

# Potpovršinsko modeliranje područja Karlovačke uleknine, Savska depresija

---

**Paškov, Tomislav**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2016**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:895247>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-17**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO – GEOLOŠKO – NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geologije

**POTPOVRŠINSKO MODELIRANJE PODRUČJA KARLOVAČKE  
ULEKNINE, SAVSKA DEPRESIJA**

Diplomski rad

Tomislav Paškov

G-177

Zagreb, 2016.



## *Zahvala*

*Prvo zahvaljujem svojoj mentorici prof. emer. dr. sc. Josipi Velić na ukazanom povjerenju za odabir ovog diplomskog rada.*

*Posebna zahvala asistentu dr. sc. Marku Cvetkoviću na savjetima, strpljenju i pomoći prilikom izrade ovoga rada.*

*Najveća zahvala ide mojoj obitelji i prijateljima, a posebno roditeljima koji su me podržavali tijekom studija.*

*I would like to thank Schlumberger Company for providing Petrel software to Faculty. Without it, this thesis could not have been done.*

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

POTPOVRŠINSKO MODELIRANJE PODRUČJA KARLOVAČKE ULEKNINE, SAVSKA DEPRESIJA

TOMISLAV PAŠKOV

Diplomski rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo  
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

**Sažetak**

Ovaj rad obuhvaća izradu potpovršinskog modela Karlovačke uleknine u Savskoj depresiji. Ulazni podatci za modeliranje preuzeti su iz već postojećih strukturnih karata napravljenih 80-ih godina prošloga stoljeća. Izvorne karte izrađene su na osnovi geoloških i geofizičkih podataka, prilikom čega je izdvojeno šest elektrokarotažnih repera i markera koje dijele litostratigrafske jedinice, naziva ( $T_g$ ,  $Rs_7$ ,  $Rs_5$ ,  $Z$ ,  $R_\phi$  i  $\alpha$ ). Obuhvaćeno područje modeliranja iznosi 1084 km<sup>2</sup>. Ručno napravljene strukturne karte prebačene su u računalni program Arc GIS 10.1, nakon čega je modeliranje vršeno u programu Petrel™ 2014. Model pokazuje oblik geološke strukture, prikaz plohe EK markera i repera, pružanje glavnih i sporednih rasjeda. Napravljene su i karte pogreške koje prikazuju odstupanje modela od izvornih karata. Izračunata je greška između izvornih karata i modela, te ona iznosi 4,682 %. Prednost modeliranja u odnosu na ručnu interpolaciju je prikaz trodimenzionalnog oblika podzemlja, koji daju jasniju sliku za daljnju znanstvenu obradu.

Ključne riječi: potpovršinsko modeliranje, digitalizacija, karte pogreška, Arc GIS, Petrel™, Karlovačka uleknina, Savska depresija

Završni rad sadrži: 42 stranice, 38 slika, 1 tablica, 10 priloga i 32 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta  
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Dr. sc. Josipa Velić, profesorica emerita

Pomoć pri izradi: Dr. sc. Marko Cvetković, znanstveni novak posljedoktorand

Ocjenjivači: 1. Prof. dr. sc. Josipa Velić, profesorica emerita  
2. Izv. prof. dr. sc. Bruno Saftić,  
3. Doc. dr. sc. Dario Perković, docent  
4. Dr. sc. Marko Cvetković, znanstveni novak, posljedoktorand

Datum obrane: 19. veljače 2016., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Faculty of Mining, Geology, and Petroleum Engineering

SUBSURFACE MODELING OF KARLOVAC SUBDEPRESSION, SAVA DEPRESSION

TOMISLAV PAŠKOV

Thesis completed in: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology, and Petroleum Engineering  
Department of Geology and Geological Engineering  
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

**Abstract**

The goal of this Thesis was to get digitalised the subsurface model of the Karlovac subdepression, part of the Sava depression. Input data for modelling were previously constructed structural maps made in 80's which were based on geological and geophysical data from that time. Six maps of E-log-defined contacts and E-log markers (Tg, Rs7, Rs5, Z, R $\phi$  and  $\alpha$ ) existed. Size of the digitalisation area is 1084 km<sup>2</sup>. The first step was geolocation and feature digitalization of those maps in Arc GIS 10.1 and afterwards modelling in the Petrel™ 2014. The result was a model which represents geological structures, E-log horizons, surfaces as well as fault planes. In the end the percentage of error was calculated between handmade and digitalised maps, which is 4.682%. The advantage of digitalised model in comparison with previous interpolation is getting a 3D data of the subsurface, which is necessary for further modern exploration.

Keywords: subsurface modelling, Arc Gis, Petrel™, Karlovac subdepression, Sava depression

Thesis contains: 42 pages, 38 figures, 1 table, 10 enclosures and 32 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology, and Petroleum Engineering  
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: PhD Josipa Velić, Professor Emeritus

Technical support and assistance: PhD Marko Cvetković Senior research assistant RGNF

Reviewers:

1. PhD Josipa Velić, Profesor Emeritus
2. PhD Bruno Saftić, Associate Profesor
3. PhD. Dario Perković, Assistant Profesor
4. PhD Marko Cvetković, Senior Research Assistant

Date of defense: 19<sup>th</sup> of February, 2016. Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

## Sadržaj

1. UVOD.....	1
1.1. Geografski smještaj.....	1
2. POVIJEST ISTRAŽIVANJA.....	3
3. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE MODELIRANOG PODRUČJA .....	4
3.1. Postanak i građa hrvatskog dijela Panonskog bazena.....	4
3.2. Stratigrafski prikaz područja istraživanja .....	6
3.3. Neotektonski odnosi istraživanog područja i prikaze neogensko-kvartarnih megaciklusa sustava.....	9
4. METODOLOGIJA .....	14
4.1. Računalni program Arc GIS .....	14
4.2. Obrada podataka u programu ArcMap .....	14
4.3. Računalni program Petrel™ 2014 .....	16
4.4. Obrada podataka u računalnom programu Petrel™ 2014 .....	17
5. REZULTATI .....	26
5.1. Strukturni okvir.....	26
5.2. Modelirane plohe po EK markerima i reperima .....	27
5.3. Proračun odstupanja modela od izvornih karata.....	33
5.4. Karte pogreška .....	34
6. ZAKLJUČAK.....	39
7. LITERATURA .....	40

## POPIS SLIKA

<b>Slika 1-1</b> Područje istraživanja.....	2
<b>Slika 3-1</b> Razvrstavanje struktura i rasjeda hrvatskog dijela Panonskog bazena (PRELOGOVIĆ <i>et al.</i> , 1998.; LUČIĆ <i>et al.</i> , 2001.; VELIĆ <i>et al.</i> , 2011).....	5
<b>Slika 3-2</b> Podjela litostratigrafskih i kronostratigrafskih jedinica s EK markerima i reperima u Savskoj depresiji (prema VELIĆ <i>et al.</i> , 2011).....	7
<b>Slika 3-3</b> Pregledna tektonska karta zapadnog dijela Savske depresije (VELIĆ, 1980)....	10
<b>Slika 3-4</b> Karta izopaha prvog megaciklusa (SAFTIĆ <i>et al.</i> , 2003).....	11
<b>Slika 3-5</b> Karta izopaha drugog megaciklusa (SAFTIĆ <i>et al.</i> , 2003).....	12
<b>Slika 3-6</b> Karta izopaha trećeg megaciklusa (SAFTIĆ <i>et al.</i> , 2003).....	13
<b>Slika 4-1</b> Digitalizirane stratoizohipse, rasjedi i granica rasprostiranja EK –markera napravljena na podlozi strukturne karte po plohi markera „Rs7“ .....	15
<b>Slika 4-2</b> Sučelje računalnog programa Petrel™ 2014.....	16
<b>Slika 4-3</b> Površina po EK reperu „Tg“ .....	17
<b>Slika 4-4</b> Površina po EK–markeru „Rs7“ .....	18
<b>Slika 4-5</b> Površina po EK–markeru „Rs5“ .....	18
<b>Slika 4-6</b> Površina po EK–markeru „Z“ .....	19
<b>Slika 4-7</b> Površina po EK–markeru „Rφ“ .....	19
<b>Slika 4-8</b> Površina po EK–markeru „α“ .....	20
<b>Slika 4-9</b> Prikaz „zaljepljenih“ rasjeda (zelene linije) na stratoizohipse (plave linije) EK repera „Tg“ .....	21
<b>Slika 4-10</b> Rasjedi po svima plohama „zalijepljeni“ na njihove odgovarajuće površine...	22



<b>Slika 4-11</b> <i>Fault framework</i> - dijaloški okvir.....	22
<b>Slika 4-12</b> <i>Extrapolation distance</i> , prije korištenja opcije(lijevo), nakon korištenja opcije (desno).....	23
<b>Slika 4-13</b> <i>Smoothing</i> - prije zaglađivanja (lijevo), poslije zaglađivanja (desno).....	23
<b>Slika 4-14</b> Prikaz rasjeda prije korekcije (lijevo) te nakon korekcije (desno).....	24
<b>Slika 4-15</b> <i>Kinked or sharp truncation</i> - rasjed prije korekcije (lijevo) i poslije korekcije (desno) .....	24
<b>Slika 4-16</b> <i>Horizon modeling</i> - dijaloški okvir.....	25
<b>Slika 5-1</b> Modelirani rasjedi.....	26
<b>Slika 5-2</b> Modelirana ploha po EK–reperu „Tg“ .....	27
<b>Slika 5-3</b> Modelirana ploha po EK- markeru „Rs7“ .....	28
<b>Slika 5-4</b> Modelirana ploha po EK-markeru „Rs5“ .....	28
<b>Slika 5-5</b> Modelirana ploha po EK- markeru „Z“ .....	29
<b>Slika 5-6</b> Modelirana ploha po EK- markeru „Rφ“ .....	29
<b>Slika 5-7</b> Modelirana ploha po EK- markeru „α“ .....	30
<b>Slika 5-8</b> Prikaz sinklinala i horsta po plohi EK-markera „Rs5“ pogled prema SI .....	31
<b>Slika 5-9</b> 3D Zona EK-markera „Rs7“ .....	32
<b>Slika 5-10</b> Karta pogreške EK-markera α' .....	35
<b>Slika 5-11</b> Karta pogreške EK-markera φ .....	35
<b>Slika 5-12</b> Karta pogreške EK-markera Z' .....	36
<b>Slika 5-13</b> Karta pogreške EK-markera Rs5 .....	36
<b>Slika 5-14</b> Karta pogreške EK-markera Rs7 .....	37
<b>Slika 5-15</b> Karta pogreške EK-repera Tg .....	37

## **POPIS TABLICA**

**Tablica 1-1** Prikaz srednje vrijednosti odstupanja po plohi EK markera i repera.....33

## **POPIS PRILOGA**

PRILOG I. Strukturna karta po plohi EK-repera „Tg“

PRILOG II. Strukturna karta po plohi EK-repera „Rs7“

PRILOG III. Strukturna karta po plohi EK-markera „Rs5“

PRILOG IV. Strukturna karta po plohi EK-markera „Z“

PRILOG V. Strukturna karta po plohi EK-markera „Rφ“

PRILOG VI. Strukturna karta po plohi EK-markera „α“

PRILOG VII. Profil A-A'

PRILOG VIII. Profil B-B'

PRILOG IX. Profil C-C'

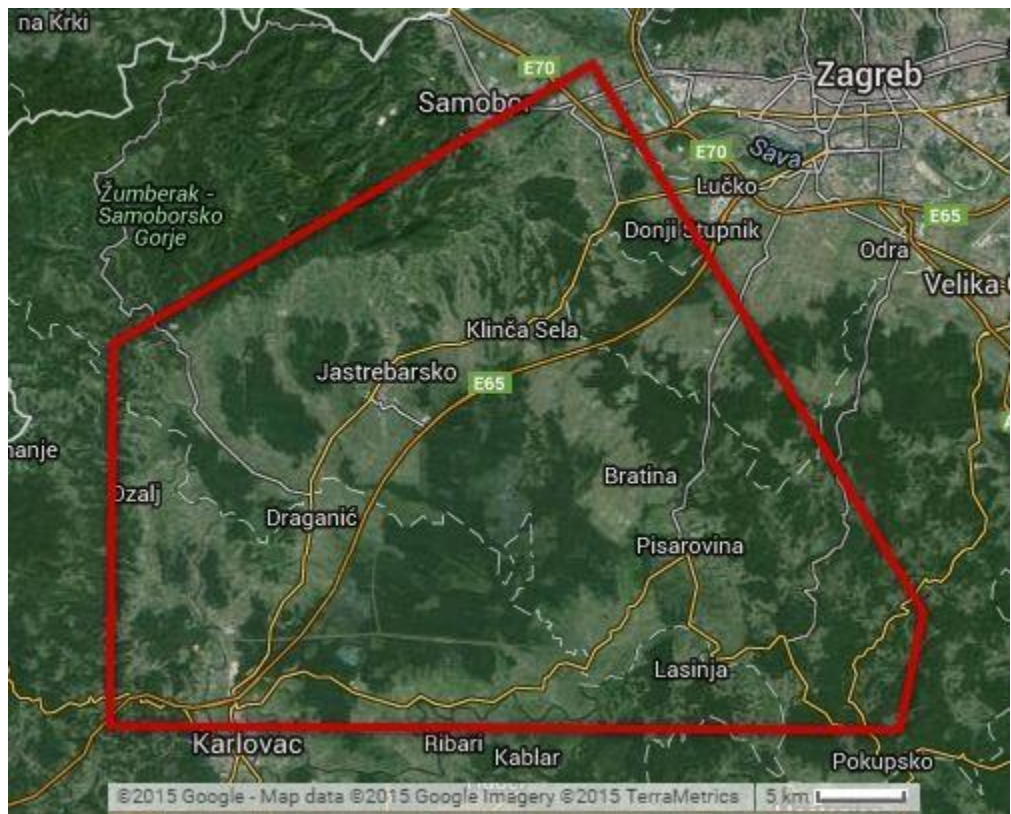
PRILOG X. Profil D-D'

# 1. UVOD

U radu je prikazana izrada potpovršinskog modela Karlovačke uleknine u Savskoj depresiji. Ulazni podatci za modeliranje preuzeti su iz već postojećih ručno napravljenih strukturnih karata (VELIĆ, 1980). Izvorne strukturne karte su napravljene su na osnovu geoloških i geofizičkih podataka, preko kojih je izdvojeno šest elektrokarotažnih markera i repera koje odjeljuju litostratigrafske jedinice, (Tg, Rs7, Rs5, Z, R $\phi$  i  $\alpha'$ ). Obuhvaćeno područje modeliranja iznosi 1084km<sup>2</sup>. Cilj rada je dobivanje digitaliziranih podataka strukturno stratigrafskih odnosa u podzemlju, koje se mogu koristiti u daljnjim istraživanjima regionalnog karaktera.

## 1.1. Geografski smještaj

Zadano područje modeliranja odnosi se na područje Karlovačke uleknine, koja obuhvaća veći dio Zagrebačke županije i manji dio Karlovačke županije (slika 1-1). Ukupna površina modeliranog prostora iznosi 1084km<sup>2</sup>. Karlovačka uleknina prostrani je odvojak Savske depresije. S istočne strane zatvaraju je Vukomeričke gorice, sa sjeverozapadne Samoborsko gorje, dok sa južne u širem smislu Petrova gora. Nadmorske visine na području Karlovačke uleknine u prosjeku iznose 110 metara, područje je bogato ribnjacima i močvarama. Veće mjesto u istraživanom području je grad Jastrebarsko. Regionalno-geološki područje pripada rubnom djelu Panonskog bazenskog sustava. Na južnom dijelu Karlovačka uleknina graniči sa drugom regionalnom-geološkom cjelinom - Dinaridima.



