

Proučavanje razvića Bihaćkog i Cazinskog basena primenom gravimetrijskih podataka

SNEŽANA M. IGNJATOVIĆ, Univerzitetu Beogradu,
Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
IVANA M. VASILJEVIĆ, Univerzitet u Beogradu
Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
NEVENA R. ANDRIĆ-TOMAŠEVIĆ, Karlsruher Institut
für Technologie, Karlsruhe, Nemačka
ANA S. MLADENOVIĆ, Univerzitet u Beogradu
Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Originalni naučni rad
UDC: 550.831(497.6)
DOI: 10.5937/tehnika24032871

Bihaćki i Cazinski baseni su neogeni baseni, koji pripadaju spoljašnjim Dinaridima i formirani su tokom kasne faze razvoja Dinarida. Ovi baseni su od posebnog interesa zbog svoje geološke prošlosti i potencijalnih strukturnih karakteristika. U istraživanju, primenjeni su gravimetrijski podaci u cilju boljeg razumevanja evolucije ovih basena. Primenom različitih postupaka matematičkih transformacija na gravimetrijskim podacima može se ustanoviti gravitacioni uticaj neogenih basena male gustine i mogu se detektovati strukture, koje su potencijalno vezane za njihovo formiranje. U ovom istraživanju, analiza pokazuje da kontakti, definisani na osnovu gravimetrijskih podataka podložnim različitim postupcima transformacije, uglavnom prate dominantni pravac severozapad-jugoistok, što je u skladu sa dinarskom tektonskom orijentacijom. Međutim, primećuju se i lineamenti u centralnom delu istražnog prostora koji imaju pravac jugozapad-severoistok. Ovi lineamenti se smatraju potencijalno ključnim za razumevanje procesa razdvajanja depocentara i formiranje dva odvojena basena umesto jednog.

Ključne reči: matematičke transformacije podataka, kontakti, neogeni baseni

1. UVOD

Dinarski jezerski sistem, koji obuhvata Bihaćki i Cazinski basen, formiran je tokom kasne faze razvoja Dinarida. Ova faza se karakteriše ekstenzijom koja je istovremena sa formiranjem Panonskog basena. Ovoj fazi predhodila je faza kontrakcije i glavna faza nastanka planinskog venca. Tom prilikom formiran je navlačno nabrani kompleks, koji se karakteriše navlakama i reversnim rasedima pravca pružanja severozapad-jugoistok. Sinhrono su taloženi sinkontrakcioni sedimenti koji čine neposrednu podinu basena. Krajem miocena, baseni su invertovani, a ovaj period se karakteriše desnim transkurentnim rasedom Split-Karlovac [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Strukture koje su uticale na razvoj Bihaćkog i Cazinskog basena danas su teško uočljive zbog pokrivene

nosti terena. U cilju određivanja položaja ovih struktura koje su potencijalno vezane za formiranje basena, korišćeni su gravimetrijski podaci na koje su primenjeni različiti postupci matematičkih transformacija. Ovaj pristup omogućava izdvajanje gravitacionog uticaja neogenih basena male gustine, posebno u zonama gde su negativne anomalije izražene, kao što je slučaj sa Dinaridima. Primena postupaka poput vertikalnog gradijenta, ukupnog horizontalnog gradijenta i ugla nagiba na gravimetrijske podatke omogućava definisanje položaja raseda koji su uticali na razvoj Bihaćkog i Cazinskog basena [7].

2. METODOLOGIJA

Gravimetrski podaci, koji su korišćeni u radu, dobijeni su na osnovu gravimetrijskog premera u bivšoj Jugoslaviji [8]. Prilikom obrade gravimetrijskih podataka korišćeni su savremeni postupci razvijeni unutar geofizičkih softverskih paketa, kao što su Golden Software Surfer i Geosoft Oasis Montaj. Na osnovu gravimetrijskih podataka za istražni prostor je urađena karta Bugeovih anomalija, koja predstavlja

Adresa autora: Snežana Ignjatović, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, Dušina 7
e-mail: snezana.ignjatovic@rg.bg.ac.rs
Rad primljen: 19.04.2024.
Rad prihvaćen: 16.05.2024.

polaznu osnovu za dalju obradu podataka. Pri izradi karte korišćena je prosečna gustina stenske mase od 2.60 t/m^3 , a mreža interpolacije iznosila je $2.5 \times 2.5 \text{ km}$. Karta Bugeovih anomalija za istražni prostor prikazana je na slici 2.

