

# Одређивање гравиметријских аномалија при промени референтног координатног система

Deana Brkić



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Одређивање гравиметријских аномалија при промени референтног координатног система | Deana Brkić | | 2022 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0006597>

**Univerzitet u Beogradu**  
**Rudarsko – geološki fakultet**



**ZAVRŠNI RAD**

**Osnovne studije**

**Određivanje gravimetrijskih anomalija pri promeni referentnog  
koordinatnog sistema**

**Kandidat**

**Deana Brkić G2/18**

**Mentor**

**prof. dr Ivana Vasiljević**

**Beograd, septembar, 2022.**

Komisija:

1.dr Ivana Vasiljević, vanredni profesor, mentor

---

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

2. dr Snežana Ignjatović, vandredni profesor

---

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

3. dr Vesna Cvetkov, redovni profesor

---

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

**Datum odbrane:** \_\_\_\_\_

## **REZIME**

Na osnovu podataka dobijenih iz Baze podataka bivše SFRJ Jugoslavije, sa ciljem istraživanja anomalija gravitacionog ubrzanja, izrađene su karte Bugeovih, savremenih i izostatičkih anomalija. Detaljno je objašnjen proces transformacije podataka iz Gaus-Krigerovog u Univerzalni poprečni Merkatorov (UTM) koordinatni sistem, kao i transformacija gravimetrijskog datuma iz Potsdamskog u IGSN71 sistem. Karte Bugeovih i savremenih anomalija su urađene za oba koordinatna sistema. Karta izostatičkih anomalija je urađena za UTM sistem.

**Ključne reči:** *Bugeova anomalija, gravitaciono ubrzanje Zemlje, Gaus-Krigerov sistem, UTM sistem, izostazija.*

## **SADRŽAJ**

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. GRAVITACIONO UBRZANJE ZEMLJE .....</b>	<b>2</b>
<b>3. KOORDINATNI REFERENTNI SISTEMI .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1. Referentne površi Zemlje .....</b>	<b>4</b>
<b>3.2. Kartografske projekcije.....</b>	<b>6</b>
<b>4. GEOGRAFSKI POLOŽAJ ISTRAŽNOG PODRUČJA .....</b>	<b>8</b>
<b>5. GEOLOŠKA GRAĐA ISTRAŽNOG PODRUČJA.....</b>	<b>10</b>
<b>6. OBRADA GRAVIMETRIJSKIH PODATAKA .....</b>	<b>14</b>
<b>6.1. Revizija podataka .....</b>	<b>14</b>
<b>6.2. Transformacija koordinatnih sistema i datuma .....</b>	<b>16</b>
<b>6.3. Bugeove i savremene anomalije gravitacionog ubrzanja .....</b>	<b>22</b>
<b>6.4. Izostatičke anomalije.....</b>	<b>34</b>
<b>7. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>39</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>40</b>

## 1. UVOD

Gravimetrijske anomalije zavise od nekoliko parametra: geografske širine, visine merene tačke, gustine stenske mase, merene vrednosti gravitacionog ubrzanja i normalne vrednosti gravitacionog ubrzanja. Pri promeni ovih parametra, promeniće se vrednost gravimetrijske anomalije. U ovom radu objašnjeno je koliko će se razlikovati gravimetrijske anomalije računate za dva referentna koordinatna sistema, a za istražno područje odabrani su Dinaridi zbog velikog opsega visina i relativno jednostavne geološke građe (raspodele gustine stena).

Obrada gravimetrijskih podataka se sastojala iz nekoliko koraka: revizije podataka, transformacije koordinatnih sistema i datuma, računanja Bugeovih i savremenih anomalija i računanja izostatičkih anomalija. Posebna pažnja je posvećena transformaciji koordinatnih referentnih sistema i datuma (horizontalni i vertikalni). Detaljno je objašnjena transformacija koordinata i visina iz Gaus-Krugerovog u Univerzalni transferzalni Merkatorov (UTM) sistem. Pored transformacije koordinatnih sistema, neophodno je izvršiti promenu gravimetrijskog datuma u skladu sa prelaskom u novi koordinatni sistem, iz starog Potsdamskog sistema u međunarodnu gravimetrijsku mrežu IGSN71.

Bugeove i savremene anomalije su računate za dobijanje realne slike raspodele gustina unutar Zemlje na Dinaridima. Dobijene negativne vrednosti anomalija su delom posledica male gustine stenskih masa. Računanjem izostatičkih anomalija, otklanja se ovaj uticaj. Vrednost Bugeovih, savremenih i izostatičkih anomalija, zavisi od razlike merene i normalne vrednosti gravitacionog ubrzanja, kao i od gravimetrijskih popravki koje se koriste. Bugeove i savremene anomalije su računate za Gaus-Krugerov i UTM sistem, a prikazana je i njihova razlika. Izostatičke anomalije su računate samo za UTM sistem.

## 2. GRAVITACIONO UBRZANJE ZEMLJE

Gravitaciono polje Zemlje je određeno silom gravitacionog privlačenja Zemlje, centrifugalnom silom i silom gravitacionog privlačenja drugih nebeskih tela. Zemljina teža je rezultanta navedenih sila. Da bi se objasnio pojam gravitacionog ubrzanja, potrebno je objasniti oblik Zemlje.

Geoid je hipotetička površ, koja se u okeanima poklapa sa srednjim nivoom vode (pod pretpostavkom da nema talasa vetra, talasa cunamija, vodenih struja i plimskih talasa), a prostire se ispod kontinenata, tako da, u svakoj njenoj tački, vektor Zemljine teže ima pravac normale na geoid. Zemlja bi imala oblik geoida, ako bi cela njena površ bila pokrivena mirnom vodom (Vasiljević i Ignjatović, 2019).

Oblik Zemlje je određen Zemljinom težom, čija je osnovna komponenta sila privlačenja, pošto je intenzitet centrifugalne sile mali. Centrifugalno ubrzanje predstavlja samo oko 0.35% gravitacionog ubrzanja na ekvatoru. Pri kretanju od ekvatora ka polovima, intenzitet centrifugalne sile se smanjuje i na polovima je njena vrednost jednaka nuli. Promena intenziteta centrifugalne sile dovodi do toga da je gravitaciono ubrzanje na ekvatoru za oko 0.034 m/s<sup>2</sup> manje nego na polovima (Vasiljević i Ignjatović, 2019).

Spljoštenost Zemlje ( $\alpha$ ) predstavlja odnos razlike radijusa Zemlje na ekvatoru i na polovima, prema radijusu Zemlje na ekvatoru:

$$\alpha = \frac{a - b}{a} \quad (2.1)$$

gde je

a – radijus Zemlje na ekvatoru,

b – radijus Zemlje na polovima.

Zbog spljoštenosti Zemlje, intenzitet sile privlačenja veći je na polovima, nego na ekvatoru. Ukupna promena gravitacionog ubrzanja (g) na površi Zemlje iznosi približno 0.052 m/s<sup>2</sup>, od  $g_e \approx 9.780$  m/s<sup>2</sup> (na ekvatoru) do  $g_p \approx 9.832$  m/s<sup>2</sup> (na polovima). Vrednost promene gravitacionog ubrzanja pokazuje da, iako

centrifugalno ubrzanje predstavlja mali deo gravitacionog ubrzanja, ono znatno utiče na promenu gravitacionog ubrzanja, pri kretanju od ekvatora ka polovima (Vasiljević i Ignjatović, 2019).

Normalna raspodela gravitacionog ubrzanja je model raspodele gravitacionog ubrzanja na površi „idealizovane Zemlje“. Ako se Zemlja aproksimira homogenim telom pravilnog oblika, koje ima istu masu kao Zemlja i rotira istom brzinom, može da se dobije analitički izraz za raspodelu gravitacionog ubrzanja na površi tog tela. Ovako dobijen izraz predstavlja normalnu raspodelu gravitacionog ubrzanja. Telo pravilnog oblika može da bude elipsoid. Odnos razlike gravitacionog ubrzanja na polovima i na ekvatoru, prema gravitacionom ubrzanju na ekvatoru, naziva se „gravimetrijska spljoštenost“ (Vasiljević i Ignjatović, 2019):

$$\beta = \frac{g_p - g_e}{g_e} \approx \frac{1}{189} \quad (2.2)$$

gde je

$\beta$  – koeficijent gravimetrijske spljoštenosti,

$g_p$  – gravitaciono ubrzanje na polovima,

$g_e$  – gravitaciono ubrzanje na ekvatoru.



### **3. KOORDINATNI REFERENTNI SISTEMI**

Koordinatni sistemi predstavljaju poseban deo matematike, posebno algebre i trigonometrije, i mogu se naći u različitim formatima (Galati, 2006).

Geografski koordinatni sistem je trodimenzionalna poziciona referenca koja koristi geografsku širinu i dužinu i elipsoidnu visinu. Ovaj referentni sistem je među najčešće korišćenim danas za globalne lokacije i povezan je sa geodetskim podacima (Galati, 2006). Geografski koordinatni referentni sistem je geometrijski model u kome je definisan:

1. model oblika Zemlje,
2. početni meridijan (najčešće Grinički meridijan, što se podrazumeva i često izostavlja iz definicije),
3. geodetski datum (horizontalni i vertikalni).

Koordinatni referentni sistem u projekciji je sistem čije su koordinate date kao pravougaone koordinate u ravni karte. Formule koje se koriste da se krivolinijske koordinate sa sfere ili elipsoida (geodetske koordinate) transformišu u ravan karte predstavljaju kartografske projekcije (Kilibarda i Protić, 2018). Koordinatni referentni sistem u projekciji je geometrijski model u kome je definisana:

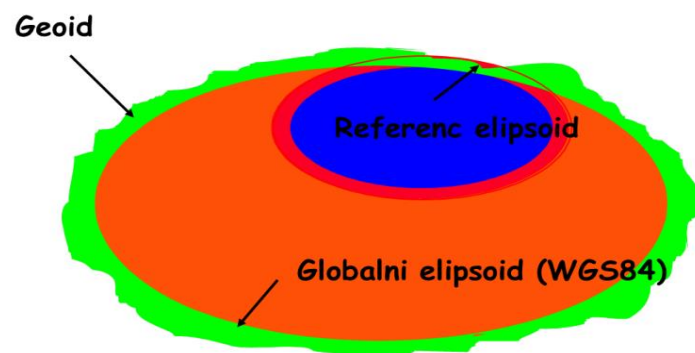
1. projekcija,
2. model oblika Zemlje,
3. početni meridijan ,
4. datum.

#### **3.1. Referentne površi Zemlje**

Mora i okeani čine više od 70% Zemljine površine. Povezivanjem svih mirnih voda dobila bi se površ koja predstavlja referentni nivo, a površ formirana na takav način naziva se geoid. Geoid je ekvipotencijalna površ, koja se najbolje poklapa sa površi mirne vode u okeanima. Zbog različite gustine i nepravilne raspodele mase u unutrašnjosti Zemlje, geoid je neznatno talasast sa promenama visine (undulacijama geoida) do 200 metara. Dimenzije rotacionog elipsoida su određene

tako da je njegov oblik najpribližniji obliku geoida, odnosno da je zbir zapremina egzaltacija i depresija minimalan. Države usvajaju odgovarajuće dimenzije rotacionog elipsoida, lokalne geodetske podatke, kako bi se dobila što bolja aproksimacija na teritoriji (Ganić i dr., 2014).

Da bi se znala tačna lokacija neke tačke u prostoru, pored koordinata te tačke na elipsoidu, potrebno je poznavati i druge parametre sistema, a to su oblik elipsoida i geodetski datum. Geodetski datum je set konstanti koje definišu položaj elipsoida u odnosu na Zemlju i on može biti horizontalni i vertikalni (Kilibarda i Protić, 2018). Horizontalni datum čini obrtni elipsoid koji aproksimira Zemljin oblik i skup konstanti i uslova koje određuju njegovu veličinu, položaj i orijentaciju. Vertikalni datum se definiše kao referentna površ na koju se odnosi usvojeni sistem visina (Vušović i dr., 2012). Datum može biti definisan na dva načina, kao topocentrični datum i geocentrični datum. Slika 3.1.1 pokazuje odnos referenc elipsoida i globalnog elipsoida. Globalni geocentrični elipsoid je takav da najbolje aproksimira celokupnu površ Zemlje, odnosno geoida (Kilibarda i Protić, 2018).



Slika 3.1.1. Odnos geoida, referenc i globalnog elipsoida  
(Kilibarda i dr., 2018)

Zemlje bivše SFR Jugoslavije su 1924. godine usvojile Beselov elipsoid (kao referenc elipsoid), koji ima datum Hermanskogel, definisan Gaus-Krigerovom kartografskom projekcijom. Položaj tačaka je definisan Dekartovim koordinatama  $x$  i  $y$ , kao i nadmorskom visinom  $h$  (ortometrijskom visinom – visinom nad geoidom), (Ganić i dr., 2014).

Referentni elipsoid za Globalno pozicioniranje (GPS) je globalni, geocentrični World Geodetic System 1984 (WGS84) elipsoid, koji ima datum WGS84, a definisan je Univerzalnom transferzalnom Merkatorovom kartografskom projekcijom (UTM). Položaj tačaka na elipsoidu je definisan geografskom dužinom  $\lambda$  i širinom  $\varphi$ , kao i elipsoidnom visinom  $h$  (Ganić i dr., 2014).

### 3.2. Kartografske projekcije

Kartografske projekcije predstavljaju matematičku transformaciju koordinata referentnog sistema u ravanske koordinate. Prema izboru površi za projektovanje, projekcije se dele na:

1. perspektivne – Zemlja se preslikava na ravan centralnim projektovanjem iz tačke koja leži na normali tangencijalne ravni,
2. konusne – centralna projekcija sa centrom projekcije u centru Zemljine lopte,
3. cilindrične projekcije – centralne projekcije gde se centar projekcije poklapa sa centrom Zemlje, a projektovanje vrši na cilindar.

Prema položaju dodirne projekcione površi, projekcije mogu biti: normalne, poprečne i kose (Galati, 2006).

Merkatorova projekcija je cilindrična konformna projekcija, koju je uveo flamanski kartograf Gerhard Merkator. Konformnost projekcije je postignuta na taj način što su rastojanja između paralela izjednačena sa njihovim izduženjem na toj geografskoj širini. Polove u ovoj projekciji nije moguće prikazati, jer su izduženja u tački pola beskonačna. U ovoj projekciji javljaju se velike deformacije dužina i površina (Galati, 2006).