**Slika 1-1** Područje istraživanja

## 2. POVIJEST ISTRAŽIVANJA

Prva istraživanja na području zapadnog dijela Savske depresije počinju 1850-ih, kad su započele izrade prvih geoloških karata FOETTERLE (1861). Nakon objave prvih geoloških karata VUKOTINOVIĆ (1870, 1873, 1874) raspravlja o flori i fauni „tercijarnih“ lapora i drugih taložina u okolici Zagreba, pojavama bakra i željeza u Samoborskoj gori. GORJANOVIĆ-KRAMBERGER (1890, 1897, 1898) piše o problemima stratigrafske naravi neogena zagrebačkog gorja. Njegovim geološkim kartama obuhvaćena je Samoborska i Žumberačka gora (GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, 1894) u mjerilu 1:75 000, u kojima je izdvojio magmatite, perm, srednji trijas, gornju kredu, neogen („tercijar“) i kvartar. KOCH (1917) proučavajući Vukomeričke gorice ustanovio je da su izrađene o glina i pijesaka s tankim proslojcima lignita. TUČAN (1919) opisuje rude i korisne minerale u Samoborskom gorju. Nadalje, geologiju Samoborske gore proučavao je ŠUKLJE (1929, 1932, 1936, 1942). HERAK (1956) izradio je geološku kartu Samoborske gore mjerila 1:50 000. TAKŠIĆ & JURIŠA (1957-1958) izvode geološko kartiranje Vukomeričkih gorica. Geološka i geofizička istraživanja 1970-tih i 1980-tih daju velik broj podataka potrebnih za izradu dubinskih karata zapadne polovice Savske depresije. Među najznačajnijim radovima je i disertacija (VELIĆ, 1980) naslova „Geološka građa zapadnog dijela Savske depresije“ u kojoj su izrađene strukturne karte po plohama elektrokarotažnih markera i repera, koje su opisane detaljnije u sljedećem poglavlju.

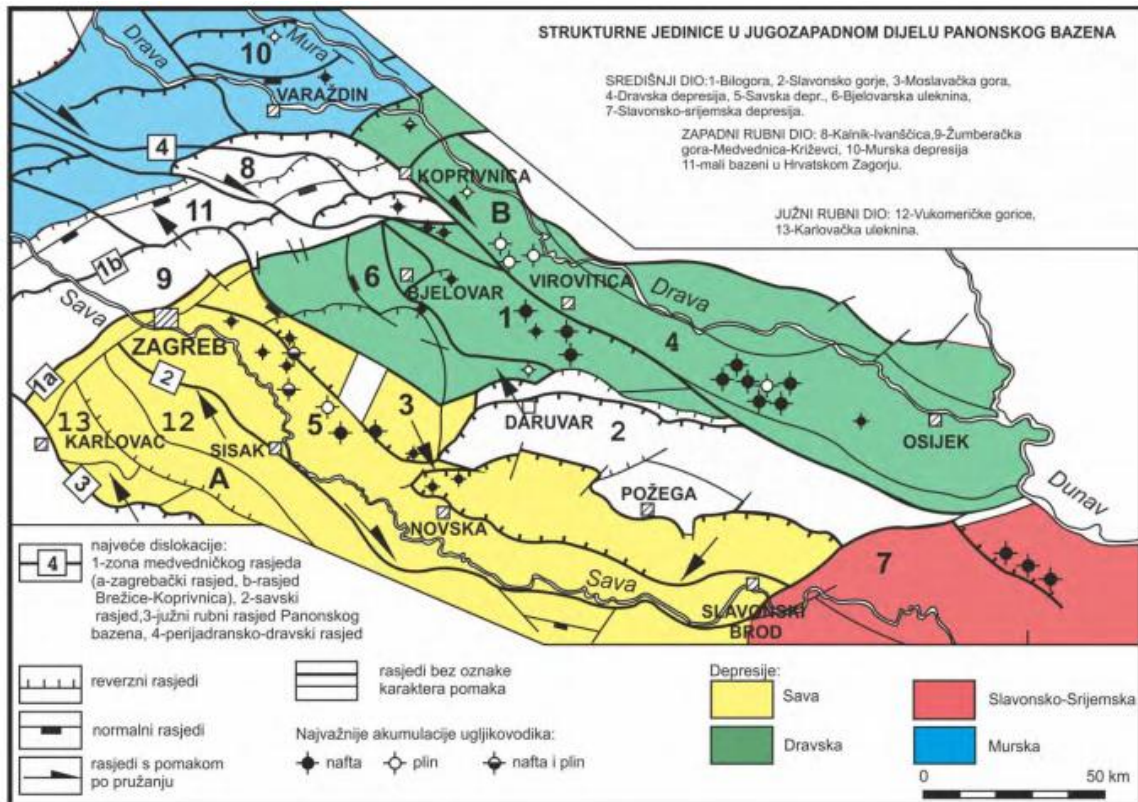
Od recentijih publikacija, najviše su kao izvori korišteni radovi od TOMLJENOVIĆ & CONTOS (2001) naziva „Neogene–Quaternary structures in the border zone between Alps, Dinarides and Pannonian Basin (Hrvatsko zagorje and Karlovac Basins, Croatia)“, disertacija „Strukturne karakteristike Medvednice i Samoborskog gorja“ (TOMLJENOVIĆ, 2002), te radovi od VELIĆ *et al.* (2002) i SAFTIĆ *et al.* (2003) u kojima se opisuju tri taložna megaciklusa kao jednu od glavnih karakteristika u ovom dijelu Panonskog bazena. Zbog cjeline istraživanja bitno je spomenuti sveučilišni udžbenik „Geologija ležišta nafte i plina“ (VELIĆ, 2007).

### **3. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE MODELIRANOG PODRUČJA**

Panonski bazen je dio nizinskog područja koji se pruža između planinskih lanaca Alpa, Karpata i Dinarida. Hrvatskoj pripada jugozapadni dio Panonskog bazena. S obzirom na sastav i građu u panonskom dijelu Hrvatske razlučene su sljedeće depresije: Dravska, Savska, Murska i Slavonsko-srijemska. Granice među njima predstavljaju brdsko-gorski masivi, izgrađeni su od paleozojsko-mezozojskih magmatita, metarmorfita i sedimenata prekrivenih mladim kvartarnim taložinama ili podpovršinska uzdignuća vidljiva na geofizičkim istraživanjima.

#### **3.1. Postanak i građa hrvatskog dijela Panonskog bazena**

Postanak Panonskog bazena vezan je uz alpsku orogenezu. Neki taložni bazeni su u određenom razdoblju imali zajednički razvoj, dok su neki imali zasebni. Strukturne jedinice su objedinjene u tri veće strukturne zone (VELIĆ, 2007). Prva zona pripada zapadnom rubnom djelu. Pruža se od zone medvedničkog rasjeda pa dalje prema sjeverozapadu. Druga zona je južni rubni dio, od Karlovca do Slavanskog Broda - južno od Savskog rasjeda. Treća zona je središnji rubni dio, pripada joj Savska i Dravska depresija (slika 3-1).



**Slika 3-1** Razvrstavanje struktura i rasjeda hrvatskog dijela Panonskog bazena  
(PRELOGOVIĆ *et al.*, 1998; LUČIĆ *et al.*, 2001; VELIĆ *et al.*, 2011)

U jugozapadnom dijelu Panonskog bazena razlikuju se tri faze razvoja struktura: prva je inicijalna faza koja se događala u rasponu oligocen-rani miocen. Duž aktivnih velikih desnih transkurentnih rasjeda, koji se u jugozapadnom djelu Panonskog sustava pružaju pravcem sjeverozapad-jugoistok, vjerojatno se stvaralo nekoliko manjih pull-apart bazena, nastalih usjedanjem na transtenzijskim dionicama ovih rasjeda s horizontalnim pomacima (VELIĆ, 2007). Nakon toga, uslijedila je glavna ekstenzijska faza tijekom ranog i srednjeg miocena. Tijekom ove faze došlo je do promjene orijentacije regionalnog stresa na sjever-sjeveroistok-jug-jugozapad, koja je uzrokovala aktiviranje lijevih transkurentnih rasjeda. Koherentni tektonski blokovi su se počeli kretati po tim rasjedima prema sjeveroistoku, te su se između tih blokova počele otvarati regionalne i lokalne ekstenzijske zone. Jedna od tih regionalnih zona je Savska depresija, a od lokalnih manji pull-apart bazeni, (npr. Karlovačka uleknina), povezani s lijevim transkurentnim rasjedima pružanja sjeveroistok-jugozapad (VELIĆ, 2007). Donos sedimenata počeo je značajnije zaostajati za povećanjem akomodacijskog prostora za vrijeme badena, kad su nastala velika



dubokovodna područja s taloženjem lapora i paralelno plitkovodne sredine s biogenim vapnencima i pješčenjacima. To zaključivanje potvrdio je raspored debljina, tj. nekoliko odvojenih područja s povećanim taložnim debljinama unutar jednog taložnog bazena nisu mogla biti povezana samo sa spuštanjem depocentara, već su nastala u rubnim dijelovima bazena i to na područjima s izraženom progradacijom novih naslaga. Veliki donos materijala u samo tim područjima mogao je nastati ili uslijed očuvanja naslijeđenih smjerova transportira ili brzog formiranja novih. (VELIĆ, 2007).

U vremenu od sarmata do pontu, glavna ekstenzija u jugozapadnom dijelu Panonskog bazena počinje završavati. Stoga sve gornjomiocenske naslage imaju zajednička obilježja post-rift situacije. Odnos brzine usijedanja dna bazena donosa detritusa u panonu i pontu bio je ravnomjeran, tako da se uglavnom zbivalo obnavljanje jednakih taložnih uvjeta, stvoren je debeli slijed izmjene pješčenjačkih i lapornih slojeva. Drukčiji karakter deformacija započelo je u gornjem pontu (VELIĆ *et al*, 2009), a nastavio se sredinom pliocena (CVETKOVIĆ, 2013) i traje do danas. Karakterizira ga znatna promjena orijentacije stresa, stvaranje strukturnih odnosa obilježenih orijentacijom regionalnog stresa sjever-jug, desnim transkurentnim pomacima i izraženom transpresijom područja između velikih rasjeda s horizontalnim pomakom. Taložene su jezerske, močvarne, riječne i eolske naslage (VELIĆ, 2007; CVETKOVIĆ, 2013).

### **3.2. Stratigrafski prikaz područja istraživanja**

Panonski bazen građen je od dva različita kompleksa stijena. Prvi kompleks je podloga magmatsko-metamorfna i sedimentna, paleozojsko-mezozojske starosti, dok drugi kompleks čine sedimenti i vulkaniti neogena i kvartara koji ga ispunjuju (VELIĆ, 2007). Stratigrafski odnosi u podzemlju na području hrvatskog dijela Panonskog bazena definirani su litostratigrafskim jedinicama. Prema (NACSN, 2005; MURPHY & SALVADOR, 1998) litostratigrafske jedinice podrazumijevaju prostorno ograničena „tijela“ stijena ili naslaga koje mogu, ali ne moraju, biti stratificirane, a glavni čimbenik po kojem su utvrđene u jednu cjelinu je njihov litološki sastav. Litostratigrafske jedinice se dijele (od veće prema manjoj) na: supergrupu, grupu, formaciju, član i sloj. Upravo formacije i članove možemo razlučiti pomoću EK markera ili repera. EK–markeri se prepoznaju kao identični motivi na krivuljama specifične otpornosti u sklopu elektrokarotažnih dijagrama, odnosno prema

ponavljanju nizova otklona sličnih vrijednosti otpornosti (VELIĆ, 2007). Prema MALVIĆ & SAFTIĆ (2008) markeri su karakterizirani jasnom prepoznatljivošću i lakim praćenjem svojstava na nekom određenom području. Ta svojstva ih istovremeno razlikuju i odvajaju od podinskih i krovinskih naslaga. Njihova korelativna svojstva počivaju na činjenici da su iznimno male debljine, ali i velikog bočnog rasprostiranja. U odnosu na EK markere, EK reperi (npr. „Tg“) predstavljaju diskordanciju, u ovom slučaju između mlađih neogensko-kvartarnih sedimenata i starijih magmatsko-metarmofnih stijena. Na slici 3-2 je prikazana kronostratigrafska i litostratigrafska podjela te EK-markeri i reperi u Savskoj depresiji.

KRONOSTRATIGRAFSKE JEDINICE ZA SREDIŠNJI DIO PARATETHYS-A RCMNS (1967-1985)			Neogenski megaciklusi	EK-reperi i EK-markeri	LITOSTRATIGRAFSKE JEDINICE U SAVSKOJ DEPRESIJI DOKAZANE NA NAFTNOM POLJU KLOŠTAR
KVARTAR	HOLOCEN		3. megaciklus	$\alpha'$	FORMACIJA LONJA
	PLEISTOCEN				
PLIOCEN	ROMANIJ		2. megaciklus	$R_{\phi}$	FORMACIJA ŠIROKO POLJE
	DACIJ				
MIOCEN	GORNJI	GORNJI	2. megaciklus	$Z'$	FORMACIJA KLOŠTAR IVANIĆ
		DONJI			
	PANON	GORNJI	1. megaciklus	$R_{s5}$	FORMACIJA IVANIĆ-GRAD
		DONJI			
SREDNJI	SARMAT		1. megaciklus	$R_{s7}$	FM. PRKOS
	BADEN				
	KARPAT				
	OTNANG				
DONJI	EGENBURG		1. megaciklus	$\rho T_c$	FORMACIJA PREČEC
	EGER				
OLIGO-MIOCEN	EGER		1. megaciklus	$\rho T_c$	GRUPA MOSLAVAČKA GORA
MEZOZOIK				$T_g$	GRUPA SAVA
PALEOZOIK				$T_g$	GRUPA MOSLAVAČKA GORA
					FORMACIJA PREČEC
					TEMLJNO GORJE

**Slika 3-2** Podjela litostratigrafskih i kronostratigrafskih jedinica s EK markerima i reperima u Savskoj depresiji (prema VELIĆ *et al.*, 2011)

Kao što je navedeno u Savskoj depresiji razlučeno je šest formacija. Njihov opis prikazan je od starijih prema mladim formacijama s naglaskom na područje modeliranja tj. na Karlovačku ulekninu.

Formacija Prečec – (slika 3-2) ograničena je EK reperom Tg i markerom Rs7. Karakterizirana je heterogenom litološkom građom. Najčešće stijene su konglomerati, breče, vapnenci i litotamnijski vapnenci. U Karlovačkoj uleknini, blizu utoka Dobre u Kupu, maksimalna debljina je nešto veća od 400 metara. Vukomeričke gorice s dvjestotinjak metara debljine čine prijelaz u glavnu depresijsku zonu (istočno od modeliranog područja), gdje su mjestimice registrirane debljine i do 1300 metara (VELIĆ, 1980).

Formacija Prkos – (slika 3-2) interval joj je EK markera Rs7 do EK markera Rs5 i približno odgovara naslagama donjeg panona. Po litološkom sastavu donekle se razlikuju slojevi iz središnjeg dijela i oni s ruba depresije koji su bliže površini. Potonji su pretežno izgrađeni od lapora i vapnenaca koji postupno, idući sve više u dubinu, prelaze u pješčenjake. Najčešće se radi o pješčenjacima arkoznog i subarkoznog tipa, rjeđe grauvakama, sa slabo prisutnom kalcitnom komponentom (VELIĆ, 1980). Zbog relativno kratkog razdoblja taloženja, formacija Prkos je u usporedbi s prethodnom formacijom Prečec znatno tanja (VELIĆ, 1980). Maksimalna debljina u Karlovačkoj uleknini iznosi (oko 350 metara), a u prosjeku stotinjak metara. Vukomeričke gorice i na ovom nivou čine blago izraženi prijevoj iz Karlovačke uleknine u glavnu potolinsku zonu, s debljinama pedeset ili više metara (VELIĆ, 1980).

Formacija Ivanić-grad – (slika 3-2) odgovara sedimentima gornjeg panona. U krovini je definirana reperom Z' i u podini s Rs5. Bitno se razlikuje od formacija Prečec i Prkos po litološkom sastavu. Prevladavaju dvije komponente: pješčenjaci (kalkarenitske subgrauvake) i lapor (sa svim prijelaznim tipovima prema pijescima/pješčenjacima) u međusobnoj izmjeni. U Karlovačkoj uleknini taloženje se odvija uz istovremeno tonjenje dna, tako da su akumulirane naslage deblje od 500 metara (VELIĆ, 1980).