U zonama izraženih negativnih gravimetrijskih anomalija (ovde, na području Dinarida) u cilju izdvajanja gravitacionog uticaja neogenih basena male gustine i lociranja struktura, koje su potencijalno vezane za njihovo formiranje, bilo je neophodno da se ukloni regionalni uticaj primarnih uzročnika anomalija. Ovo je postignuto filtriranjem podataka. Pri izboru filtera vodilo se računa da se dobije regionalna karta istražnog terena. Sledeći korak u obradi podataka je bio uklanjanje regionalnog uticaja Dinarida iz karte Bugeovih anomalija tako da se dobije filtrirana karta lokalnih gravimetrijskih anomalija (slika 3).

Da bi se detekovale strukture koje su potencijalno vezane za formiranje neogenih basena, u ovom slučaju Bihačkog i Cazinskog basena, na kartu lokalnih gravimetrijskih anomalija primenjeni su sledeći postupci matematičkih transformacija: vertikalni gradijenti (slika 4), ukupni horizontalni gradijenti (slika 5) i ugao nagiba (slika 6). Cilj primene navedenih transformacija je bio da se definiše položaj kontakta sa velikim padnim uglom, koji mogu da odgovaraju rasedu ili čelu navlake.

2.1. Postupak vertikalni gradijent

Postupak prvi vertikalni gradijent (VDR) predstavlja promenu ukupnog gravitacionog ubrzanja (f) duž vertikalnog pravca (z). Izražava se kao [9, 10]:

$$VDR = \partial f / \partial z. \quad (1)$$

VDR ima nula vrednost iznad granice (ivice) uzročnika anomalije, kao i iznad kontakta sa velikim podnim uglom. Pozitivna vrednost VDR-a ukazuje na prisustvo tela koje izaziva pozitivnu anomaliju, dok je negativna vrednost prisutna izvan uzročnika anomalije [9, 10].

2.2. Postupak ukupni horizontalni gradijent

Postupak ukupni horizontalni gradijent (THDR) se koristi za definisanje granica uzročnika anomalija, kao i za definisanje položaja kontakata sa velikim padnim uglom, a koji mogu da odgovaraju rasedu ili čelu navlake. Ukupni horizontalni gradijent definiše se kao [10, 11]:

$$THDR = \sqrt{(\partial f / \partial x)^2 + (\partial f / \partial y)^2} \quad (2)$$

gde je

f – gravitaciono ubrzanje, $\partial f / \partial x$, $\partial f / \partial y$ su prvi izvod f duž x i y pravca.

Maksimalna vrednost THDR se nalazi iznad granice uzročnika anomalije, a nula vrednost je iznad težišta tela, koje je uzročnik anomalije. Kontakti sa velikim padnim uglom detektuju se kao izduženi maksimumi na karti THDR-a [10, 11].

2.3. Postupak ugao nagiba

Ugao nagiba (TDR) može se predstaviti kao [9, 12]:

$$TDR = \theta = \tan^{-1} \left[\frac{\partial f / \partial z}{\partial f / \partial h} \right] \quad (3)$$

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

gde je

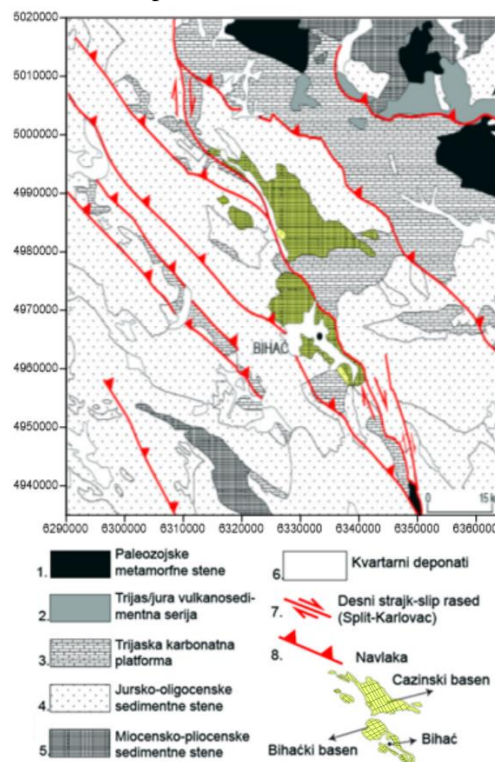
f – gravitaciono ubrzanje,

$\partial f / \partial x$, $\partial f / \partial y$, $\partial f / \partial z$ – prvi izvodi f duž x , y i z pravaca.