Univerzalna transferzalna Merkatorova (UTM) projekcija je projekcija čiji koordinarni sistem deli Zemlju na 60 zona. Početni meridijan prve zone iznosi  $180^\circ$  geografske širine, širina zone je  $6^\circ$ , a svaka zona se proteže od  $84^\circ$  severne geografske širine do  $80^\circ$  južne geografske širine. Van navedene površi, posebno su izdvojene dve polarne zone. Svaka zona se projektuje na cilindar koji je orijentisan kao kod Merkatorove transferzalne projekcije. Koordinate tačaka sa referentnog elipsoida u odgovarajućoj zoni projektuju se na UTM mrežu. Presek centralnog meridijana zone

i ekvatora definiše koordinatni početak pravouglom koordinatnog sistema. U ravni ekvatora se nalazi X – osa, a Y – osa se poklapa sa centralnim meridijanom zone (Galati, 2006).

Gaus-Krigerova projekcija je poprečna, cilindrična, konformna projekcija elipsoida na eliptične cilindre. Gaus je prvi, pri proračunima, zamenio geoid elipsoidom, a Kriger je dao osnovne jednačine za prelaz sa elipsoida na ravan. Kod ove projekcije je cilindar, na kojem se vrši projekcija, postavljen tako da tangira Zemljin elipsoid po jednom izabranom meridijanu. Udaljavanjem od središnjeg meridijana prema istoku ili zapadu, deformacija je sve veća pa se ovakva projekcija koristi samo za relativno uska područja uz zadanu zonu. Ovom projekcijom, Zemlja je izdeljena na zone širine  $3^\circ$  geografske širine. Ose ovog koordinatnog sistema postavljene su tako da je x – osa paralelna sa dodirnim meridijanom (centralni meridijan zone), a y – osa je paralelna ekvatoru (Galati, 2006). U tabeli 3.2.1, prikazani su parametri UTM i Gaus-Krigerove projekcije.

Tabela 3.2.1. Parametri UTM i Gaus-Krigerove projekcije

projekcija	širina zone [°]	$x_0$ [m]	$y_0$ [m]	razmera duž srednjeg meridijana
UTM	$6^\circ$	0	500.000	0.9996
Gaus – Kriger	$3^\circ$	0	500.000	0.9999

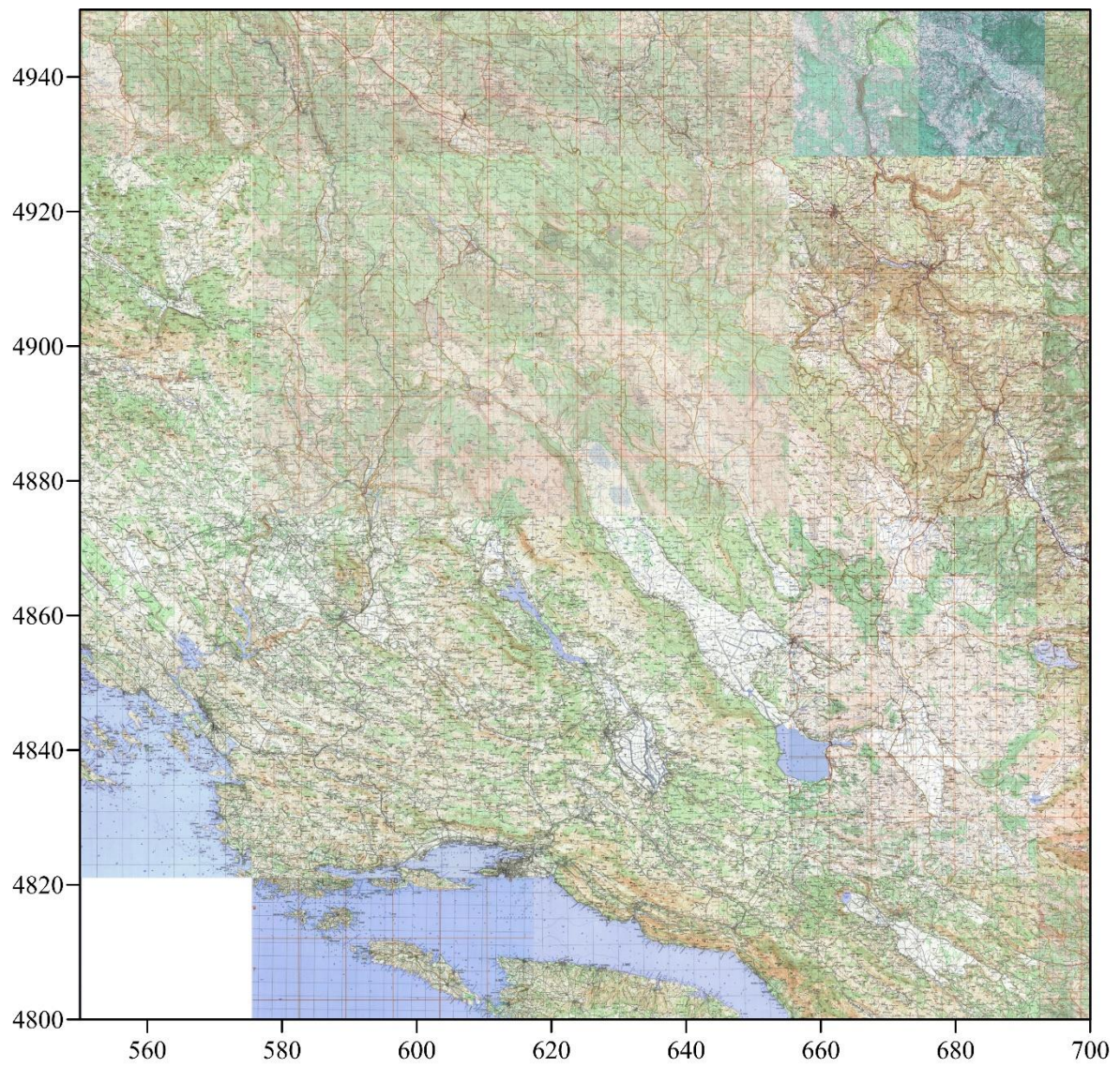
## 4. GEOGRAFSKI POLOŽAJ ISTRAŽNOG PODRUČJA

Istražni prostor se nalazi delom na teritoriji Republike Hrvatske, a delom na teritoriji Bosne i Hercegovine. U jugozapadnom delu prostire se kroz Hrvatsku, prateći Jadransku obalu, dok u severoistočnom delu obuhvata zapadne delove Bosne i Hercegovine. Bihać, Mostar, Banja Luka, Split, Šibenik i Gospić su samo neki od gradova gde su vršena gravimetrijska merenja.

Dinaridi su planinski masiv koji se prostire od južnih vrhova istočnih Alpa u Sloveniji i Italiji, preko zapadne strane Balkanskog poluostrva, do najzapadnijih delova Rodopa. Na severozapadu se spajaju sa Julskim Alpima, a na jugoistoku sa Šarsko-pindski planinskim sistemom. Masiv se sastoji od više od 200 planina koje se prostiru kroz šest država: Srbiju, Crnu Goru, Sloveniju, Hrvatsku, Bosnu i Hercegovinu i Albaniju.

Reljef se odlikuje kraškim planinama koje se sastoje od visokih kraških planinskih visoravni isklesanih rečnim kanjonima i vrhova koji se izdižu iz visoravni. Dinarski karst pokriva veći deo područja, sa mnogobrojnim kraškim poljima i speleološkim objektima. Na visokim kraškim visoravnima nalaze se regioni ogromnih šumskih prostranstva. Reč je o zelenom ili pokrivenom karstu (zato što se kraški procesi odvijaju ispod sloja humusa i vegetacije), (<https://www.dinarskogorje.com/>). Područje je takođe, bogato mnogobrojnim rekama i izvorima. Neke od najvećih reka su Vrbas i Neretva, koje teku kroz duboke kanjone.

Na slici 4.1 prikazana je topografska karta istražnog područja, gde su vršena gravimetrijska merenja. Koordinate topografske karte su X [550 – 700] km i Y [4800 – 4950] km u UTM sistemu (zona 33T).



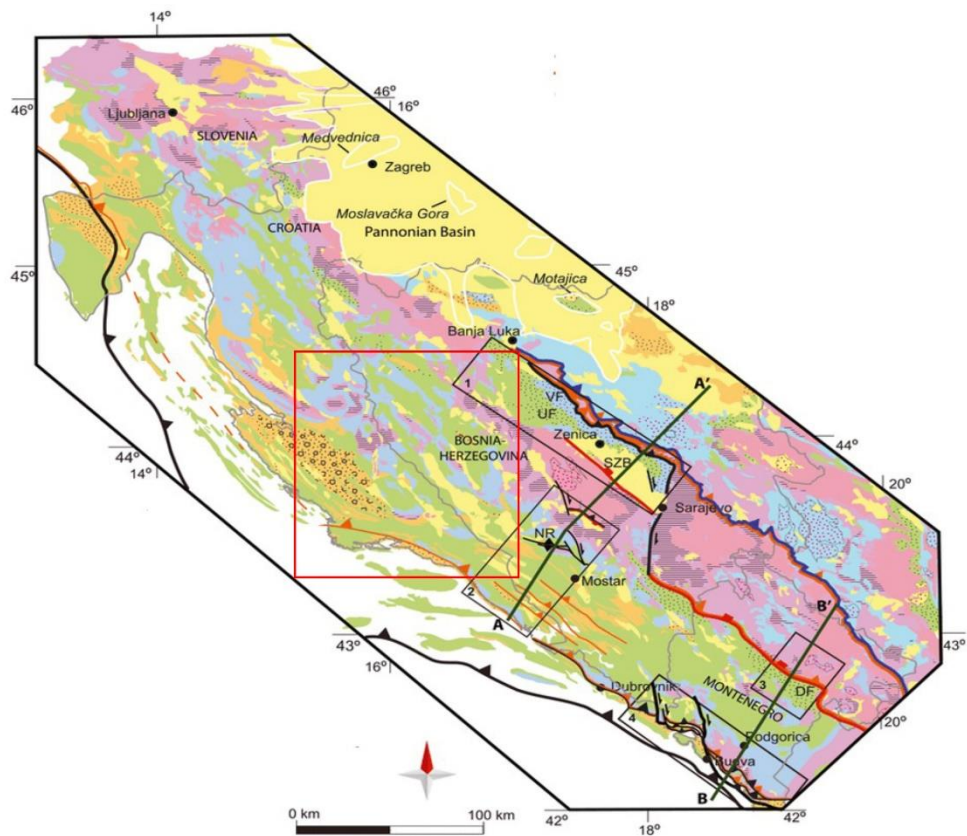
Slika 4.1. Topografska karta istražnog područja  
(<https://www.topografskakarta.com/>)

## 5. GEOLOŠKA GRAĐA ISTRAŽNOG PODRUČJA

Dinaridske planine su proizvod alpske orogenze. Sastoje se od jako tektonizovanih sedimenata velike gustine sa stratigrafskim rasponom od karbona do kvartara. Prema Matošu (Matoš i dr., 2017), orogeni sistem Dinarida mogao bi se podeliti na dve glavne *tektonostratigrafske* jedinice:

- 1) Spoljašnji Dinaridi – sastoje se od karbonata, koji su u širem smislu deponovani na Jadranskoj karbonatnoj platformi u karbonu, kasnom permu i trijasu, a u užem smislu dominatno od karbonata koji su formirani tokom jure i krede preko karbonatne sukcesije u relativnom stabilnom plitkom morskom okruženju. Pored plitkovodnih sedimenata u Spoljašnjim Dinaridima se podređeno javljaju izlomljeni dubokovodni sedimenti koji su taloženi u uskim dubokovodnim koritima (Matoš i dr., 2017).
- 2) Unutrašnji Dinaridi – izgrađeni su od karbonata pasivne kontinentalne margine – klastična serija, ultramafičnih stena i dubokovodnih sedimenata ofiolitskog kompleksa, jedinica ofiolitskog melanža, flišnih sedimenata, magmatskih i metamorfnih stena (Matoš i dr., 2017). Najzastupljeniji su dubokovodni sedimenti koji su sukcesivno deponovani na pasivnoj margini Jadranske mikroploče (Schmid i dr., 2008, sa referencama).

Tektonska i sedimentna evolucija Spoljašnjih Dinarida genetski je povezana sa Jadranskom karbonatnom platformom, formiranom na Jadranskoj mikroploči. Ova platforma predstavlja jednu od najvećih mezozojskih karbonatnih platformi, sa širinom 80-200 km i dužinom od skoro 700 km. Početak formiranja Jadranske karbonatne platforme vezuje se za kontinentalno riftovanje tokom srednjetrijskog vulkanizma. Usled formiranja dubokih normalnih raseda razbijena je Jadranska mikroploča i što je omogućio formiranje izolovanih karbonata Južne Tetijanske megaplatforne sa prostorom buduće Jadranske karbonatne platforme. Južna Tetijanska megaplatforma je tokom srednje i kasne jure bila podeljena na nekoliko karbonatnih platformi, izolovanih dubokim morskim područjima – Jadranski, Jonski, Panonski basen i dr (Matoš i dr., 2017). Na slici 5.1 prikazana je geološka karta šireg istražnog područja, a crvenim kvadratom je označeno istražno područje.