Formacija Kloštar Ivanić – (slika 3-2) odgovara donjopontskim sedimentima. U podini je definirana EK-markerom Z', a u krovini s EK-markerom R $\phi$ . Litološki je slična formaciji Ivanić Grad, izgrađuju je pješčenjaci/pijesci i lapori sa svim prijelaznim varijetetima. U Karlovačkoj uleknini debljine iznose 500 metara. U Vukomeričkim goricama prevladavaju debljine do stotinjak metara (VELIĆ, 1980).

Formacija Široko Polje – (slika 3-2) približno odgovara sedimentima vršnog dijela donjeg pontu i gornjem pontu. U podini je omeđuje EK-marker R $\phi$  i u krovini  $\alpha'$ . Litološki je slična formacijama Ivanić Grad i Kloštar Ivanić s kojima čini grupu Sava. Odlikuje se

izmjenom pješčenjaka s laporima raznolikog sastava. Sedimentacija u Karlovačkoj uleknini i dalje je postojana, istaloženo je više od 400 metara naslaga formacije. Istovjetna sedimentacija je i u Vukomeričkim goricama. Debljine se kreću između 100 i 200 metara (VELIĆ, 1980).

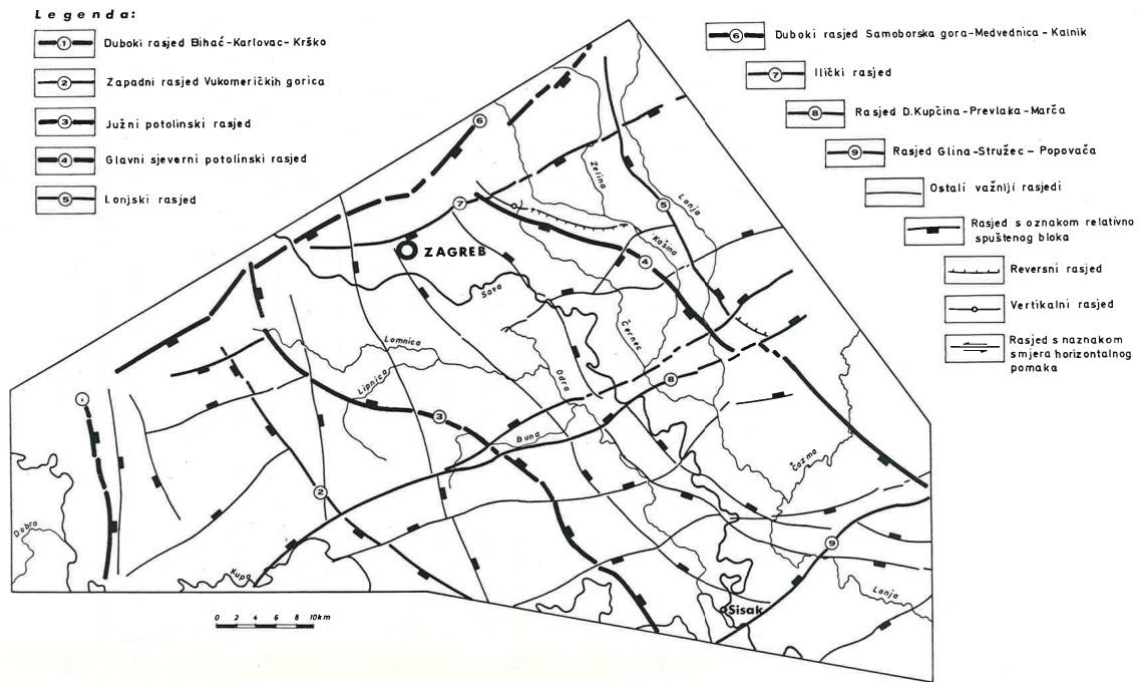
Formacija Lonja – (slika 3-2), odgovara naslagama pliocena i kvartara. Interval joj je od podine EK-markera  $\alpha'$  do površine terena, odnosno do recentnih naslaga. Najzastupljeniji su šljunci, pijesci, gline i ugljen. Najveći iznosi debljina ovih naslaga u Karlovačkoj depresiji su oko 800 metara (VELIĆ, 1980).

### **3.3. Tektonski odnosi istraživanog područja i prikaz neogensko-kvartarnih megaciklusa sustava**

Područje istraživanja odlikuje se vrlo složenim strukturno-tektonskim odnosima kao izravnim odrazom neotektonskih kretanja. Elementi najvećih struktura začeti su vrlo rano ili su predisponirani oblicima paleoreljefa. Noviji pogled na razvoj tektonike dali su (TOMLJENVIĆ & CONTOS, 2001), no u ovom radu tektonski odnosi su bazirani na radovima od (VELIĆ *et al.* 2002; VELIĆ 1980). Prevladava tektonika blokova s nizom: horst antiklinala, graba-sinklinala, strukturnim nosovima i strukturnim sedlima (VELIĆ, 1980).

Rasjedi su normalini s vrlo strmim paraklazama. Prema pravcima pružanja tvore tri sustava (slika 3-3):

- a) sjeverozapad-jugoistok
- b) jugozapad-sjeveroistok
- c) sjever-jug



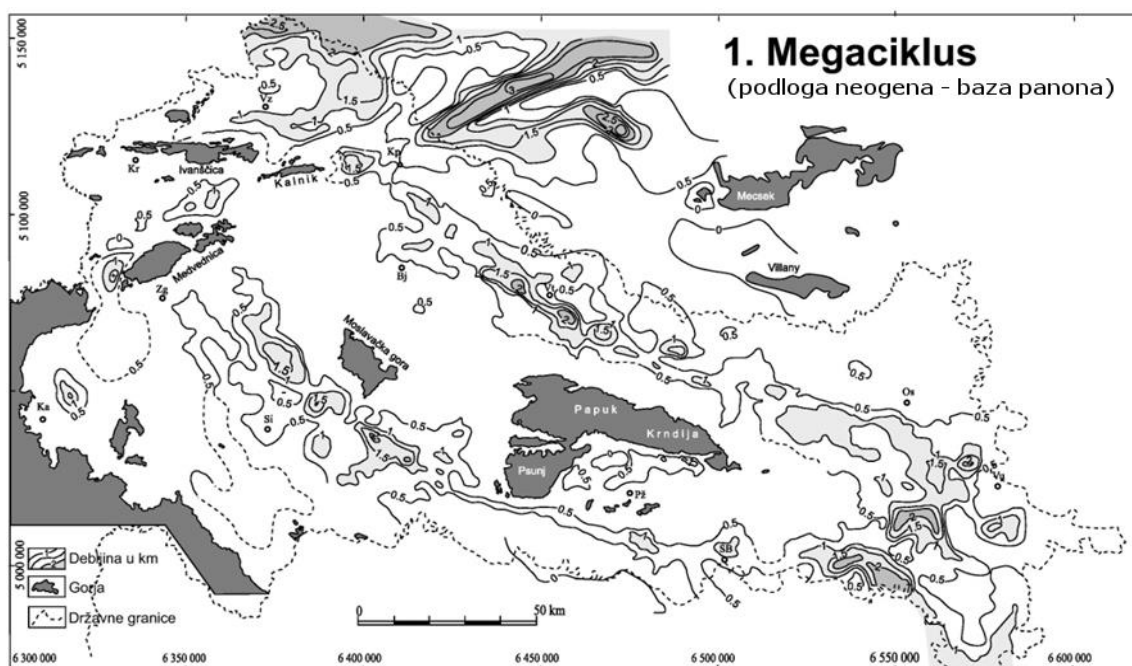
**Slika 3-3** Pregledna tektonska karta zapadnog dijela Savske depresije (VELIĆ, 1980)

Naslage neogenskog sustava imaju značajke cikličnosti, odnosno ritmičku sedimentaciju (VELIĆ *et al.*, 2002). U hrvatskom dijelu panonskog bazena razlučena su tri megaciklusa. Debljina neogenskih sedimenata u središnjim dijelovima Savske depresije je oko 5500 m, dok u rubnim dijelovima gdje pješčenjaci isklinjavaju opada do nekoliko desetaka metara. Sastavljeni su od sljedova dobro definiranih stratigrafskih jedinica koji odgovaraju rangu formacija. Prema (VELIĆ *et al.*, 2002) radi se o tri međusobno različite litološko-genetske asocijacije kao rezultat prvenstveno tektonskih okvira taloženja - ekstenzije, a zatim i kompresije, ali i drugih manje-više lokalnih okolnosti kao rezultata prepletenog procesa donosa materijala, relativnog spuštanja dna bazena, eustatičkih promjena u bazenu kao i klimatskih uvjeta.

Prvi, najstariji megaciklus donjomiocenske i srednjomiocenske starosti (slike 3-2 i 3-4), a uključuje formaciju Prečec u Savskoj depresiji. Od sedimentnih stijena nalaze se krupni klastiti (breče, konglomerati, pješčenjaci-pretežito arkoze, pješčenjaci s interkalacijama bentonitnih glina), sitni klastiti (gline, lapori, kalcitni lapori, pjeskoviti i glinoviti lapori, pješčenjaci u vidu „tripoli-naslaga“) i karbonati (vapnenci, biogeni vapnenci – litotamnijski) te mjestimice ugljen. Pravi početak sedimentacije smatra se otnang (VELIĆ, 2007). Sve do sarmata izmjenjuju se taložine prijelaznih okoliša u otnangu i karpatu do

morskih okoliša u badenu (LUČIĆ *et al.*, 2001). Prvi megaciklus traje približno 6,8 M.a. (RÖGL, 1996). Debljina u Savskoj depresiji je promjenjiva, od nekoliko metara do iznosa 2000 metara.

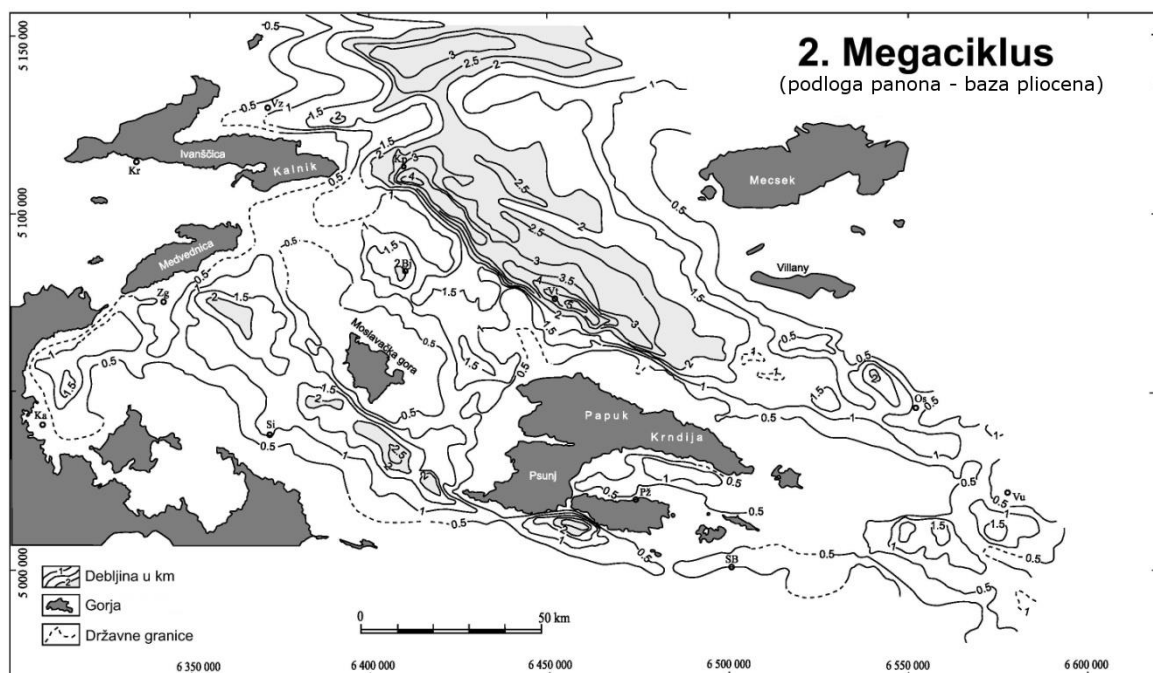
Podlogu prvog megaciklusa, tj. stijene temeljnog gorja (Tg) na istraživanom području teško je poistovjetiti s klasičnim strukturama, jer su čvrste, kompaktne i konsolidirane stijene podložnije kidanju i drobljenju, za razliku od viših strukturnih planova (neogensko-kvartarni sedimenti) čije fizikalno kemijske značajke dopuštaju boranje uz adekvatno formiranje struktura (VELIĆ, 1980). Karlovačka uleknina odlikuje se do -2200 metara utonulim stijenama podloge. Središnji dio depresije i Vukomeričke gorice sa širim prostorom prema Crnoj Mlaci presijecaju normalni rasjedi pravca pružanja sjeveroistok-jugozapad. Najvažniji rasjedi na području modeliranja su „Duboki rasjed Bihać-Karlovac-Krško“ i „Zapadni rasjed Vukomeričkih gorica“. Vukomeričke gorice karakterizirane su dugotrajnim jednoličnim uvjetima taloženja, što znači da su u odnosu na Karlovačku ulekninu zadržavale sve više-manje ujednačen položaj (VELIĆ, 1980).



**Slika 3-4** Karta izopaha prvog megaciklusa (SAFTIĆ *et al.*, 2003)

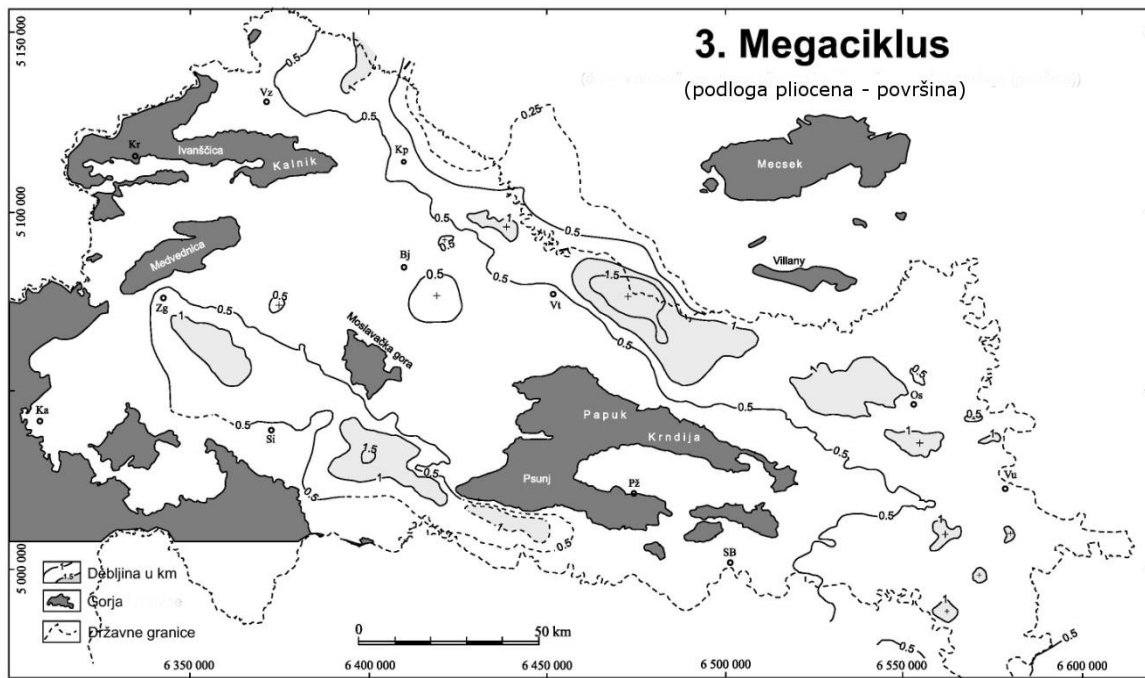
Drugi megaciklus (slike 3-2 i 3-5) je gornjo miocenske starosti (panon i pont) nalazi se asocijacija naslaga grupe Sava (formacije Prkos, Ivanić-Grad, Kloštar Ivanić i Široko Polje) (VELIĆ, 2007). Njegovo taloženje trajalo je 5,9 M.a. (prema RÖGL, 1996).