TDR je pozitivan iznad uzročnika anomalije i prolazi kroz nulu iznad granice uzročnika i kontakta sa velikim podnim uglom. Negativna vrednost je prisutna izvan oblasti gde se nalazi uzročnik [9, 11].

3. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE ISTRAŽNOG TERENA

Geološka građa istražnog područja prikazana je na slici 1. Istražni prostor je izgrađen od paleozojskih, trijaskih, jurskih, krednih, miocensko-pliocenskih naslaga i kvartarnih deponata.



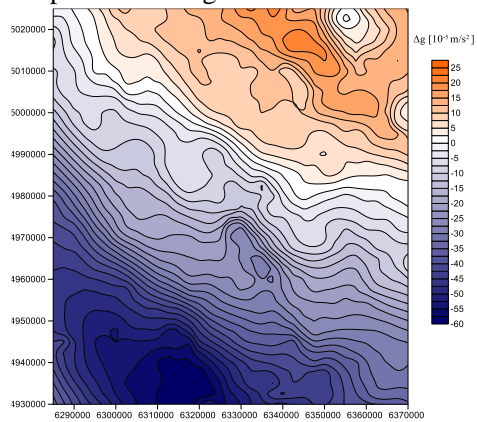
Slika 1 – Geološka karta istražnog terena (prema [6])

U samom području Bihaćkog i Cazinskog bazena, prisutne su neogene naslage koje su karakteristične po svojoj slatkovodnoj jezerskoj facijalnoj sredini. Ove naslage obuhvataju breče, konglomerate, krečnjake i laporce, često sa proslorcima tufita i uglja [6].

Strukturna građa istražnog prostora je složena, formirana usled rupturnih deformacija koje uključuju kako normalne, tako i delimično reversne rasede. Veći rasedi, koji predstavljaju granice tektonskih jedinica, uglavnom prate dinarski pravac pružanja, orijentisan severozapad-jugoistok [6].

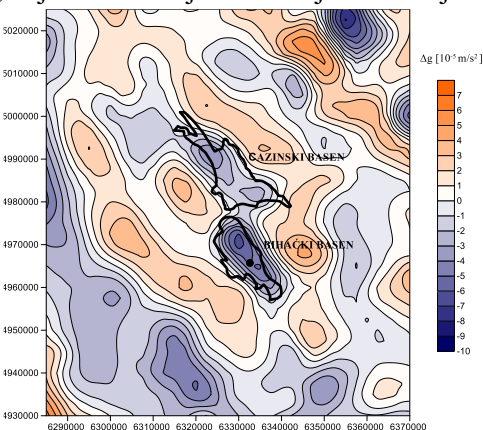
4. REZULTATI I DISKUSIJA

Analizom karte Bugeovih anomalija (slika 2) uočavaju se pozitivne i negativne vrednosti anomalija.



Slika 2 – Karta Bugeovih anomalija

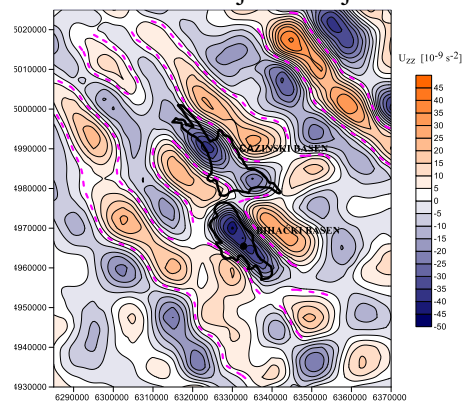
Pozitivne vrednosti anomalija nalaze se u severo-severoistočnom delu karte i ukazuju na stene veće gustine u odnosu na prosečnu gustinu ispitivanog prostora, a izazvane su prisustvom peridotita i dijabaza. Negativne vrednosti Bugeovih anomalija koje su prisutne u južnom delu karte posledica su sedimentnih stena, koje se u velikoj meri sastoje od krečnjaka.