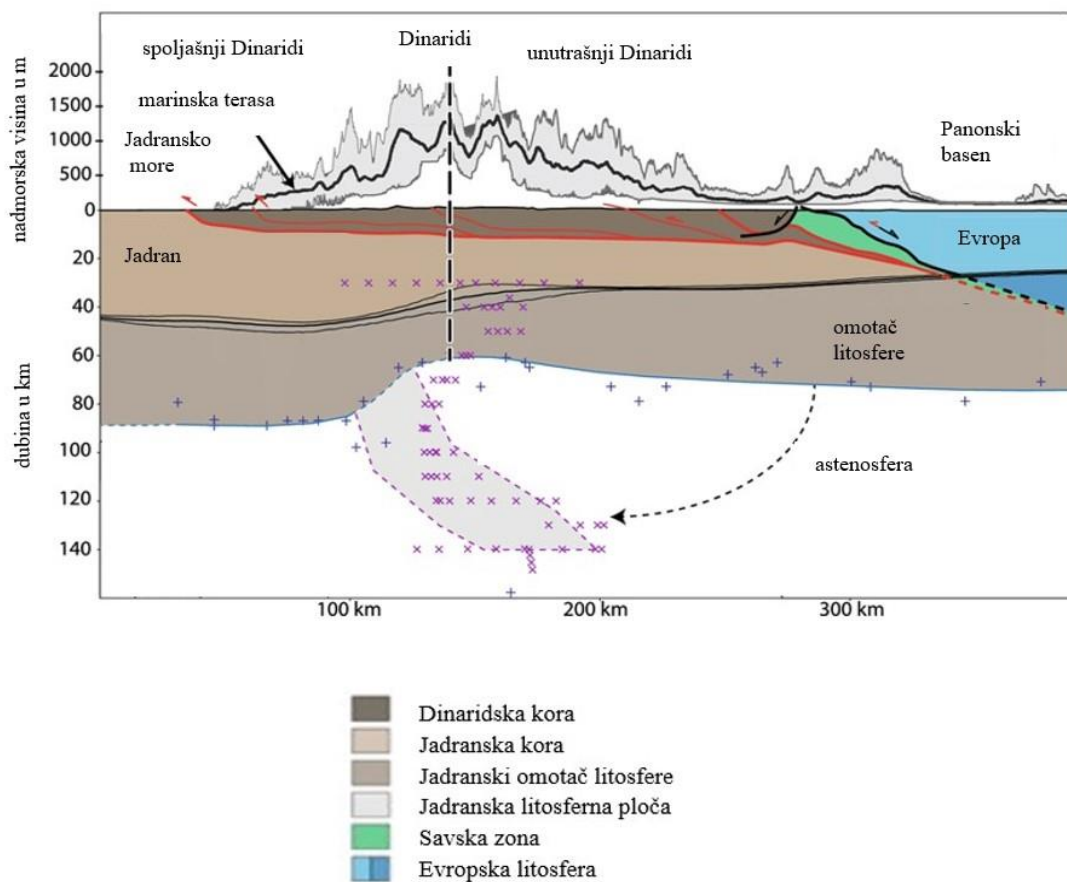


- Neogen
- Paleogen
- Eocenski – oligocenski molas
- Eocenski fliš
- Kredni Ugar – Durmitor fliš
- Kredni karbonati
- Jurski Vranduk fliš
- Jurski karbonati
- J<sub>3</sub>-K<sub>1</sub> zapadni Vardarski ofiolitski melanz
- J<sub>3</sub>-K<sub>1</sub> zapadni Vardarski ofioliti
- T<sub>2</sub><sup>2</sup>-T<sub>3</sub> post – riftni plitkovodni karbonati
- T<sub>2</sub>-T<sub>3</sub> vulkanske stene
- T<sub>2</sub><sup>1</sup> turbidit
- T<sub>1</sub>-T<sub>2</sub><sup>1</sup> pre – riftni karbonati
- Paleozoik

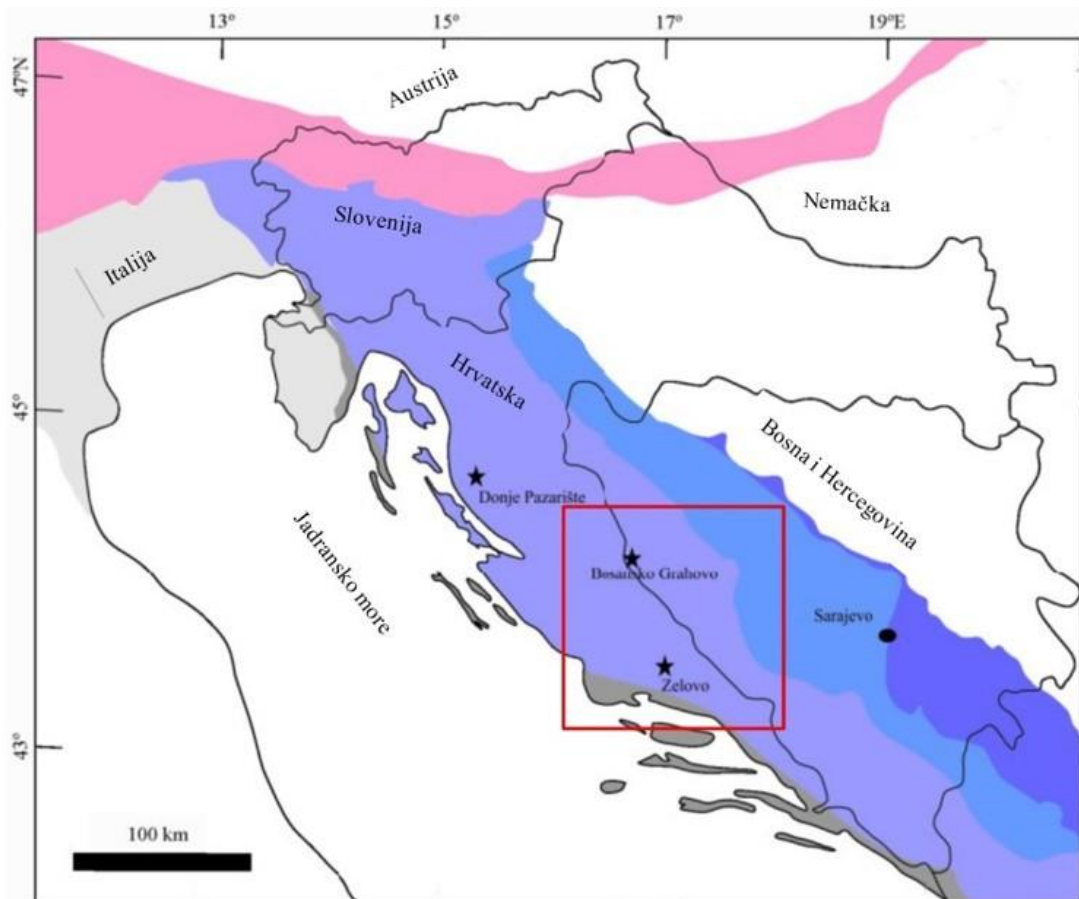
Slika 5.1. Geološka karta šireg istražnog područja sa legendom (Nader i dr., 2019) i položajem istražnog područja (crveni kvadrat)



Geološki gledano, ovaj planinski masiv predstavlja orogen formiran tokom procesa Alpske orogeneze. Dinarski orogen zapravo predstavlja deformisanu marginu kontinentalne Jadranske mikroploče, preko koje su obdukovani delovi okeanske kore okeana Neotetisa. Kontinentalni delovi (koji su u tektonskoj nižoj poziciji) i obdukovani delovi okeanske kore (originalno u tektonskoj višoj poziciji usled procesa obdukcije) su, u periodu od gornje krede do danas, zajedno deformisani tokom nekoliko tektonskih faza. Kredna do donjomiocenska tektonika u području Dinarida bila je vezana za faze kompresije, koje su bile uslovljene konvergencijom Jadranske mikroploče i evropskog kontinenta, a manifestovana je nabiranjem u nekoliko faza, kao i aktivacijom velikih navlaka i reversnih raseda (Schmid i dr., 2008). Na slici 5.2 prikazan je poprečni presek Alpske orogeneze Dinarida, a na slici 5.3 prikazana je modifikovana geotektonska karta Dinarida sa istražnim područjem označenim crvenim kvadratom.



Slika 5.2. Poprečni presek Alpske orogeneze Dinarida sa legendom (Balling i dr., 2021)



5.3. Modifikovana geotektonska karta sa legendom (Smirčić i dr., 2018) i položajem istražnog područja

## 6. OBRADA GRAVIMETRIJSKIH PODATAKA

Gravimetrijska istraživanja sastoje se iz tri osnovne faze: gravimetrijskih merenja, obrade podataka i interpretacije podataka. Obrada i analiza podataka gravimetrijskih merenja sastoje se iz niza postupaka, koji imaju za cilj da omoguće uspešnu interpretaciju rezultata istraživanja. Završna faza gravimetrijskih istraživanja je interpretacija gravimetrijskih podataka. Cilj interpretacije je da se izdvoje uzročnici gravimetrijskih anomalija (Vasiljević i Ignjatović, 2019).

Podaci gravimetrijskih merenja, koji su obrađeni u radu, deo su Baze gravimetrijskih podataka bivše SFR Jugoslavije. Za svaku gravimetrijsku tačku, Baza sadrži sledeće podatke: oznaku (broj) tačke, koordinate (u Gaus-Kriggerovom koordinatnom sistemu), nadmorsku visinu, merenu vrednost gravitacionog ubrzanja, vrednost popravke za uticaj reljefa (računatu za gustinu od  $2 \text{ g/cm}^3$ ) i normalnu vrednost gravitacionog ubrzanja (računatu po formuli Kasinisa). Obrada gravimetrijskih podataka odvijala se kroz nekoliko koraka:

1. revizija podataka,
2. transformacija koordinatnih sistema i datuma,
3. računanje Bugeovih i savemenih anomalija,
4. računanje izostatičkih anomalija.

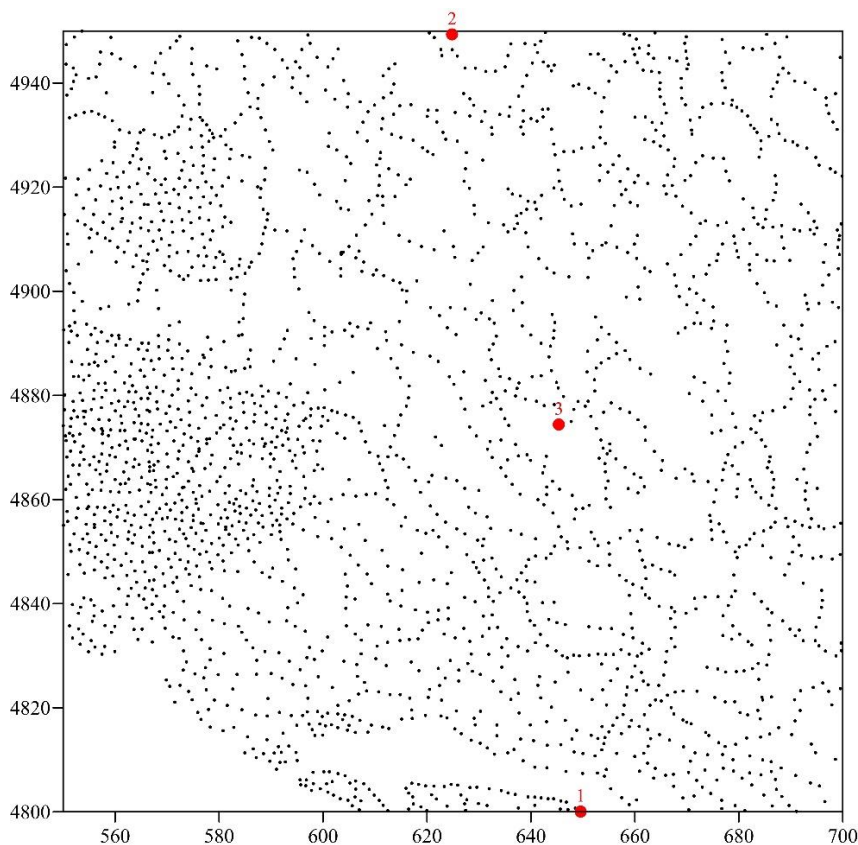
Sve karte u ovom poglavlju su urađene u programu Surfer, programskog paketa Golden Software. Odabrana mreža interpolacije karata je  $4 \times 4 \text{ km}$ , a razmera  $1 : 1\,500\,000$ , osim na karti 6.4.2. Ekvidistanca karata iznosi  $5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ , osim na kartama 6.2.1, 6.2.2, 6.2.3, 6.2.4., 6.3.3, 6.3.6 i 6.4.2. Sve karte su, radi lakšeg poređenja, prikazane u UTM koordinatama.

### 6.1. Revizija podataka

Prvi korak u obradi podataka je revizija. Cilj ovog koraka je da se utvrdi da li postoje visokofrekventne smetnje, odnosno da li postoje podaci čije vrednosti značajno odstupaju od vrednosti okolnih podataka. Pošto su ovo podaci iz baze, moglo je da dođe do greške pri unosu podataka. Neke od grešaka u unosu podataka o koordinatama, visini

ili merenoj vrednosti gravitacionog ubrzanja se lako uočavaju i mogu da se isprave, a nekada je neophodno da se tačka ukloni iz podataka. Tokom ovog koraka utvrđeno je da ne treba ukloniti ni jedan podatak.

Na slici 6.1.1 prikazan je raspored tačaka na kojima su vršena gravimetrijska merenja. Crvenom bojom su obeležene tri tačke, koje su korišćene kao primer za različite proračune prikazane u tabelama u poglavlju 6. Dimenzije istražnog područja iznose 150x150 km, a površina iznosi 22500 km<sup>2</sup>. U okviru istražnog područja, koje je ograničeno koordinatama X [550 – 700] km i Y [4800 – 4950] km u UTM sistemu (zona 33T), gravimetrijsko merenje je izvršeno na 2649 tačaka. Raspored tačaka nije ravnomeran, a gustina tačaka iznosi oko 0.12 tačaka po 1 km<sup>2</sup> (1 tačka na 8.49 km<sup>2</sup>). Sva merenja su vršena na kopnu, ne postoje podaci merenja na površi Jadranskog mora, u jugozapadnom delu karte.



Slika 6.1.1. Raspored gravimetrijskih merenih tačaka na istražnom području

## 6.2. Transformacija koordinatnih sistema i datuma

Prvobitne koordinate merenih tačaka date su u Gaus-Kriggerovom koordinatnom sistemu. Kao što je prethodno objašnjeno u poglavlju 4, države bivše SFR Jugoslavije usvojile su Beselov elipsoid, a za kartografsku projekciju elipsoida je usvojena Gaus-Kriggerova trostepena projekcija. Koriste se nadmorske ili ortometrijske visine (H), koje odgovaraju sistemu visina na topografskim kartama.

Koordinate i visine su transformisane na globalni elipsoid WGS84, koji se sve češće koristi. Ovaj elipsoid za kartografsku projekciju koristi UTM projekciju. Pošto je WGS84 geodetski koordinatni sistem, koristi geodetsku širinu i dužinu ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ) i elipsoidnu visinu (h).

