

# Definisanje strukturnih odnosa primenom postupka horizontalni gradijent

Snežana Ignjatović, Ivana Vasiljević, Natalija Jovanović



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

**[ДР РГФ]**

Definisanje strukturnih odnosa primenom postupka horizontalni gradijent | Snežana Ignjatović, Ivana Vasiljević, Natalija Jovanović | Tehnika | 2019 | |

10.5937/tehnika1905664I

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0005624>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

## Definisanje strukturnih odnosa primenom postupka horizontalni gradijent

SNEŽANA IGNJATOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,  
Rudarsko-geološki fakultet, Beograd  
IVANA VASILJEVIĆ, Univerzitet u Beogradu,  
Rudarsko-geološki fakultet, Beograd  
NATALIJA JOVANOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,  
Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Stručni rad  
UDC: 550.831(497.11)  
DOI: 10.5937/tehnika1905664I

*Različiti postupci matematičkih transformacija se mogu primeniti na gravimetrijskim i magnetometrijskim podacima, kako bi se na istražnom terenu definisali strukturno-tektonski odnosi. U radu su prikazani rezultati dobijeni korišćenjem postupka horizontalni gradijent i ukupni horizontalni gradijent na gravimetrijskim podacima. Navedeni postupci su pomogli da se detektuju kontakti sa velikim padnim uglom (vertikalni ili subvertikalni kontakti), koji se mogu interpretirati kao rasedi. Za test područje uzet je istražni prostor koji se nalazi na jugoistoku Srbije u okolini Vranjskog basena. Položaji neotektonskih raseda detektovanih tokom geoloških istraživanja u okolini Vranjskog basena se delimično poklapaju sa kontaktima dobijenim primenom matematičkih transformacija na gravimetrijskim podacima.*

**Ključne reči:** gravimetrijski podaci, matematičke transformacije, rased, Vranjski basen

### 1. UVOD

Gravimetrijski podaci se mogu koristiti za definisanje strukturno-tektonskih odnosa na istražnom prostoru. Nagle promene vrednosti anomalija ukazuju na vertikalne ili subvertikalne kontakte dve sredine različite gustine, pri čemu se ti kontakti mogu interpretirati kao rasedi [1]. Na osnovu gravimetrijskih podataka mogu da se detektuju rasedi duž kojih je došlo do značajnih vertikalnih pomeranja, pri čemu se starost raseda ne može utvrditi.

Kako bi se definisali strukturni odnosi na istražnom terenu mogu da se koriste gravimetrijski podaci na koje mogu da se primene određeni postupci matematičkih transformacija. Dobre rezultate daje primena postupka horizontalni gradijenti i ukupni horizontalni gradijent na podacima Bugeovih anomalija. Za testiranje su korišćeni podaci gravimetrijskih merenja u okolini Vranjskog basena, koji se nalazi na jugoistoku Srbije.

U radu je prikazana teorijska osnova postupaka horizontalni gradijent i ukupni horizontalni gradijent,

kao i njihova praktična primena.

Podaci, korišćeni u radu, vode poreklo iz Baze podataka gravimetrijskog premera Srbije [2]. Ukupan broj podataka gravimetrijskih merenja za istražno područje iznosi 4.017. Površina istražnog područja iznosi 6.300 km<sup>2</sup>, a prosečna gustina tačaka za ceo istražni prostor iznosi oko 0.64 tačke po kilometru kvadratnom. Prilikom obrade i analize podataka gravimetrijskih merenja primenjeni su postupci razvijeni u okviru geofizičkih softverskog paketa Golden Software Surfer.

### 2. TEORIJSKI DEO

Za definisanje kontakata koji imaju veliki padni ugao mogu da se koriste različiti postupci matematičkih transformacija primenjeni na podacima Bugeovih anomalija. U radu su prikazani postupci horizontalni gradijent i ukupni horizontalni gradijent.

