 24). Ovaj deo terena je izgrađen od sedimentnih i vulkanoklastičnih stena sa mestimičnom pojavom magmatskih stena nastalih tokom turonske i senonske vulkanske faze. Na osnovu vrednosti anomalija može se zaključiti da su uzročnici anomalije u ovom delu istražnog područja magmatske stene, koje su većim delom prekrivene, a jednim manjim delom se nalaze na površini. Negativna vrednost gravimetrijske anomalije ukazuje da ove magmatske stene imaju manju gustinu u odnosu na magmatske stene, koje se nalaze u zapadnom i istočnom delu istražnog područja. Oblik i veličina anomalija u ovom delu istražnog područja ukazuju da uzročnici anomalija u ovom delu imaju veliko horizontalno i vertikalno rasprostranjenje i najvećim delom se nalaze u podini.

U istočnom delu istražnog područja položaj anomalijske zone D (Slika 11) poklapa se sa položajem anomalijske zone III (Slika 24). Ovaj deo terena ima sličnu geološku građu kao čitavo istražno područje, ali se na osnovu vrednosti aeromagnetske i gravimetrijske anomalije može zaključiti da stene, koje izgrađuju podlogu u ovom delu terena razlikuju po svojim fizičkim svojstvima u odnosu na stene koje izgrađuju podlogu u ostalom delu istražnog područja.

Na istražnom području, koje pripada severnom delu Timočkog magmatskog kompleksa, dosadašnjim geološkim istraživanjima utvrđeno je da markantni rasedi imaju generalni pravac pružanja sever-sevrozapad-jug-jugoistok. Ako se uporede karte prikazane na slikama 9 i 10 vidi se da se dosta dobro poklapaju kontakti, koji su izdvojeni na osnovu gravimetrijskih i aeromagnetskih podataka. Ovi kontakti se mogu interpretirati kao rasedi, a na kartama se jasno uočavaju na onim mestima na kojima postoji nagla promena u vrednostima anomalija. Rezultatima aeromagnetskih i gravimetrijskih istraživanja potvrđeno je postojanje markantnih raseda i utvrđeno je da pojedini rasedi imaju veće rasprostranjenje, nego što je to do sada bilo poznato.

Na gravimetrijskoj karti (Slika 24), između zone I i zone II, kao i na karti anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedene na pol (Slika 11), između zone A i B i zone B i C utvrđeno je postojanje kontakta, koji se može interpretirati kao rased. U ovom delu istražnog područja geološkim istraživanjima je utvrđeno postojanje Timočke rov-sinlinale. Geofizičkim istraživanjima je utvrđeno da ovaj rased ima veće rasprostranjenje nego što je do sada bilo poznato. Na Slici 24 između zone II i zone III i na Slici 11 između zone C i zone D utvrđeno je postojanje kontakta, koji se, takođe, može interpretirati kao rased. Na Slici 28 prikazan je položaj glavnih raseda koji su dobijeni na osnovu aeromagnetskih i gravimetrijskih podataka.



Slika 28. Geološka karta istražnog područja sa skicom položaja glavnih raseda dobijenih na osnovu geofizičkih podataka

5.2. Kvantitativna interpretacija

Rezultati aeromagnetskih i gravimertiskih merenja prikazani u poglavlju 5.1 koriste se za kvantitativnu interpretaciju podataka, odnosno za geološko – geofizičko modelovanje. Na ispitivanom području urađeno je geološko – geofizičko modelovanje duž 5 odabranih profila (profil AB, profil CD, profil EF, profil GH i profil IJ). Položaji profila prikazani su na Slikama 9 i 10.

Uzročnici anomalija na ispitivanom području imaju izraženo pružanje duž jednog pravca, pa je to uticalo da se prilikom modelovanja izabere postupak 2D gravimetrijskog i geomagnetskog modelovanja. Ovaj postupak se primenjuje, samo onda, kada uzročnici anomalija imaju izraženo pružanje duž jednog pravca, pri čemu se 2D geofizičko modelovanje vrši duž profila upravnih na pravac pružanja uzročnika. Na istražnom prostoru, uzročnici anomalija imaju generalni pravac pružanja sever severozapad - jug jugoistok, pa su profili duž kojih se vršilo 2D geofizičko modelovanje postavljeni tako da budu upravni na pravac pružanja uzročnika. Ovaj postupak modelovanja omogućava izradu kompleksnih modela, sa velikim brojem jedinica, koje imaju različita fizička svojstva, pri čemu jedinice u modelu odgovaraju geološki različitim sredinama. Osnovni cilj primene geofizičkog modelovanja je da se na najbolji mogući način odredi položaji magmatskih tela, koja se ne vide na površini, odnosno da se definiše njihov oblik i pružanje ispod površine, ali isto tako da se definišu odnosi magmatskih tela prema okolnim stenama.

Osim rezultata aeromagnetskih i gravimetrijskih istraživanja, kao i geoloških podataka dobijenih tokom ranijih istraživanja prilikom izrade 2D modela korišćeni su i podaci dobijeni istražnim bušenjem.

5.2.1. Podaci dobijeni istražnim bušenjem

Prilikom 2D geofizičkog modelovanja, u procesu formiranja modela raspodele fizičkih veličina, odnosno modela raspodele gustine stenskog materijala i susceptibilnosti korišćeni su podaci dobijeni tokom geoloških istraživanja, koja se na ispitivanom

području vrše već dugi niz godina, kao i podaci dobijeni istražnim bušenjem na ispitivanom prostoru. Podaci dobijeni istražnim bušenjem, koji su se koristili tokom modelovanja, bili su podeljeni u dve grupe podataka.

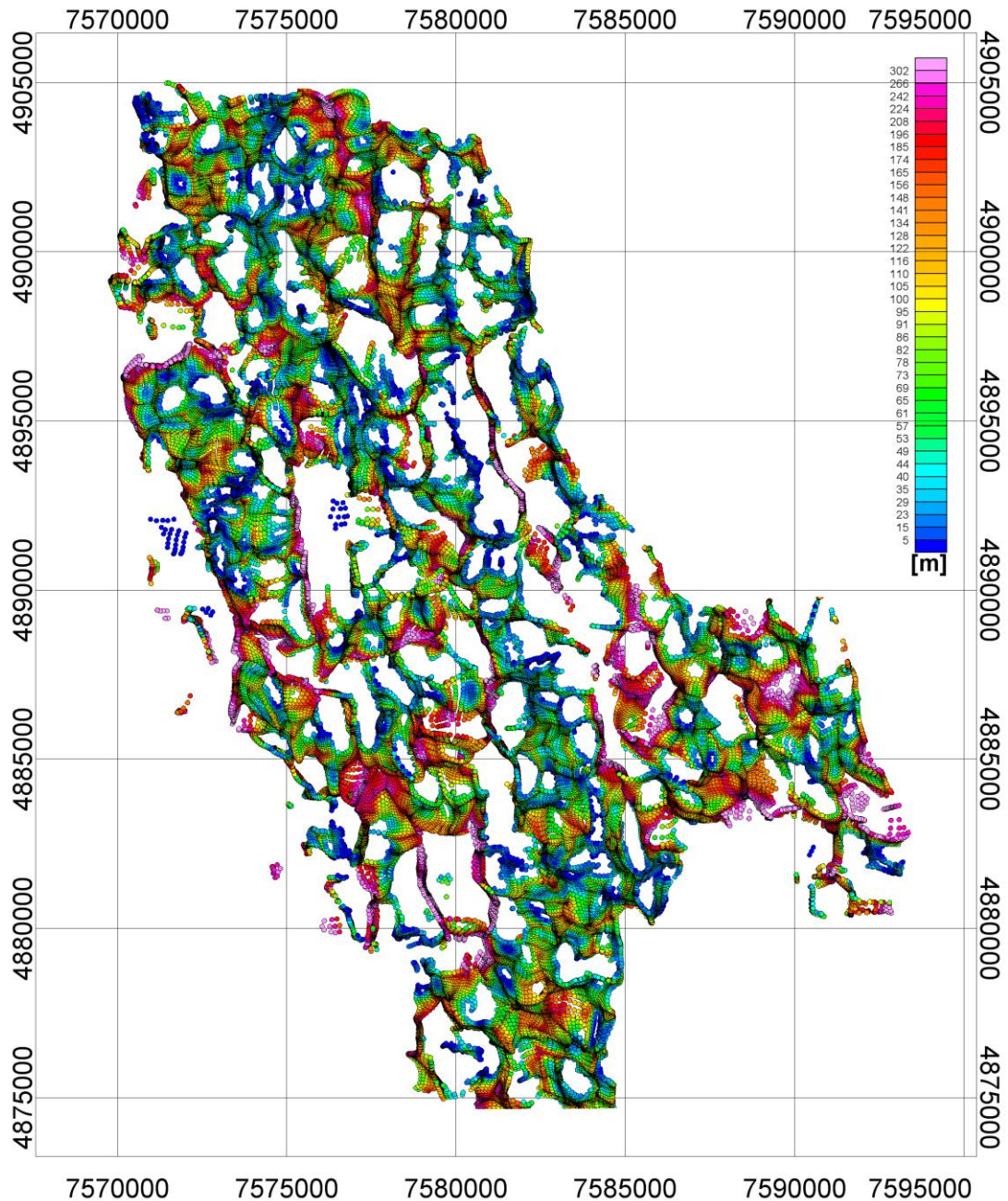
Prvoj grupi podataka pripadali su podaci iz bušotina dobijeni iz Arhive podataka „Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor”, iz Bora. Podaci dobijeni iz ovih bušotina sadržali su pre svega podatke o litološkom sastavu, dok su za neke bušotine, osim litoloških podataka, postojali podaci o vrednosti gustine stena.

Drugoj grupi podataka pripadali su podaci ustupljeni od kompanije „Dundee plemeniti metali” (sadašnji naziv firme je „Avala resources d.o.o.“). Na prostoru Timočkog magmatskog kompleksa, ova kompanija je, u okviru svojih istraživanja, izvršila i bušotinska istraživanja. Bušotinska istraživanja su urađena na više lokacija. Podaci dobijeni istražnim bušenjem obuhvataju podatke o litološkom sastavu, kao i podatke o vrednostima gustine i magnetske susceptibilnosti stena. Dubina bušotina varira i kreće se u rasponu od oko 65 m od oko 600 m. Ovi podaci su pokazali da magmatske stene pokazuju blagu varijaciju u gustini, dok su te varijacije u slučaju susceptibilnosti veoma izražene.

5.2.2. Izrada modela

2D gravimetrijsko i geomagnetsko modelovanje duž odabranih profila urađeno je na osnovu rezultata prikazanih na karti anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedenog na pol (Slika 10), karti Bugeovih anomalija (Slika 9) i geološkoj karti istražnog područja (Slika 2). U toku izrade modela kao pomoć korišćene su aeromagnetske i gravimetrijske karte na kojima su primenjeni određeni postupci matematičkih transformacija (videti Poglavlje 5.1). Cilj primene matematičkih transformacija je da pomogne u određivanju granica magmatskih tela i u definisanju odnosa magmatskih tela prema okolnim stenama ispod površine. Na intezitet aeromagnetske i gravimetrijske anomalije utiče promena oblika uzročnika anomalije u blizini profila, duž kojih se vrši modelovanje, tako da je uticaj ovih promena uzet u obzir tokom izrade modela. Prilikom geofizičkog modelovanja bilo je bitno i da se

proceni dubina na kojoj se nalaze magmatska tela koja su glavni uzročnici anomalija na istražnom prostoru, a to je učinjeno primenom postupka Ojlerove dekonvolucije na aeromagnetskim podacima. Rezultati primene ovog postupka prikazani su na Slici 29, pri čemu je korišćen strukturni indeks (N) 1.



Slika 29. Karta anomalija ukupnog magnetnog polja Zemlje svedena na pol na koju je primenjen postupak Ojlerova dekonvolucija ($N=1$)

Modelovanje je urađeno pomoću softverskog paketa Oasis montaj, u okviru kojeg postoji program za 2D modelovanje "GM-SYS". Ovaj program omogućava da se računa gravimetrijski i magnetski odziv geološkog modela, koji se sastoji od različitih sredina. Program u kojem se vrši modelovanje sastoji se od polja za grafičku obradu modela, polja za prikaz gravitacionog odziva i polja za prikaz aeromagnetskog odziva.