Prevladava jednoličan slijed pješčanih/pješčenjačkih, siltnih i laporovitih tijela, koja su međusobno vezana prijelaznim varijetetima – od siltnih pješčenjaka do siltnih lapora. Taložni model upućuje da se radilo o dubljoj nisko energetskej sredini s izraženim podvodnim reljefom koji je oblikovan lokalnim tektonskim aktivnostima. Alpe su bile izvorišno područje detritičnog materijala, a najveći dio detritusa transportiran je u pojedine depresije turbiditnim strujama (VRBANAC, 2002; VELIĆ, 2007).



**Slika 3-5** Karta izopaha drugog megaciklusa (SAFTIĆ *et al.*, 2003)

Treći megaciklus (slike 3-2 i 3-6) je pliocensko-kvartarne starosti. Vrijeme trajanja je procijenjeno na 5,6 M.a. (RÖGL, 1996). On objedinjuje naslage formacije Lonja iz Savske depresije. Izrazito se razlikuje od prethodnih megaciklusa. Izgrađen je od sivih, slabo vezanih pijesaka i sivo-zelenih ili plavičastih mekih glina koje sadrže rijetke slojeve lignita, a završava šljuncima, praporima i rastresitim površinskim pokrivačem što zajedno prelazi 1500 metara u Savskoj depresiji (CVETKOVIĆ, 2013; VELIĆ, 2007; ŠIMON 1980).



**Slika 3-6** Karta izopaha trećeg megaciklusa (SAFTIĆ *et al.*, 2003)



## **4. METODOLOGIJA**

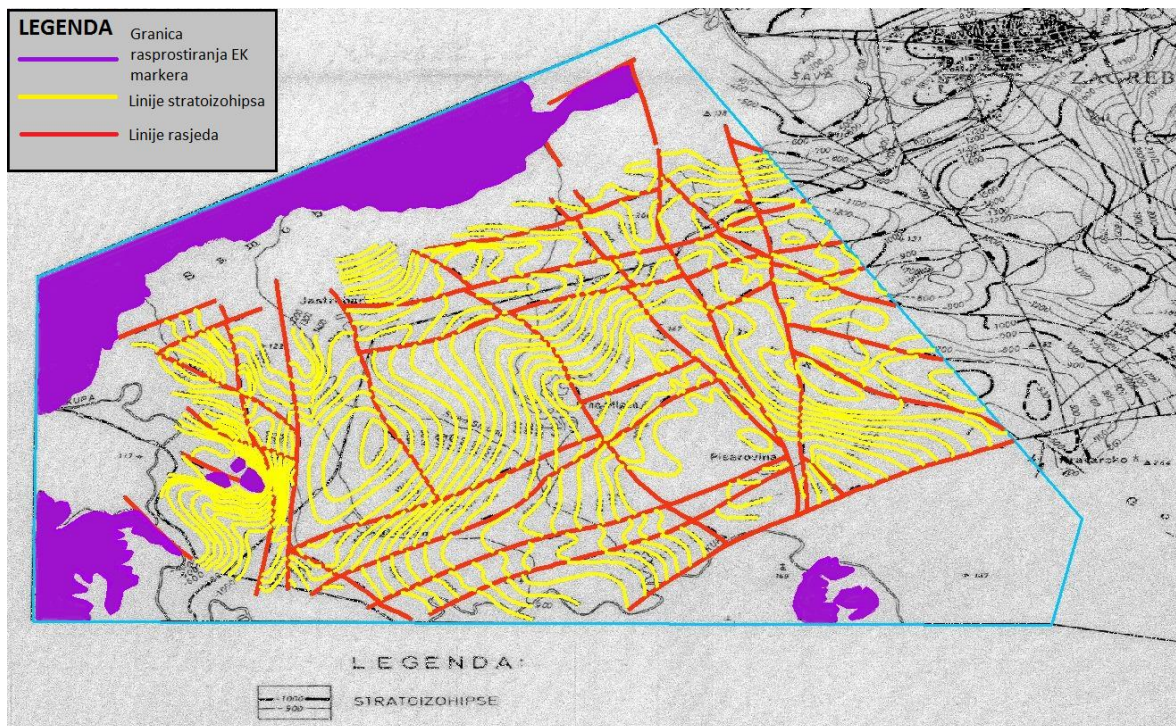
Ulazni podatci korišteni za izradu ovog rada su ručno interpolirane strukturne karte po plohama šest elektrokarotažnih markera i repera preuzetih iz (VELIĆ, 1980). Ručno konstruirane karte su skenirane i spremljene u visoko razlučivom digitalnom obliku, te pripremljene za daljnu obradu. U radu je digitalizirana Karlovačka uleknina, prikazani su njezini podatci kao i modelirani strukturni odnosi. Za ovu digitalizaciju korišteni su računalni programi Arc GIS i Petrel<sup>TM</sup> 2014.

### **4.1. Računalni program ArcGIS**

ArcGIS je geografski informacijski sustav za rad s kartama i geografskim podacima kojeg je razvio ESRI (eng. *Environmental Systems Research Institute*). Ima široku primjenu prilikom izrade i obrade karata, analize i istraživanja geografskih informacija. Za digitalizaciju karte istraživanog područja koristila se jedna od glavnih komponenta programa ArcGIS – Arc-Map. Arc-Map je namijenjen za pregledavanje, uređivanje, stvaranje i analiziranje geoprostornih podataka, te omogućuje istraživanje podataka unutar baza podataka i izradu karata.

### **4.2. Obrada podataka u programu ArcMap**

Nakon skeniranja, karte su pohranjene u .tif formatu (eng. *Tagged Image File Format*). Slijedi dodavanje u ArcMap-u. Da bi se podatci uspješno digitalizirali, moramo ih georeferencirati, tj. pridružiti geografske koordinate određenoj kartografskoj projekciji točkama na karti. Za georeferenciranje se koristi koordinatni sustav WGS 1984 (eng. *World Geodetic System*). Zatim slijedi dodavanje granice istraživanog područja, koje je označeno kao zatvoreni poligon, te ga spremimo u bazu podataka. Zatvoreni poligon je jednak za svih šest strukturnih karata, prikazan je plavim poligonom na karti (slika 4-2).



**Slika 4-1** Digitalizirane stratoizohipse, rasjedi i granica rasprostiranja EK – markera napravljena na podlozi strukturne karte po plohi markera „Rs7“

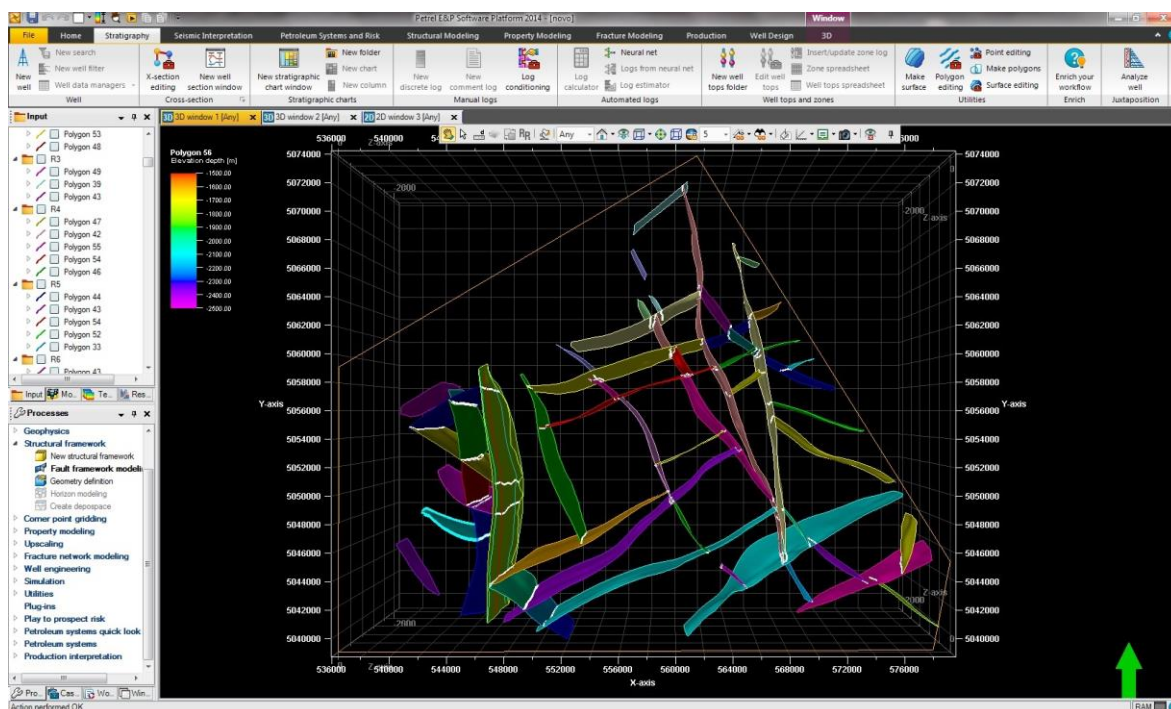
Karte se sastoje od: stratoizohipsi (ili izobata), linija koje predstavljaju rasjede i linija granica rasprostiranja elektokartažnih repera (slika 4-1). Definirani su ulazni podatci koristeći posebno stvarane klase (engl. *Feature Class*) u bazi podataka, u koje su dodane zasebne stratoizohipse ili izobate, linije rasjeda i linije granica rasprostiranja EK markera i repera za svaku posebnu kartu. Sa šest karata i tri vrste podataka ukupno je stvoreno 18 različitih klasa.

Nakon definiranja posebno stvaranih klasa kreće s postupkom digitalizacije. Digitalizacija je napravljena tako da je u ArcMap-u za svaku stratoizohipsu, liniju rasjeda i liniju isključenja ucrtana linija na odgovarajućem EK markeru ili reperu. Svakoj stratoizohipsi dodana je dubinska vrijednost (Z) čime je svaka stratoizohipsa definirana linijom na određenoj dubini. Linijama rasjeda nisu pridodane dubinske vrijednosti (Z). Njima će naknadno biti dodana dubina unutar programa Petrel. Bitno je naglasiti da se stratoizohipse ne prelaze preko ocrta rasjeda, jer može doći do komplikacija prilikom daljnjeg postupka.

Nakon digitalizacije izvoze se stvorene klase u shapefile-ove (.shp). Shapefile-ovi su zapisi koji sadržavaju geolocirane podatke u obliku točaka, linija i poligona. Sljedeći korak u digitalizaciji je bio prelazak u računalni program Petrel™ 2014.

### 4.3. Računalni program Petrel™ 2014

Schlumberger Petrel™ 2014 je programska platforma koja korisnicima omogućava interpretaciju seizmičkih podataka, korelaciju bušotinskih podataka, izradu modela, izradu karata i računanje volumena. Za ovaj rad korišten je u svrhu izrade trodimenzionalnog modela Karlovačke uleknine. Na slici 4-2 je prikazano je sučelje računalnog programa Petrel™.

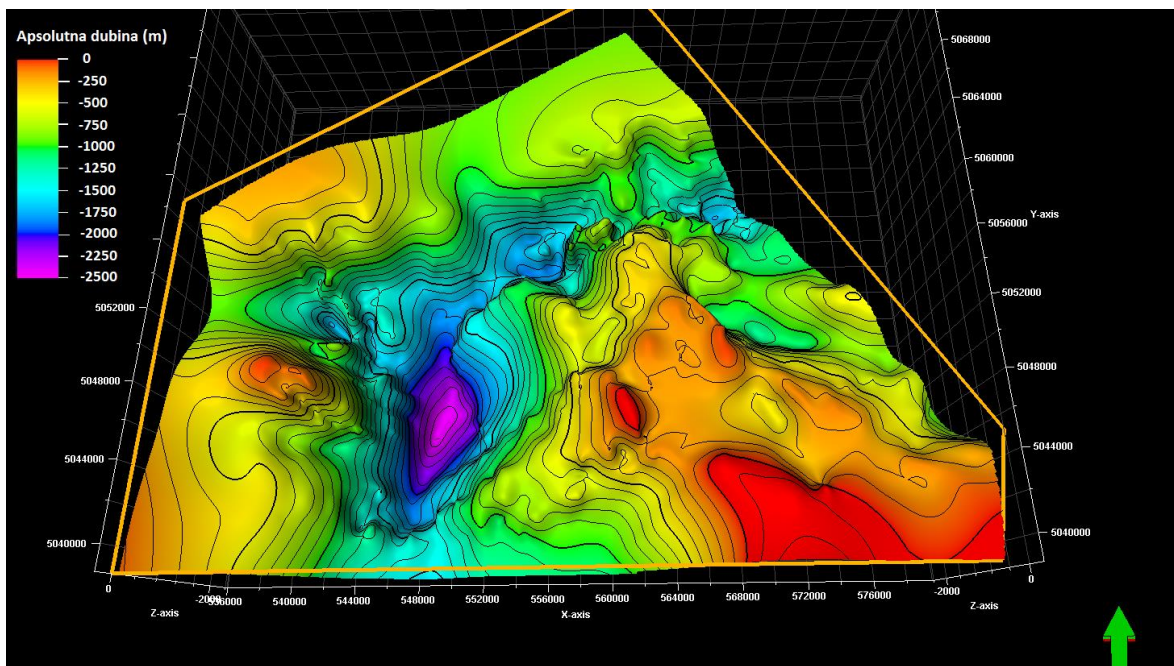


Slika 4-2 Sučelje računalnog programa Petrel™ 2014

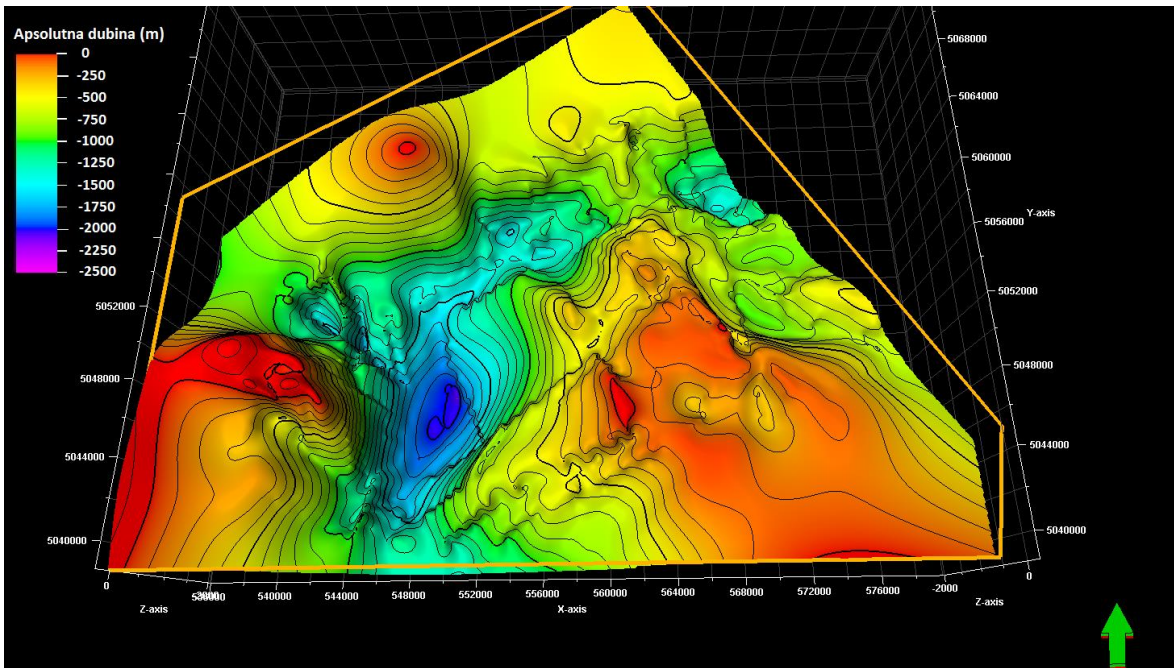
## 4.4. Obrada podataka u računalnom programu Petrel™ 2014

Nakon digitalizacije karata u Arc Map-u, u Petrel-u su uvezene digitalizirane stratoizohipse, izobate i rasjedi nakon čega karte mogu biti učitane. Uvedeni podatci podijeljeni su na tri dijela; linije stratoizohipsa i izobata, rasjeda te linija koje označavaju granice rasprostiranja elektrokarotažnih markera, kako je napravljeno u BAKETARIĆ & CVETKOVIĆ, 2015.