#### 2.1. Postupak horizontalni gradijent

Horizontalni gradijenti funkcije  $\varphi(x,y)$  predstavljaju promenu gravitacionog polja u horizontalnom pravcu i mogu se izraziti na sledeći način:

$$\frac{d\varphi(x,y)}{dx} \approx \frac{\varphi_{i+1,j} - \varphi_{i-1,j}}{2\Delta x} = H_x \quad (1)$$

$$\frac{d\varphi(x,y)}{dy} \approx \frac{\varphi_{i,j+1} - \varphi_{i,j-1}}{2\Delta y} = H_y,$$

Adresa autora: Snežana Ignjatović, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, Dušina 7  
e-mail: snezana.ignjatovic@gmail.com

Rad primljen: 25.09.2019.

Rad prihvaćen: 11.10.2019.

gde vrednosti  $\varphi(i,j)$ ,  $i=1,2,3,\dots$ ,  $j=1,2,3,\dots$ , predstavljaju diskretne vrednosti funkcije  $\varphi(x,y)$  na intervalima uzorkovanja  $\Delta x$  i  $\Delta y$  u tački  $i, j$  [3]. Izraz (1) pokazuje da je vrednost gradijenta približno jednaka izvodu funkcije.

Horizontalni gradijent predstavlja nagib (koeficijent pravca) anomalije u  $x$  ili  $y$  pravcu, a operator horizontalnog gradijenta je fazni filter koji utiče na pomeranje uzročnika anomalije ili deli negativnu anomaliju u negativno-pozitivni par duž  $x$  ili  $y$  ose [4].

Postupkom horizontalni gradijent mogu da se detektuju kontakti sa velikim padnim uglom kao izduženi maksimumi ili minimumi.

## 2.2. Postupak ukupni horizontalni gradijent

Ukupni horizontalni gradijent (THDR) se koristi za definisanje granica bliskopovršinskih uzročnika gravimetrijskih anomalija, kao i za definisanje položaja kontakata sa velikim padnim uglom, a koji mogu da odgovaraju rasedu, čelu navlake i sl. Ukupni horizontalni gradijent definiše se kao [5]:

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

gde je

$f$  – anomaljska vrednost (u radu Bugeova anomalija),

$\frac{\partial f}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial f}{\partial y}$  su prvi izvod  $f$  duž  $x$  i  $y$  pravca.

Maksimalna vrednost ukupnog horizontalnog gradijenta se nalazi iznad ivice uzročnika anomalije, a nula vrednost je iznad težišta tela, koje je uzročnik anomalije. Na karti ukupnog horizontalnog gradijenta kontakti sa velikim padnim uglom se detektuju kao izduženi maksimumi [6, 7].

## 3. PRAKTIČNI DEO

Primenom postupka horizontalni gradijent i postupka ukupni horizontalni gradijent na podacima Bugeovih anomalija mogu se detektovati kontakti, koji imaju veliki padni ugao, a koji se mogu interpretirati kao rasedi. Kao test područje izabran je širi prostor oko Vranjskog basena. Za definisanje položaja raseda na istražnom prostoru i za proveru da li detektovani rasedi po svom položaju mogu da se uporede sa neotektonskim rasedima definisanim geološkim istraživanjima korišćen je postupak horizontalni gradijent i postupak ukupni horizontalni gradijent.

Vranjski basen se nalazi u jugoistočnom delu Srbije, a formiran je kao depresiona struktura tokom neogena i kvartara. Vranjski rov je složen depresioni prostor sa dominantnim centralnim delom, koji se sastoji od jedne relativno uzane zone spuštene od 1000-1500 metara i smeštene između raseda, koji imaju pravac

pružanja SI-JZ. Basen je najverovatnije nastao u pliocenu, a o starijim neogenim pokretima nema pouzdanih podataka. Subsidijska aktivnost uspostavljena u pliocenu u slabijoj formi produžena je do kvartara [8].