Polaznu osnovu prilikom izrade 2D geološko-geofizičkog modela činila je Osnovna geološka karta istražnog područja 1:100000 (Antonijević i dr., 1963, 1976). Pomoću geološke karte određen je položaj geoloških jedinica duž profila, a zatim su te realne granice geoloških jedinica na površini terena postavljene u model. Naredni korak u izradi modela bio je formiranje modela raspodele fizičkih veličina, u ovom slučaju model raspodele gustine stenskog materijala i susceptibilnosti. Parametri za model duž odabranih profila su dobijeni na osnovu ranijih geoloških israživanja, na osnovu podataka iz literature i iz bušotina, koji se nalaze u blizini profila. Vrednosti gustine i susceptibilnosti magmatskih stena dobijene su na osnovu podataka istražnog bušenja, odnosno korišćene su srednje vrednosti susceptibilnosti i gustine magmatskih stena. Susceptibilnost i gustina stena, koje izgrađuju podlogu i sedimente su definisane, uglavnom, na osnovu vrednosti koje su dostupne u literaturi. Ove vrednosti su malo korigovane tokom modelovanja u odnosu na intezitet anomalije. U površinskom delu modela, magmatskim stenama dodeljene su niže vrednosti susceptibilnosti u prvih par metara dubine, s obzirom da su stene u površinskom delu pretrpile određene fizičko-hemijske promene. Litološke jedinice sličnih gustina i susceptibilnosti, za koje nisu mogle da se definišu granice, su spojene i na modelu su prikazane zajedno, kao jedna jedinica. Zbog potrebe modelovanja vrednost susceptibilnosti za podlogu 2 uzeta je sa negativnim predznakom. Geologija istražne oblasti je modelovana tako što su geološke jedinice predstavljene kao blokovi jednakih gustina i jednake susceptibilnosti. Model odgovara geološkim formacijama prikazanim na geološkoj karti (Slika 2), samo kada u prirodi postoji veliki kontrast u gustini i susceptibilnosti. Sedeći korak prilikom modelovanja je bio unos podataka dobijenih gravimetrijskim i aeromagnetskim merenja na terenu duž odabranih profila, a zatim je izvršeno računanje anomalija na osnovu postavljenog modela. Osim podataka dobijenih geofizičkim merenjem, pri formiranju

modela duž odabranih profila korišćene su vrednosti nadmorskih visina. Nadmorske visine tačaka duž odabranih profila dobijene su iz Baze gravimetrijskih podataka.

Prilikom postavljanja modela, prvo je izvršeno modelovanje magmatskih tela. Kako bi se definisala maksimalna širina tela uzročnika magnetske anomalije, korišćeni su rezultati dobijeni postupkom *produženja polja naviše*, kao i rezultati postupaka formiranog kao kombinacija *produženja polja naviše* sa *izvodom ugla nagiba*, oba za nivoe 500 m i 1000 m. Rezultati dobijeni postupkom *produženja polja naviše* i postupkom *produženja polja naviše* sa *izvodom ugla nagiba*, oba za nivo 100 m i 200 m, korišćeni su za određivanje osnovnog oblika magmatskih tela. Da bi se precizno definisao oblik i granice magmatskih tela, koji su uzročnici anomalija, korišćeni su rezultati dobijeni primenom sledećih postupaka: *prvi vertikalni izvod*, *ukupni horizontalni izvod*, *analitički signal*, *ugao nagiba (izvod nagiba)*, *ukupni horizontalni izvod nagiba* i *"theta map"*. Definisanje odnosa između magmatskih stena, koji se ne vide na površini i stena koje ih okružuju, vršeno je korišćenjem rezultata gravimetrijskih merenja.

Kroz procese iteracije, početni model se menjao, kako bi odziv modela odgovarao merenjima na terenu, a u cilju smanjivanja greške, odnosno razlike između izmerenih podataka na terenu i podataka dobijenih modelovanjem pomoću programa "GM-SYS".

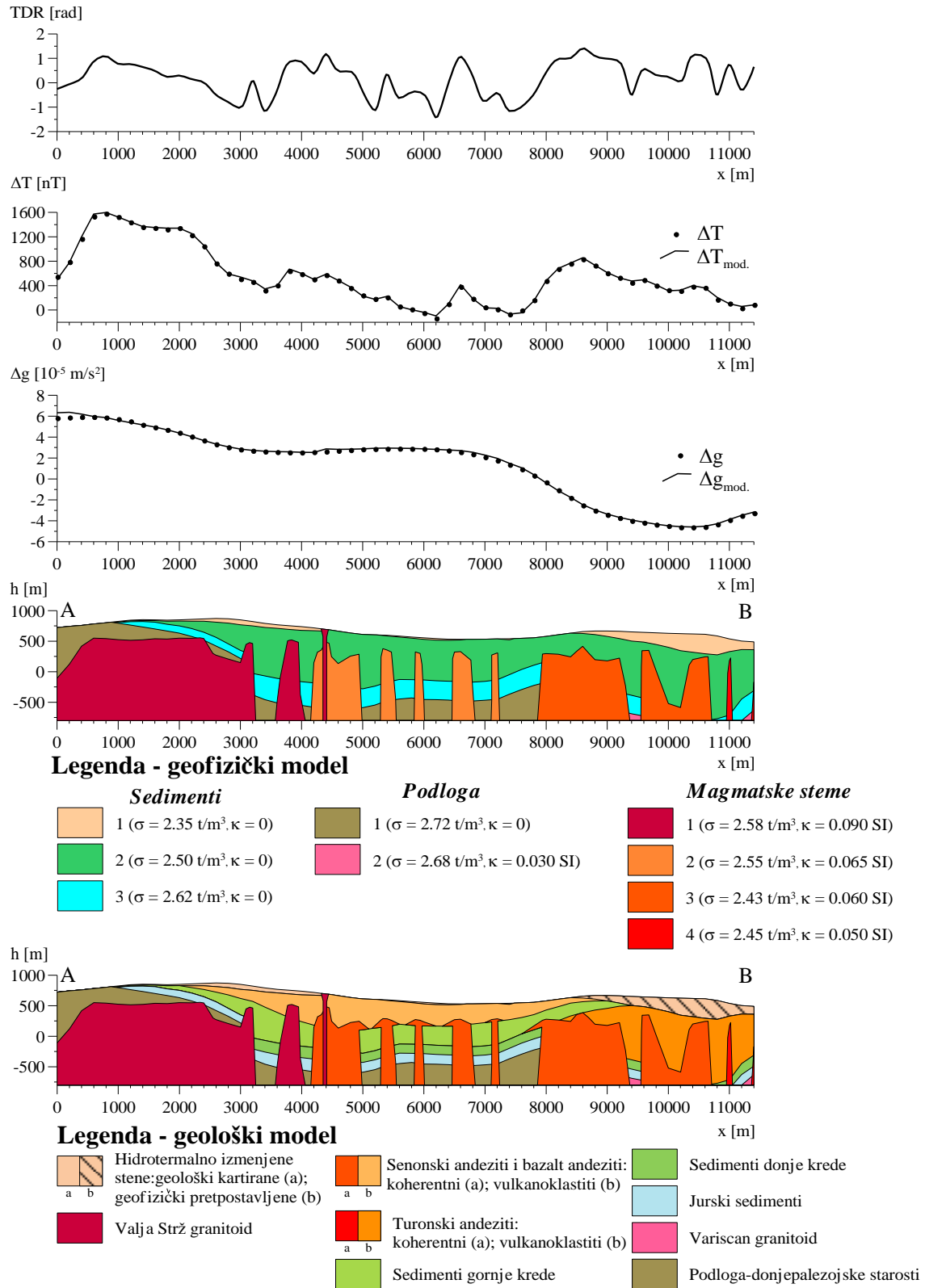
Položaji profila su odabrani tako da prolaze kroz karakteristične anomalije na istražnom području. Svi profili imaju generalni pravac pružanja JZ-SI, tj. upravni su na pravac pružanja uzročnika anomalija. Profili su poređani u pravcu od severa ka jugu. Tehnički podaci o profilima, koji se odnose na dužinu profila, broj tačaka u profilu i rastojanje između tačaka u profilu prikazani su u Tabeli 5.

Tabela 5. Tehnički podaci o profilima

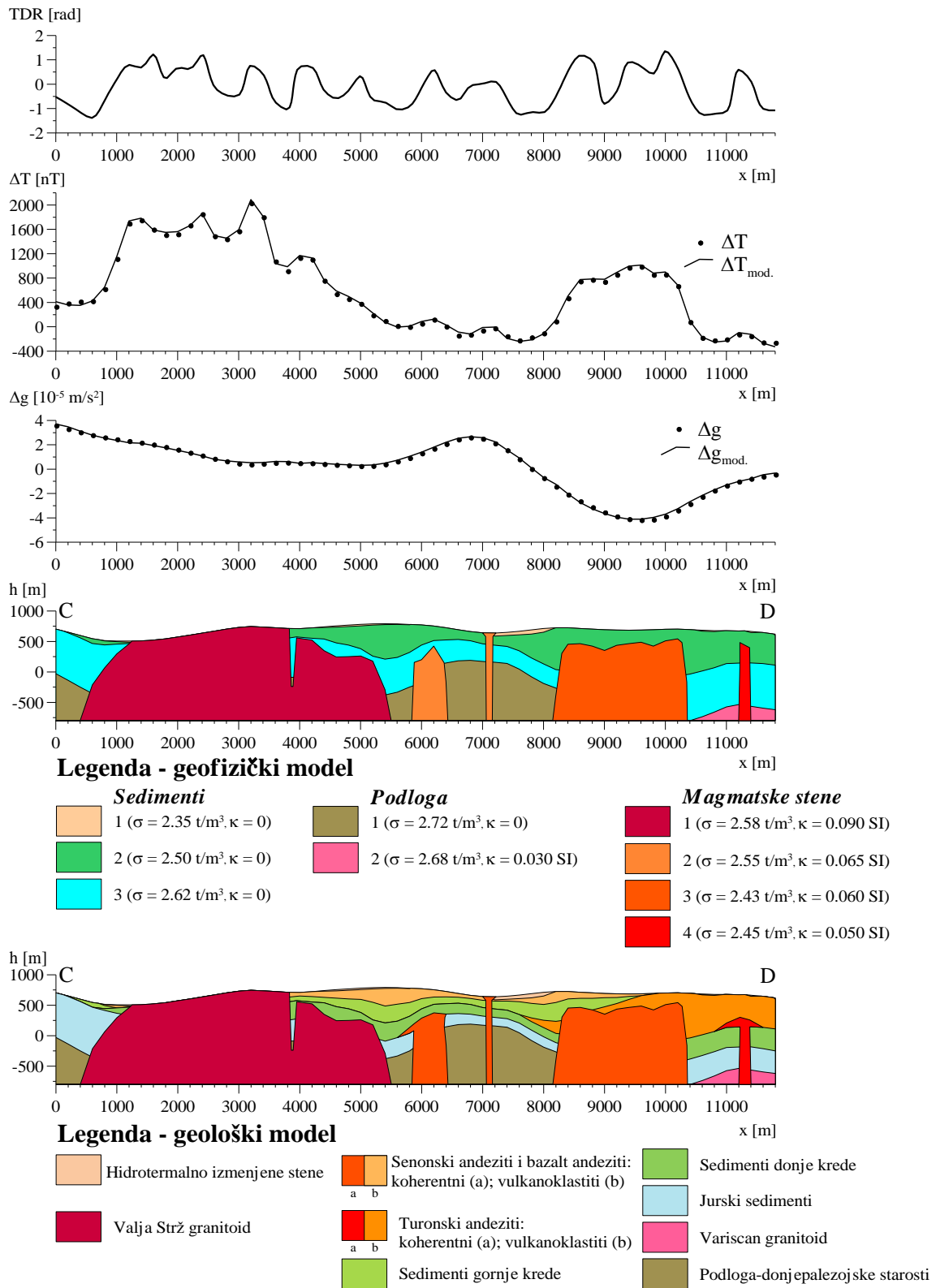
Profil	Dužina profila (km)	Broj tačaka u profilu	Rastojanje između tačaka u profilu (m)
AB	11.4	58	200
CD	11.8	60	200
EF	14.2	72	200
GH	14.4	73	200
IJ	16.4	83	200