Ovakva transformacija zahteva tri referentne površi, rotacije i menjanja skale. Izvodi se kroz nekoliko koraka (Ganić i dr., 2014):

1. Transformisanje pravouglih Gaus-Kriggerovih (GK) koordinata u koordinate Beselevog elipsoida (BE)  $x_{GK}, y_{GK}, H \rightarrow \varphi_{BE}, \lambda_{BE}, H$ ,
2. Transformisanje Beselovih elipsoidnih koordinata u pravouglo koordinata  $\varphi_{BE}, \lambda_{BE}, H \rightarrow x_{BE}, y_{BE}, z_{BE}$ ,
3. Transformisanje datuma, pravouglo koordinata prelaze iz Beselovog elipsoida u WGS84 datum  $x_{BE}, y_{BE}, z_{BE} \rightarrow x_{WGS84}, y_{WGS84}, z_{WGS84}$ ,
4. Transformisanje pravouglih WGS84 koordinata u elipsoidne koordinate  $x_{WGS84}, y_{WGS84}, z_{WGS84} \rightarrow \varphi_{WGS84}, \lambda_{WGS84}, h_{WGS84}$ ,
5. Transformisanje elipsoidnih koordinata WGS84 geocentričnog elipsoida u pravouglo UTM koordinate  $\varphi_{WGS84}, \lambda_{WGS84}, h_{WGS84} \rightarrow x_{UTM}, y_{UTM}, h_{WGS84}$ ,

gde su

x, y – pravouglo koordinata,

$\varphi, \lambda$  – geografska širina i dužina,

H – geoidna (ortometrijska) visina,

z – rastojanje od centra elipsoida do tačke,

h – elipsoidna visina.

Transformacijom projekcija, prešlo se sa geoidne (ortometrijske) visine na elipsoidnu visinu. Kako je već objašnjeno u poglavlju 5, anomalija gravitacionog ubrzanja, pored drugih podataka, zavisi i od visine. Zbog razlike u vrednosti visina u ova dva sistema (promene vertikalnog datuma), vrednosti gravimetrijskih popravki će se razlikovati. Vrednosti anomalija gravitacionog ubrzanja neće se znatno razlikovati u ova dva sistema, jer se menja i gravimetrijski datum u odnosu na koji se određuje nivo merene vrednosti gravimetrijskog ubrzanja, kao i normalna vrednost.

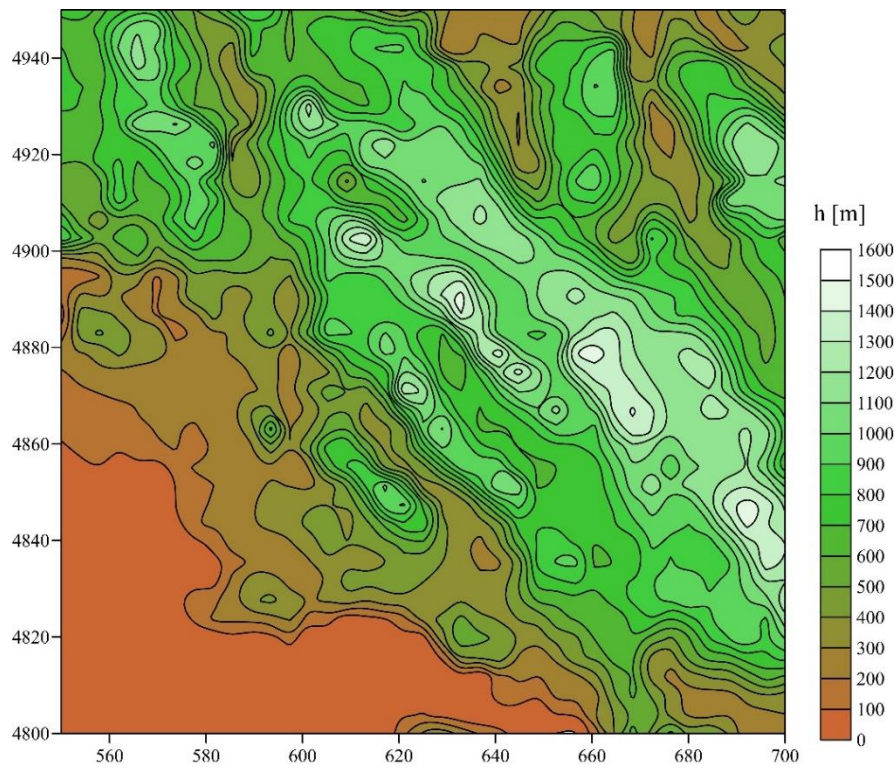
Podaci gravimetrijskih merenja, koji su obrađeni u radu, deo su Baze gravimetrijskih podataka bivše SFR Jugoslavije i nalaze se u Gaus-Krigerovom koordinatnom sistemu. Prvo je izvršena transformacija pravougljih koordinata Gaus-Krigerovog sistema u geodetske (ugaone) koordinate WGS84 elipsoida, a geoidna visina je transformisana u elipsoidnu visinu, u programu TraSis, programskog paketa Wizardsoft. Zatim su u programu ArcGeek, transformisane ugaone koordinate WGS84 elipsoida u pravouglo koordinata UTM sistema.

Na slici 6.2.1 prikazana je karta geoidnih (ortometrijskih) visina istražnog područja, a na slici 6.2.2 prikazana je karta elipsoidnih visina istražnog područja. Prosečna vrednost visina je 800 m, a opseg iznosi oko 1600 m. Ekvidistanca iznosi 100 metara.

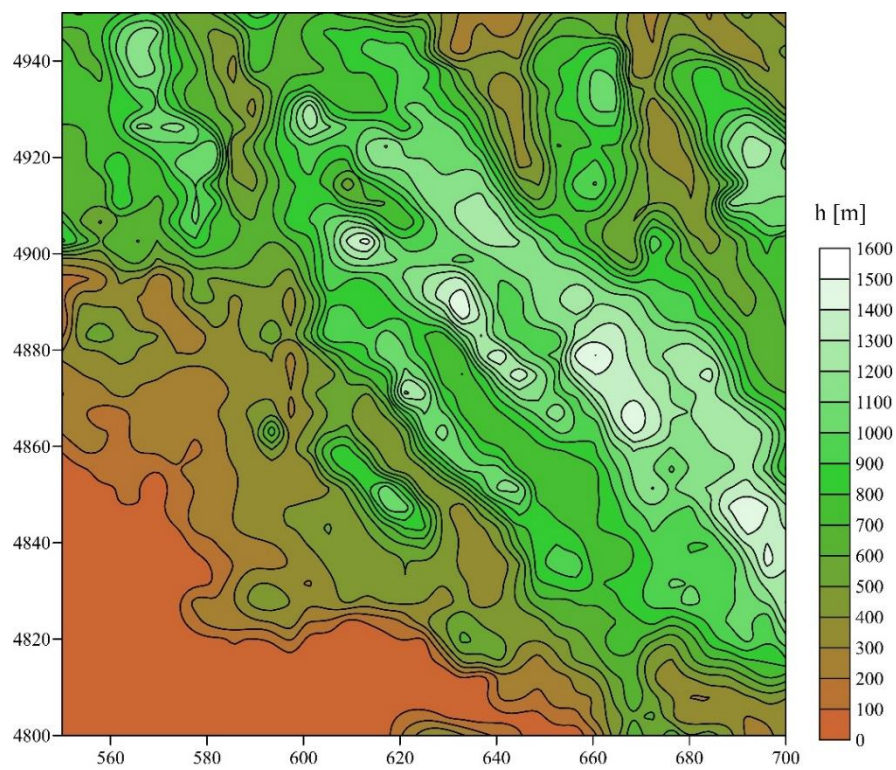
Najviši planinski vrhovi označeni su belom bojom, zelenom nešto niže planine i planinske visoravni, dok su braon bojom predstavljeni priobalni delovi reljefa i površ mora. Najveći deo reljefa je predstavljen nadmorskim visinama između 600 i 1000 metara.

Na slici 6.2.3, prikazana je karta razlike geoidnih i elipsoidnih visina. Prosečna vrednost razlike visina je -45.8 m, a opseg razlika iznosi 1.8 m. Ekvidistanca iznosi 0.10 metara.

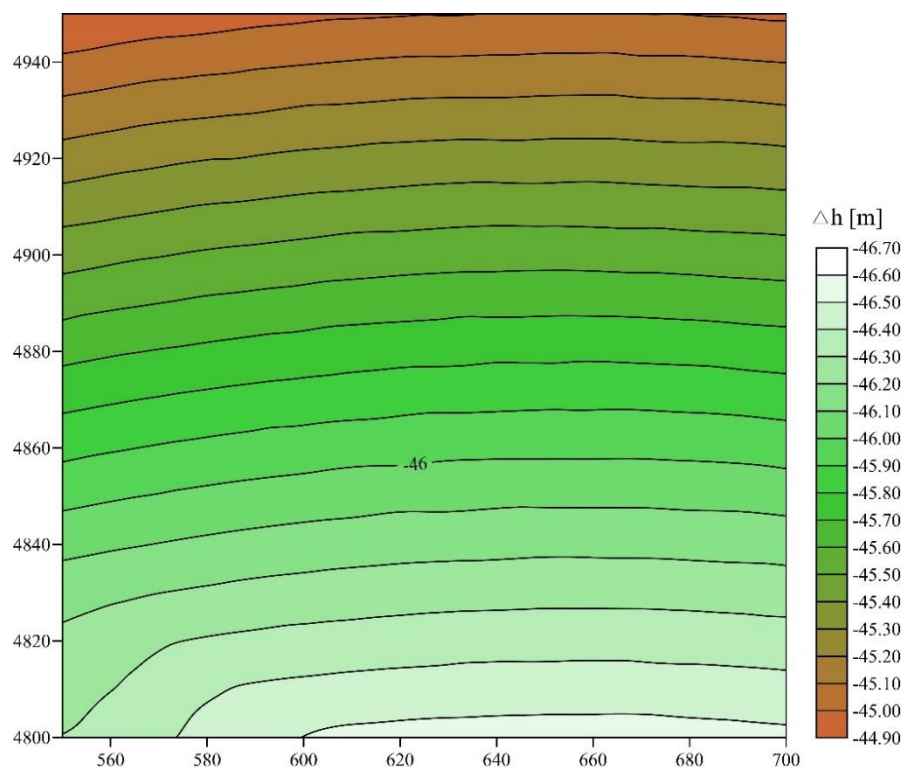
Razlika visina iznosi oko -46 metara. Veći deo razlike je posledica undulacije geoida i ona iznosi oko 43 metara, dok se promenom referentnog elipsoida dobija razlika u visinama od oko 3 metara. Vrednosti visina tačaka, označenih na slici 6.1.1, u obe projekcije i njihova razlika, prikazane su u tabeli 6.2.1.



Slika 6.2.1. Karta geoidnih visina istražnog područja



Slika 6.2.2. Karta elipsoidnih visina istražnog područja



Slika 6.2.3. Karta razlike geoidnih i elipsoidnih visina

Tabela 6.2.1. Geoidne ( $h_{GE}$ ), elipsoidne ( $h_{EL}$ ) visine i njihova razlika ( $\Delta h$ )

Broj tačke	$h_{GE}$ [m]	$h_{EL}$ [m]	$\Delta h = h_{GE} - h_{EL}$ [m]
1.	0.59	47.13	- 46.54
2.	518.51	563.52	- 45.01
3.	1412.15	1457.99	- 45.84

Pored transformacije koordinata, potrebno je transformisati i merene vrednosti gravitacionog ubrzanja, odnosno izvršiti promenu gravimetrijskog datuma u skladu sa prelaskom u novi koordinatni sistem (na novi elipsoid). Potrebno je izvršiti transformaciju merenog gravitacionog ubrzanja iz starog Potsdamskog sistema u međunarodnu gravimetrijsku mrežu IGSN71. Nakon raspada bivše Jugoslavije, ostala je samo jedna tačka na celoj teritoriji gde je vrednost gravitacionog ubrzanja poznata u oba sistema i mogla je da se koristi za transformaciju iz Potsdamskog u IGSN71 sistem.



Da bi se dobila vrednost gravitacionog ubrzanja u IGSN71, postojeći rezultati su transformisani pomoću izraza (Odalović i dr., 2012):

$$g_{\text{IGSN71}} = 980592.54 + 1.001427 (g_{\text{POTSDAM}} - 980607.66) \quad (6.2.1)$$

gde je

$g_{\text{IGSN71}}$  – vrednost gravitacionog ubrzanja u IGSN71 sistemu, u tački za koju se vrši transformacija,

$g_{\text{POTSDAM}}$  - vrednost gravitacionog ubrzanja u Potsdamskom sistemu, u tački za koju se vrši transformacija,

980592.54 mGal ( $980592.54 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ) – vrednost gravitacionog ubrzanja na tački u Beogradu u IGSN71 sistemu,

1.001427 – faktor razmere između Potsdamskog i IGSN71 sistema,

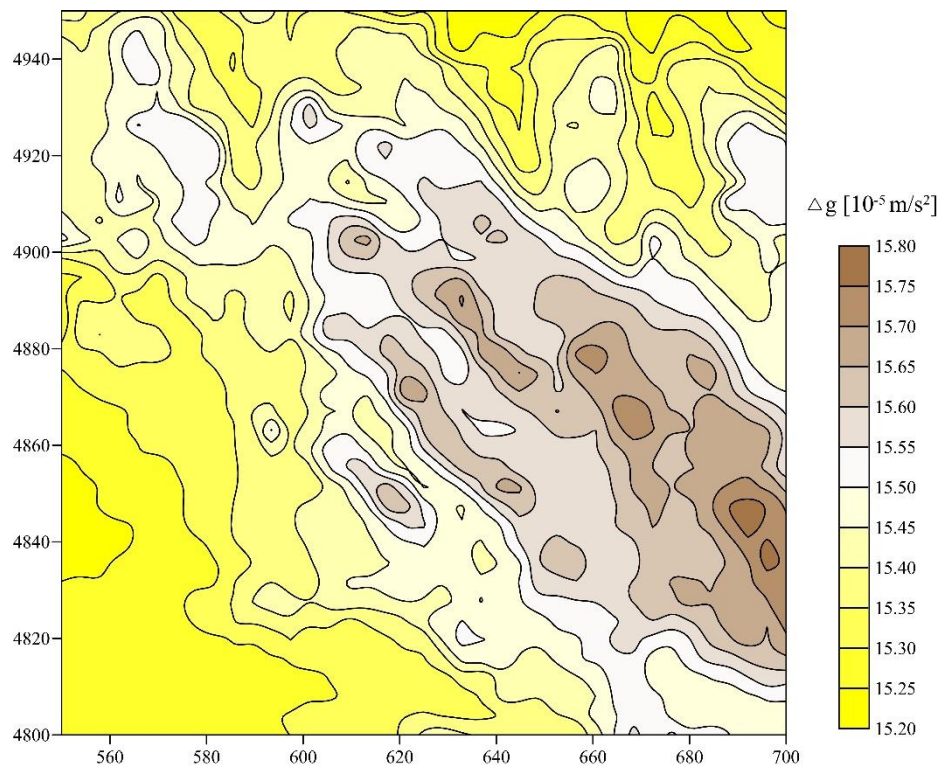
980607.66 mGal ( $980607.66 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ) - vrednost gravitacionog ubrzanja na tački u Beogradu u Potsdamskom sistemu.