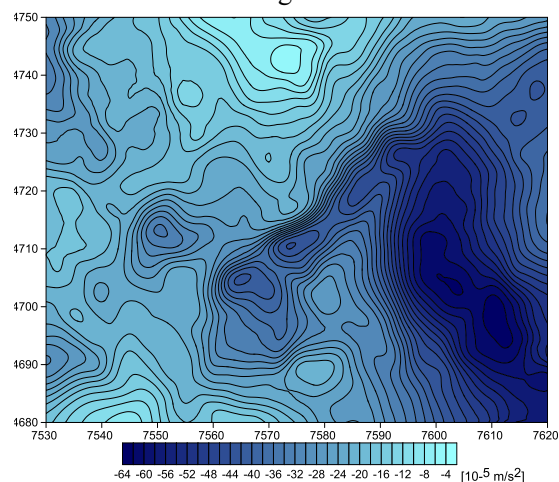
Položaji neotektonskih raseda za istražni prostor za potrebe rada su preuzeti sa neotektonske karte [8]. Generalni pravci pružanja neotektonskih raseda na istražnom terenu su SI-JZ i JI-SZ.

Granice istražnog područja u Gaus Krigerovom koordinatnom sistemu su [7530 km – 7620 km] i [4680 km – 4750 km].

Na osnovu gravimetrijskih merenja iz Baze podataka za istražni prostor je urađena karta Bugeovih anomalija, koja predstavlja osnovu za dalju obradu podataka. Pri izradi karte korišćena je prosečna gustina stenske mase od  $2.67 \text{ t/m}^3$ , a mreža interpolacije iznosila je  $0.5 \times 0.5 \text{ km}$ .

Da bi se eliminisale ili umanjile greške i smetnje u merenom signalu izvršeno je filtriranje podataka Hanningovim filterom. Filtriranjem podataka uklonjene su neke lokalne anomalije malog prostiranja, koje nisu od značaja za interpretaciju. Filtrirana karta Bugeovih anomalija je prikazana na slici 1.

Analizom karte Bugeovih anomalija (slika 1) utvrđeno je da se negativne vrednosti anomalija zapažaju na celom istražnom području. Minimalne vrednosti u centralnom i zapadnom delu karte ukazuju na spuštene delove podloge, odnosno u ovom delu terena se nalazi basen. Minimum u centralnom delu karte ima pravac pružanja severoistok-jugozapad, dok se minimum u zapadnom delu prostire u pravcu severozapad-jugoistok. Na karti Bugeovih anomalija, takođe, se uočavaju i nagle promene vrednosti anomalija, koje mogu da ukazuju na postojanje vertikalnih ili subvertikalnih kontakata dve sredine različite gustine.

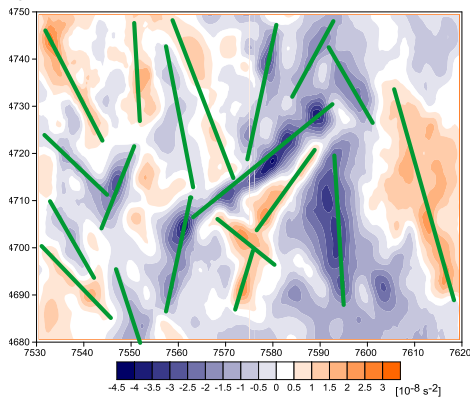


Slika 1 – Filtrirana karta Bugeovih anomalija

U cilju detekcije kontakata sa velikim padnim uglom (vertikalni ili subvertikalni kontakti) primenjeni

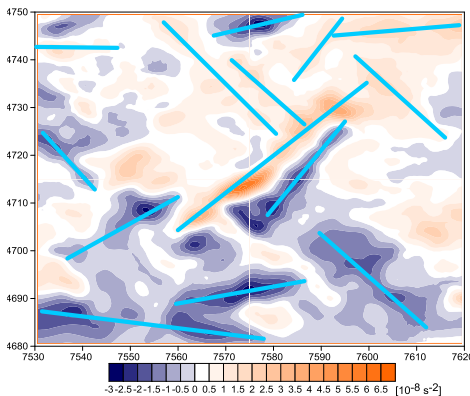
su postupci horizontalni gradijent i ukupni horizontalni gradijent gravitacionog ubrzanja.