5.2.3. Analiza i interpretacija podataka dobijenih 2D geološko – geofizičkim modelovanjem

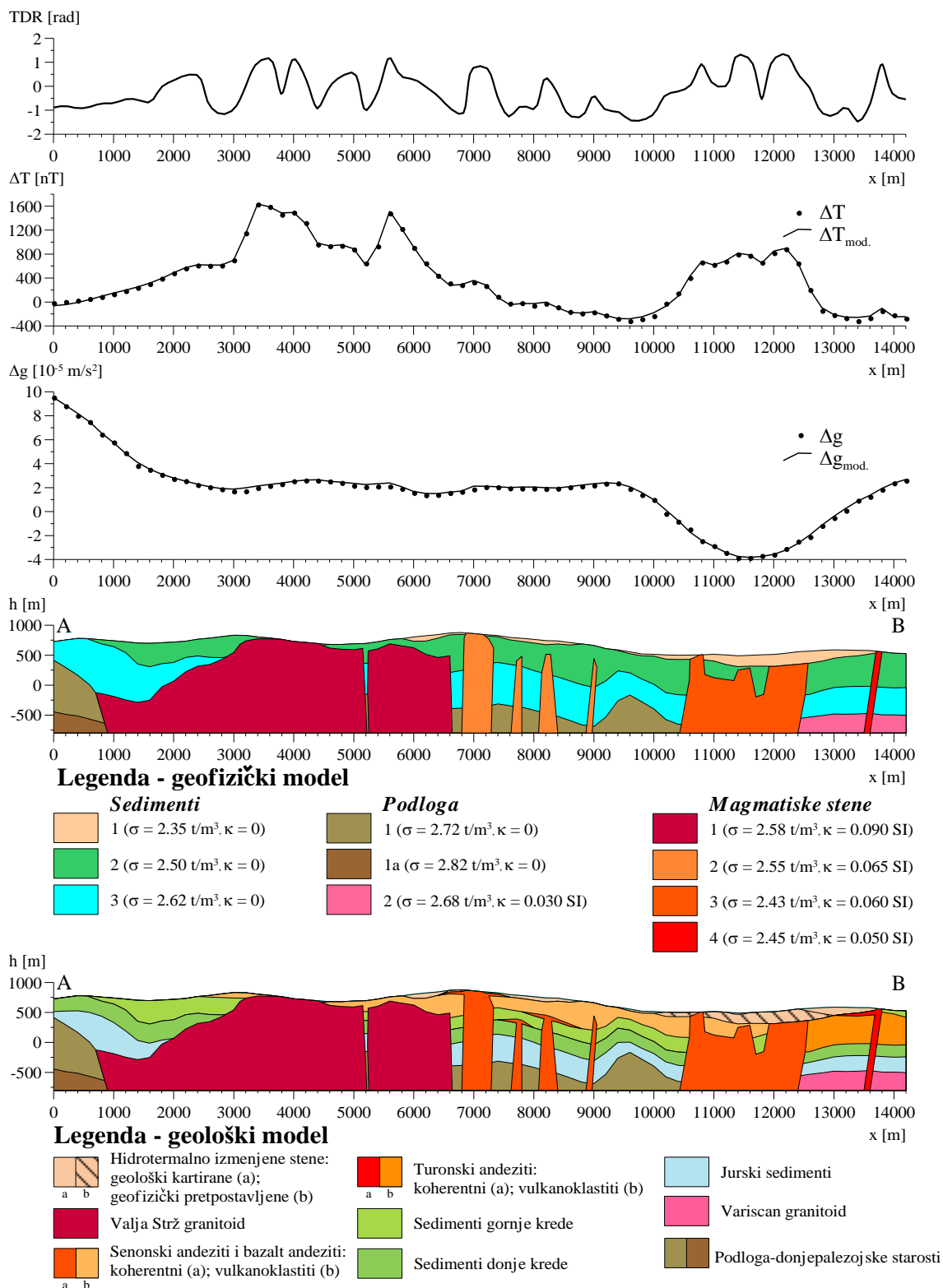
2D geološko – geofizičko modelovanje na istražnom području urađeno je duž pet odabranih profila, a rezultati modelovanja su prikazani na slikama 30, 31, 32, 33 i 34, koje sadrže grafike na kojima su prikazane krive vrednosti anomalija ukupnog magnetnog polja svedene na pol (ΔT), vrednosti anomalije gravitacionog ubrzanja (Δg), vrednosti anomalija ukupnog magnetnog polja svedene na pol dobijene modelovanjem ($\Delta T_{\text{mod.}}$), anomalije gravitacionog ubrzanja dobijene modelovanjem ($\Delta g_{\text{mod.}}$), izvod nagiba (TDR), geofizički model i geološki model. U ovom poglavlju prvo je data analiza 2D geofizičkih modela duž odabranih profila, a zatim je izvršena geološka interpretacija modela.



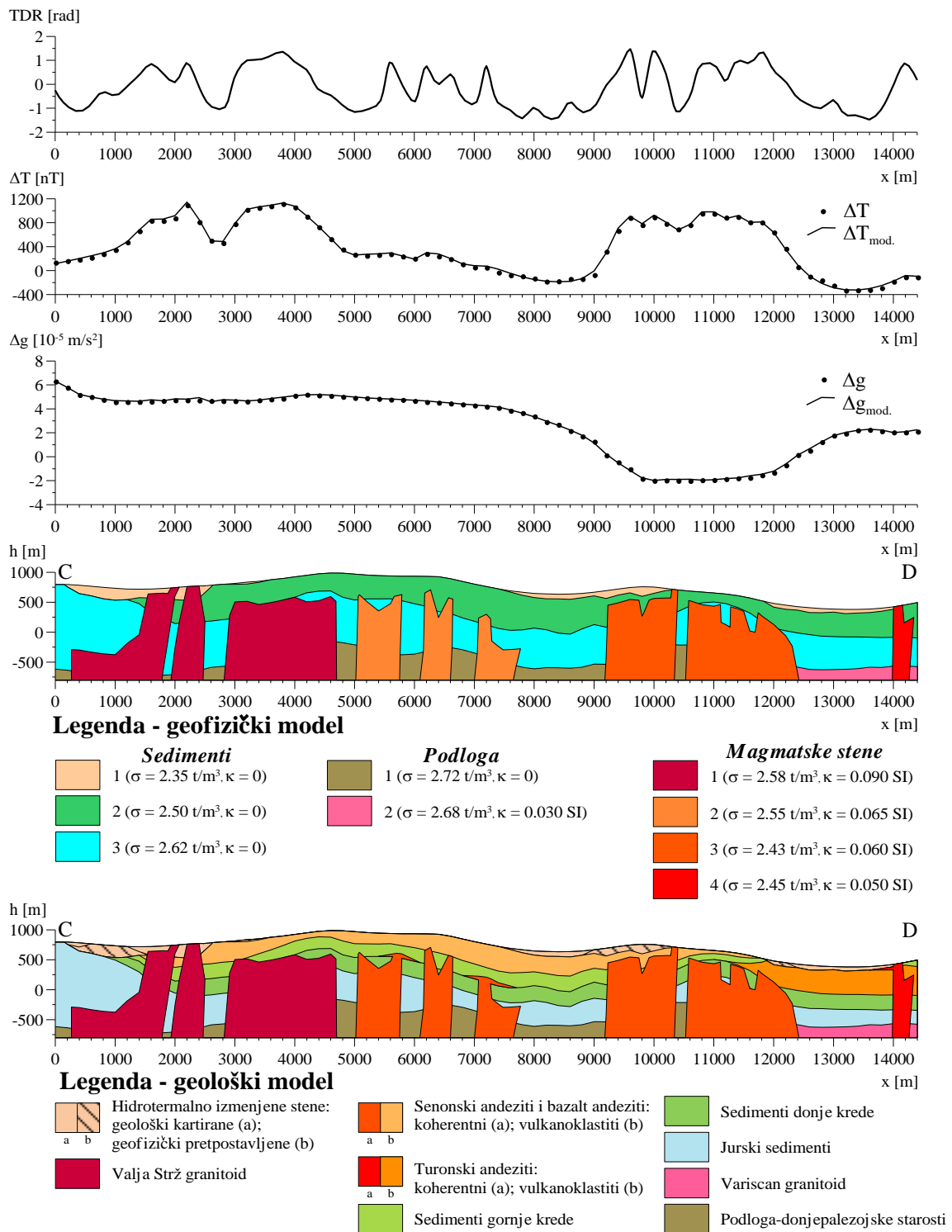
Slika 30. Geološko – geofizički model duž profila AB



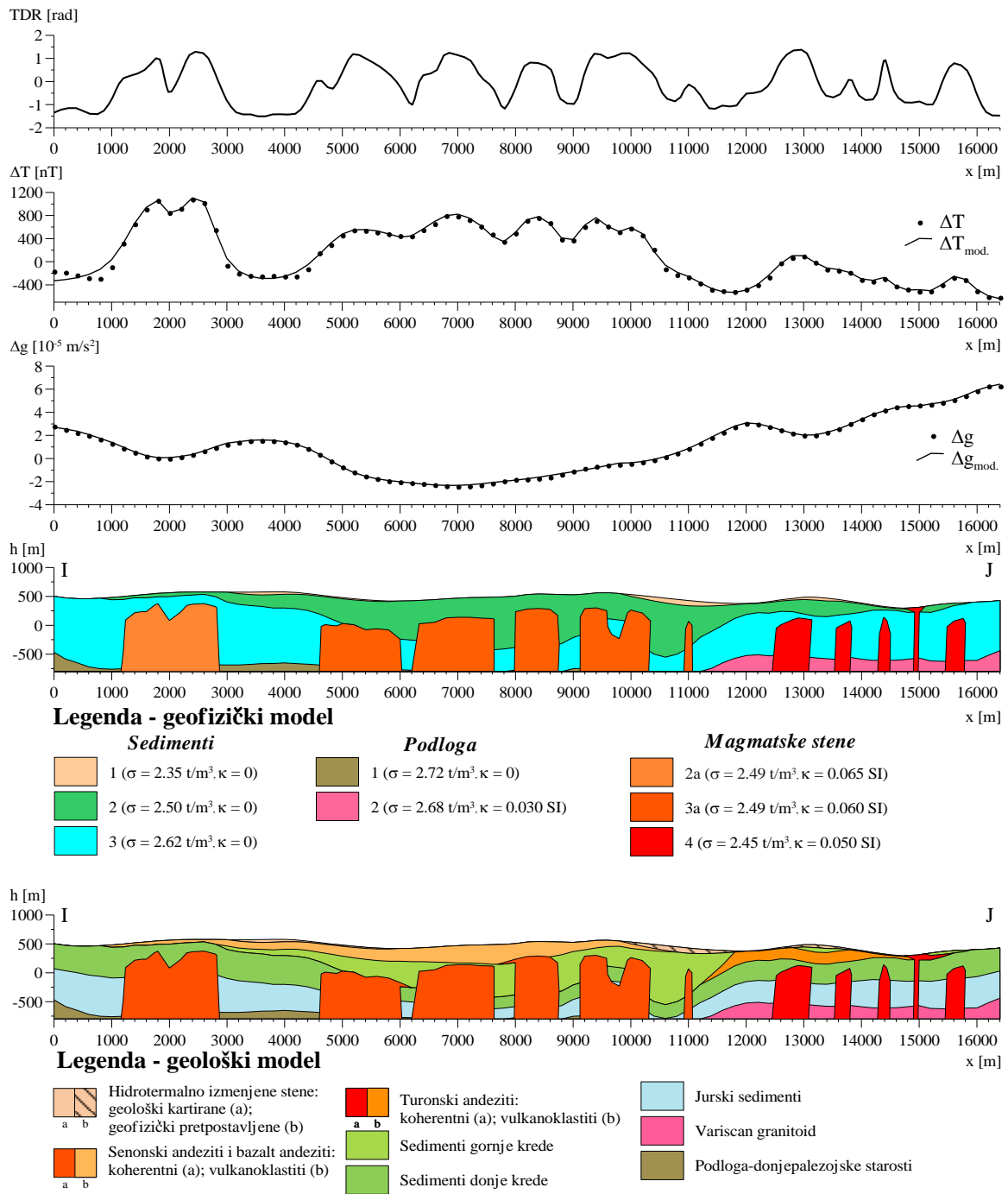
Slika 31. Geološko – geofizički model duž profila CD



Slika 32. Geološko – geofizički model duž profila EF



Slika 33. Geološko – geofizički model duž profila GH



Slika 34. Geološko – geofizički model duž profila IJ

5.2.3.1. Analiza 2D geofizičkih modela

Magmatske stene su podeljene u više grupa na osnovu vrednosti gustine i susceptibilnosti stena, koje se između sebe razlikuju u odnosu na vrstu stene od koje su izgrađene i u zavisnosti od toga tokom koje vulkanske faze su formirane. Ove stene su podeljene na *magmatske stene* 1, 2, 2a, 3, 3a i 4 (slike 30, 31, 32, 33 i 34). Na osnovu modela vidi se da magmatske stene imaju jako veliko rasprostranjenje u potpovršini, a samo jednim manjim delom se nalaze na površini istražnog prostora.