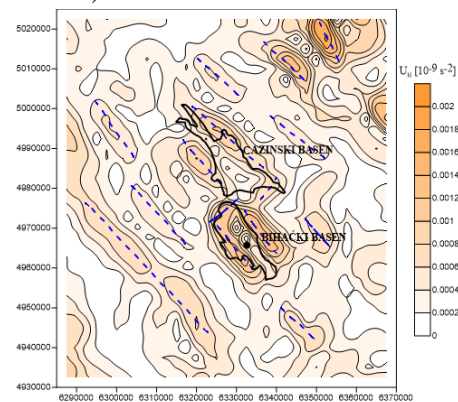
Slika 3 – Karta filtriranih lokalnih gravimetrijskih anomalija sa prikazanim položajem Bihaćkog i Cazinskog bazena

Karta lokalnih gravimetrijskih anomalija prikazana je na slici 3 na kojoj su crnom linijom prikazani

položaji Bihaćkog i Cazinskog bazena [13]. Na karti lokalnih gravimetrijskih anomalija (slika 3) u centralnom delu karte jasno se uočavaju izražene negativne anomalije, koje odgovaraju položaju Bihaćkog i Cazinskog bazena (obeleženi crnom linijom na karti). Osim ovih bazena, na karti se uočavaju i baseni u jugozapadnom, kao i u severoistočnom delu istražnog terena. Analizom karte lokalnih gravimetrijskih anomalija uočeni su kontakti koji generalno imaju pravac pružanja SZ-JI, i ovaj pravac se poklapa sa dominantnim pravcem pružanja raseda u Dinaridima. U centralnom delu karte uočavaju se i kontakti koji nemaju tipičan dinarski pravac, tj. uočavaju se kontakti čiji je pravac pružanja JZ-SI. Ovi kontakti su prisutni između Bihaćkog i Cazinskog bazena. Na karti vertikalnog gradijenta (slika 4) kontakti se detektuju kao relativno pravi delovi nulte izolije i prikazani su ljubičastom isprekidanom linijom. Kontakti imaju dominantni pravac SZ-JI. Na karti vertikalnog gradijenta, u centralnom delu, zapažaju se i lineamenti sa drugačijim pravcem pružanja, pri čemu pravci ovih lineamenata nisu u međusobnoj korelaciji.

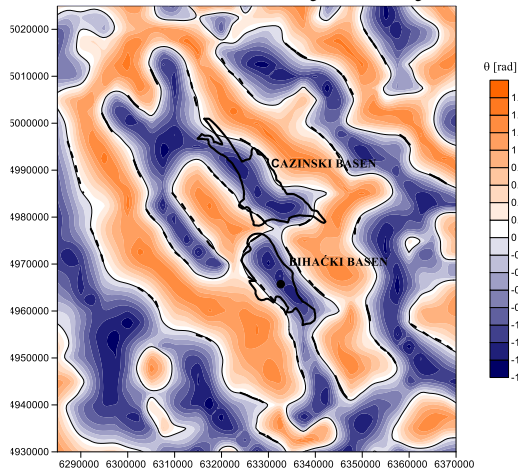


Slika 4 – Karta vertikalnog gradijenta sa prikazanim položajem Bihaćkog i Cazinskog bazena (ljubičaste isprekidane linije-interpretirani kontakti)



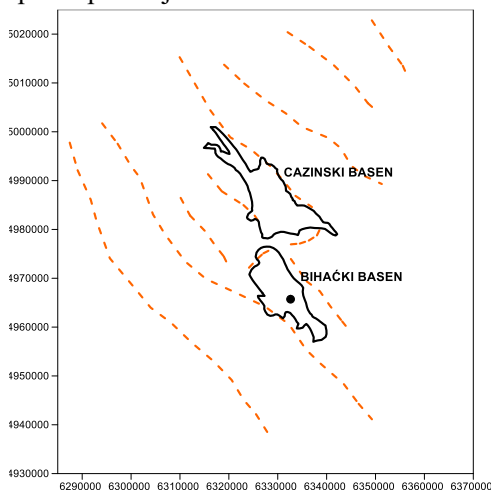
Slika 5 – Karta ukupnog horizontalnog gradijenta sa prikazanim položajem Bihaćkog i Cazinskog bazena (plave isprekidane linije-interpretirani kontakti)

Karta ukupnog horizontalnog gradijenata prikazana je na slici 5. Kontakti se na ovoj karti definišu kao izduženi maksimumi i prikazani su isprekidanom plavom linijom. Dominantni pravac pružanja detektovanih kontakta i na ovoj karti je SZ-JI. Osim ovih pravaca uočavaju se i lineamenti sa drugačijim pravcem pružanja i to u centralnom delu karte, pri čemu pravci ovih lineamenata nisu u međusobnoj korelaciji.