Neke od vrednosti gravitacionog ubrzanja tačaka označenih na slici 6.1.1, u Potsdamskom i IGSN71 sistemu, prikazane su u tabeli 6.2.2.

Tabela 6.2.2. Vrednosti gravitacionog ubrzanja u Potsdamskom ( $g_{\text{mPOTSDAM}}$ ), IGSN71 ( $g_{\text{mIGSN71}}$ ) sistemu i njihova razlika ( $\Delta g_{\text{m}}$ )

Broj tačke	$g_{\text{mPOTSDAM}}$ [ $10^{-5} \text{ m/s}^2$ ]	$g_{\text{mIGSN71}}$ [ $10^{-5} \text{ m/s}^2$ ]	$\Delta g_{\text{m}} = g_{\text{mPOTSDAM}} - g_{\text{mIGSN71}}$ [ $10^{-5} \text{ m/s}^2$ ]
1.	980 444.22	980 428.87	15.35
2.	980 475.83	980 460.52	15.31
3.	980 186.18	980 170.46	15.72

Srednja merena vrednost gravitacionog ubrzanja u Gaus-Krigerovom sistemu iznosi oko  $980393 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ , dok u UTM sistemu iznosi  $980378 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Opseg vrednosti iznosi  $436 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Prosečna vrednost razlike merenih vrednosti gravitacionog ubrzanja iznosi oko  $15.42 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Na slici 6.2.4 se nalazi grafički prikaz razlika merenih vrednosti gravitacionog ubrzanja. Ekvidistanca iznosi  $0.5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Najmanja vrednost razlike iznosi  $15.20 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ , dok najveća iznosi  $15.80 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Žutom bojom su prikazane manje vrednosti, belom bojom srednje, a braon bojom veće vrednosti razlika merenih gravitacionih ubrzanja. Može se zaključiti da najveće razlike odgovaraju najvećim visinama, dok su najmanje razlike karakteristične za priobalne delove reljefa i površ mora.



6.2.4. Karta razlika merenih vrednosti gravitacionog ubrzanja

### 6.3. Bugeove i savremene anomalije gravitacionog ubrzanja

Rezultati merenja gravitacionog ubrzanja ne mogu direktno da se porede, zato što se merenja vrše u različito vreme, merne tačke nisu na istoj geografskoj širini i/ili nadmorskoj visini, a gustina stena u okolini tačke je različita. Navedeni razlozi doveli su do potrebe za uvođenjem popravki i računanjem anomalija gravitacionog ubrzanja. Anomalija gravitacionog ubrzanja u tački posmatranja, dobija se oduzimanjem normalne od merene vrednosti gravitacionog ubrzanja, uz uvođenje odgovarajućih popravki (Vasiljević i Ignjatović, 2019). Osnovne vrste anomalija gravitacionog ubrzanja su Bugeove i Fajove anomalije. U primenjenoj geofizici se češće koriste Bugeove anomalije, mada se danas u ove anomalije uvode dodatne popravke i tako se dobijaju savremene anomalije. Za veća područja, računaju se i izostatičke anomalije.

Na Međunarodnom geodetskom kongresu u Stokholmu, 1930. godine, kao Međunarodna gravimetrijska formula za računanje normalne vrednosti gravitacionog ubrzanja ( $g_0$ ) prihvaćena je formula Kasinisa, određena na osnovu izraza Somiljana po parametrima tada važećeg međunarodnog elipsoida (Hejfordov elipsoid iz 1909. godine prihvaćen je kao Međunarodni elipsoid iz 1924. godine), (Vasiljević i Ignjatović, 2019):

$$g_0 = 9.78049(1 + 0.0052884\sin^2\varphi - 0.0000059\sin^2 2\varphi). \quad (6.3.1)$$

Na osnovu jednačine 6.3.1, određene su vrednosti normalnog gravitacionog ubrzanja na Beselovom elipsoidu.

Međunarodna unija za geodeziju i geofiziku (IUGG) je, 1980. godine, uvela elipsoid sa novim parametrima (GRS80) i preporučila odgovarajuću Međunarodnu gravimetrijsku formula (1980), (Vasiljević i Ignjatović, 2019):

$$g_0 = 9.780327(1 + 0.0053024\sin^2\varphi - 0.0000058\sin^2 2\varphi). \quad (6.3.2)$$

Na osnovu jednačine 6.3.2, određene su vrednosti normalne raspodele gravitacionog ubrzanja u UTM sistemu. Srednja vrednost normalnog gravitacionog ubrzanja u Gaus-Kriggerovom sistemu iznosi oko  $980539 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ , dok u UTM

sistemu iznosi oko  $980529 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Opseg vrednosti iznosi oko  $131 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Prosečna vrednost razlike vrednosti normalnog gravitacionog ubrzanja iznosi oko  $-9.71 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Dok se razlika merenih vrednosti gravitacionog ubrzanja menja sa visinom, razlika vrednosti normalnog gravitacionog ubrzanja se menja sa geografskom širinom. Na većim geografskim širinama, vrednost razlike je manja, dok se na manjim geografskim širinama, vrednost razlike povećava. Vrednosti normalnog gravitacionog ubrzanja u Gaus-Kriggerovom i UTM sistemu, tačaka označenih na slici 6.1.1, prikazane su u tabeli 6.3.1.

Tabela 6.3.1. Vrednosti normalnog gravitacionog ubrzanja po Kasinisovoj ( $g_{0KASINIS}$ ), Međunarodnoj formuli iz 1980.godine ( $g_{01980}$ ) i razlika vrednosti normalnog gravitacionog ubrzanja ( $\Delta g_o$ )

Broj tačke	$g_{0KASINIS}$ [ $10^{-5} \text{ m/s}^2$ ]	$g_{01980}$ [ $10^{-5} \text{ m/s}^2$ ]	$\Delta g_o = g_{0KASINIS} - g_{01980}$ [ $10^{-5} \text{ m/s}^2$ ]
1.	980479.49	980469.63	9.86
2.	980601.14	980591.55	9.59
3.	980539.92	980530.19	9.73

Osim konstantnih vrednosti koje se nalaze u formulama, one se razlikuju i po vrednosti parametra  $\varphi$  (geografska širina). Pošto su u pitanju dva različita referentna elipsoida, vrednosti geografskih širina na istoj tački će se razlikovati. Razlika geografskih širina je mala i iznosi oko 10 sekundi. Ukupni opseg geografskih širina iznosi oko 1 stepen i 20 minuta. Najmanja vrednost iznosi oko 43 stepena i 19 minuta, a najveća vrednost iznosi oko 44 stepena i 42 minuta.

Vrednost geografskih širina označenih tačaka na slici 6.1.1, na Beselovom i WGS84 elipsoidu, prikazane su u tabeli 6.3.2.

Tabela 6.3.2. Vrednosti parametra  $\varphi$  u Gaus-Krugerovom ( $\varphi_{GK}$ ) i UTM sistemu ( $\varphi_{UTM}$ ), kao i razlika geografskih širina ( $\Delta\varphi$ )

Broj tačke	$\varphi_{GK}$	$\varphi_{UTM}$	$\Delta\varphi = \varphi_{GK} - \varphi_{UTM}$
1.	43° 20' 18.01"	43° 20' 18.36"	-0° 0' 0.35"
2.	44° 41' 12.02"	44° 41' 11.81"	0° 0' 0.21"
3.	44° 0' 30.01"	44° 0' 30.09"	- 0° 0' 0.08"

Nakon izračunatih normalnih vrednosti gravitacionog ubrzanja, potrebno je izračunati gravimetrijske popravke, kojima su gravimetrijske (standardne Bugeove, savremene i izostatičke) anomalije određene. To su popravke za: visinu (Fajova popravka), uticaj atmosfere, sloj (Bulard A popravka), zakrivljenost sloja (Bulard B popravka), uticaj reljefa (topografije, Bulard C popravka) i uticaj izostazije.

Pri redukciji normalne vrednosti gravitacionog ubrzanja sa nivoa rotacionog elipsoida na nivo tačke posmatranja, popravka za visinu (Fajova popravka) računa se kao normalni gradijent gravitacionog ubrzanja, uz pretpostavku da između navedenih nivoa ne postoje bilo kakve mase (Vasiljević i Ignjatović, 2019).

Za Međunarodni elipsoid iz 1924. godine, kome odgovara Međunarodna gravimetrijska formula iz 1930. godine (formula Kasinisa za računanje normalnih vrednosti gravitacionog ubrzanja), formula za računanje popravke za visinu ima oblik (Vasiljević, 2021):

$$\Delta g_h = - (0.3087665 - 0.0004528 \sin^2 \varphi) h + 7.2121 \cdot 10^{-8} \cdot h^2 \quad (6.3.3)$$

gde je  $h$  visina tačke osmatranja, a  $\varphi$  geografska širina. Formula 6.3.3 se koristi pri računanju savremenih gravimetrijskih anomalija.

Na osnovu formule za Međunarodni elipsoid iz 1924. godine, zanemarivanjem drugog člana reda i uvođenjem vrednosti za geografsku širinu od 45°, dobijena je formula za računanje popravke za visinu (Vasiljević, 2021):

$$\Delta g_h = -0.3086h \quad (6.3.4)$$

koja se koristi pri računanju standardnih Bugeovih anomalija.

Međunarodnom elipsoidu iz 1980. godine (GRS80) odgovara Međunarodna gravimetrijska formula iz 1980. godine, a formula za računanje popravke za visinu ima oblik

$$\Delta g_h = - (0.3087691 - 0.0004398 \sin^2 \varphi) h + 7.2125 \cdot 10^{-8} \cdot h^2. \quad (6.3.5)$$

Formula 6.3.5 se koristi pri računanju savremenih gravimetrijskih anomalija za WGS84 elipsoid.

Popravka za uticaj atmosfere obuhvata gravitacioni uticaj promena u masi atmosfere, sa promenom visine tačke posmatranja iznad referentnog elipsoida, a računa se kada se gravimetrijska istraživanja vrše na terenima sa velikim rasponom visine mernih tačaka. Formula za računanje popravke za uticaj atmosfere je (Vasiljević, 2021):

$$\Delta g_{\text{atm}} = 0.874 - 9.9 \cdot 10^{-5} \cdot h + 3.56 \cdot 10^{-9} \cdot h^2 \quad (6.3.6)$$

i koristi se pri računanju savremenih gravimetrijskih anomalija.

Popravka za sloj (Bulard A popravka) obuhvata gravitacioni uticaj masa, koje se nalaze između referentne površi i površi koja prolazi kroz tačku posmatranja, a paralelna je referentnoj površini. Gravitacioni uticaj masa nije uzet u obzir pri obračunu popravke za visinu. Prisustvo navedenih masa utiče na povećanje vrednosti gravitacionog ubrzanja u tački posmatranja (Vasiljević i Ignjatović, 2019). Formula za računanje Bulard A popravke je:

$$\Delta g_s = 2\pi K \sigma h = 0.04193 \sigma h \quad (6.3.7)$$

gde je

$h$  – visina tačke osmatranja,

$K$  – gravitaciona konstanta ( $6.67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ ),

$\sigma$  – srednja vrednost gustine sloja.

Popravka za sloj (Bulard A popravka) se, u prikazanom obliku, koristi kod računanja svih tipova gravimetrijskih anomalija.

Popravka za zakrivljenost sloja (Bulard B popravka) se uvodi, kako bi se sa horizontalnog sloja beskonačnog pružanja, prešlo na isečak sfernog sloja. Debljina isečka sfernog sloja odgovara visini tačke posmatranja, a lučna dužina sfernog sloja, od tačke posmatranja do oboda isečka sfernog sloja, najčešće iznosi 166.735 km, što odgovara poluprečniku Hejford – Bouvijeovog topografskog sistema. Isečak sfernog sloja je ograničenog pružanja, zbog čega je njegov gravitacioni uticaj manji od uticaja horizontalnog beskonačanog sloja. Sa druge strane, zakrivljeni sloj ima veći gravitacioni uticaj nego horizontalni sloj iste dužine. Iako postoji izraz za precizno računanje Bulard B popravke, u praksi se često koriste jednostavniji izrazi za približno određivanje vrednosti ove popravke. Oliver je, u okviru rada U.S.G.S., razvio niz aproksimacija za Bulard B popravku (BB), koje su date u obliku (Vasiljević, 2021):

$$BB = Ah + Bh^2 + Ch^3 \quad (6.3.8)$$

gde je

$$A = 1.464 \cdot 10^{-3},$$

$$B = -3.533 \cdot 10^{-7},$$

$$C = 4.5 \cdot 10^{-14}.$$

Popravka za zakrivljenost sloja se koristi pri računanju savremenih gravimetrijskih anomalija.

Površ na kojoj se vrše merenja obično nije horizontalna. Popravka za uticaj reljefa ( $\Delta g_t$ ) u okolini tačke posmatranja (topografska popravka) uvodi se u cilju uklanjanja uticaja gravitacionog privlačenja „topografskih masa“ na merenu vrednost gravitacionog ubrzanja. Termin „topografske mase“ označava mase koje se nalaze u prostoru ograničenom realnom površi terena (reljef) i horizontalnom površi, koja prolazi kroz tačku posmatranja (gornja površ Bugeovog sloja), (Vasiljević i Ignjatović, 2019). Formula za računanje popravke za uticaj reljefa ima opšti oblik:

$$\Delta g_t = t \cdot \sigma \quad (6.3.9)$$

gde je  $t$  parametar koji predstavlja popravku za uticaj reljefa pri jediničnoj vrednosti gustine ( $\sigma$ ). U Bazi gravimetrijskih podataka bivše SFRJ, popravka za uticaj reljefa računata je do rastojanja od 20 km, a korišćen je postupak interpolacije reljefa splajn polinomima. Popravka za uticaj reljefa nije preračunata za UTM sistem, već su korišćene vrednosti koje su izračunate za Gaus-Kriggerov sistem.