Na osnovu izgleda modela AB, CD, EF i GH (slike 30, 31, 32, 33 i 34) zapaža se da *magmatske stene* 1 imaju veliko rasprostranjenje lateralno i po dubini. Na modelu, koji je urađen duž profila AB uočava se da *magmatske stene* 1 samo jednim manjim delim izlaze na površinu terena, dok je njihovo lateralno raspostranjenje u ispod površine neuporedivo veće. Ove stene imaju pružanje u dubini do oko 1 km i sastoje se iz tri tela međusobno subvertikalna, pri čemu je veličina tela u zapadnom delu oko osam puta veća u odnosu na tela, koja se nalaze zapadno od njega. *Magmatske stene* 1 u delu terena duž kojeg je postavljen profil CD imaju veliko pružanje duž same površine terena, ali je isto tako njihovo lateralno pružanje veliko. Pružanje ovih stena u dubinu je oko 1km, a na modelu se zapaža da se ove stene sastoje iz dva velika tela međusobno odvojena kontaktom. Na modelu urađenom duž profila EF *magmatske stene* 1 samo jednim malim delom izlaze na površinu, pri čemu je njihovo rasprostranjenje u ispod površine znatno veće. Ove stene imaju veliko lateralno pružanje na dubini od oko 1 km, koje je deset puta veće nego njihovo rasprostranjenje na površini u ovom delu istražnog područja. U ovom delu terena ove stene se sastoje iz dva velika tela međusobno odvojena kontaktom. *Magmatske stene* 1 se dalje nastavljaju svoje pružanje ka jugu, koje je prikazano na modelu GH. Ove stene su na modelu prikazane kao tri razdvojene grane međusobno subvertikalne. Rasprostranjenje, ovih stena na površini je veoma malo u odnosu na njihovo pružanje u potpovršini. Na delu terena, koji se nalazi južno u odnosu na model GH, izostaje prisustvo *magmatskih stena* 1, tako da se na modelu II ove stene ne uočavaju.

Na modelima (AB, CD, EF i GH) se uočava da se sa istočne strane *magmatskih stena 1* nalaze *magmatske stene 2*, koje su samo jednim delom vidljive na površini terena, dok je znatno veći deo ovih stena prekriven. Na modelu AB *magmatske stene 2* se sastoje od četiri tela, koja imaju malo lateralno rasprostranjenje i jednog većeg tela. *Magmatske stene 2* na modelu CD su prikazane kao dva subparalelna tela. Magmatsko telo, koje se nalazi u blizini *magmatskih stena 1* ima mnogo veće rasprostranjenje, u odnosu na telo zapadno od njega, koje izlazi na površinu terena. U delu terena, koji je predstavljen na modelu EF, zapaža se prisustvo *magmatskih stena 2*, koje se sastoje iz četiri tela međusobno odvojena. Ove stene su samo jednim malim delom vidljive na površini terena, dok su većim delom prekrivene. Prema modelu GH, *magmatske stene 2* se ne mogu videti na površini, ali je njihovo prisustvo ispod površine terena potvrđeno. Sastoje se od tri subparalelna tela. Ako se posmatra model IJ u zapadnom delu se zapaža prisustvo *magmatskih stena 2a*. Ove stene imaju istu vrednost susceptibilnosti, ali nešto veću vrednost gustine u odnosu na *magmatske stene 2*.

Prema izgledu modela duž profila AB, CD, EF i GH, uočava se prisustvo *magmatskih stena 3*. Vrednost gravimetrijske anomalije iznad ovog tela ukazala je da ove stene imaju manju vrednost gustine od *magmatskih stena 2*, premda imaju slične vrednosti susceptibilnosti i pripadaju istoj vulkanskoj fazi. Ove stene imaju veliko lateralno pružanje u potpovršini. Na modelu AB uočava se da *magmatske stene 3* imaju veliko bočno rasprostranjenje ispod površine i da se sastoje se iz dva veća tela, od kojih se telo u zapadnom delu modela grana na dva tela. *Magmatske stene 3* se zapažaju i na modelu CD i nisu vidljive na površini, ali se prema modelu vidi njihovo veliko bočno rasprostranjenje ispod. Ove stene se sastoje od jednog velikog tela. Na modelu EF vidi se da *magmatske stene 3* malim delom izlaze na površinu, odnosno njihovo najveće rasprostranjenje je u potpovršini. Ove stene se sastoje od jednog tela, koje se grana na tri manja tela. Na delu istražnog područja, koje je prikazano na modelu GH uočava se veliko lateralno rasprostranjenje *magmatskih stena 3* ispod površine, dok je njihovo prisustvo na površini izuzetno malo. Ove stene se sastoje iz dva veća tela, međusobno odvojena kontaktom, pri čemu se jedno telo grana na dva, a drugo na tri manja tela. U južnom delu istražnog područja, koje je prikazano na modelu IJ, zapažaju se *magmatske stene 3a*, koje imaju nešto nižu vrednost gustine u odnosu na *magmatske stene 3*, a istu

vrednost susceptibilnosti. Magmaške stene u ovom delu imaju veliko rasprostranjenje lateralno i po dubini i predstavljene su u vidu pet manjih međusobno subparalelnih tela.

Magmaške stene 4 se nalaze u istočnom delu modela duž pet profila imaju najmanje rasprostranjenje u horizontalnoj ravni na modelima AB, CD, EF i GH, dok se veće rasprostranjenje ovih stena jedino zapaža na modelu IJ. Ove stene se ne mogu videti na površini terena na modelima AB i CD, dok se na modelima EF i GH zapaža njihovo prisustvo na površini terena. Na ovim modelima *magmaške stene 4* su prikazane kao samostalno telo. Na modelu IJ se uočava da se *magmaške stene 4* sastoje od četiri manja tela, čije je lateralno rasprostranjenje ispod površine daleko veće nego na površini terena. Rasprostranjenje *magmaške stene 4* po dubini je oko 1 km. Na osnovu analize svih pet modela može se zaključiti da ove magmaške stene imaju mnogo veće rasprostranjenje u jugoistočnom delu istražnog područja, odnosno da su *magmaške stene 4* mnogo manje rasprostranjenje u severnoistočnom delu terena.

Osim magmaških stena, koje imaju jako veliko rasprostranjenje, na istražnom području zastupljene su i sedimentne stene. Sedimentne stene su na osnovu vrednosti gustine podeljene u tri sloja, odnosno na *sedimente 1, 2 i 3*. *Sediment 1* odgovara blisko površinskim stenama male gustine i imaju najmanje rasprostranjenje u horizontalnoj ravni i u dubinu, u odnosu na preostale dve grupe sedimentata. *Sedimenti 2* imaju veću gustinu u odnosu na *sedimente 1*, a nalaze se jednim delom u podini *sedimentata 2*, dok se većim delom nalaze na površini terena. Najveću gustinu imaju *sedimenti 3*, koji se velikim delom nalaze u podini *sedimentata 1 i 2*, dok se jednim manjim delom zapažaju na površini terena.

Podloga je izgrađena od stena, koje imaju najveću gustinu, odnosno ove stene su prouzrokovale glavni pozitivni kontrast anomalija, pa je na osnovu toga izvršena podela podloge na 2 tipa, odnosno na *podlogu 1 i podlogu 2*, koje se međusobno razlikuju na osnovu vrste stene od koje su izgrađene. Ove dve podloge su prisutne na svim modelima, sa tim što se na modelu EF osim *podloge 1* uočava i *podloge 1a*. Stene koje ulaze u sastav *podloge 1a* ima nešto veću vrednost gustine u odnosu na stene koje izgrađuju *podlogu 1*.

5.2.3.2. Interpretacija 2D geološko-geofizičkih modela dela Timočkog magmatskog kompleksa

2D geološko-geofizičkim modelovanjem prvo su napravljene geofizički modeli duž 5 odabranih profila, a zatim su u geofizičke modele uklopljeni svi dostupni geološki podaci za istražno područje kao bi se dobili geološki modeli duž 5 odabranih profila (slike 30, 31, 32, 33 i 34). Uklapanje geoloških podataka u geofizičke podatke uticalo je da se kod geoloških modela neke geofizičke jedinice razdvoje na nekoliko jedinica/serija.

Rezultati modelovanja ukazuju da plutonit Valja Strž (na geofizičkim modelima AB, CD, EF i GH) prikazan kao *magmatska stena 1*, ima znatno veće rasprostranjenje nego što se to do sada bilo poznato. Na osnovu dosadašnjih geoloških istraživanja bilo je poznato da ovaj plutonit zauzima površinu nešto manju od 20 km². Model pokazuje da je lateralno pružanje plutonita na dubini od oko 1 km² desetak puta veće od njegovog pružanja na površini. Ovaj plutonit nastavlja svoje pružanje ka jugu (profili EF i GH), ali i ka severu (profil AB i CD).

Na osnovu modela koji su urađeni duž profila AB, CD, EF, GH i IJ se zapaža da senonske vulkanske stene imaju mnogo veće rasprostranjenje u dubini, nego što je njihovo pojavljivanje na površini. Naime, u potpovršini postoje dve odvojene oblasti ovih stena, pri čemu svaka od njih ima širinu oko 2.5-3 km, a u nekim delovima i preko 5 km. U zapadnom delu u blizini plutonita Valja Strž smeštena je jedna oblast ovih vulkanskih stena i ona je rastavljena na dva, tri, četiri ili pet manjih tela. Druga oblast je smeštena oko 1.5 km ka istoku i pojavljuje se više kao kompaktno magmatsko telo. Ove dve pojave (na modelu označene kao *magmatske stene 2, 2a, 3 i 3a*) se između sebe razlikuju po vrednostima gustine i susceptibilnosti. Poznato je da su senonski vulkaniti predstavljeni amfibol-piroksenskim andezitima do bazaltnim andezitima, kojih ima više u odnosu na turonske amfibol-biotit andezite i dacite (Banješević i dr., 2006; Kolb et al., 2013). Različite vrednosti gustina i susceptibilnosti *magmatskih stena 2, 2a, 3 i 3a* (na geofizičkom modelu) mogu da se objasne relativnim povećanjem pojava andezit-

bazalta ka zapadu. Ove različite vrednosti fizičkih parametara magmatskih stena moguće je objasniti tako što magmatsko telo, koje se nalazi sa istočne strane može da predstavlja složen subvulkanski intruziv, koji je turonske i senonske starosti. Ako je ova poslednja pretpostavka tačna, vulkanske stene turonske starosti bile bi slične magmatskim stenama koje imaju najmanje rasprostranjenje, a nalaze se na krajnjem istočnom delu svih modela. U bilo kom slučaju, ovi rezultati se slažu sa postojećim petrološkim i geološkim podacima. Rezultati modelovanja sugerišu da duž već pomenutih progresija ka zapadu (pomeranje vulkanskog fronta je išlo od istoka ka zapadu), takođe, postoji blaga promena u sastavu stena ka zapadu. Ova promena u sastavu se može dovesti u vezu s nešto nižim sadržajem silicije u vulkanskim stenama senonske starosti. Promena u sastavu može da se objasni i promenama u lokalnim tektonskim uslovima. Naime, senonska faza je povezana sa ekstenzionim tektonskim pokretima u poređenju sa preovlađujućim kompresionim režimima u turonu. Takve ekstenzije bile su više pogodne za manje izvedene, tj. primitivnije rastope (Lips, 2002; Zimmerman et al., 2008, Kolb et al., 2013).