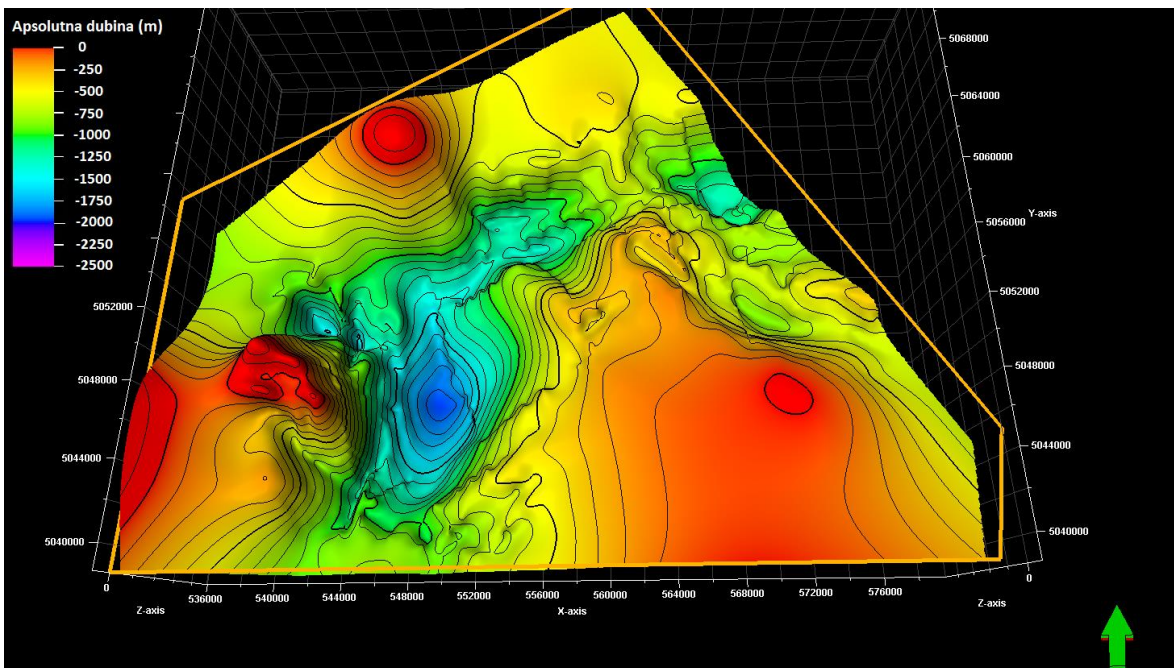
Digitalizirane stratoizohipse se koriste za trodimenzionalno modeliranje površine kartiranog horizonta. To se napravi na način da se upotrijebi alat *Make/edit surface* u kojem program napravi plohu po određenom EK markeru ili reperu. Na slikama 4-3, 4-4, 4-5, 4-6, 4-7, 4-8, prikazani su primjeri napravljenih površina po EK markerima i reperima:



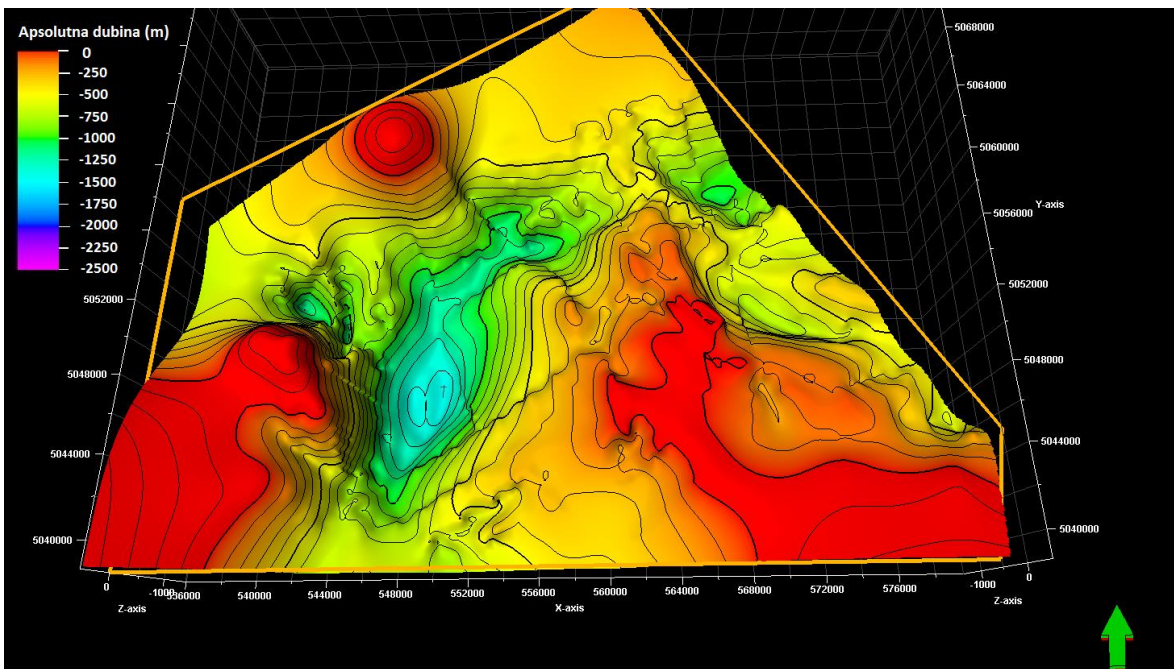
Slika 4-3 Površina po EK reperu „Tg“



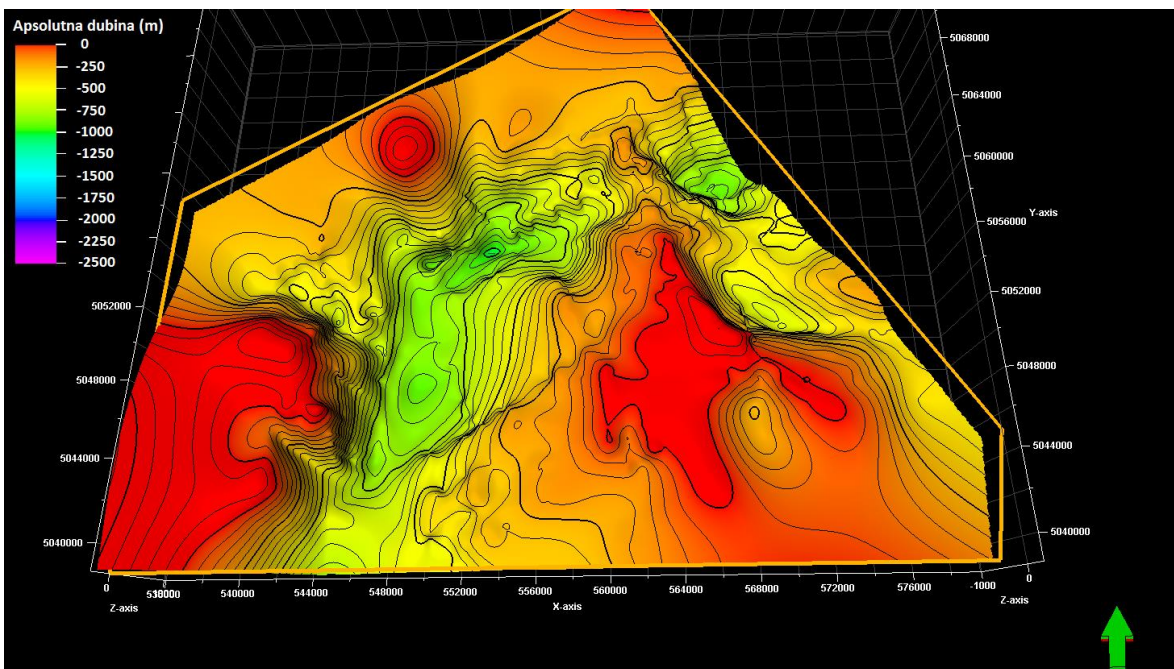
Slika 4-4 Površina po EK–markeru „Rs7“



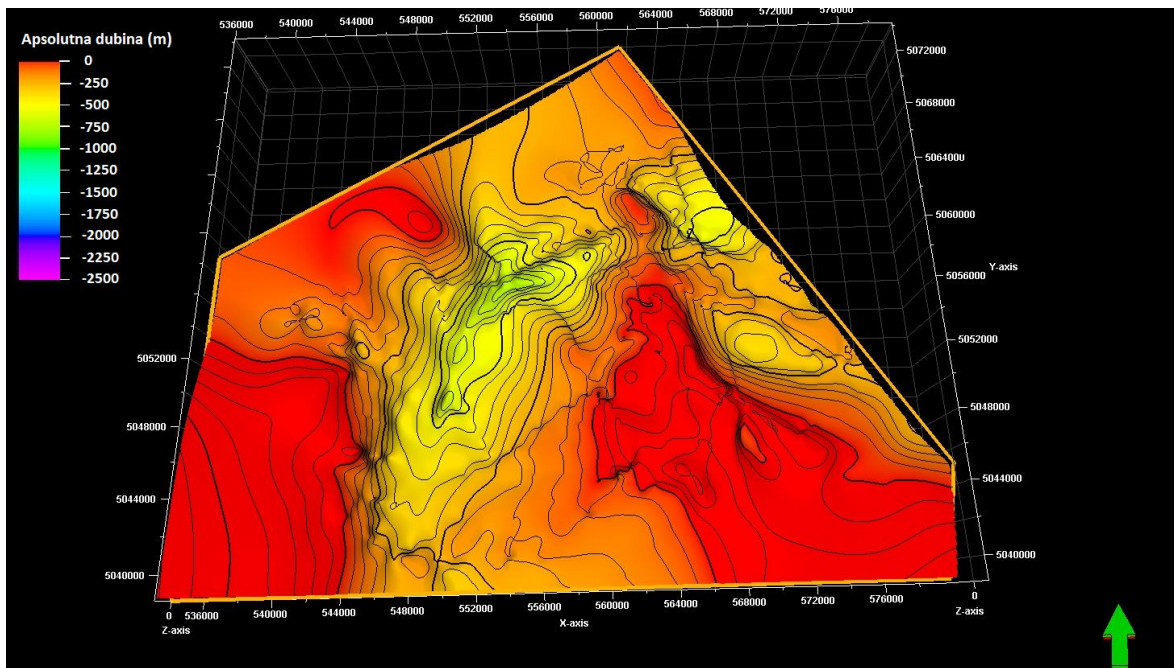
Slika 4-5 Površina po EK–markeru „Rs5“



Slika 4-6 Površina po EK–markeru „Z“

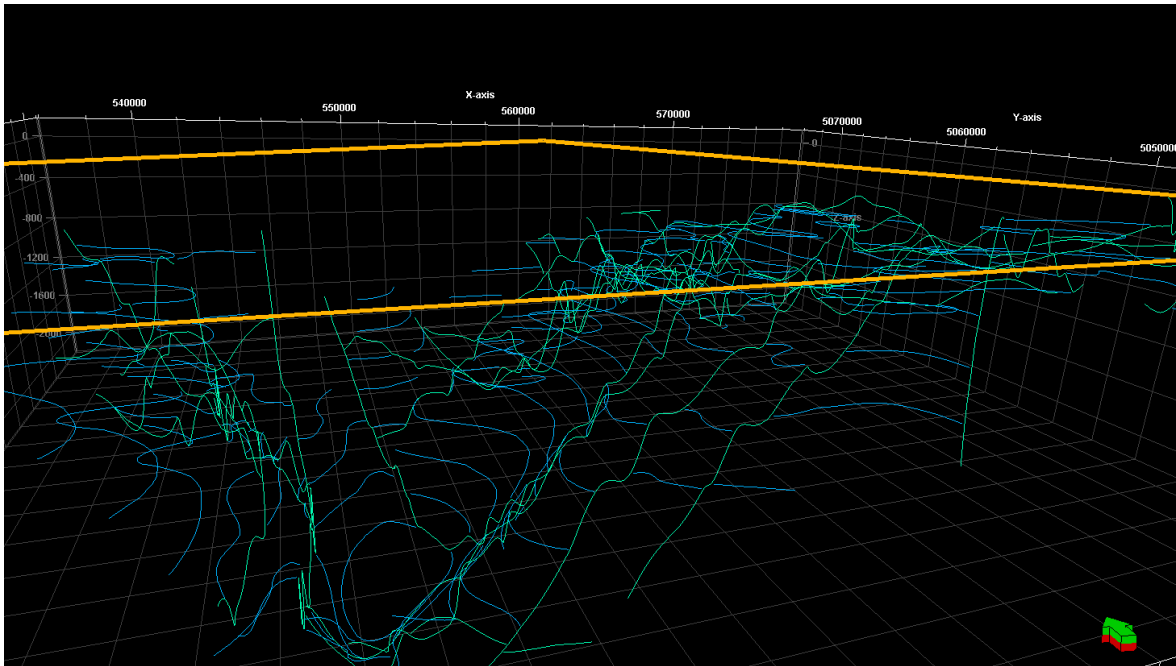


Slika 4-7 Površina po EK–markeru „Rφ“



**Slika 4-8** Površina po EK–markeru „α“

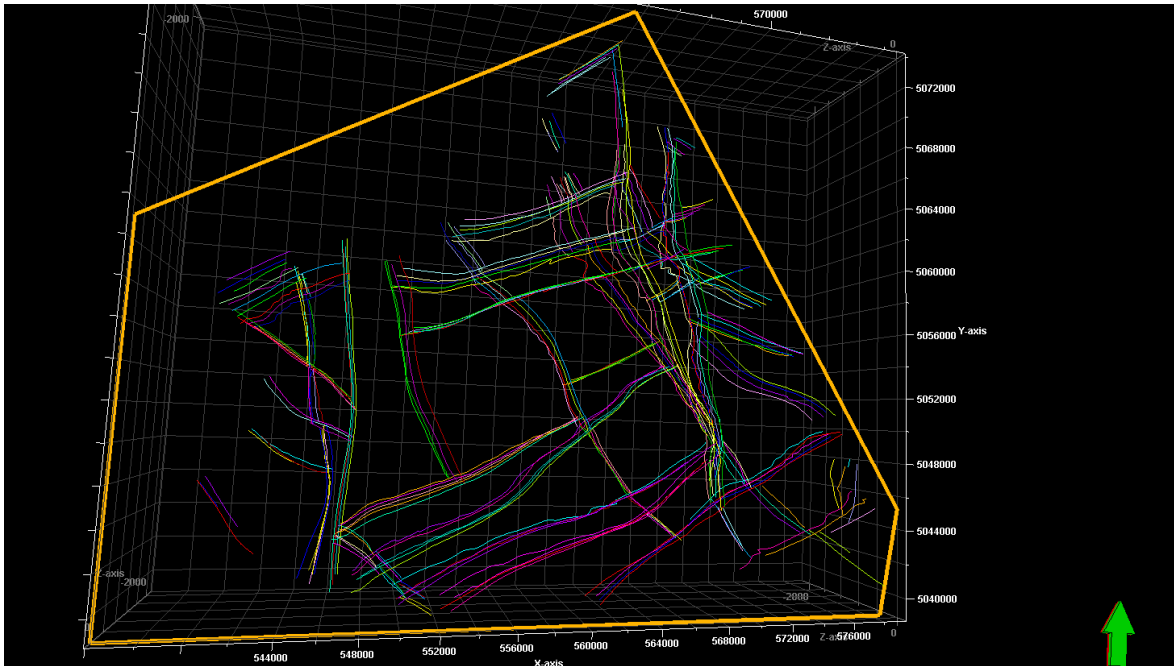
Idući korak je bio „zalijepiti“ rasjede na odgovarajuće površine horizonata. Rasjedima nije bilo moguće dodati dubinu (Z) u programu Arc Map, jer na kartama prate i sijeku površine po plohamama te im je stoga dubina varijabilna po svom ocrtu. Zbog toga su rasjedi „zalijepljeni“ na odgovarajuće površine postupkom izjednačavanja koordinata (Z) iz novo napravljenih površina i koordinata Z rasjeda. Nakon izjednačavanja površina, rasjedi dobivaju vrijednosti dubine na mjestu gdje je dubina prethodno dobivena izradom površina iz stratoizohipsi ili izobata (slika 4-9).