Popravka za uticaj izostazije uzima u obzir uticaj kompenzacionih masa. Ukoliko je masa planine kompenzovana deficitom masa koje se nalaze ispod nje, popravkom za uticaj izostazije će se otkloniti uticaj planinske mase iz izračunate vrednosti gravitacionog ubrzanja i dodati uticaj masa koje se nalaze između površi geoida (elipsoida) i dubine kompenzacije. Kada je izostatička kompenzacija ispravno izračunata, vrednost anomalije gravitacionog ubrzanja će biti jednaka nuli (u slučaju da se radi o homogenom terenu), jer će se izostatičkom popravkom otkloniti sve anomalije te mase. Osnova za računanje izostatičke popravke je formula za gravitacioni uticaj cilindra u tački posmatranja  $O$ , koja je slična formuli za izračunavanje popravke za uticaj reljefa (Vasiljević, 2021):

$$\Delta g = \sum \sum_n \frac{1}{n} 2\pi K \sigma \left\{ \left[ \sqrt{a^2 + (h^2 + t^2)^2} - \sqrt{a^2 + h^2} \right]_{a=r_2} - \left[ \sqrt{a^2 + (h^2 + t^2)^2} - \sqrt{a^2 + h^2} \right]_{a=r_1} \right\} \quad (6.3.10)$$

gde je

$n$  – broj sektora,

$t$  – visina cilindra,

$a$  – poluprečnik cilindra (može da odgovara zonama radijusa  $r_1$  i  $r_2$ ),

$h$  – visina tačke posmatranja iznad cilindra.

Popravka za uticaj izostazije se koristi pri računanju izostatičkih anomalija.

Bugeova anomalija je anomalija gravitacionog ubrzanja, koja uključuje popravke za visinu, sloj i uticaj reljefa. Koristi se za definisanje nehomogenosti gustine stenskog materijala, jer često daje realnu sliku raspodele gustina unutar Zemljine kore. Vrednost anomalije direktno je zavisna od gustine stena. Imaće, generalno, pozitivnu vrednost na područjima koja su izgrađena od bazičnih i ultrabazičnih magmatskih stena, a negativnu vrednost na područjima koja su



izgrađena od sedimentnih stena Bugeova anomalija je u osnovnom obliku data izrazom (Vasiljević, 2021):

$$\Delta g_b = g_m - g_o + \Delta g_h - \Delta g_s + \Delta g_t \quad (6.3.11)$$

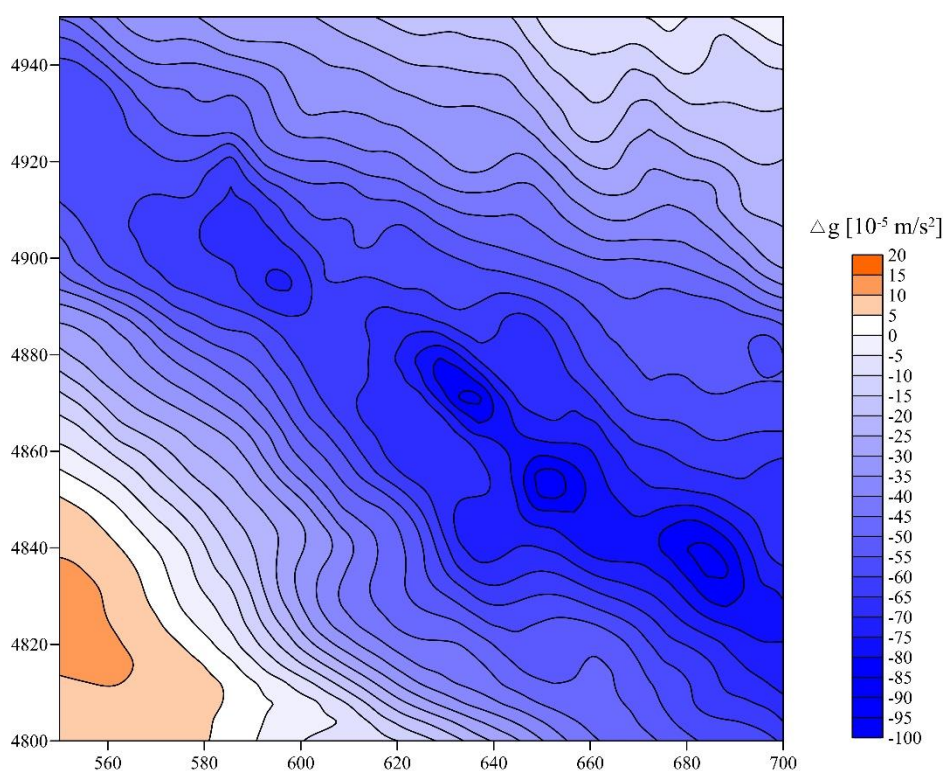
na osnovu kojeg su računate Bugeove anomalije za referentne nivoe Gaus-Kriggerovog sistema i UTM sistema.

Prosečna gustina terena je izračunata na osnovu geoloških podataka. Teren je izgrađen pretežno od sedimentnih stena, pa je prosečna gustina terena procenjena na  $2.50 \text{ g/cm}^3$ . Prosečna vrednost anomalija za Gaus-Kriggerov sistema je  $-40 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ , a opseg iznosi oko  $110 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Prosečna vrednost anomalija za UTM sistem je  $-27 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ , a opseg iznosi oko  $110 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ .

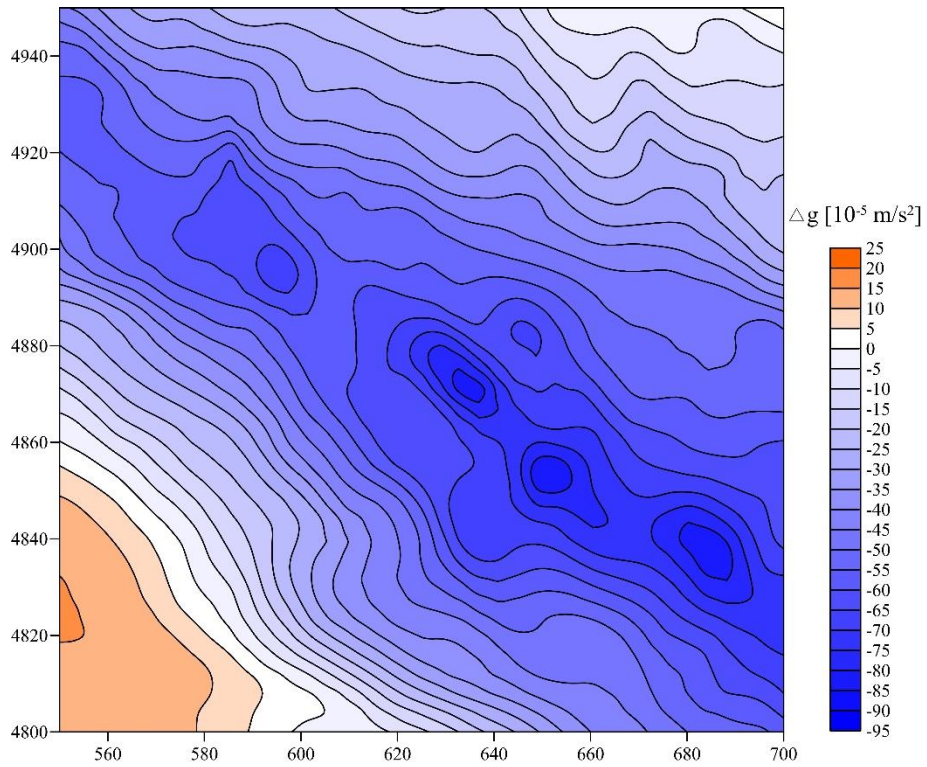
Analizom karata Bugeovih anomalija, uočavaju se smetnje, izolovane anomalije malog prostiranja. Da bi se smetnje prigušile, potrebno je da se karte filtriraju. Na slici 6.3.1, prikazana je filtrirana karta Bugeovih anomalija za Gaus-Kriggerov sistem, a na slici 6.3.2 za UTM sistem. Primenjeno je više filtera, a najbolji rezultati su dobijeni primenom Gausovog niskopropusnog filtera dimenzija  $5 \times 5$ , u jednom prolazu na obe karte. Primenom ovog filtera otklonjene su visokofrekventne vrednosti i smetnje.

Negativne vrednosti anomalija se prostiru na skoro celoj površini karte, minimumi se nalaze u planinskom području. Minimalna vrednost anomalija iznosi  $-98.86 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$  za Gaus-Kriggerov sistem u jugoistočnom delu karte. Minimalna vrednost anomalija iznosi  $-95.38 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$  za UTM sistem u jugoistočnom delu karte. Pozitivne vrednosti anomalija u jugozapadnom delu karata su posledica smanjenje debljine sedimentnog sloja. Pozitivne vrednosti se nalaze u obalskim i morskim delovima reljefa. Maksimalna vrednost anomalija iznosi  $11.60 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$  za Gaus-Kriggerov sistem u jugozapadnom delu karte. Maksimalna vrednost anomalija iznosi  $15.52 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$  za UTM sistem u jugozapadnom delu karte.

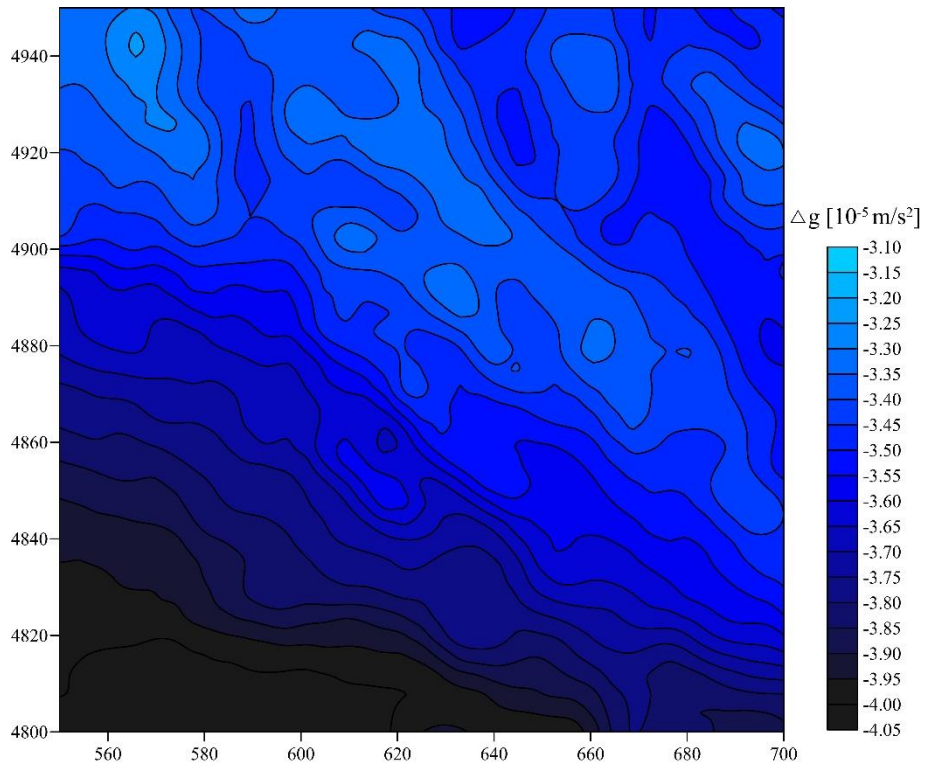
Na slici 6.3.3 je prikazana karta razlika Bugeovih anomalija za Gaus-Kriggerov i UTM sistem. Ekvidistanca iznosi  $0.5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Prosečna vrednost razlika anomalija je  $-3.55 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ , a opseg iznosi oko  $0.90 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Iako je u oba proračuna uzeta ista gustina terena  $2.50 \text{ g/cm}^2$ , zbog razlike geoidne i elipsoidne visine, koja iznosi oko -46 metara, razlika u vrednostima Bugeovih anomalija postoji, ali je mala. Najveća vrednost iznosi  $-4 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$  u jugozapadnom delu karte, a najmanja vrednost iznosi  $-3.10 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$  u severozapadnom delu karte.



6.3.1. Filtrirana karta Bugeovih anomalija za Gaus-Kriggerov sistem



6.3.2. Filtrirana karta Bugeovih anomalija za UTM sistem



6.3.3. Karta razlika Bugeovih anomalija za Gaus-Kriggerov i UTM sistem

Kada se u formulu za Bugeovu anomaliju doda popravka za uticaj atmosfere i popravka za zakrivljenost sloja (Bulard B popravka), dobija se savremeni izraz za računanje gravimetrijskih anomalija:

$$\Delta g = g_m - g_o + \Delta g_h + \Delta g_{atm} - \Delta g_s - BB + \Delta g_t \quad (6.3.12)$$

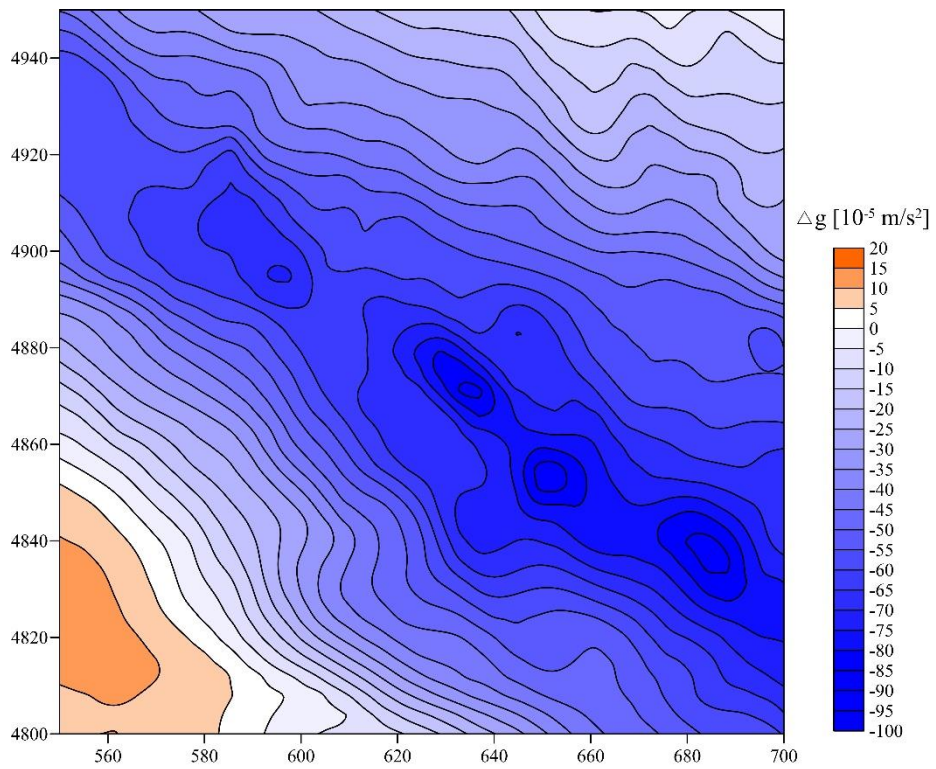
na osnovu kojeg su računane savremene anomalije za vrednosti Gaus-Kriggerovog sistema i UTM sistema. Popravka za visinu je računata po formuli 6.3.4 i 6.3.5.