Za model koji je urađen duž profila IJ karakteristično je da se u ovom delu istražnog područja ne pojavljuju *magmaške stene 1*, odnosno u ovom delu ispitivanog područja primetno je odsustvo plutonita Valja Strž. Međutim, aeromagnetska i gravimetrijska anomalija koja je prisutna u zapadnom delu modela jasno ukazuje da i u ovom delu terena postoji veći kompleks magmatskih stena, koje se po svojim fizičkim svojstvima (gustina i susceptibilnost) razlikuje od *magmaške stene 1*. Vrednosti gravimetrijske anomalije pokazuju da se u ovom delu nalaze magmaške stene (*magmaška stena 2a* na geofizičkom modelu IJ), koje ima manju vrednost gustine od gustine plutonita Valja Strž., odnosno gustina ovih stena i njihova vrednost susceptibilnost pokazuju da ove stene predstavljaju nastavak magmatskih stena senonske starosti, koje su izdvojene u centralnom delu istražne oblasti.

Sedimenti 1 prikazani na geofizičkom modelu delimično se poklapaju sa hidrotermalno izmenjenim andezitima i andezit-bazaltnim vulkanoklastitima, koji na mnogim mestima izbijaju na površinu. Na osnovu modela se jasno uočava da ovi sedimenti, koji inače imaju najmanju gustinu, imaju veće rasprostranjenje u blisko površinskim

nivoima nagoveštavajući da hidrotermalno izmenjene stene imaju značajno veće rasprostranjenje, kako horizontalno, tako i vertikalno. *Sedimenti 2* su podeljeni na tri sloja: 1) vulkanoklastične stene formirane tokom turonske vulkanske faze, 2) vulkanoklastične stene nastale tokom senonske vulkanske faze i 3) gornjokredni karbonati i klastični sedimenti. *Sedimenti 3* odgovaraju jurskim i donjokrednim krečnjacima i dolomitima. Granice između ovih slojeva ne odgovaraju u potpunosti realnim geološkim granicama, koje postoje ispod površine terena, ali se mogu koristiti kako bi opisali generalni odnos između njih.

Podloga 1 odgovara metamorfnim stenama donje paleozojske starosti, koje su slične sa onim stenama koje su otkrivene na površini terena više ka zapadu u odnosu na Timočki magmatski kompleks. Na modelu EF, na osnovu geofizičkih rezultata ova podloga je podeljena u dva dela. U gornjem delu su manje iskristalisale stene, dok više iskristale stene se nalaze u donjem delu. *Podloga 2* je najverovatnije zapadni produžetak Variscan granitoidnih stena Gornjana, koje imaju mnogo veće rasprostranjenje istočno i severoistočno od TMK. Uticaj ovog granitoida je najverovatnije odgovoran za pojavu kompleksne geofizičke slike duž istočnog oboda TMK. Prisustvo Variscan granitoidnih stena u podlozi je na pojedinim delovima istražnog područja potvrđeno u fragmentima ovih stena dm- do m- dimenzija, koje su otkrivene u različitim vulkanskim stenama TMK (Knežević, 1960; Đorđević i Banješević, 1997; Banješević, 2006).

6. Zaključak

Aeromagnetska istraživanja na istražnom području, koje se po svom prostornom položaju poklapa sa severnim delom TMK, izvedena su u periodu od marta do juna 2006. godine. Ovakav vid aeromagnetskih merenja prvi put je izveden na teritoriji naše zemlje, pa su i podaci dobijeni na ovaj način doneli sa sobom izvesne novine, koje su uticale na primenu savremenih postupaka obrade i analize podataka. Zahvaljujući aeromagnetskim podacima definisani su položaju i granice magmatskih stena u potpovršini. Pored rezultata aeromagnetskih istraživanja u doktoratu su prikazani i rezultati gravimetrijskih istraživanja dobijeni tokom ranijih istraživanja na prostoru TMK. Gravimetrijski podaci, osim što su potvrdili postojanje magmatskih stena na istražnom prostoru, najveći dopinosu su imali tokom samog procesa modelovanja, jer su pomogli prilikom definisanja odnosa magmatskih i okolnih stena. Kombinacijom aeromagnetskih i gravimetrijskih podataka sa dosada poznatim geološkim podacima o istražnoj oblasti, kao i podacima dobijenim istražnim bušenjem urađeno je 2D geološko–geofizičko modelovanje duž 5 odabranih profila. Rezultati aeromagnetskih istraživanja, gravimetrijskih istraživanja i 2D geološko – geofizičkog modelovanja prikazani u doktorskoj disertaciji, doveli su do sledećih zaključaka:

1. Plutonit Valja Strž ima mnogo veće rasprostranjenje ispod površine nego što je to do sada bilo poznato. U odnosu na njegovu otkrivenost na površini terena rezultati geofizičkog istraživanja jasno ukazuju da ispod površine ovaj plutonit nastavlja svoje pružanje ka severu i jugu, pri čemu je pružanje plutonita Valja Strž ka jugu daleko veće od njegovog pruženja ka severu. Dosadašnjim istraživanjem je utvrđeno da severno od plutonita Valja Strž u široj oblasti Dumitru potoka se nalazi oblast najperspektivnija u pogledu rudnih ležišta. Rezultati dobijeni aeromagnetskim i gravimetrijskim istraživanja ukazuju da prostor južno i jugoistočno od plutonita Valja Strž treba razmatrati kao perspektivan u slučaju pronalazanja novih strukturno-kontrolnih porfirskih sistema. Pluton Valja Strž je obično razmatran kao tipični duboko ispresecani pluton (Janković i dr., 1981; von Quadt et al., 2002), pa je opšte prihvaćeno da ovakvi plutoniti nisu potencijalni za epitermalne mineralizacije zlata, jer se ove mineralizacije obično javljaju na manjim dubinama (Silitoe, 1993; Hedenquist et al., 1996). Međutim, rezultati

geološko – geofizičkog modelovanja jasno ukazuju na postojanje relativno velikih masa ovih intruzivnih stena prekrivenih sedimentima i vulkanoklastitima, koji pružaju mogućnost da se nastave dalja istraživanja u ovoj oblasti.

2. Modeli ukazuju da geofizički definisana subvulkanska tela, koja se pretežno nalaze u centralnom, a manjim delom i u zapadnom delu TMK odgovaraju vulkanitima senona. Na osnovi dosadašnjih istraživanja poznato je da vulkanska tela otkrivena u ovim delovima TMK poseduju metalogenetsku potencijalnost, koja nije dovoljna da se formiraju velika ležišta, za razliku od istočnog dela kompleksa u okviru kojeg su otkrivena svetski poznata ležišta. Rezultati modelovanja sugerišu da geofizički izdvojena i definisana subvulkanska tela treba uzeti u razmatranje prilikom budućih istraživanja. Takođe, rezultati modelovanja ukazuju da je malo verovatno da se velike mase turonskih vulkanita, koje su konstatovane u istočnom delu TMK javljaju ispod magmatskih stena u zapadnom delu kompleksa.

3. Rezultati 2D geološko – geofizičkog modelovanja su značajni i sa aspekta definisanja plitkih pojava hidrotermalno izmenjenih stena. Rasprostranjenje ovih stena je veće nego što je to do sada bilo poznato. Dosadašnjim geološkim istraživanjem utvrđeno je da su hidrotermalno izmenjene stene najviše rasprostranjene u zapadnom delovima TMK, u kojima dominiraju senonski vulkaniti i vulkanoklastiti i pored toga što ovoj oblasti nedostaju veoma velika i ekonomski značajna ležišta. Rezultati modelovanja su ukazali na veće postojanje bliskopovršinski hidrotermalno izmenjenih stena iznad potpovršinskih koherentnih magmatskih tela u istočnim delovima kompleksa, nagoveštavajući da je ova oblast treba da bude veoma značajna za dalja istraživanja.

4. Na osnovu rezultata geofizičkih i geoloških istraživanja, kao i modelovanjem utvrđeno je da na istražnom području postoje 2 tipa podloge. U zapadnom i centralnom delu TMK podloga je izgrađena od metamornih stena donje paleozojske starosti. Stene koje izgrađuju podlogu u ovom delu istražnog područja su slične sa onim stenama koje su otkrivene na površini terena više ka zapadu u odnosu na TMK. Stene koje grade podlogu u istočnom delu kompleksa najverovatnije predstavljaju zapadni produžetak

Variscan granitoidnih stena Gornjana, koje imaju mnogo veće rasprostranjenje istočno i severoistočno od TMK.

Na osnovu aeromagnetskih i gravimetrijskih podataka potvrđeno je postojanje markantnih raseda na istražnom području, koji imaju generalni pravac pružanja sever-sevrozapad – jug-jugoistok. Rezultati aeromagnetskih i gravimetrijskih istraživanja ukazali su da pojedini rasedi imaju mnogo veće rasprostranjenje, nego što je to do sada bilo poznato. Ovo se pre svega odnosi na Timočku rov – sinklinalu, koja se jasno može pratiti na čitavom istražnom području.

* * *

Pored značajnih podataka koji su proizlišli iz ove doktorske disertacije, rezultati geofizičkih istraživanja izvedenih u istražnoj oblasti, sugerišu da postoji velika potreba za nastavkom detaljnih istraživanja širom TMK, uključujući i njegove periferne delove. Veoma je važno nastaviti integrisana geofizička istraživanja na prostoru TMK, kao i detaljna geološko/petrološka istraživanja, koja bi pomogla u otkrivanju perspektivnih područja sa aspekta mineralnih sirovina, pre svega bakra i zlata.

Literatura

- Aleksić, D., 1969. Rezultati dvogodišnjih istraživanja u Velikom Krivelju. Zbornik Rudarsko-metaluškog fakulteta, 9, Bor, 27-40.
- Aleksić, D., 1979. The deposit Veliki Krivelj. Guide for field excursion. Int. Conf. Europ. Copper Deposit, Bor, 39-51.
- Andrić, B., Antonijević, I., Grubić, A., Dragašević, T., Đorđević, M., Terzić, M., 1972. Analiza građe Timočkog rov-sinklinorijuma u svetlosti novih geoloških i geofizičkih istraživanja. III Savetovanje o istraživanju bakrove mineralizacije na teritoriji SFRJ, Bor, st. 16.
- Anđelković, M., Nikolić, P., 1974. Tektonska rejonizacija Karpato-Balkanida istočne Srbije. Zbornik radova Rud. metal. fak. i Inst. za bakar u Boru, XVI, Bor, 57-71.
- Anđelković, M., Nikolić, P., 1976. Opšti tektonski plan istočne Srbije. Geologija Srbije, IV, Tektonika, Beograd, 247-254.
- Antonijević, I., 1957. Timočki eruptivni masiv (prikaz geološke karte). Zapisnici SGD za 1957. god., Beograd, 111-120.
- Antonijević, I., i saradnici 1963. Tumač za list Žagubica, OGK SFRJ 1:100000. Savezni geološki zavod, Beograd, st. 72.
- Antonijević, I., Mičić, I., 1964. Gornjokredni vulkanizam u istočnoj Srbiji. Zapisnici SGD za 1964 god., Beograd, 133-141.
- Antonijević, I., i saradnici 1976. Tumač za list Bor, OGK SFRJ 1:100000. Savezni geološki zavod, Beograd, st. 65.
- Antonijević, I., 1997. Skarnovska orudnjenja Timočkog Magmatskog Kompleksa (TMK). Simpozijum „Istraživanje rudnih ležišta”, Beograd, 371-380.
- Banješević, M., 1993. Petrostrukturno-vulkanološka ispitivanja u zoni Metovnice. Vesnik, ser. A i B - Geologija, 45, Beograd, 135-140.
- Banješević, M., 1999. Gornjokredna vulkanska aktivnost Banjskog polja kod Brestovačke Banje. Magistarska teza, Fond Rudarskogeološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, Beograd, st. 89.
- Banješević, M. Cocić, S., Radović, M., 2001. Petrology and K/Ar ages of volcanic rocks for widen Bor zone as the part of the Timok Magmatic Complex (East Serbia). ABCD GEODE Workshop, Vata Bai, Romania, Abstract, pp. 39.
- Banješević, M., Cvetković, V., Koželj, D., Peytcheva, I., von Quadt, A., 2002. The Timok Magmatic Complex and Ridan Krepoljin Zone: Geodynamical Evolution. In: Koželj, D. & Jelenković, R., (Eds.), International Symposium – Geology and metallogeny of copper and gold deposits in the Bor metallogenic zone – Bor 100 years, Special issue, Bor, 199-202.
- Banješević, M., 2002. Geology of the area between eastern hillslope of the Crni Vrh Mt. and the Kriveljska reka area – part of the Timok Magmatic Complex. 34th International October Conference, Journal of Mining and Metallurgy - Special issue, Bor, 30-35.
- Banješević, M., Cvetković, V., Koželj, D., Radović, M., 2003. The Timok Magmatic Complex – New data of geological evolution. Vesnik, 53, Beograd, 329-344.
- Banješević, M., 2006. Gornjokredni magmatizam Timočkog magmatskog kompleksa, Doktorska disertacija, Univerzitete u Beogradu Rudarsko– geološki fakultet, Beograd, st. 184.