**Slika 4-9** Prikaz „zalijepljenih“ rasjeda (zelene linije) na stratoisohipse (plave linije) EK repera „Tg“

Rasjedi su po određenim plohama EK-markera uvedeni su kao cjelina, pa treba svakog od njih naknadno odvojiti. Alatom *Split* rasjedi su podijeljeni na više poligona, zasebno po kartama. Rasjedi u podzemlju prodiru u dubinu, pa da bi dobili trodimenzionalne plohe rasjeda, trebamo poligone koji predstavljaju iste rasjede svrstati u mape (*engl. Folder*). Poligoni su razvrstani u 57 rasjeda koji se nalaze istraživanom području (slika 4-10). Grafički prikaz i trodimenzionalni pogled uvelike je olakšalo grupiranje poligona u mape.





Slika 4-10 Rasjedi po svima plohama „zalijepljeni“ na njihove odgovarajuće površine

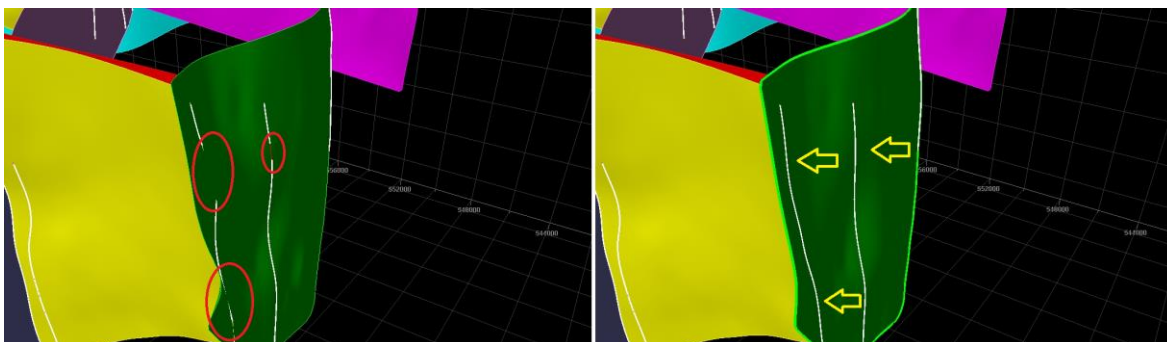
Nakon grupiranja rasjeda u mape bilo je potrebno izraditi strukturni okvir (*engl. Structural framework*), što podrazumijeva definiranje geometrije i granicu strukturnog modela. Nakon toga slijedilo je modeliranje rasjeda pomoću alata *Fault framework modeling* (slika 4-11), u kojem se dodaju poligoni za svaki rasjed koji ga tvore. Na primjer, da bi rasjed bio modeliran, potrebne su minimalno dvije linije. Rezultat procesa su trodimenzionalni modeli ploha rasjeda (slika 5-1).

Index	Fault	Color	Size	Status	Grid interval	Smoothing	Tip loop style	Tip loop scaling diameter	Extrapolation distance	Gridding plane	Fault top	Input #1	Input #2	Input #3	Input #4	Input #5	Input #6	Input #7
1	Polygon 56	199	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1			Polygon	Polygon	Polygon				
2	Polygon 51	241	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1			Polygon	Polygon	Polygon				
3	Polygon 49	292	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1			Polygon	Polygon	Polygon				
4	Polygon 47	278	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1			Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	
5	Polygon 44	585	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1			Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	
6	Polygon 43	399	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1			Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	
7	Polygon 45	83	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1			Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	
8	Polygon 46	452	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1			Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	
9	Polygon 48	334	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1			Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	
10	Polygon 50	861	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1			Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	
11	Polygon 35	1534	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1			Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	
12	Polygon 34	287	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1			Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	
13	Polygon 32	2229	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	50.00	Plane1			Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	
14	Polygon 33	254	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1			Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	
15	Polygon 27	1570	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1			Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	
16	Polygon 26	202	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1			Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	
17	Polygon 36	1522	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1			Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	
18	Polygon 52	1127	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1			Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	
19	Polygon 53	1428	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	50.00	Plane1			Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	
20	Polygon 38	330	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1			Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	
21	Polygon 41	1077	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	50.00	Plane1			Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	
22	Polygon 40	140	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1			Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	

Slika 4-11 *Fault framework* dijaloški okvir

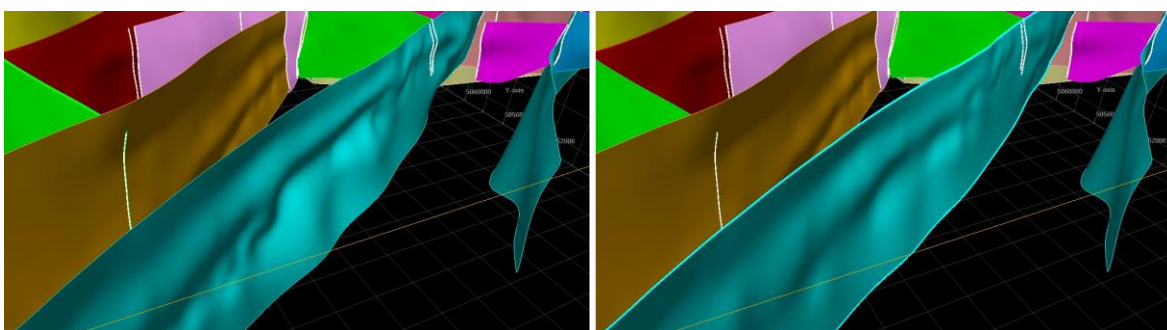
Poslije prvotnog modeliranja svih rasjeda, potrebno je ispraviti one koji su pogrešno generirani. To je moguće učiniti sljedećim opcijama:

*Extrapolation distance* – s njim se određuje koliko će program ekstrapolirati rasjed od poligona s kojima je on određen. Opcija je pogodna za rasjede koji nisu u potpunosti u kontaktu (slika 4-12).



**Slika 4-12** *Extrapolation distance*, prije korištenja opcije(lijevo), nakon korištenja opcije (desno)

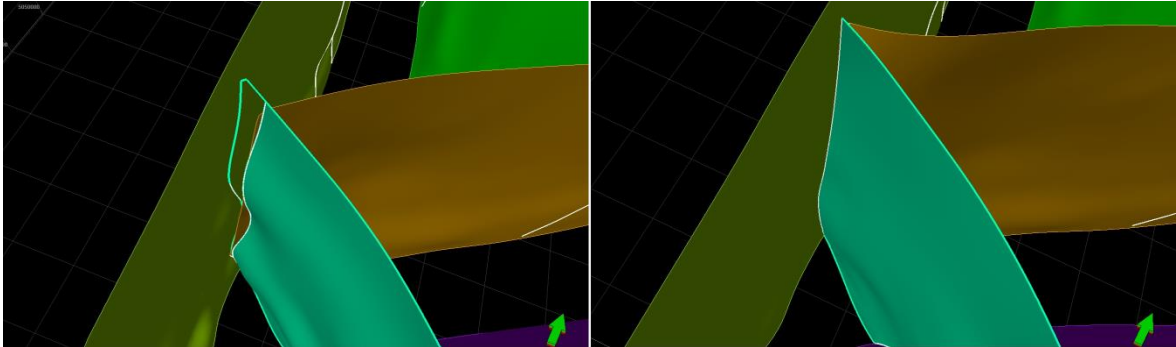
*Smoothing* – omogućuje omjer zaglađivanja plohe rasjeda (slika 4-13).



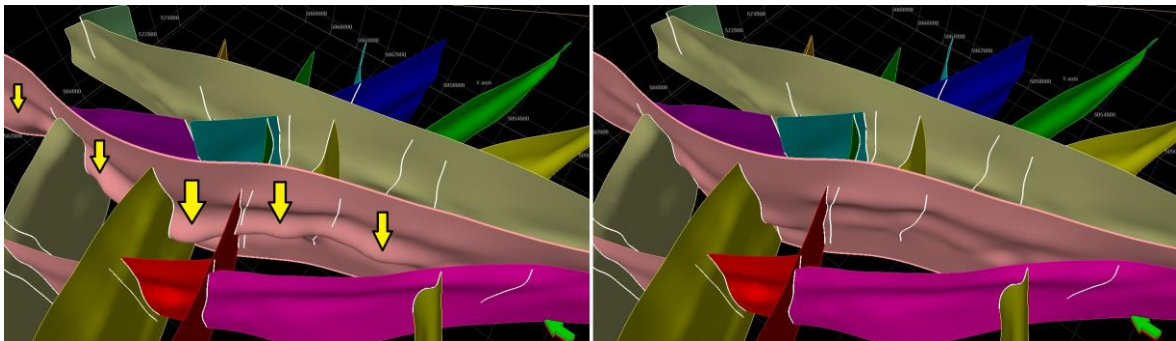
**Slika 4-13** *Smoothing* - prije zaglađivanja (lijevo), poslije zaglađivanja (desno)

Neke rasjede nije bilo moguće ispraviti gore navedenim opcijama, pa je takve pogrešne odnose moguće podesiti unutar alata „*Fault framework modeling*“. U alatu je bilo potrebno postaviti odnose između glavnih (engl. *Major*) i sporednih (engl. *Minor*), jer rasjedi

prekidaju jedni druge. Na taj način su ispravljene greške koje je program napravio prilikom stvaranja strukturnog okvira. Primjeri još nekih grešaka su prikazani na sljedećim slikama. Na slici 4-14 program je postavio krive kontakte, smeđi rasjed presijeca tirkizni, ispravljen je „ručnom“ korekcijom. Slika 4-15 pokazuje „pregib“ rasjeda rozaste boje, ispravljanje također „ručnom“ korekcijom.

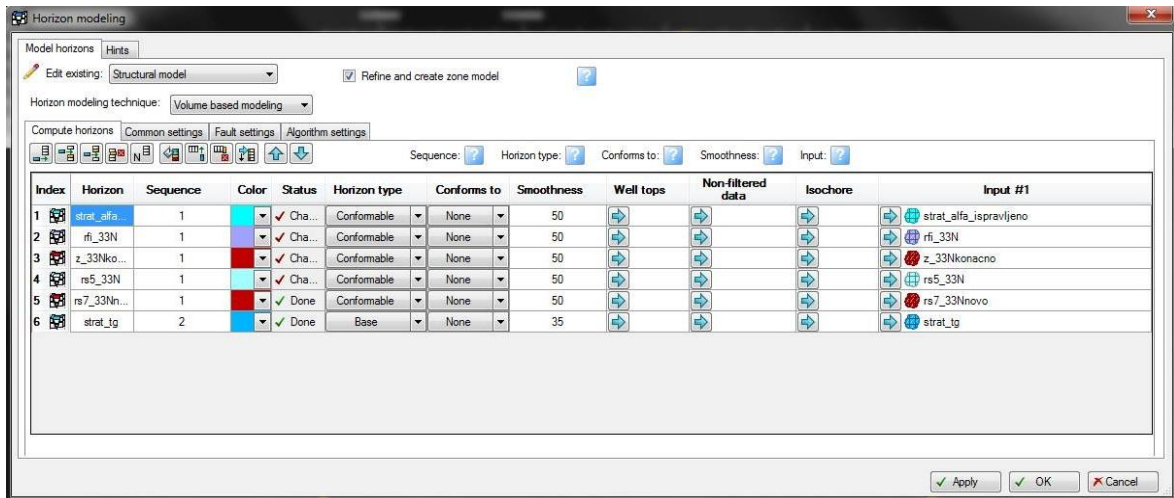


**Slika 4-14** Prikaz rasjeda prije korekcije (lijevo) te nakon korekcije (desno)



**Slika 4-15** *Kinked or sharp truncation* -Rasjed prije korekcije (lijevo) i poslije korekcije (desno)

Nakon ispravljanja svih pogrešaka i uspješnog modeliranja rasjeda, započinjemo sa modeliranjem horizonata (engl. *Horizon modeling*). Koristi se alat istoimenog naziva (*Horizon modeling*; slika 4-16), u kojeg su unijete plohe horizonata dobivenih od stratoizohipsi i modela rasjeda (*Fault framework model*) opisanog korak prije.



Slika 4-16 *Horizon modeling* - dijaloški okvir

Pri izradi modela horizonata površina kao bazu postavlja se elektrokarotažni reper Tg, jer on predstavlja podlogu neogenskim i kvartarnim taložinama. Ostale elektrokarotažne markere postavlja se kao konformne (engl. *conformable*) podlozi, tj. bazi.

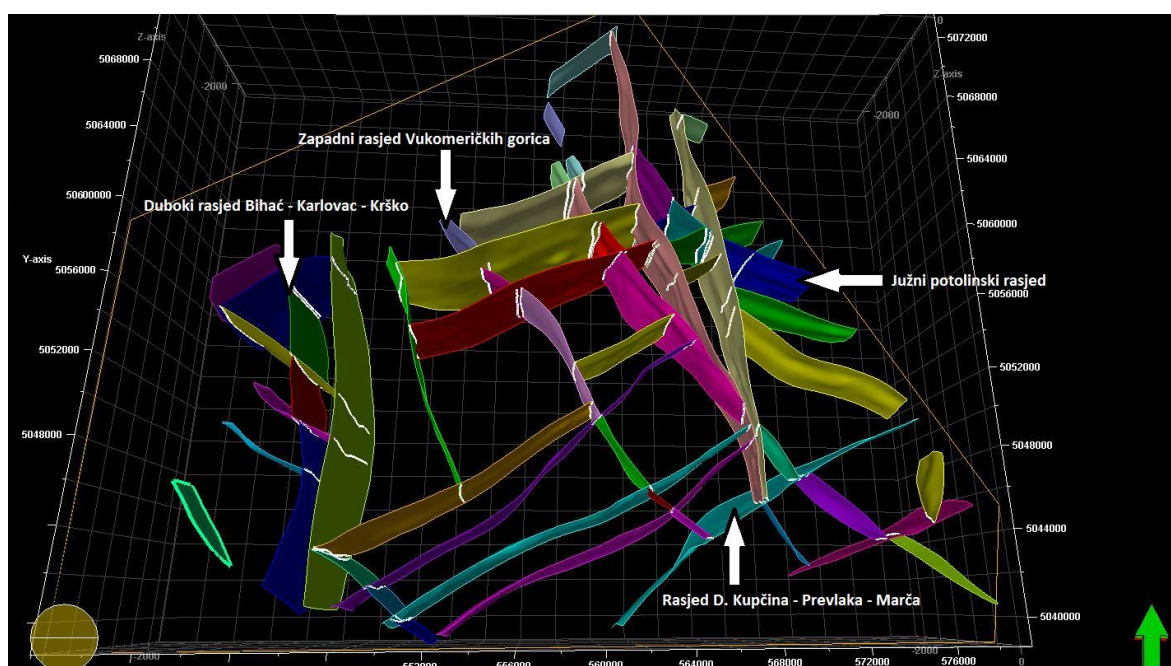
Model je spreman za daljnji korak kada alat *Horizon modeling program* prestane javljati greške u modelima pomaknutih naslaga ili neprirodnih odnosa među rasjedima.

## 5. REZULTATI

Konačni rezultati dobiveni su preko alata *Horizon Modeling* u računalnom programu Petrel™ 2014. Rezultati su prikazani u obliku modela horinzonata po plohi šest elektrokarotažnih markera i repera. Modeli su prikazani u tri dimenzije, što omogućava prikaz strukturnih oblika, karakter rasjeda pomaka i na kraju proračun statističkog odstupanja modela od izvornih karata.