Slika 6 – Karta ugao nagiba sa prikazanim položajem Bihačkog i Cazinskog basena (isprekidane crne linije-interpretirani kontakti)

Na slici 6 prikazana je karta ugao nagiba. Primenom postupka TDR kontakti se detektuju kao relativno pravi delovi nulte izolinijske i oni su prikazani isprekidanom crnom bojom. Ovim postupkom, kao i gore navedenim postupcima, utvrđen je dominantni pravac kontakta na istražnom prostoru, koji je orijentisan SZ-JI. Osim dominantnih kontakta, u centralnom delu karte mogu se definisati i položaji lineamenata koji imaju pravac pružanja JZ-SI.



Slika 7 – Položaji kontakta dobijeni na osnovu analize gravimetrijskih podataka sa prikazanim položajem Bihačkog i Cazinskog basena

Detektovani kontakti, prikazani na slici 7 imaju tipičan dinarski pravac, koji odgovara strukturama, tj.

navlakama, formiranim tokom glavnog procesa orogeneze, a koji je trajao od gornje krede do oligocena [14, 15]. Kontakti koji nemaju dinarski pravac, a nalaze se u centralnom delu istražnog terena mogu da se interpretiraju kao već postojeće starije strukture, koje su bile reaktivirane tokom kasne faze razvoja orogena tokom miocena i/ili pliocena. Takođe, mogu da se interpretiraju kao strukture nastale lateralnim cepanjem navlaka usled lateralnih varijacija u naprezanju [16].

Detektovane strukture između Bihačkog i Cazinskog basena, sa pravcem pružanja jugozapad-severozapad, mogu biti od značaja za razumevanje procesa razdvajanja depocentara i formiranje dva odvojena basena umesto jednog.

5. ZAKLJUČAK

U ovom istraživanju proučavano je razviće Bihačkog i Cazinskog basena primenom gravimetrijskih podataka u okviru Dinarida. Kroz primenu različitih postupaka matematičkih transformacija na gravimetrijske podatke, identifikovane su strukture koje su potencijalno povezane sa formiranjem ovih neogenih basena.

Filtriranje podataka je primenjeno kako bi se uklonio regionalni uzročnik anomalije (Dinarida), a zatim su primenom postupaka vertikalni gradijent, ukupni horizontalni gradijent i ugao nagiba locirani kontakti koji su odgovorni za razvoj intramontanskih basena (Bihački i Cazinski basen) formiranih tokom kasne faze razvoja Dinarida.

Analiza gravimetrijskih podataka definisala je dominantni pravac kontakta na istražnom prostoru, koji je tipičan za dinarski pravac. Osim toga, identifikovani su i kontakti koji nisu u skladu sa ovim dinarskim pravcem, što ukazuje na kompleksnost strukturne evolucije ovih basena. Ovi kontakti se uočavaju u centralnom delu istražnog terena (na prostoru između Bihačkog i Cazinskog basena) i oni ukazuju da su strukture nastale lateralnim cepanjem navlake (lateralne varijacije u naprezanju) ili su u pitanju već postojeće starije strukture koje su bile reaktivirane tokom kasne faze razvoja orogena.

Iako su uspešno detektovane potencijalno važne strukture, postoji potreba za daljim istraživanjem radi potvrde prisustva i detaljnijeg razumevanja formiranja Bihačkog i Cazinskog basena. Neophodno je da se u budućim istraživanjima koriste dodatne geofizičke i geološke metode radi potvrde identifikovanih struktura i njihove interpretacije u širem geološkom kontekstu.

6. ZAHVALNOST

Autori se zahvaljuju Ministarstvu nauke, tehnološkog razvoja i inovacija koji su obezbedili sredstva po osnovu Ugovora br. 451-03-65/2024-03/200126.