Horizontalni gradijenti su rađeni u pravcu zapad-istok, jug-sever, jugoistok-severozapad i jugozapad-severoistok. Ovakva orijentacija horizontalnih gradijentata je izabrana, pošto su to pravci koji su upravni na pravce pružanja neotektonskih raseda detektovanih na istražnom terenu. Položaji neotektonskih raseda za istražni prostor su preuzeti sa neotektonske karte [8]. Rezultati primene postupka horizontalni gradijent su prikazani na slikama 2, 3, 4 i 5. Postupkom horizontalni gradijent vertikalni ili subvertikalni kontakti se detektuju kao izduženi maksimumi ili minimumi.



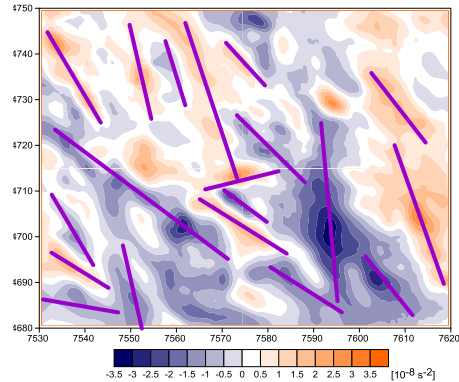
Slika 2 – Karta horizontalnog gradijenta – rađena u pravcu zapad-istok (kontakti su prikazani zelenim linijama)

Na karti horizontalni gradijent, koji je rađena u pravcu zapad-istok (slika 2) kontakti su izdvojeni zelenim linijama. Detektovani kontakti imaju pravac pružanja SI-JZ, SZ-JI, JZ-SI, kao i S-J. Na slici 3 prikazani su rezultati primene postupka horizontalni gradijent, koji je rađen u pravcu jug-sever. Kontakti su izdvojeni svetlo plavim linijama i imaju pravac pružanja JI-SZ, SI-JZ, kao i I-Z.



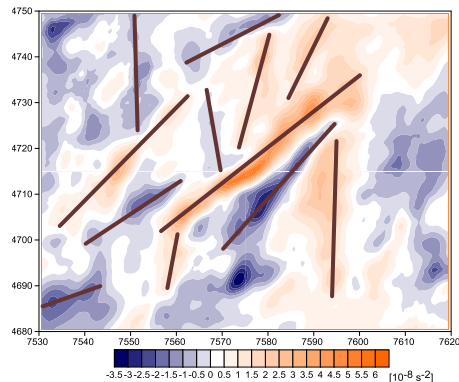
Slika 3 – Karta horizontalnog gradijenta – rađena u pravcu jug-sever (kontakti su prikazani svetlo plavim linijama)

Horizontalni gradijenti su rađeni i u pravcu jugoistok-severozapad (slika 4), kao i pravcu jugozapad-severoistok (slika 5).



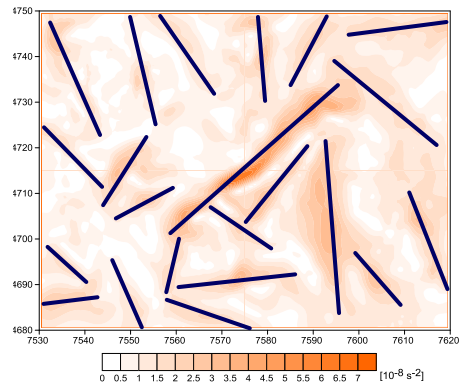
Slika 4 – Karta horizontalnog gradijenta – rađena u pravcu jugoistok-severozapad (kontakti su prikazani ljubičastim linijama)

Na slici 4 kontakti su prikazani ljubičastim linijama i imaju pravac pružanja JI-SZ, S-J i I-Z, dok su na slici 5 kontakti prikazani braon linijama i imaju pravac pružanja SI-JZ, I-Z i S-J.



Slika 5 – Karta horizontalnog gradijenta – rađena u pravcu jugozapad-severoistok (kontakti su prikazani braon linijama)

Sa ciljem da se izdvoje kontakti sa velikim padnim uglom primenjen je i postupak ukupni horizontalni gradijent (slika 6). Primenom ovog postupka kontakti se definišu kao izduženi maksimumi [6, 7].