- Banjesević, M., Cvetković, V., von Quadt, A., Peytcheva, I., Cocić, S., 2006. Geodynamic reconstructions based of the magmatism in the Timok magmatic complex (east Serbia) an art of the Carpathian-Balkan belt. In: Sudar, M., Ercegovac, M. and Grubić, A. (eds). XVII Congress CBGA. Belgrade, Serbian Geological Society, 27-29.
- Banješević, M., 2010. Vulkanološke karakteristike gornjokrednih stena Timočkog magmatsko kompleksa, 15. Kongres geologa Srbije. Zbornik radova, Beograd, 1-6.
- Baranov, V., 1957. A new method for interpretation of aeromagnetic maps: Pseudo-gravimetric anomalies. *Geophysics*, Vol. XXII, No. 2, 359-383.
- Baranov, V., Naudy, H., 1964. Numerical calculation of the formula of reduction to the magnetic pole. *Geophysics*, Vol. XXIX, No. 1, 67-79.
- Bastani M, Kero L., 2004. Test of the analytical signal technique and Euler deconvolution on Forsmark data, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co, Stockholm, 4-28.
- Berza, T., Constantinescu, E., Serban-Nicolae, V., 1998. Upper Cretaceous Magmatic Series and Associated Mineralisation in the Carpathian-Balkan Orogen. *Resource Geology*, 48, 4, 291-306.
- Bilibajkić, P., Mladenović, M., Aleksić, D., 1972. Rezultati gravimetrijskih ispitivanja srednjeg dela istočne Srbije. III Savetovanje o istraživanju bakrove mineralizacije na teritoriji SFRJ, Bor, 1-12.
- Blakely, J. R., 1995. *Potential theory in gravity and Magnetic application*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 441.
- Bogdanović, P., 1968. Stratigraphy of Upper Cretaceous formations in Eastern Serbia. *Vesnik Zavoda za geol. i geof. istraživanja*, ser. A, XXVI, Beograd, 115-134.
- Bogdanović, P., 1971. Starost „borskih konglomerata” i njihov značaj za tektoniku šire okoline Bora. *Vesnik Zavoda za geol. i geof. istraživanja*, ser. A., XXIX/XXX, Beograd, 117-127.
- Clark, H. A., Ullrich, D.T., 2004. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age data for andesitic magmatism and hydrothermal activity in the Timok Massif, eastern Serbia: implications for metallogenetic relationships in the Bor copper-gold subprovince. *Mineralium Deposita*, 39, 256-262.
- Cocić, S., Vakanjac, B., Cocić, M., 1998. Litološki i paragenetski odnosi u porfirskom ležištu bakra „Borska reka”. *Vesnik*, serija A i B, 48, Beograd, 261-276.
- Cocić, S., Koželj, D., Banješević, M., Cocić, M., 2002. Intrusive rocks in the ore field Crni Vrh and their relation to mineralization. In: Koželj, D., Jelenković, R., (eds). *International Symposium, Geology and metallogeny of copper and gold deposits in the Bor metallogenic zone – Bor 100 years*, Special issue, Bor, 163-172.
- Cocić, S., Jelenković, R., Živković, P., 2002. Excursion guide – Vodič za ekskurzije. *International Symposium, Geology and metallogeny of copper and gold deposits in the Bor metallogenic zone – Bor 100 years*, Special issue, Bor, st. 115.
- Cooper, G.R.J., 2002. An improved algorithm for the Euler deconvolution of potential field data. *The Leading Edge*, 1997-1998.
- Cooper, G.R.J., Cowan, D.R.D., 2005. Differential reduction to the pole. *Computer & Geosciences* 31, 989-999.
- Cooper, G.R.J., Cowan, D.R.D., 2006. Enhancing potential field data using filters based on the local phase. *Computer & Geosciences* 31, 1586-1591.
- Cooper, G.R.J., Cowan, D.R.D., 2008. Edge enhancement of potential-field data using normalized statistics. *Geophysics*, Vol. 73, No. 3, H1-H4.

- Cvetković, V., 1995. Neki novi dokazi o Tilva Njagri kao vulkanskom centru. Zapisnici SGD za 1990 i 1991. god., Beograd, 97-101.
- Cvijić, J., 1924. Geomorfologija, I, Beograd, st. 588.
- Dean, C.W., 1958. Frequency analysis for gravity and magnetic interpretation. Geophysics, Vol. XXIII, No.1, 97-127.
- Drovenik, M., 1960. Geološko-petrološka studija šire okoline rudnika Bor (Istočna Srbija). Doktorska disertacija. Fond stručnih dokumentacija RTB Bora, Bor, st. 108.
- Drovenik, M., Antonijević, I., Micić, I., 1962. Novi pogledni na magmatizam i geološku građu Timočke eruptivne oblasti. Vesnik Geozavoda, ser. A, XX, Beograd, 67 -79.
- Drovenik, M., 1962. Ležište Bor. Vodič za ekskurziju kroz istočnu Srbiju. V savetovanje geologa FNRJ, Beograd, 110-112.
- Drovenik, M., 1966. Mineralni sastav i geneza odlomaka sa bakarnim sulfidima iz piroklastičnih stena šire okoline rudnika Bor. Rudarskometalurški zbornik, 4, Ljubljana, 407-427
- Drovenik, M., 1968. Borsko ležište epi – ili singenetsko (osvrst na rad P. Bogdanovića: «Metalogenetske karakteristike istočne Srbije»). Zbornik radova Rud. met. fak. i Inst. za bakar u Boru, VI, Bor, 27-29.
- Drovenik, M., 1968. Razvoj magmatskih in piroklastičnih kamenin v okolici bakrovega rudišča Bor. Geologija – Rasprave in poročila, 11, Ljubljana, 1-127.
- Drovenik, M., 1983. Ali je bakrovo rudišče res nastalo v zgornjekrednem volkanske kompleksu?. Rudarsko–metalurški zbornik, 30, 2-3, Ljubljana, 139-149.
- Durrheim, R. J., Cooper, R. J. G., 1998. EULDPH: A program for the Euler deconvolution of magnetic and gravity data. Computer & Geosciences Vol.24, No. 6, 545-550.
- Đorđević, G., 1965. Bakarna mineralizacija u reonu Markovog Kamena. Zbornik radova Rudarsko metalurški fakultet i Institut za bakar u Boru, III, Bor, 129-136.
- Đorđević, G., 1980. Kvarcdioriti Velikog Krivelja, njihova alteracija i veza sa orudnjenjem (Magistarski rad). Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, st. 35.
- Đorđević, M., Milošaković, R., Milenković, P., 1964. Sinklinalni raspored sedimenata u Timočkoj eruptivnoj oblasti. Zapisnici SGD za 1964 god., Beograd, 767-774.
- Đorđević, M., 1967. Kredno-tercijarni magmatizam. Geološki pregled Karpato-balkanida istočne Srbije (Stratigrafija, tektonika i magmatizam). VIII Kongres KBGA, Beograd, 76-81.
- Đorđević, M., Krstić, B., Kalenić, M., Rakić, B., 1967. Novi podaci o vulkanizmu u istočnoj Srbiji. Zapisnici SGD za 1967 god., Beograd, 149-160.
- Đorđević, M., 1989. Formaciona geološka istraživanja Timočke eruptivne oblasti i mogućnosti nalaska pojava mineralnih sirovina. XXI oktobarsko savetovanje rudara i metalurga. Saopštenja, Tehnički fakultet i Institut za bakar u Boru, Bor.
- Đorđević, M., Janjić 1990. Proučavanje vulkanizma Timočke eruptivne oblasti u okviru Geološke karte SFRJ 1:50.000. XII Kongres geologa Jugoslavije, 2, Ohrid, 241-251.
- Đorđević, M., 1994. Piroklastično i epiklastično u „prvoj vulkanskoj fazi” Timočke eruptivne oblasti južno od borskog rudnika – istočna Srbija. Vesnik, ser. A i B - Geologija, 46, Beograd, 291-311.
- Đorđević, M., Mihajlović, Đ., Ljubović-Obradović, D., Đajić, S., Banješević, M., Zupančić, M., 1994. New details of the age and location of Bor conglomerates and

- sandstones southwardly from Bor (east Serbia). Vesnik, ser. A i B - Geologija, 46, Beograd, 169-176.
- Dorđević, M., Banješević, M., 1996. Brestovac kod Bora u Istočnoj Srbiji – perspektivno područje za istraživanje bakrovih ruda. Geol. an. Balk. pol., 60, 1, Beograd, 477-490.
- Dorđević, M., Banješević, M., Ralević, B., Miličić, I., 1997. Mesozoic magmatism of Djerdap area. International Symposium – Geology in the Danube Gorges, Donji Milanovac - Orsava, Beograd, 121-128.
- Dorđević, M., Banješević, M., 1997. Geologija južnog dela Timočke eruptivne oblasti, Tumač i geološka karta 1:50000. Savezno Ministarstvo za privredu, Beograd, st. 171.
- Dorđević, M., Banješević, M., 1998. Development of the Cretaceous volcanism in the Timok-Srednja Gora belt southwardly from Bor mine (Eastern Serbia). XVI Congress of Carpathian-Balkan Geological Association – Abstract, Vienna, 132.
- FitzGerald, D., Reid, A., McInerney, P., 2004. New discrimination techniques for Euler deconvolution, data, Computer & Geosciences Vol.30, 461–469.
- GETECH, 2007. Advanced Processing and Interpretation of Gravity and Magnetic Data, Getech Kitson House Elmete Hall Leeds, UK, st. 27.
- Geotech Airborne Ltd, 2006. Report on a helicopter-borne time domain electromagnetic geophysical survey, Timok Survey, Bor, Serbia. Barbados, pp. 17.
- Grubić, A., 1983. Tectonic feature and Mesozoic-Cenozoic history of East Serbia (Yugoslavia). 12th Congress of the Carpatho-Balkan Geological Association, Bucharest, 57-64.
- Gubbins, D., Herreor-Bervera, E., 2007. Encyclopedia of Geomagnetism and paleomagnetism, Springer, Dordrecht, Netherlands, pp. 1054.
- Hedenquist, J. W., Izawa, E., Arribas, A., 1996. Epithermal gold deposits: Style, Characteristics and Exploration. Special Publ. No.1, Soc. of Resource Geol. of Japan, 32.
- Ilić, M., 1953/54. O pojavama andezit-bazalta kod Brestovačke banje, Bora i Malog Krivelja. Zbornik radova geol. i rud. fakulteta, Beograd, 25-53.
- Ignjatović, S., Burazer, M., 2011. Horizontal edges detection of magnetic anomaly sources based on Aeromagnetic data, 17th Meeting of the Association of European Geological Societies, Belgrade, 139-142.
- Ignjatović, S., Ivanović, N., Vasiljević, I., Vasiljević, I., Kričak, L., 2013. The application of mathematical transformation on aeromagnetic data in order to detect magnetic anomaly sources. 45th IOC, Bor, 256-260.
- Jadranin, D., 1969. Prikaz rezultata istraživanja dubinskim bušenjem u područjima Cerova reka, Zlot i Crni Vrh. Zbornik radova, IX, Bor, 87-92.
- Janković, S., 1965. Metallogenetic epoche and ore district of Eastern Serbia. VII Cong. KBGA, III, Sofija, 309-318.
- Janković, S., 1968. O nekim problemima rejonizacije rudnih ležišta istočne Srbije. Zbornik radova Rud. met. fak. i Inst. za bakar u Boru, VI, Bor, 23-26.
- Janković, S., 1977. The Copper Deposits and Geotectonic Setting of the Tethyan Eurasian Metallogenetic Belt. Mineralium Deposita, 12, 37–47.
- Janković, S., 1977. Major alpine ore deposits and metallogenic units in the northeastern Mediterranean and concepts of plate tectonics. In: "Metallogeny and plate tectonics in the northeastern Mediterranean". Fac. Minin. Geol. Belgrad Univ. (edit.), 105-171.