### 5.1. Strukturni okvir

Strukturni okvir sastoji od 57 normalnih rasjeda (slika 5-1). Na modelu se mogu raspoznati tri skupine rasjeda određene prema pružanju: SZ –JI, JZ – SI i S – J rasjedi, odnosno to su tri sustava rasjeda.

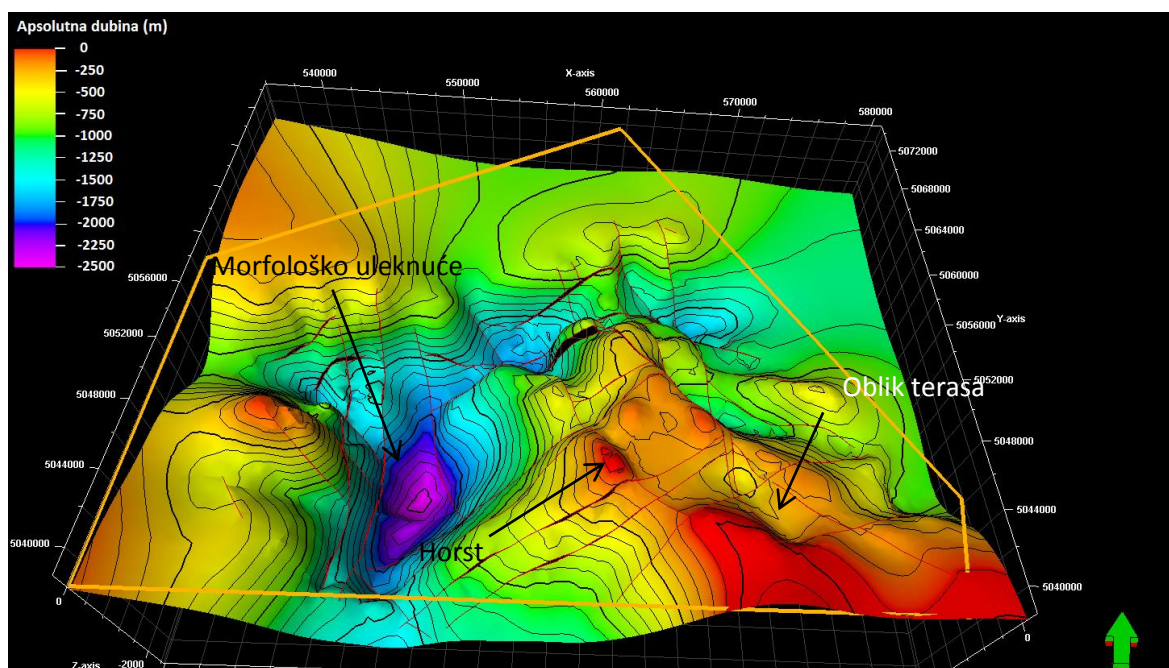


Slika 5-1 Modelirani rasjedi

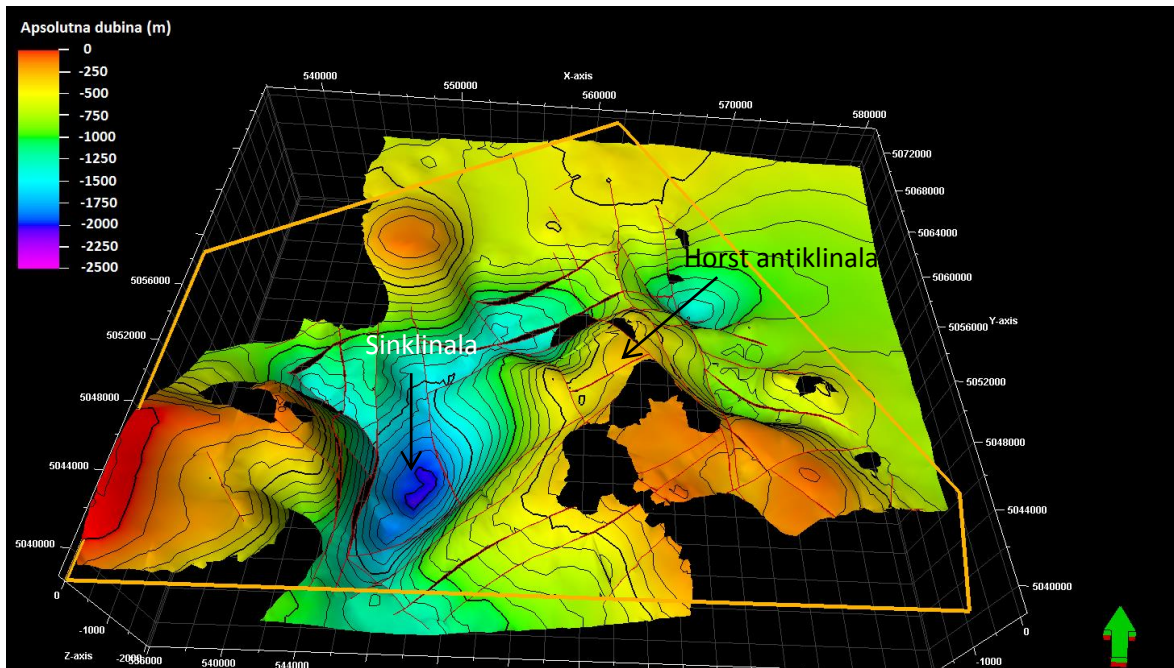
Od prikazanih rasjeda među najvažnijima su duboki rasjed Bihać-Karlovac-Krško, pružanja S-J, zatim zapadni rasjed Vukomeričkih gorica pružanja SZ-JI, dio južnog potolinskog rasjeda pružanje SZ-JI, rasjed D. Kupčina – Prevlaka – Marča pružanja JZ-SI (slika 5-1). Navedeni rasjedi predstavnici su triju sustava rasjeda. Bijele linije označavaju kontakte među rasjedima.

## 5.2. Modelirane plohe po EK markerima i reperima

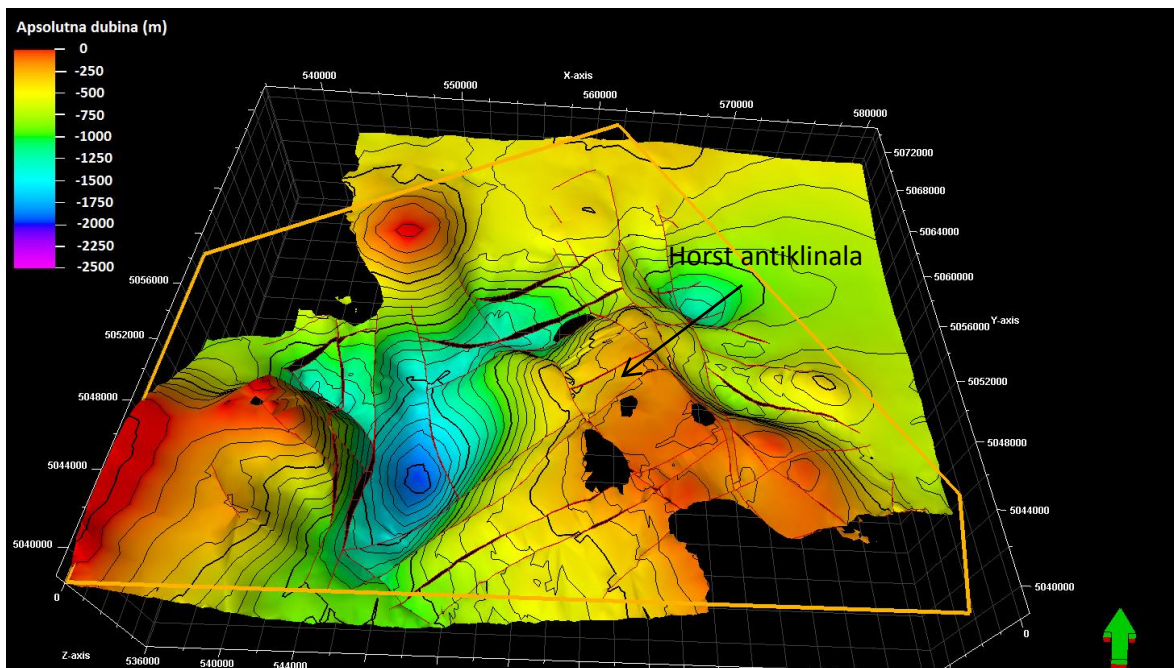
Rezultat modeliranja su plohe s pomacima uzrokovanim rasjedima. Program je ekstrapolacijom izašao van granice modeliranog područja, pa se takvi podatci ne trebaju uzeti u obzir kao relevantni. Rubna područja također su smanjene točnosti na što treba računati prilikom interpretacije ili korištenja rezultata. Slijedi prikaz slika 5-2, 5-3, 5-4, 5-5, 5-6, 5-7, 5-8 modeliranih ploha.



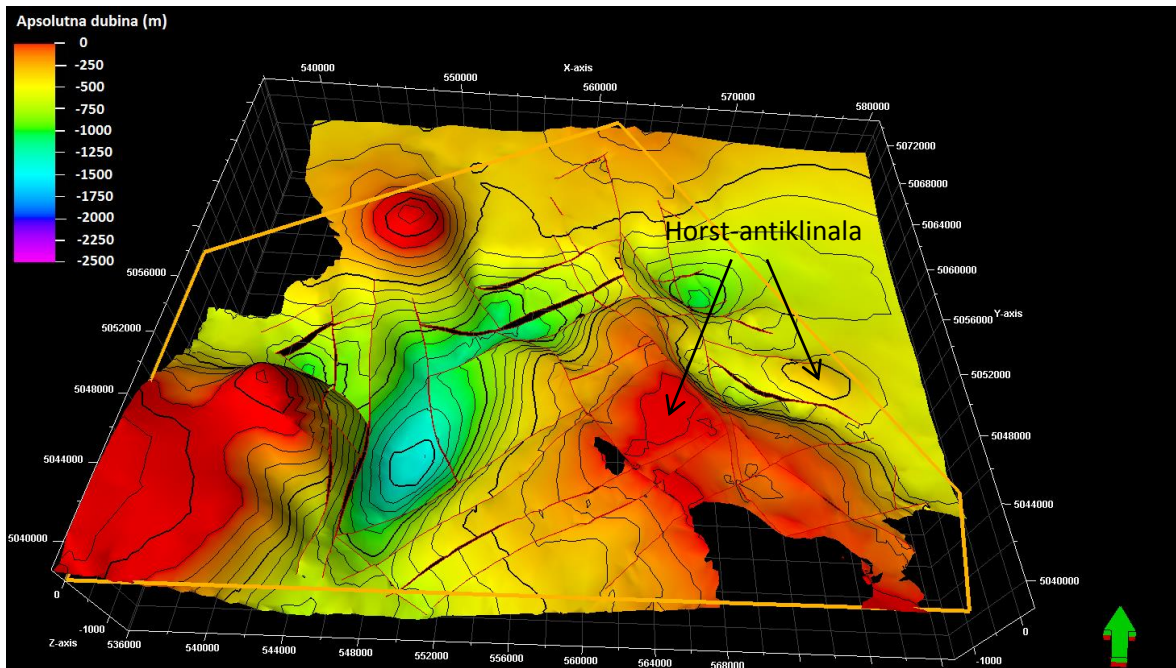
Slika 5-2 Modelirana ploha po EK-reperu „Tg“



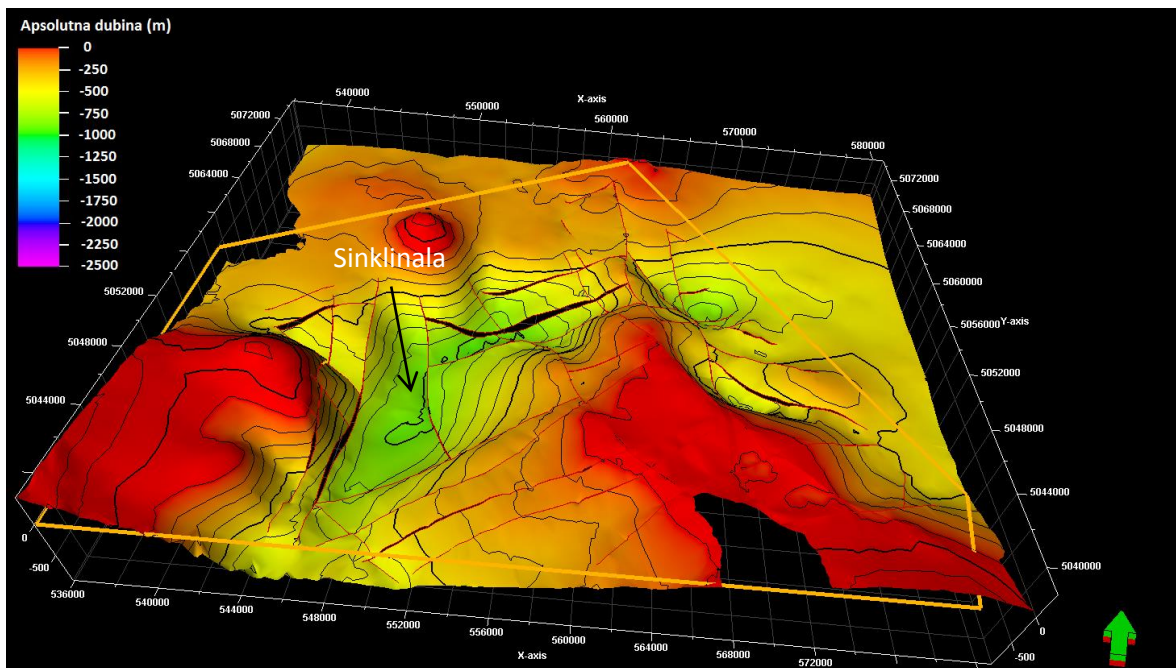
Slika 5-3 Modelirana ploha po EK–markeru „Rs7“



Slika 5-4 Modelirana ploha po EK–markeru „Rs5“

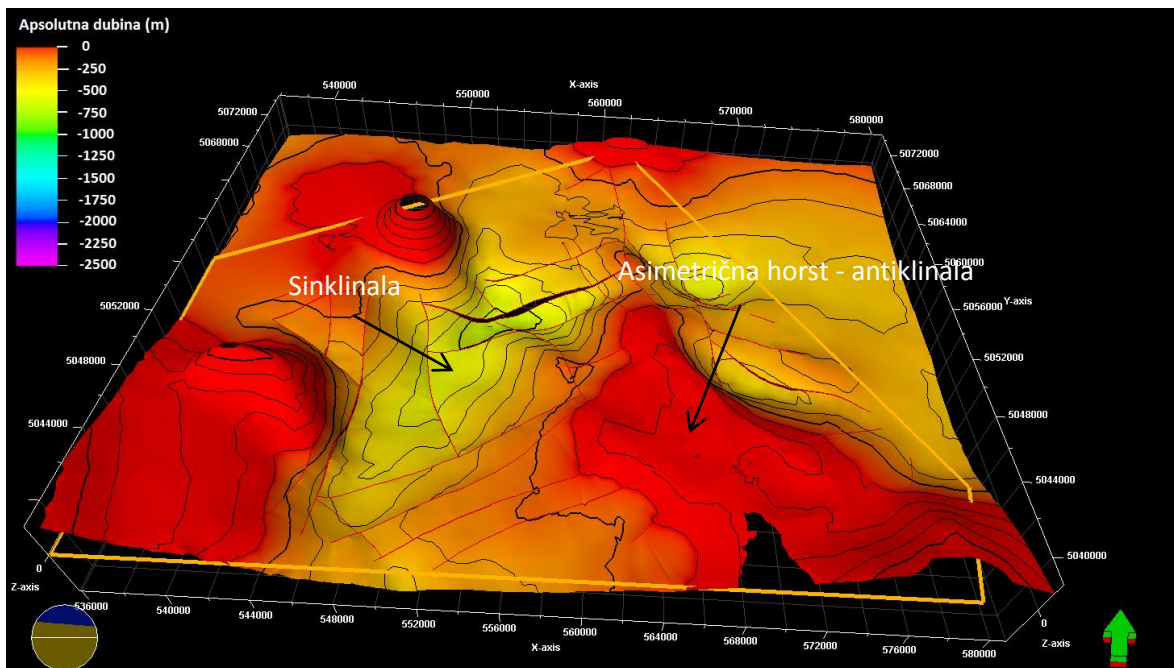


Slika 5-5 Modelirana ploha po EK-markeru „Z“



Slika 5-6 Modelirana ploha po EK-markeru „R $\phi$ “





**Slika 5-7** Modelirana ploha po EK-markeru „a“

Kod EK-repera Tg (slika 5-2, prilog I.) veći primjeri grebena ili horstova smješteni su sjeveroistočno i jugozapadno od Vukomeričkih gorica (u prilogu VII., na profilu A-A', prikazani horstovi). Morfološko uleknuće smješteno je u središnjem dijelu depresije, s maksimalnom dubinom od 2400 metara (u prilogu IX., na profilu C-C' prikazano je uleknuće). Oblik nalik terasama smješteno je u II dijelu istraživanog područja. Prevladavaju normalni rasjedi. Rasjedi „Bihać-Karlovac-Krško“ (u prilogu VII., na profilu A-A' prikazan prvi s lijeva) i južni potolinski rasjed (prilog VIII., na profilu B-B' prikazan prvi s desna) čine jednu od glavnih zona spuštanja (VELIĆ, 1980).