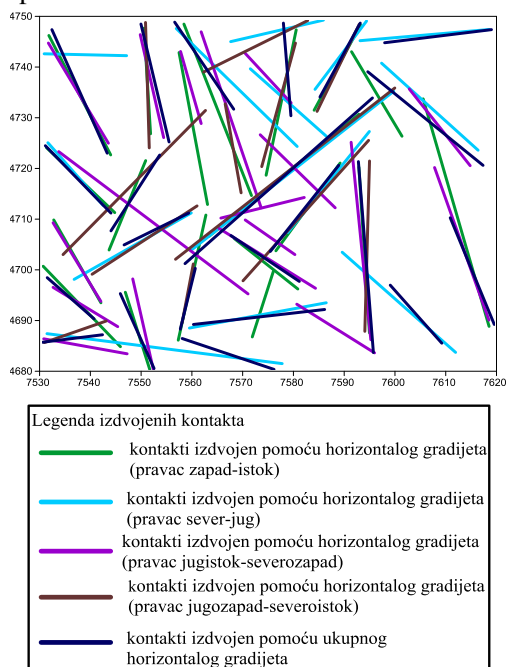


Slika 6 – Karta ukupno horizontalnog gradijenta (kontakti su prikazani tamno plavim linijama)

Rezultati primene postupka THDR su prikazani na slici 6, na kojoj su kontakti prikazani tamno plavim

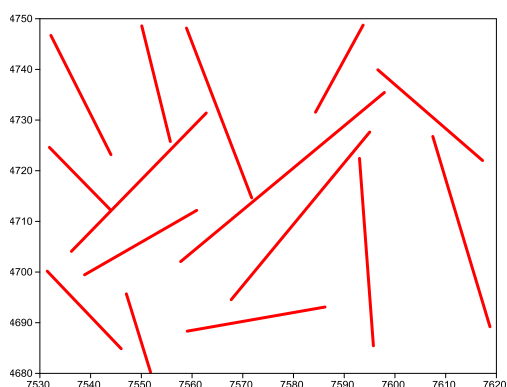
linijama. Kontakti imaju generalni pravac pružanja JI-SZ, SZ-JI, kao i I-Z.

Svi kontakti koji su definisani primenom postupka horizontalni gradijent i ukupni horizontalni gradijent su prikazani na slici 7.



Slika 7 – Položaji kontakata definisani pomoću postupka horizontalni gradijent i ukupni horizontalni gradijent

Analizom slike 7 izdvojeni su najverovatniji pravci kontakata za dati istražni prostor i oni su prikazani kao crvene linije na slici 8. Kontakti imaju generalni pravac pružanja JI-SZ, SI-JZ, I-Z, kao i S-J. U središnjem delu karte kontakti imaju generalni pravac pružanja JI-SZ i SZ-JI.



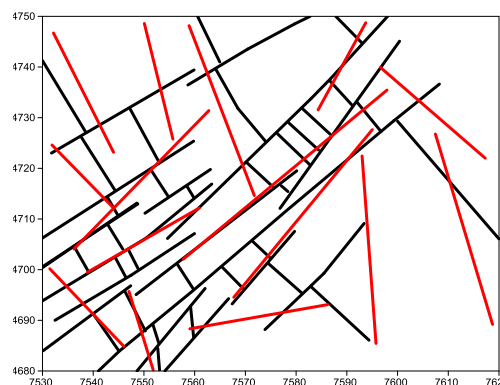
Slika 8 – Najverovatniji položaji kontakata definisani pomoću postupka horizontalni gradijent i ukupni horizontalni gradijent

Kako bi se izvršila detaljna geološko-geofizička interpretacija podataka, odnosno kako bi se izvršila strukturalna analiza istražnog prostora bilo je neophodno da se uporede kontakti detektovani na osnovu postupka

horizontalni i ukupni horizontalni gradijent, sa neotektonskim rasedima za dati istražni prostor. Položaji neotektonskih raseda su dobijeni sa neotektonske karte Srbije [8].

Na slici 9 su prikazani kontakti definisani pomoću postupka horizontalni i ukupni horizontalni gradijent (crvene linije) i neotektonski rasedi (crne linije).