- Janković, S., Jovanović, M., Karamata, S., Lovrić, A., 1981: The isotopic age of some rocks from the Timok eruptive area. *Glas SANU CCCXXIX, Odelj. Prir. Mat. Nauka*, 48, 87-94.
- Janković, S., Cvetković, L.J., Mišković, V., Pavićević, M., 1984. Mineral Paragenesis and Elements distribution in the Ore Body "Novo Okno" Bor. 27 th. Int. Geol. Congr. Abstr., Moskva, 6.
- Janković, S., 1990. Rudna ležišta Srbije regionalni metalogenetski položaj, sredine stvaranja i tipovi ležišta. Republički društveni fond za geološka isstraživanja, Katedra ekonomske geologije, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, st. 760.
- Janković, S., 1990. Types of Copper deposits related to volcanic environment in the Bor district, Yugoslavia. *Geol. Rundsch*, 79, 467-478.
- Janković, S., Karamata, S., Jelenković, R., 1995. Genetic Model of the Bor Deposit. Plate tectonic aspects of Alpine metallogeny in the Carpatho-Balkan region, 3rd Ann. Meeting, Athens, 11.
- Janković, S., 1996. Comparison between Metallogeny of Serbo- Macedonian Metallogenic Province and the Bor-Srednegorie Zone. In: "Plate tectonic of the Alpine Metallogeny in the Carpatho-Balkan Region proceeding of the annual meeting". (IGCP Project no. 356), 1, Sofia, 47-53.
- Janković, S., 1997. The Carpatho-Balkanides and adjacent area: a sector of the Tethyan Eurasian metallogenic belt. *Min. Deposita*, 32, 426-433
- Janković, S., Jelenković, R., 1998. Correlation between the Oravita- Krepoljin and the Bor-Srednegorie Metallogenic zones. (IGCP Project no. 356). *Romanian Journal of Min. Deposits*, 78, Bucuresti, 57-70.
- Janković, S., Jelenković, R., Koželj, D., 2002. Borsko ležište bakra i zlata – The Bor Copper and Gold Deposit. Special issue – On the occasion of 100 years since discovery Bor ore deposit, Bor Lake, p. 298.
- Jelenković, R., Serafimovski, T., 2000. The Metallogeny of the Carpatho-Balkanides: The Eastern Serbia part. ABCD-GEODE Workshop, Bulgaria, 26-29.
- Jelenković, R., Vakanjac, B., Milovanović, D., 2002. Genetskoparagenetska analiza ležišta bakra Borska Reka. *Tehnika RGM*, 1, Beograd, 5-17.
- Karamata, S., 1969. Proučavanje veza Cu mineralizacije i karaktera alteracija okolnih stena oko intruziva. *Zbornik radova Rud. met. fak. i Inst. za bakar u Boru*, IX, Bor, 187- 201.
- Karamata, S., 1974. Geološki razvoj našeg područja: karakteri i kretanja pojedinih ploča i značaj tih osobina i procesa za metalogeniju. *Metalogenija i koncepcije geotektonskog razvoja Jugoslavije*, Rud. geol. fakultet, Beograd, 89-97.
- Karamata, S., Đorđević, V., Đorđević, P., Milovanović, D., 1983. Alterations in the Bor copper deposit and their significance for explanation of the ore genesis. *Geol. Zborn. Geolog. Carpath.*, 34/1, Bratislava, 45-52.
- Karamata, S., Krstić, B., 1996. Terranes of Serbia and neighbouring areas. *Terranes of Serbia, Brezovica*, 25-40.
- Karamata, S., Knežević, V., Pecskey, Z., Đorđević, M., 1997. Magmatism and metallogeny of the Ridanj-Krepoljin belt (Eastern Serbia) and their correlation with northern and eastern analogues. *Min. Deposita*, 32, 452-458
- Knežević, V., 1960. Granitski odlomci u vulkanskim brečama kod Brestovačke Banje i Bora. *Zbornik Rudarsko-geološkog fakulteta*, 6, Beograd, 107-113.

- Knežević, V., Karamata, S., Đorđević, P., Milovanović, D., 1982. Primena modela okolorudnih izmena pri prospekciji i istraživanjima geneze ležišta bakra. X Jubilarni Kongres geologa Jugoslavije, Zbornik radova, 2, Budva, 133-138.
- Kolb, M., von Quadt, A., Peytcheva, I., Heinrich, C.A., Fowler, S.J., Cvetković, V., 2013. Adakite-like and Normal Arc Magmas: Distinct Fractionation Paths in the East Serbian Segment of the Balkan-Carpathian Arc. *Journal of Petrology*, doi:10.1093/petrology/egs072.
- Koželj, D., Krstić, S., Cocić, S., 1998. Geohemijske karakteristike epitermalne mineralizacije zlata u Timočkom magmatskom kompleksu. 13. Kongres geologa Jugoslavije, Herceg Novi, 85-92.
- Koželj, D., 1999. Morfogenetski tipovi epitermalne mineralizacije zlata u borskoj metalogenetskoj zoni. Doktorska disertacija, Rudarsko geološki fakultet, Beograd, st. 196.
- Koželj, D., Jelenković, R., 2001. Ore forming environments of epithermal gold mineralization in the Bor metallogenetic zone, Serbia, Yugoslavia - 6th Biennial SGA Meeting, under the general theme "Mineral Deposits at the Beginning of the 21st Century", Krakow, 535-538.
- Koželj, D., 2002. Epitermalna mineralizacija zlata Borske metalogenetske zone. Morfogenetski tipovi, strukturno-teksturni varijeteti i potencijalnost. Specijalno izdanje – Povodom 100 godina od pronalazjenja Borskog ležišta, Bor, st. 219.
- Kräutner, H., G, Krstić, B., 2003. Geological map of the Carpatho-Balkanides between Mehadita, Oravita, Niš and Sofia. Geoinstitut, Beograd.
- Kuzmanović, D., Sedmak, A., Obradović, I., Nikolić, D., 2003. Matematička fizika, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, st. 518.
- Lahti, I., Karinen, T., 2010. Tilt derivative multiscale edges of magnetic data, *The Leading Edge*, 24-29.
- Li, X., 2008. Magnetic reduction-to-the-pole at low latitudes: Observations and considerations, *The Leading Edge*, 990-1002.
- Lips, A., 2002. Correlating magmatic-hydrothermal ore deposit formation over time with geodynamic processes in SE Europe. In: Blundell D, Neubauer F, von Quadt A (eds) *The timing and location of major ore deposits in an evolving orogen*. Geological Society of London, Special Publications 204, 69-79.
- Lips, A., Herrington, R.J., Stein, G., Koželj, D., Popov, K., Wijbrans, J.R., 2004. Refined timing of porphyry copper formation in the Serbian and Bulgarian portions of the Cretaceous Carpatho-Balkan Belt. *Economic Geology*, 99, 601-609.
- Luyendyk, A.P.J., 1997. Processing of airborne magnetic data, *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17 (2), 31-38.
- Mendonça, A.C., Silva, B.C.J., 1993. A stable truncated series approximation of the reduction-to-the-pole operator, *Geophysics*, Vol. 58, No.8, 1084-1090.
- Miller, G.H., Singh, V., 1994. Potential field tilt-a new concept for location of potential field sources, *Journal of Applied Geophysics* 32, 213-217.
- Mihajlović-Vlajić, N., 1969. Mineraloško-geohemijski indikatori orudnjenja bakra u Timočkoj eruptivnoj oblasti. Zbornik radova Rud. met. fak. i Inst. za bakar u Boru, IX, Bor, 127-140.
- Miličić, M., Grujičić, B., 1979. Metalogenetske karakteristike rudnog polja Bor. Vodič za ekskurziju. International Symposium «The European Copper Deposits», Bor, 82-104.

- Milivojević, M., 1995. Aerogamaspektrometrija - primena u geologiji i ekologiji, Geoinstitut, Beograd, st. 191.
- Milojević, M., 1989. Primena metode aerogamaspektrometrijskih ispitivanja pri istraživanju bakra u Timočkom magmatskom kompleksu. XXI oktobarsko savetovanje u Boru, Bor, 13-17.
- Milovanović, D., 1979/80. Proučavanje hidrotermalnih promena u slivu Borske reke. Geol. anali Balk. pol., XLIII-XLIV, Beograd, 511- 529.
- Milovanović, D., Karamat, S., Banješević, M., 2005. Petrology of alkali basalts of Zlot, Timok Magmatic Complex (Eastern Serbia). Tectonophysics, 410/1-4, 501-509.
- Mišković, V., 1989. Geneza ležišta «Novo Okno» i metalogenetska korelacija sa rudoklastima u Borskom reonu – istočna Srbija. Doktorska disertacija, Rudarsko geološki fakultet, Beograd, st. 189.
- Monthel, J., Vadala, P., Leistel, J.M., Cottard, F., Ilić, M., Štrumberger, A., Tošović, R., Stepanović, A., 2002. Mineral deposits and mining districts of Serbia. Compilation map and GIS databases. BRGM/RC-51448-FR, pp. 67.
- Nabighian, M.N., 1972. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation, Geophysics, Vol. 37, No.3, 507-517.
- Nabighian, M.N., 1974. Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section, Geophysics, Vol. 39, No.1, 85-92
- Nabighian, M.N., 1984. Toward the three-dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert transforms: Fundamental relations, Geophysics, Vol. 49, No.6, 780-786.
- Nabighian, M.N., Grauch, V.J.S., Hansen, R.O., LaFehr, T.R., Li, Y., Peirce, J.W., Phillips, J.D., Ruder, M.E., 2005. 75th Anniversary The historical development of the magnetic method in exploration, Geophysics, Vol. 70, No.6, 33ND-61ND.
- Nikolić, P., 1967. Gornja kreda Timočkog rov sinklinorijuma. VIII Kongres KBGA, Geološki pregled Karpato-balkanida istočne Srbije, Beograd, 65-76.
- Nikolić, P., Anđelković, M., 1967. Gornjokredni vulkanizam središnjeg pojasa Karpato-Balkanida. Zbornik radova Rud. metal. fak. i Institut za bakar u Boru, V, Bor, 1-35.
- Nikolić, P., 1968. "Borski konglomerati" - njihov stratigrafski položaj i značaj za proučavanje geologije okoline Bora. Zbornik radova Rud. met. fak. i Inst. za bakar u Boru, VI, Bor, 15-21.
- Nikolić, P., 1968. Stratigrafski položaj i tektonski značaj flišolikih bočatnih sedimenata (cirenških peščara) gornje krede u središnjem pojasu Karpato-balkanida istočne Srbije. Zbornik radova Rud. met. fak. i Inst. za bakar u Boru, VI, Bor, 41-45.
- Nikolić, P., Đorđević, G., 1968. Latiti senonske starosti u Timočkom rov-sinklinorijumu. Zbornik radova Rud. met. fak. i Inst. za bakar u Boru, VII, Bor, 45-51.
- Nikolić, P., Đorđević, G., Gajić, S., Ilić, Z., 1968. Valakonjski timocit i njegov značaj za proučavanje Timočke eruptivne oblasti u Istočnoj Srbiji. Zbornik radova Rud. met. fak. i Inst. za bakar u Boru, VI, Bor, 5-14.
- Nikolić, P., Đorđević, G., 1975. Vreme i uslovi postanka ruda i rudnih tela, njihov mineraloško-hemijski sastav i ekonomska vrednost u ležištima Bor i Krivelj. Monografija "Bor i okolina", II, Bor, st. 97.
- Nikolić, P., 1993: Timočka zona istočne Srbije. Geologija i mineralne sirovine, Monografija, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd. st. 278.