Prosečna vrednost anomalija za Gaus-Kriggerov sistem je  $-40 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ , a opseg iznosi oko  $110 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Prosečna vrednost anomalija za UTM sistem je  $-27 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ , a opseg iznosi oko  $110 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ .

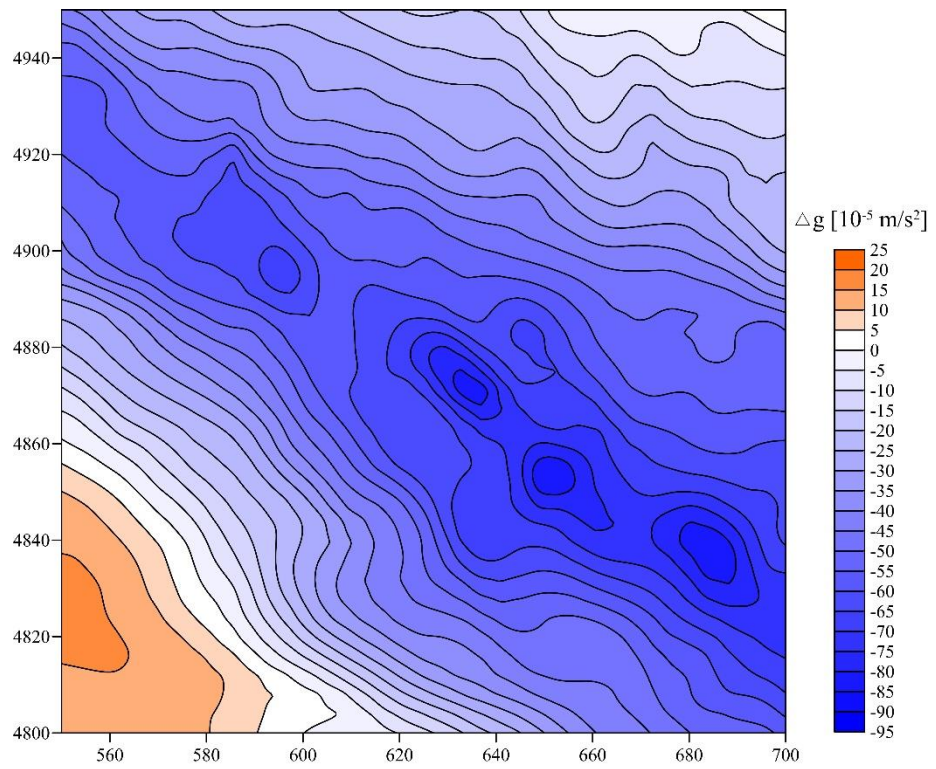
Na slici 6.3.4, prikazana je filtrirana karta savremenih anomalija za Gaus-Kriggerov sistem, a na slici 6.3.5 za UTM sistem. Primenjeno je više filtera, a najbolji rezultati su dobijeni primenom Gausovog niskopropusnog filtera dimenzija  $5 \times 5$ , u jednom prolazu na obe karte. Minimalna vrednost anomalije iznosi  $-98.98 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$  za Gaus-Kriggerov sistem i  $-95.55 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$  za UTM sistem u jugoistočnom delu karte. Maksimalna vrednost anomalije iznosi  $12.47 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$  za Gaus-Kriggerov sistem i  $16.31 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$  za UTM sistem u jugozapadnom delu karte.

Na slici 6.3.6 je prikazana karta razlika savremenih anomalija za Gaus-Kriggerov i UTM sistem. Ekvidistanca iznosi  $0.5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Prosečna vrednost razlike anomalija je  $-3.55 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ , a opseg iznosi oko  $0.90 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Najveća vrednost iznosi  $-4 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$  u jugozapadnom delu karte, a najmanja vrednost iznosi  $-3.10 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$  u severozapadnom delu karte.

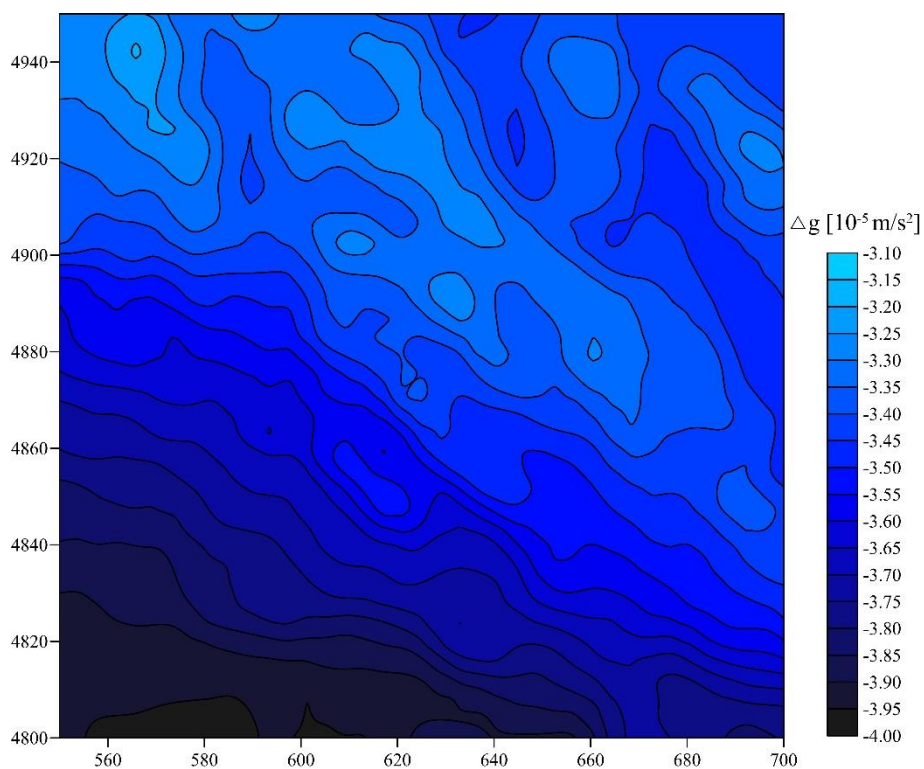
Karte Bugeovih i savremenih anomalija ne razlikuju se mnogo međusobno. Može se zaključiti da uvođenjem popravke za atmosferu i Bulard B popravke, vrednost anomalija se neće mnogo promeniti. Kod savremenih anomalija korišćena je formula 6.3.3 i 6.3.5 za popravku za visinu, ali ni ona nije napravila velike razlike u vrednostima anomalija, jer se istražno područje nalazi na geografskoj širini od  $44^\circ$  do  $46^\circ$ , što je približna vrednost geografske širine  $45^\circ$ , prema kojoj je računata standardna popravka za visinu, korišćena kod Bugeovih anomalija.



6.3.4. Filtrirana karta savremenih anomalija za Gaus-Kriggerov sistem



6.3.5. Filtrirana karta savremenih anomalija za UTM sistem



6.3.6. Karta razlika savremenih anomalija za Gaus-Kriggerov i UTM sistem

U tabeli 6.3.3, prikazane su vrednosti Bugeovih i savremenih anomalija u tački 2 sa slike 6.1.1, za Gaus-Kriggerov (GK) i UTM sistem, za različite gustine stenskih masa. Na osnovu tabele, može se videti da pored vrednosti gustine terena, nadmorska visina terena će isto uticati na vrednost Bugeove anomalije. Ukupan opseg anomalija je najmanji zato je izabrana gustina  $2.50 \text{ g/cm}^3$ .

Tabela 6.3.3. Vrednosti Bugeovih ( $\Delta g_b$ ) i savremenih ( $\Delta g$ ) anomalija za različite koordinatne sisteme i vrednosti gustine stenskih masa

$\sigma$ [g/cm <sup>3</sup> ]	2.50	2.55	2.60	2.67
$\Delta g_{b, GK}$ [10 <sup>-5</sup> m/s <sup>2</sup> ]	-16.79	-17.82	-18.85	-20.29
$\Delta g_{, GK}$ [10 <sup>-5</sup> m/s <sup>2</sup> ]	-16.67	-17.70	-18.73	-20.17
$\Delta g_{b, UTM}$ [10 <sup>-5</sup> m/s <sup>2</sup> ]	-13.34	-14.47	-15.59	-17.16
$\Delta g_{, UTM}$ [10 <sup>-5</sup> m/s <sup>2</sup> ]	-13.29	-14.41	-15.53	-17.11

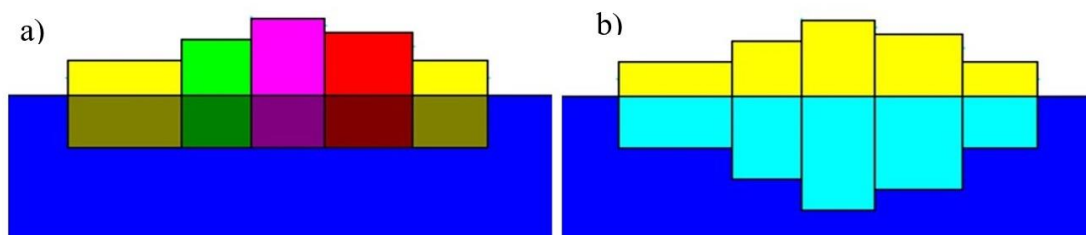
#### 6.4. Izostatičke anomalije

Na prostoru Dinarida Bugeove i savremene anomalije su negativne, što je delom posledica uticaja izostazije. Da bi se taj uticaj otklonio, potrebno je da se izračunaju izostatičke anomalije.

Raspodela gravitacionog ubrzanja na Zemljinoj površi uslovljena je njenom građom, prvenstveno korom i strukturama koje je izgrađuju. Korišćenje gravimetrijskih rezultata za izučavanje građe Zemljine kore tesno je vezano za teoriju izostazije. Teorija izostazije se zasniva na pretpostavci da Zemljina kora pliva na žitkoj masi, pri čemu se ravnoteža masa podvrgava hidrostatičkim zakonima (Vasiljević, 2021).

Nastanak teorije izostazije vezan je za istraživanja F. Prata i G. Erija, koji su pokušali da objasne razlike između merenih i računatih vrednosti otklona vertikalna u Indiji, polovinom XIX veka. Pošto su mereni otkloni bili znatno manji od računski dobijenih vrednosti, Prat je pretpostavio da Zemljina kora pod Himalajima ima manju gustinu od delova u nizijama reke Gang (Slika 6.4.1 a). Eri je predložio drugu hipotezu: Zemljina kora ima konstantnu gustinu, ali različitu debljinu i njeni blokovi plivaju u substratu slično santama leda u vodi (6.4.1 b), (Vasiljević, 2021).

Izostazija je generalno stanje ravnoteže kore, ali lokalno gledano, to stanje ravnoteže je uvek narušeno, zbog toga što kora nije statična, već izuzetno dinamična. Isto tako, kora neprestano teži da se vrati u stanje ravnoteže, što uslovljava pojavu različitih procesa, koji opet narušavaju to stanje ravnoteže (Vasiljević, 2021).



Slika 6.4.1. Teorija izostazije – a) Pratovala hipoteza, b) Erijevala hipoteza (Vasiljević, 2021)

Sve hipoteze oslanjaju se na raspodelu masa u zavisnosti od površi topografije. Imajući to u vidu, može da se sračuna uticaj masa koje kompenzuju reljef i tako sračunata veličina zove se izostatička popravka. Anomalije u kojima figuriše izostatička popravka nazivaju se izostatičkim anomalijama (Vasiljević, 2021):

$$\Delta g_i = g_H - g_0 + \delta g_i + \delta g_t + \delta g_h \quad (6.4.1)$$

gde je

$g_H$  - merena vrednost gravitacionog ubrzanja na reljefu visine  $H$ ,

$g_0$  - normalna vrednost gravitacionog ubrzanja,

$\delta g_i$  - izostatička popravka,

$\delta g_t$  – popravka za uticaj reljefa,

$\delta g_h$  - popravka za visinu.

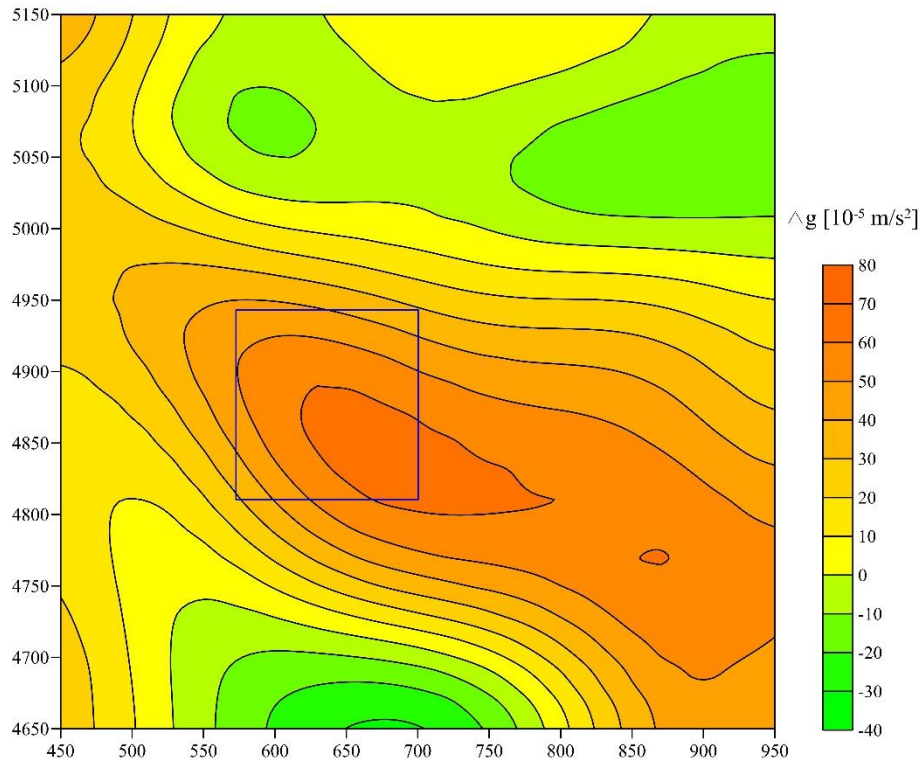
Na osnovu karte publikovane u doktorskoj disertaciji (Tassis, 2010), izrađena je karta izostatičkih popravki šireg područja. U sklopu tog područja nalazi se istražno područje, koje je obrađeno u ovom radu. Radi lakšeg korišćenja podataka, bilo je



potrebno da se prvo izvrši digitalizacija karte. Ona je izvršena u programu Surfer (programski paket Golden Softver). Razlika između originalne i digitalizovane karte postoji, ali je mala i nastala je usled različite preciznosti interpolacije računarskog programa. Karta izostatičkih popravki se nalazi u UTM sistemu.