LITERATURA

- [1] De Leeuw, A, Mandić O, Krijgsman W, Kuiper K, Hrvatović H, Paleomagnetic and geochronologic constraints on the geodynamic evolution of the Central Dinarides. *Tectonophysics* 530-531, pp. 286-298, 2012.
- [2] Sant K, Andrić N, Mandić O, Demir V, Pavelić D, Rundić Lj, Hrvatović H, Matenco L, Krijgsman W, Magneto-biostratigraphy and paleoenvironments of the Miocene freshwater sediments of the Sarajevo-Zenica Basin, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 506, pp.48-69, 2018.
- [3] Matenco L, Radivojević D, On the formation and evolution of the Pannonian Basin: Constraints derived from the structure of the junction area between the Carpathians and Dinarides, *Tectonics*, 31, TC6007, pp. 1-31, 2012.
- [4] Andrić N, Sant K, Matenco L, Mandić O, Tomljenović B, Pavelić D, Hrvatović H, Demir V, Ooms, J., The link between tectonics and sedimentation in asymmetric extensional basins: Inferences from the study of the Sarajevo-Zenica Basin, *Marine and Petroleum Geology*, 83, pp. 305-332, 2017.
- [5] Erak D, Matenco L, Toljić M, Stojadinović U, Andriessen P. A, Willingshofer E, Ducea M. N, From nappe stacking to extensional detachments at the contact between the Carpathians and Dinarides–The Jastrebac Mountains of Central Serbia, *Tectonophysics* 710, pp. 162-183, 2017.
- [6] Polšak A, Crnko J, Šimunić A, Šimunić A, Šparica M, Juriša M. *Tumač osnovne geološke karte, list Bihać*, Savezni geološki zavod, Beograd, 1967.
- [7] Ignjatović S, Vasiljević I, Vučković D, Definisanje strukturno-tektonskih odnosa koji su uticali na formiranje Neogenih basena primenom matematičkih transformacija, 18. *Kongres geologa Srbije: Zbornik apstrakata (Nacionalni kongres s međunarodnim učešćem)*, Srpsko geološko društvo, Beograd, 2018.
- [8] Bilibajkić P, Mladenović M, Mujagić S, Rimac L. *Tumač za gravimetrijsku kartu SFR Jugoslavije – Bugeove anomalije 1:500.000*, Savezni geološki zavod, Beograd, 1979.
- [9] Miller G. H, Singh V. Potential field tilt-a new concept for location of potential field sources, *Journal of Applied Geophysics* 32, pp. 213-217, 1994.
- [10] GETECH. *Advanced Processing and Interpretation of Gravity and Magnetic Data*, Getech Kitson House Elmete Hall Leeds, UK, 27 p, 2007.
- [11] Cooper G. R. J, Cowan D. R. D. Edge enhancement of potential-field data using normalized statistics. *Geophysics*, Vol. 73, No. 3, pp. H1-H4, 2008.
- [12] Verduzco B, Fairhead J. D, Green, M. C, MacKenzie, C, New insights into magnetic derivatives for structural mapping, *The Leading Edge*, pp.116-119, 2004.
- [13] Dimitrijević M, Karamata S, Sikošek B, Veslinović D, *Geološka karta SFR Jugoslavija 1: 500 000*, Savezni geološki zavod, Beograd, 1970.
- [14] Dimitrijević M. D. *Geology of Yugoslavia, 2nd edition*. Geoinstitut, Belgrade, 1997.
- [15] Schmid S, Bernoulli D, Fügenschuh B, Matenco L, Schefer S, Schuster R, Tischler M, Ustaszewski K. The Alpine-Carpathian-Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. *Swiss Journal of Geosciences* 101, p.p. 139-183, 2008.
- [16] Ignjatović S, Andrić N, Mladenović A, Vasiljević I. Application of gravity data for study of evolution of neogene basins in the Dinarides: the Bihać basin, 17. *Kongres geologa Srbije: Zbornik apstrakata (Nacionalni kongres s međunarodnim učešćem)*, Srpsko geološko društvo, Beograd, 2018.

SUMMARY**THE EXPLORE OF THE DEVELOPMENT OF THE BIHAĆ AND CAZINA BASINS BY APPLAYING GRAVITY DATA**

The Bihać and Cazina basins, classified as Neogene formations, are situated within the external Dinarides, originating during the late stages of Dinarides' evolution. To scrutinize the developmental trajectory of these basins, gravitational data proves instrumental. Employing diverse mathematical transformation techniques on gravity data unveils the gravitational influence of the low-density Neogene basins, facilitating the detection of structures potentially linked to their genesis. Contacts delineated through these transformations predominantly exhibit a northwest-southeast extension, characteristic of the Dinaric region. Additionally, distinctive lineaments, diverging in orientation, were noted in the central survey area, stretching southwest-northeast. These features likely played a role in segregating the depocenter, thereby fostering the bifurcation of the basins, instead of a singular formation.

Kew Words: *mathematical transformations of data, contacts, Neogene basins*