- Obradović, J., Pavlović, N., 1974. Sedimentološke karakteristike "borskih pelita". VIII Geološki jugoslovenski kongres, Bled, 219-231.
- Obradović, J., Pavlović, N., 1975. Borski peliti - sastav, osobine i geneza. *Acta Geologica VIII/11, Prirodoslovna istraživanja*, 41, Zagreb, 37-52.
- Pačevski, A., Götzinger, M., Dimitrijević, R., Cvetković, Lj., 2007. Oscillatory zoning in wolframite from Osanica, near Bor, Serbia. *Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlungen* 184, 151-160.
- Pačevski, A., Libowitzky, E., Živković, P., Dimitrijević, R., Cvetković, LJ., 2008. Copper-bearing pyrite from the Čoka Marin polymetallic deposit, Serbia: Mineral inclusions or true solid-solution? *Canadian Mineralogist* 46, 249-261.
- Pačevski, A., Moritz, R., Kouzmanov, K., Marquardt, K., Živković, P., Cvetković, LJ., 2012. Texture and composition of Pb-bearing pyrite from the Čoka Marin polymetallic deposit, Serbia, controlled by nanoscale inclusions. *Canadian Mineralogist*, 50, 1, 1-20.
- Pecskay, Z., Đorđević, M., Karamata, S., Knežević-Đorđević, V., 1992. Prvi podaci o izotopskoj starosti vulkanskih stena Ridanjskokrepoljinske zone (istočna Srbija). *Zapisi SGD za 1992. god.*, Beograd, 49-55.
- Pejović, D., Pašić, M., 1962. Gornja kreda (unutrašnji i središnji Karpatobalkanski pojas). *Vodič za eskurziju kroz istočnu Srbiju. Sav. geol. dr., V savetovanje geologa FNRJ*, Beograd, 49-56.
- Pejović, D., Krstić, B., Danilova, A., 1971. Cenomanske turonske otloženija v vostočnoj Serbij. *Acta Academiae Scientiarum Hungaricae*, XV, Budapest, 257-263.
- Pejović, D., Krstić, B., Danilova, A., 1972. Rekonstrukcija redosleda mastrihtskih tvorevina u senonskom rovu istočne Srbije između Boljevca i Dimitrovgrada. *Glas SANU, Odeljenje prirodnomatematickih nauka*, 34, Beograd, 85-99.
- Petrović, M., Marković, S., 1975. Rasčlanjenje gornje krede okoline Bora. *Geol. anali Balk. pol.*, 39, Beograd, 13-33.
- Petković, M., Đoković, I., Romić, K., 1984. The significance of Remote Sensing in explanation of the origin of the Bor Copper deposit – Yugoslavia. *XVIII Int. Simp. on Remote Sensing of Envir.*, Paris, 1107-1113.
- Popov, P., Berza, T., Grubić, A., Ioane, D., 2002. Late Cretaceous Apuseni-Banat-Timok-Srednogorie (ABTS) Magmatic and Metallogenic Belt in the Carpathian-Balkan orogen. *Geologica Balcanica*, 32.2-4, Sofia, 145-163.
- Reeves, C., 2005. *Aeromagnetic Surveys. Principles, Practice & Interpretation*, Geosoft, pp. 155.
- Reid, B. A., Allsop, M. J., Granser, H., Millett, J. A., Somerton, W. I., 1990. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution, *Geophysics*, Vol. 55, No.1, 80-91.
- Roset, W., Verhoef, J., Pilkington, M., 1992. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal, *Geophysics*, Vol. 57, No.1, 116-125.
- Rudolf, Lj., 1962/63. Sedimentno-petrografske karakteristike senonske serije na području Jasikovo – Zlot. *Sedimentologija*, 2/3, Budapest, 101-108.
- Salem, A., Williams, S., Fairhead, J.D., Ravat, D., Smith, R., 2007. Tilt-depth method: A simple depth estimation method using first-order magnetic derivatives, *The Leading Edge*, 1502-1505.
- Salem, A., Williams, S., Fairhead, D., Smith, R., Ravat, D., 2008. Interpretation of magnetic data using tilt-angle derivative, *Geophysics*, Vol. 73, No.1, L1-L10.

- Schmid, S. M., Bernoulli, D., Fügenschuh, B., Matenco, L., Schefer, S., Schuster, R., Tischler, M., Ustaszewski, K., 2008. The Alpine-Carpathian-Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. *Swiss Journal of Geosciences*, 101, 139-183.
- Silitoe, R. H., 1993. Epithermal models: genetic types, geometrical controls and shallow features. *Mineral Dep. Modelling. Geol. Assoc. of Canada, Special Paper 40*. 403-417.
- Spasov, T., 1969. O pojavama dubinskih stena i njihovih žičnih ekvivalenata u Majdanpeku. *Zapisi SGD za 1966 god., Beograd*, 513-518.
- Spasov, T., 1969. Novi podaci o istraživanju ležišta Majdanpek. *Zbornik radova Rud. met. fak. i Inst. za bakar u Boru, IX, Bor*, 41- 52.
- Spasov, T., Stefanović, O., Milovanović, S., Miličić, M., 1972. Poznata i nova saznanja o genezi bakrovih ležišta u Timočkoj eruptivnoj oblasti. III savetovanje o istraživanju bakrove mineralizacije na teritoriji SFRJ, Bor, 1-24.
- Starčević, M., Vasiljević, I., 2003. Gravimetrijski premer u Srbiji, Savetovanje: Osnovni geodetski radovi – stanje i perspektiva, Aranđelovac, izdanje na CD-u, Republički geodetski zavod, rad.009.pdf, 1-8.
- Thompson, T. D., 1982. EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data, *Geophysics*, Vol. 47, No.1, 31-37.
- Thurston, B.J., Smith, S.R., 1997. Automatic conversion of magnetic data to depth, dip, and susceptibility contrast using the SPI (TM) method, *Geophysics*, Vol. 62, No.3, 807-813.
- Vakanjac, B., Jelenković, R., 1999. Geološka građa i paragenetski odnosi u porfirskom ležištu bakra Veliki Krivelj. *Vesnik Geozavoda – Geologija*, 49, Beograd, 165-183.
- Vakanjac, B., Koželj, D., Vučković, B., Tomanec, R., 2002. Paragenetical researches of the deposit of Cerova-Drenova-Mali Krivelj system. In: Koželj, D., Jelenković, R., (eds). *International Symposium – Geology and metallogeny of copper and gold deposits in the Bor metallogenic zone – Bor 100 years, Special issue, Bor*, 99-108.
- Veselinović, M., i saradnici 1964. Tumač za list Boljevac, OGK SFRJ 1:100000 Savezni geološki zavod, Beograd, st. 62.
- Veselinović, M., i saradnici 1967. Tumač za list Zaječar, OGK SFRJ 1:100000 Savezni geološki zavod, Beograd, st. 65.
- Verduzco, B., Fairhead, J.D., Green, M.C., MacKenzie, C., 2004. New insights into magnetic derivatives for structural mapping, *The Leading Edge*, 116-119.
- von Quadt, A., Peytcheva, I., Cvetković, V., Banješević, M., Koželj, D., 2002. Geochronology, geochemistry and isotope tracing of the Cretaceous magmatism of East-Serbia as part of the Apuseni-Timok-Srednogorie metallogenic belt. *Geologica Carpathia* 53, 175-177.
- von Quadt, A., Peytcheva, I., Heinrich, C., Frank, M., Cvetković, V., Banješević, M., 2003. Evolution of the Cretaceous magmatism in the Apuseni-Timok-Srednogorie metallogenic belt and implications for the geodynamic reconstructions: new insight from geochronology, geochemistry and isotope studies. In: F. Neubauer, & Hadler, R., (Eds.), *Geodynamics and Ore Deposit Evolution of the Alpine-Balkan-Carpathian-Dinaride Province, GEODE-ABCD Workshop, Seggau (Austria)*, pp. 60.
- von Quadt, A., Peytcheva, I., Heinrich, C., 2007. Upper Cretaceous magmatic evolution and related Cu-Au mineralization in Bulgaria and Serbia. In: C.J., Andrew, (Ed.).

- Nineth Biennial Meeting of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits SGA, Dublin. Dublin: Irish Association for Economic Geology, 861-864.
- Vukašinović, S., 2005. Anomalno magnetsko polje i geološka građa republike Srbije (Anomalous magnetic field and geological setting of the Republic of Serbia), Monografija, Geoinstitut, Beograd, st. 126
- Wijns, C., Perez, C., Kowalczyk, P., 2005. Theta map: Edge detection in magnetic data, Geophysics, Vol. 70, No.4, L39-L43.
- Zarić, P., Jelenković, R., Vakanjac, B., 2000. Geološke karakteristike i paragenetski odnosi u ležištu bakra «Brezanik». Geol. anali Balk. pol., 63, 253-268.
- Zimmerman, A., Stein, H. J., Hannah, J. L., Koželj, D., Bogdanov, K., Berza, T., 2008. Tectonic configuration of the Apuseni-Banat-Timok-Srednogorie belt, Balkans-South Carpathians, constrained by high precision Re/Os molybdenite ages, Mineralium Deposita 43,.1-21.
- Žujović, J., 1900. Geologija Srbije II – Eruptivne stene. SKA, Beograd
- <http://www.northernminer.com/news/reservoir-freeport-hit-high-grade-copper-at-timok/1001679498/>

Biografija

Snežana Ignjatović je rođena 12. 09. 1979. godine u Raški. Osnovnu školu je završila u Baljevcu na Ibru i Boru. Završila je osnovnu muzičku školu „Miodrag Vasiljević” u Boru, odske flauta. Gimnaziju „ Bora Stanković“ je završila u Boru.

Univerzitet u Beogradu, Rudarsko – geološki fakultet upisala je 2000. godine, kao student Smera za geofiziku na Geološkom odseku. Osnovne studije završila je sa prosečnom ocenom 8.75. Diplomirala je 11.09.2006. godine sa ocenom 10 na diplomskom ispitu i time stekla zvanje Diplomirani inženjer geologije za geofiziku.

Tokom leta 2007. godine učestvovala je u organizaciji i radu međunarodne letnje škole „The First Summer School in Astronomy and Geophysics” u Beogradu, koja je realizovana kao zajednički projekat Matematičkog fakulteta i Rudarsko – geološki fakultet Univerziteta u Beogradu. Kao asistent u letnjoj školi, pokatala je da poseduje talenat za organizaciju i sposobnost za rad u timu. Pored učešća u organizaciji međunarodnu letnju školu je završila i kao polaznik.

Od 2007. godine pomaže u održavanju vežbi iz većeg broja predmeta na Departmanu za geofiziku Rudarsko – geološkog fakulteta. Više puta je učestvovala u organizaciji terenske nastave. Na osnovu Ugovorom o delu sa Rudarsko - geološkim fakultetom, u periodu od 22.05. 2008 do 14. 06. 2008. godine, učestvovala je u realizaciji terenskih merenja na lokalitetu Viminacijum i pružala pomoć studentima pri obradi terenskih podataka i izradi elaborata.

U periodu od 2009 do 2011. godine učestvovala je u realizaciji programa geofizike u okviru Seminara geologije u Istraživačkoj stanici Petnica.

U juna 2012. godine izabrana je u zvanje Istraživač-saradnik.

Od 10. 11. 2008. godine do 09. 07. 2009. godine bila je zaposlena, kao asistent na Višoj školi za ekološki inžinjering u Beogradu, a od 10. 07. 2009. godine do 30. 09. 2009. godine je bila zaposlena, kao asistent na Fakultetu za zaštitu životne sredine u Beogradu.

Od 1. 10. 2011. godine zaposlena je na određeno vreme na Univerzitetu u Beogradu-Rudarsko – geološki fakultet, kao Istraživač-saradnik na Katedri za površinsku eksploataciju ležišta mineralnih sirovina. Zaposlena je na projektu „Višenamenski autonomni sistem za daljinsko praćenje parametara stanja u rudnicima i okruženju” Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije iz Programa istraživanja u oblasti tehnološkog razvoja. Osim ovog projekta angažovana je i na projektu „Magmatizam i geodinamika Balkanskog poluostrva od mezozoika do danas: značaj za obrazovanje metaličnih mineralnih sirovina” Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije iz Programa osnovna istraživanja.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани: Снежана Игњатовић

број досијеа: Г 802/2007

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Геолошко-геофизички модел дела Тимочког магматског комплекса

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанта

У Београду, 10.3.2014.

S. Ignjatovic

Прилог 2.

**Изјава о истоветности штампане и електронске верзије
докторског рада**

Име и презиме аутора: Снежана Игњатовић

Број досијеа: Г 802/2007

Студијски програм: геофизика

Наслов рада: Геолошко-геофизички модел дела Тимочког магматског комплекса

Ментор: проф.др Владица Цветковић

Потписани:

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанта

У Београду, 10.3.2014.

S. Ignjatovic

Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Геолошко-геофизички модел дела Тимочког магматског комплекса

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

У Београду, 10.3.2014.

Потпис докторанта

S. Ignjatovic