Analizom slike 9 zapaža se da postoji delimično poklapanje između neotektonskih raseda i kontakata definisanih primenom postupka horizontalni i ukupni horizontalni gradijent. Kontakti definisani primenom matematičkih transformacija na podatke Bugeovih anomalija imaju generalni pravac pružanja JI-SZ i SZ-JI i pravci ovih kontakata se poklapaju sa pravcem pružanja neotektonskih raseda u okolini Vranjskog basena. Na slici 9 primećuje se da postoje i izvesna odstupanja. U jugoistočnom delu karte (slika 9) definisan kontakt najverovatnije ukazuje na granicu masivnog magmatskog tela (Surdulički masiv) sa okolnim metamornim stenama. U ostalom delu karte definisani kontakti ukazuju na postojanje raseda koji su stariji, dublji i prekriveni su sedimentnim tvorevinama.



Slika 9 – Karta na kojoj su prikazani kontakti dobijeni pomoću postupka horizontalni gradijent i ukupni horizontalni gradijent (crvene linije) i neotektonski rasedi (crne linije)

#### 4. ZAKLJUČAK

Podaci gravimetrijskih merenja mogu da pomognu pri detektovanju kontakata, koji mogu da se interpretiraju kao rasedi, a duž kojih je došlo do značajnih kretanja krila raseda. Primena postupka horizontalni gradijent na podacima Bugeovih anomalija omogućava da se preciznije otkriju lateralne promene, koje su posledica postojanja razlika u gustini stena, pri čemu takve promene ukazuju na kontakte (vertikalne ili subvertikalne), koji se mogu interpretirati kao rasedi. Na osnovu podataka gravimetrijskih merenja, za prostor koji se nalazi u široj okolini Vranjskog basena, na koje su primenjeni postupci matematičkih transformacija (horizontalni gradijent u različitim pravcima i ukupni horizontalni gradijent) definisani su kontakti koji se

delimično poklapaju sa položajem neotektonskih raseda u centralnom delu istražnog prostora u okolini Vranjskog basena.

Osim neotektonskih raseda na istražnom prostoru, u jugoistočnom delu detektovani su i kontakti koji predstavljaju granicu masivnog magmatskog tela (Surdulički masiv) sa okolnim metamorfnim stenama terena, dok su ostali definisani kontakti najverovatnije stariji, neaktivni rasedi.

#### LITERATURA

- [1] Vasiljević I, Ignjatović S, *Osnovi gravimetrije – praktikum*, Univerzitet u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2016.
- [2] Bilibajkić P, Mladenović M, Mujagić S, Rimac L. *Tumač za gravimetrijsku kartu SFR Jugoslavije – Bugove anomalije 1:500 000*, Savezni geološki zavod, Beograd, 1979.
- [3] Blakely J. R, *Potential theory in gravity and Magnetic application*, Cambridge University Press, Cambridge, 1995.
- [4] Saad H. A, Understanding gravity gradients, *The Leading Edge*, pp. 941-950, 2006.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] GETECH. *Advanced Processing and Interpretation of Gravity and Magnetic Data*, Getech Kitson House Elmete Hall Leeds, UK, 2007.
- [8] Marović M, Toljić M, Rundić Lj, Milivojević J, *Neotectonics of Serbia*, Serbian Geological Society, Beograd, 2001.

#### SUMMARY

##### THE APPLICATION OF HORIZONTAL GRADIENT FOR DEFINING STRUCTURAL CORRELATION

*The different methods of mathematical transformation can be applied on magnetic and gravity data, in order to define structural and tectonic correlation in study area. In this paper we present the results obtained using the technique of the horizontal gradient and the total horizontal gradient on gravity data. These techniques helped to detect contact with a large dip angle (vertical or subvertical contacts), which can be interpreted as faults. For the test area we take the study area located in southeast Serbia around Vranje basin. The positions of neotectonics faults detected during geological survey in the area of the Vranje basin partially coincides with contact obtained using mathematical transformation of the gravity data.*

**Kew words:** *gravity data, mathematical transformation, fault, Vranje basin*