Digitalizovana karta izostatičkih popravki šireg područja, sa označenim područjem koje je obrađeno u ovom radu, prikazana je na slici 6.4.2. Dimenzije šireg područja su 500x500 km. Područje je ograničeno koordinatama X [450 – 950] i Y [4650 – 5150] km u UTM sistemu. Površina iznosi 250000 km<sup>2</sup>. Odabrana mreža interpolacije je 20x20 km. Razmera je 1 : 5 000 000. Ekvidistanaca iznosi 10·10<sup>-5</sup> m/s<sup>2</sup>. Prosečna vrednost anomalija je 20·10<sup>-5</sup> m/s<sup>2</sup>, a opseg iznosi 110·10<sup>-5</sup> m/s<sup>2</sup>. Da bi se uklonile smetnje, primenjen je Gausov niskopropusni filter, dimenzija 3x3, u jednom prolazu. Na području Dinarida se javljaju pozitivne vrednosti izostatičkih popravki, a negativne vrednosti se javljaju u području Jadrana na jugu i Panonskog basena na severu.

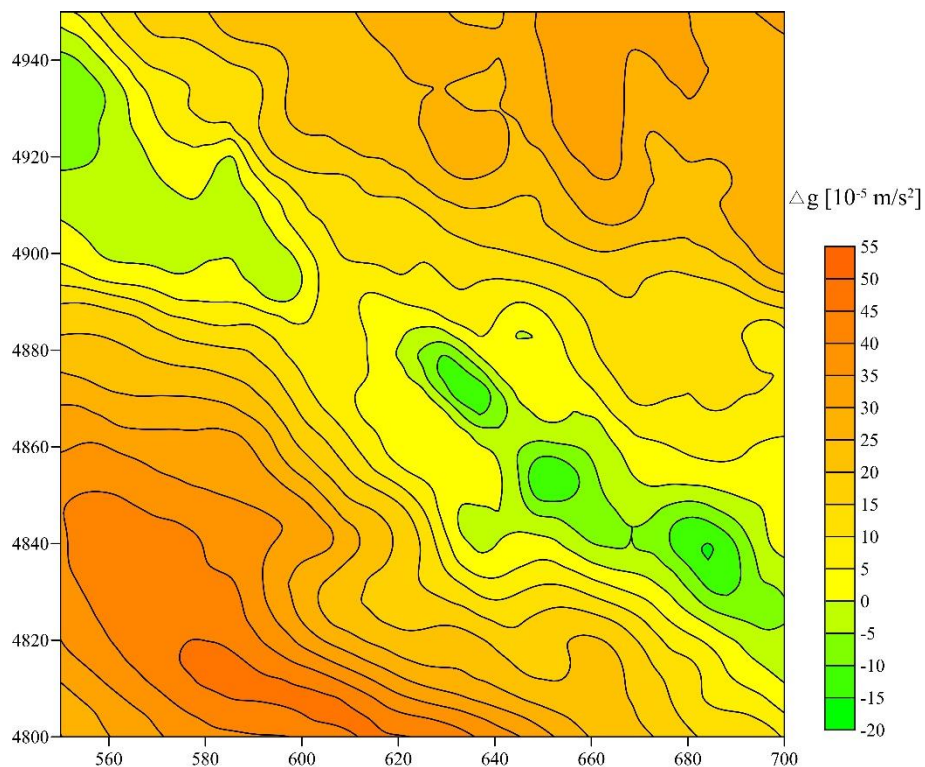
Vrednosti anomalija između 30·10<sup>-5</sup> m/s<sup>2</sup> i 65·10<sup>-5</sup> m/s<sup>2</sup>, odgovaraju položaju istražnog područja obrađenog u ovom radu. Maksimalna vrednost 65·10<sup>-5</sup> m/s<sup>2</sup> nalazi se u području planinskog reljefa, dok vrednost 30·10<sup>-5</sup> m/s<sup>2</sup> nalazi se u području obalskog i morskog dela reljefa. Pozitivne izostatičke popravke ukazuju na veću debljinu Zemljine kore (dubinu do Moho diskontinuiteta) na prostoru Dinarida.



Slika 6.4.2. Karta izostatičkih popravki šireg područja sa označenim istražnim područjem (modifikovana prema Tassis, 2010)

Nakon proračuna savremenih anomalija i pripreme izostatičkih popravki, mogu da se odrede izostatičke anomalije za istražno područje za UTM sistem. Karta izostatičkih anomalija gravitacionog ubrzanja, prikazana na slici 6.4.3 i urađena je u programu Surfer, sabiranjem grida filtrirane karte savremenih anomalija za UTM sistem (Slika 6.3.5) i grida digitalizovane karte izostatičkih popravki (istražno područje u plavom kvadratu na slici 6.4.2). Da bi se gridovi sabrali, oni moraju da imaju iste granice koordinata i dimenzije mreže. Pošto to nije bio slučaj, napravljen je novi grid digitalizovane karte izostatičkih popravki sa istim granicama i mrežom, kao što je grid filtrirane karte savremenih anomalija za UTM sistem. Prosečna vrednost izostatičkih anomalija je  $17.5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ , a opseg iznosi oko  $75 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Nije bilo potrebe da se karta filtrira, pošto je dobijena sabiranjem karata koje su filtrirane.

Izostatičke anomalije su pozitivne na većem delu terena, dok je anomalija pravca severozapad – jugoistok, u centralnom delu karte, negativna. Od zone negativnih anomalija, vrednosti anomalija rastu ka jugozapadu i severoistoku. Maksimum anomalija se nalazi u južnom delu karte i iznosi oko  $46 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Ova pozitivna anomalija je posledica manje debljine sedimenata i veće gustine stena Jadranske ploče. Minimum anomalija iznosi oko  $-16 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ . Niske vrednosti anomalija su posledica veće debljine mezozojskih sedimenata, a izraženi minimumi anomalija u jugoistočnom delu karte su, najverovatnije, posledica male gustine stena u neogenim basenima, koji su prikazani na geološkoj karti (slika 5.1).



Slika 6.4.3. Karta izostatičkih anomalija za UTM sistem

## 7. ZAKLJUČAK

Na osnovu podataka iz Baze podataka bivše SFR Jugoslavije, urađene su karte Bugeovih, savremenih i izostatičkih anomalija za istražni prostor u Gaus-Kriggerovom i UTM sistemu. Pored karata anomalija, urađene su i karte razlike Bugeovih anomalija, kao i karte razlike savremenih anomalija za Gaus-Kriggerov i UTM sistem.

Vrednosti Bugeovih, kao i savremenih anomalija za ova dva sistema ne razlikuju se puno. Anomalije su bliskih vrednosti, ali razlika se vidi pri računanju merene vrednosti gravitacionog ubrzanja, normalne vrednosti gravitacionog ubrzanja i gravimetrijskih popravki. Pošto se ne uočava neka veća razlika na kartama Bugeovih i savremenih anomalija za Gaus-Kriggerov i UTM sistem, urađene su karte razlike vrednosti Bugeovih i razlike vrednosti savremenih anomalija za Gaus-Kriggerov i UTM sistem. Na osnovu tih karata, može se zaključiti da, iako je razlika kako Bugeovih, tako i savremenih anomalija za ova dva sistema mala, ona nije konstantna na celom istražnom području. Promena vrednost razlike je posledica promene referentnog horizontalnog i vertikalnog datuma, odnosno promene geografske širine i visine tačaka. Da bi se dobila realnija raspodela anomalija gravitacionog ubrzanja potrebno je otkloniti uticaj izostazije uvođenjem odgovarajuće popravke. Visoke vrednosti izostatičkih anomalija su posledica velike gustine stenskih masa, dok su područja malih gustina okarakterisana niskim vrednostima anomalija. Karta izostatičkih popravki i izostatičkih anomalija su urađene samo u UTM sistemu.

Države bivše SFR Jugoslavije, za državni koordinatni sistem usvojile su Gaus-Kriggerov sistem, Hermanskogel datum i Beselov elipsoid. S obzirom da se sve više u svetu koristi UTM sistem, WGS84 datum i elipsoid, potrebno je uraditi transformaciju koordinatnog sistema, datuma i referentnog nivoa. Samim tim, potrebno je i preračunati gravimetrijske anomalije za UTM sistem. Transformacijom sistema i preračunavanjem anomalija, dobijaju se preciznije gravimetrijske karte, omogućava se povezivanje gravimetrijskih podataka sa podacima drugih gravimetrijskih merenja i dopunjavanje baze podataka novim gravimetrijskim podacima.

## LITERATURA

1. About Dinaric Alps – Dinarsko gorje <https://www.dinarskogorje.com/> (27.12.2014.)
2. Balling, P., Grützner, C., Tomljenović, B., Spakman, W., Ustaszewski, K., 2021. Post-collisional mantle delamination in the Dinarides implied from staircases of Oligo-Miocene uplifted marine terraces, *Nature research*, 11:2685 (2021), str. 1-11.
3. Galati, S.R., 2006. *Geographic Information Systems Demystified*, Artech House, INC., Norwood, MA 02062, str. 122-124, 139-140.
4. Ganić, A., Milutinović, A., Ganić, M., 2014. User defined funkcija za transformaciju elipsoidnih koordinata, *Podzemni radovi*, 24, str. 35-47.
5. Kilibarda, M., Protić, D., 2018. *Geovizualizacija i WEB kartografija*, Građevinski fakultet, Beograd, str. 33-38.
6. Matoš, B., Rukavina, D., Sečanj, M., Barudžija, U., 2017. Sedimentary and tectonic evolution of Karst Dinarides, *EUGEN 2017, Excursion guidebook.*, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering University in Zagreb, Zagreb, str. 1 -13.
7. Nader, F., Unen, V.M., Matenco, L., Nader, F.H., Dernault, R., Mandić, O., Demir, V., 2019. Kinematics of Foreland – Vergent Crustal Accretion: Inferences from the Dinarides Evolution, *Tectonics*, 38, str. 49-76.
8. Odalović, O., Starčević, M., Grekulović, S., Burazer, M., Aleksić, I., 2012. The establishment of a new gravity reference frame for Serbia, *Survey Review* 44, str. 272-281.
9. Schmid, S., 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 J. Geoscience*, 101, str.139-183.

10. Smirčić, D., Jurkovšek K., T., Ajinović, D., Barudžija, U., Jurkovšek, B., Hrvatović, H., 2018. Stratigraphic Definition and Correlation of Middle Triassic Volcaniclastic Facies in the External Dinarides: Croatia and Bosnia and Herzegovina, *Journal of Earth Science*, 29, 4, str. 864-878.
11. Tassis, G.A., 2010. Study of the Geophysical and Geological Structure of the Adriatic with Gravity Measurements. PhD Thesis. Aristotle University of Thessaloniki, Geology Department, Laboratory of Applied Geophysics, Thessaloniki, Greece (in Greek).
12. Topografska karta 1:100 000, listovi 419-424, 469-474, 519-524, 570-574. <https://www.topografskakarta.com/>
13. Vasiljević, I., 2021. Gravimetrija, prezentacije, Rudarsko – geološki fakultet, Beograd.
14. Vasiljević, I., Ignjatović, S., 2019. Osnovi gravimetrije – praktikum, Rudarsko – geološki fakultet, Beograd, str. 5-13, 42-50, 125.
15. Vušović, N., Svrkota, I., Vaduvesković, Z., 2012. Prostorni referentni sistemi, Rudarski radovi, 3, str. 143-170.

## ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ ЗАВРШНОГ РАДА

Име и презиме студента \_\_\_\_\_ Деана Бркић \_\_\_\_\_

Број индекса \_\_\_\_\_ Г2/18 \_\_\_\_\_

И з ј а в љ у ј е м

да је завршни рад под насловом

Одређивање гравиметријских аномалија при промени референтног  
координатног система

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да завршни рад у целини ни у деловима није био предложен за стицање друге дипломе на студијским програмима Рударско-геолошког факултета или других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

У Београду, 22.09.2022.

Потпис студента

\_\_\_\_\_

**ИЗЈАВА**  
**О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ**  
**ЗАВРШНОГ РАДА**

Име (име родитеља) и презиме студента Деана (Предраг) Бркић

Број индекса Г2/18

Студијски програм Геофизика

Наслов рада Одређивање гравиметријских аномалија при промени референтног

координатног система

Ментор др проф Ивана Васиљевић

Изјављујем да је штампана верзија мог завршног рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради одлагања у Дигиталном репозиторијуму Рударско-геолошког факултета.

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

Ови лични подаци могу се објавити у електронском каталогу и у публикацијама Рударско-геолошког факултета.

У Београду, 22.09.2022.

**Потпис студента**

\_\_\_\_\_



## ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ ЗАВРШНОГ РАДА

Овлашћујем библиотеку Рударско-геолошког факултета да у Дигитални репозиторијум унесе мој завршни рад под насловом:

---

Одређивање гравиметријских аномалија при промени референтног  
координатног система

---

који је моје ауторско дело.

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

Мој завршни рад одложен у Дигиталном репозиторијуму Рударско-геолошког факултета је *(заокружити једну од две опције):*

I. редуковано доступан кроз наслов завршног рада и резиме рада са кључним речима;

II. јавно доступан у отвореном приступу, тако да га могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се уз сагласност ментора одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

*(Заокружите само једну од шест понуђених лиценци. Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве.)*

У Београду, 22.09.2022.

**Потпис ментора**

**Потпис студента**

---

---

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
  2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
  3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
  4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
  5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
  6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.
-

Библиотека Рударско-геолошког факултета

---

**ПОТВРДА**  
**О ПРЕДАЈИ ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ ЗАВРШНОГ РАДА**

Потврђује се да је студент Деана (Предраг) Бркић,  
(име (име родитеља) презиме)

бр. индекса Г2 /18 предао/ла електронску верзију завршног рада на  
основним/мастер академским студијама под насловом:

Одређивање гравиметријских аномалија при промени референтног координатног система

---

---

који је урађен под менторством Иване Васиљевић, вандредног професора  
(име, презиме и звање)

за Дигитални репозиторијум завршних радова РГФ-а.

Потврда се издаје за потребе Одељења за студентска и наставна питања и не може се  
користити у друге сврхе.

У Београду, 22.09.2022.

**Библиотекар**

---