EK-marker Rs7 (slika 5-3, prilog II.) - Ističe se horst-antiklinale sjeverno od Vukomeričkih gorica, te sinklinala u Karlovačkoj uleknini s maksimalnom dubinom od 2000 metara. U Karlovačkoj uleknini, uz zapadni rub, rasjed pravca pružanja sjever-jug dominira sa skokom od 300 metara (u prilogu IX., na profilu C-C', 3. rasjed s lijeva) (VELIĆ, 1980).

Elektrokarotažni marker Rs5 (slika 5-4, prilog III.) - ploha u usporedbi s ostalim ima najmanju površinu, formacija Prkos koja je ograničena u krovini ovog markera, dobrim dijelom postupno istanjuje na krilima izdignutih struktura (u prilogu IX., profil C-C', prikazano istanjivanje pored 6. rasjeda s lijeva). Horst-antiklinale i dalje je prisutna kod Vukomeričkih gorica (u prilogu VII, na profilu A-A', prikazan horst). Debljine taloženja su

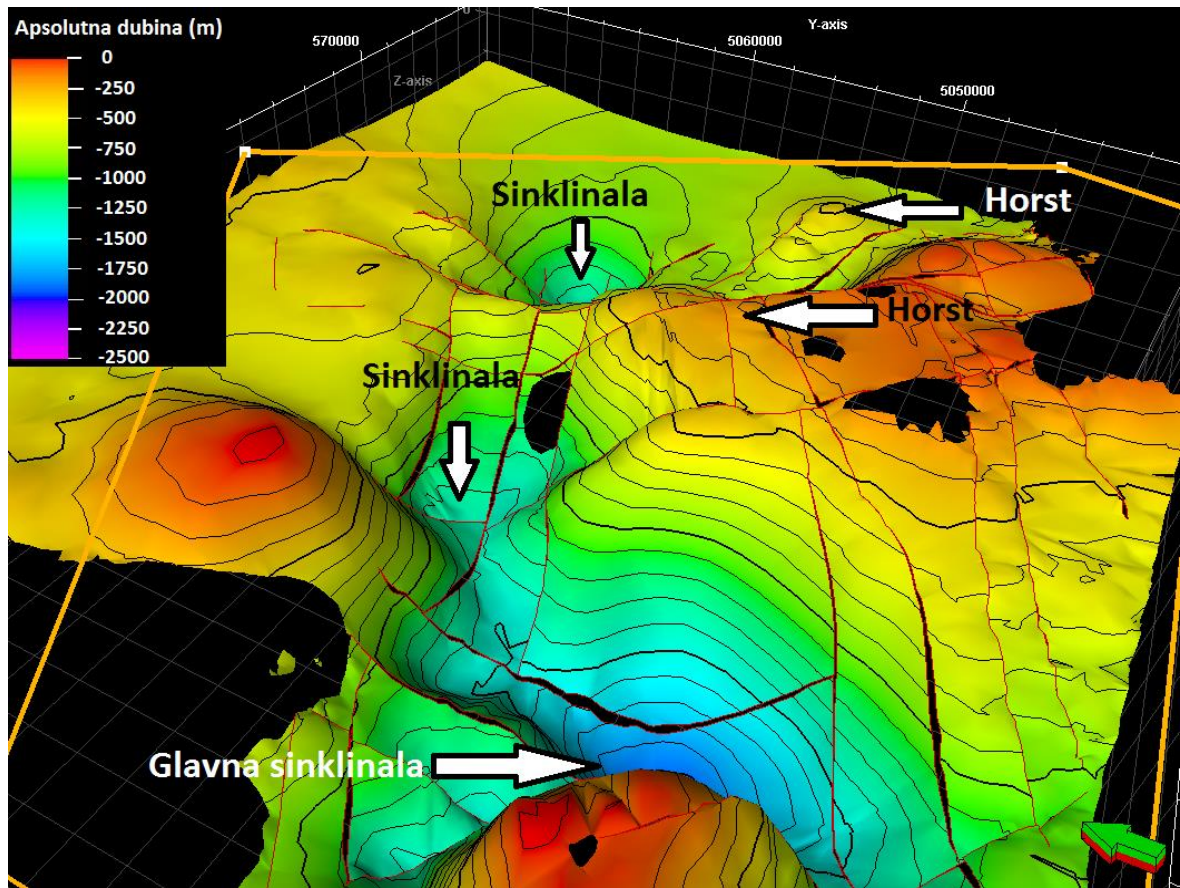
veće u sinklinalama u odnosu na uzvišena područja. Zapadno od Jastrebarskog dominira blok sa 100 metara na rubovima do 250 metara skoka u središnjem dijelu. (VELIĆ, 1980).

Elektrokarotažni marker Z' (slika 5-5, prilog IV.) - slijede Vukomeričke gorice s nekoliko manjih horst-antiklinala. U Karlovačkoj uleknini dno sinklinala leži na -1400 metara, a ispod sjeveroistočnih obronaka Vukomeričkih gorica na -700 metara (u prilogu VIII., na profilu B-B', prikazane sinklinale). Vukomeričke gorice se iskazuju kao jedan blok sa pedeset metarskim pomacima uz rubove (VELIĆ, 1980).

Elektrokarotažni marker R $\phi$  (slika 5-6, prilog V.) – Vukomeričke gorice i Karlovačka uleknina nisu bitno izmijenile svoju sliku u usporedbi s povijanjem prethodne reperne površine. Područje oko Jastrebarskog i Vukomeričkih gorica izgrađuju blokovi koji su u međusobnim, relativnim odnosima pomaknuti u vertikalnim pomacima između 50 i 100 metara (VELIĆ, 1980).

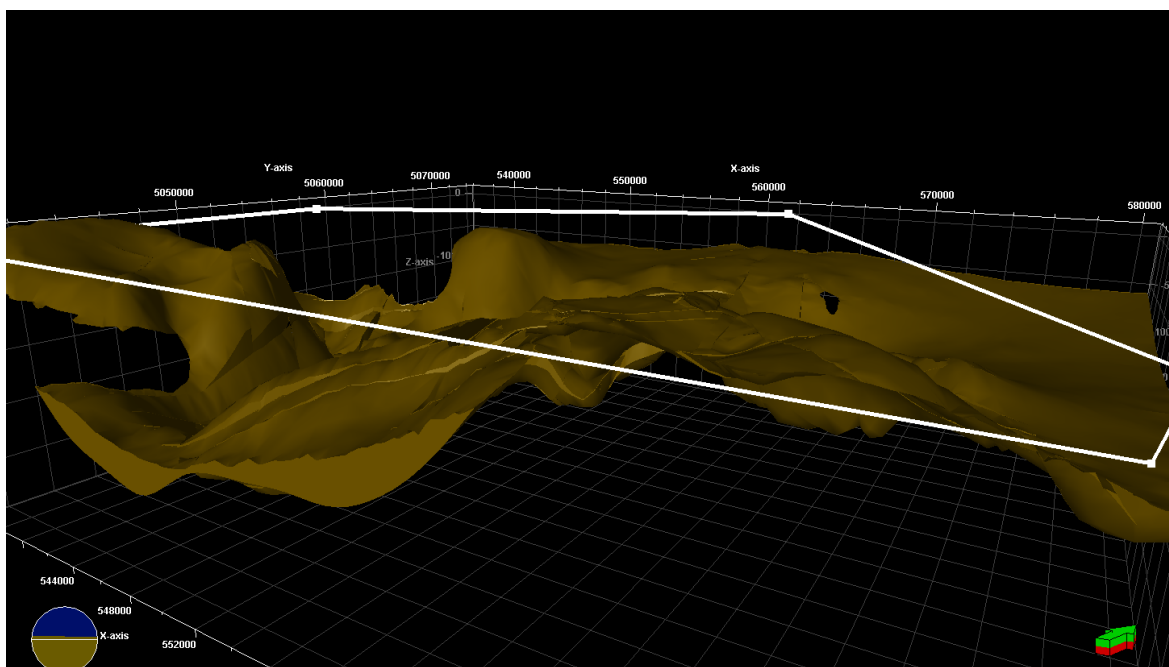
Elektrokarotažni marker R $\alpha'$  (slika 5-7, prilog VI.) – Izdvaja se Karlovačka uleknina s najdubljim dijelom od -600 metara i Vukomeričke gorice s najpliće položenom površinom uz Kupu na +150 metara (asimetrična horst-antiklinala). Skokovi duž rasjeda na nivou markera  $\alpha'$  su ustvari odraz aktivnosti rasjeda u vrijeme taloženja formacije Lonja. Skokovi rasjeda su (300 do 400 i 125 metara) zapadno od Jastrebarskog, dok pomak kod Vukomeričkih gorica iznosi 25 metara što ukazuje na slabu tektonsku aktivnost (VELIĆ, 1980).

Na slici 5-8 prikazane su strukture po plohi EK-markera „Rs5“. Horst – antiklinala vidljiva je kod Vukomeričkih gorica, pružanja SZ-JI. Također vidljiv je i manji horst, na rubu istraživanog područja orijentacije SZ-JI. Prikazane su i sinklinale od kojih je glavna sinklinala pružanja SI-JZ, presjek kroz glavnu sinklinalu prikazan je na prilogu X. Preostale sinklinale nalaze se sjeverno od Vukomeričkih gorica, sa pružanjem SI-JZ, te sjeveroistočno od Vukomeričkih gorica s pružanjem SI-JZ. Zbog lakšeg prikaza uleknua i skokova rasjeda orijentacija slike 5-8 je prema SZ.



Slika 5-8 Prikaz sinklinala i horsta po plohi EK-markera „Rs5“ pogled prema SI

Konstruiran je i trodimenzionalni prikaz zone između ploha EK markera i repera na kojoj se jasno mogu vidjeti pomaci rasjeda. Ta zona je zapravo volumen naslaga između modeliranih ploha po EK markerima i reperu. Na slici 5-10 prikazan je volumen naslaga između EK repera Tg i EK-markera Rs7 što odgovara formaciji Prečec.



Slika 5-9 Trodimenzionalna zona EK-markera „Rs7“

### 5.3. Proračun statističkog odstupanja modela od izvornih karata

Računanje statističke vrijednosti odstupanja između izvornih strukturnih karata i modela dobivenih alatom *Horizon modeling* korištene su vrijednosti dubina sa oba seta karata na ukupno 1260 odabranih točaka, kojima je postignuta pokrivenost terena. Da bi vrijednosti dubine bile precizne, točke se očitavaju sa stratoizohipsi. Broj točaka je raspoređen na šest karata kako bi se zadovoljila statistička valjanost. Postupkom za istu prostorno određenu točku zadanih vrijednosti očitava se dubinska vrijednost na modelu i na izvornim kartama. Zatim se za svaku pojedinu točku računa postotak odstupanja modela od izvornih karata.

Ako se za vrijednost očitane dubine pojedine točke na ručno izrađenim strukturnim kartama postavimo  $Z(A)$ , a za vrijednost očitane dubine pojedine točke na dobivenim

modelima Z(B), formula po kojoj je se izračunava postotak odstupanja modela od strukturnih karata glasi:

$$\left| \frac{Z(A) - Z(B)}{Z(A)} \right| = X * 100$$

gdje je X vrijednost odstupanja koja pomnožena sa 100 daje postotak odstupanja. Vrijednosti očitanih dubina postavljene su kao apsolutne vrijednosti da ne bi imali negativno odstupanje, koje može zakomplicirati daljnju obradu.

Srednje vrijednosti postotka odstupanja modela od ručno izrađenih strukturnih karata po plohi određenog EK-markera i repera pokazane su u tablici 1-1.

**Tablica 1-1** Prikaz srednje vrijednosti odstupanja po plohi EK markera i repera

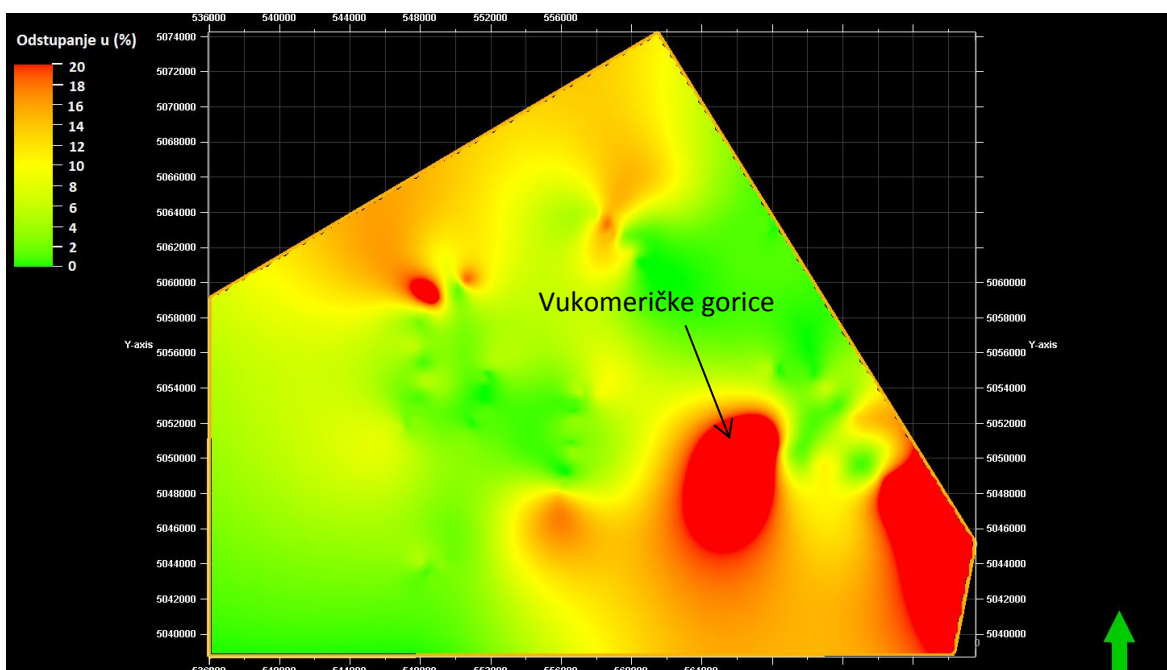
Ploha EK – markera i repera	Srednja vrijednost odstupanja (%)
$\alpha'$	5,617 %
R $\phi$	4,625 %
Z'	5,104 %
Rs5	4,869 %
Rs7	4,642 %
Tg	3,236 %

Točke koje se nalaze u blizini rasjeda, kontakata rasjeda ili dijelova terena gdje je teren zbog djelovanja rasjeda deformiran, pokazuju veće vrijednosti odstupanja od onih točaka koje se nalaze na zaravnjenim dijelovima terena. Uzrok tome su vjerojatno preoblikovani krajnji dijelovi rasjeda nastalih zbog ručno pomaknutih kontakata između rasjeda. Prosječna vrijednost odstupanja modela od ručno izrađenih strukturnih karata iznosi 4,862 %.

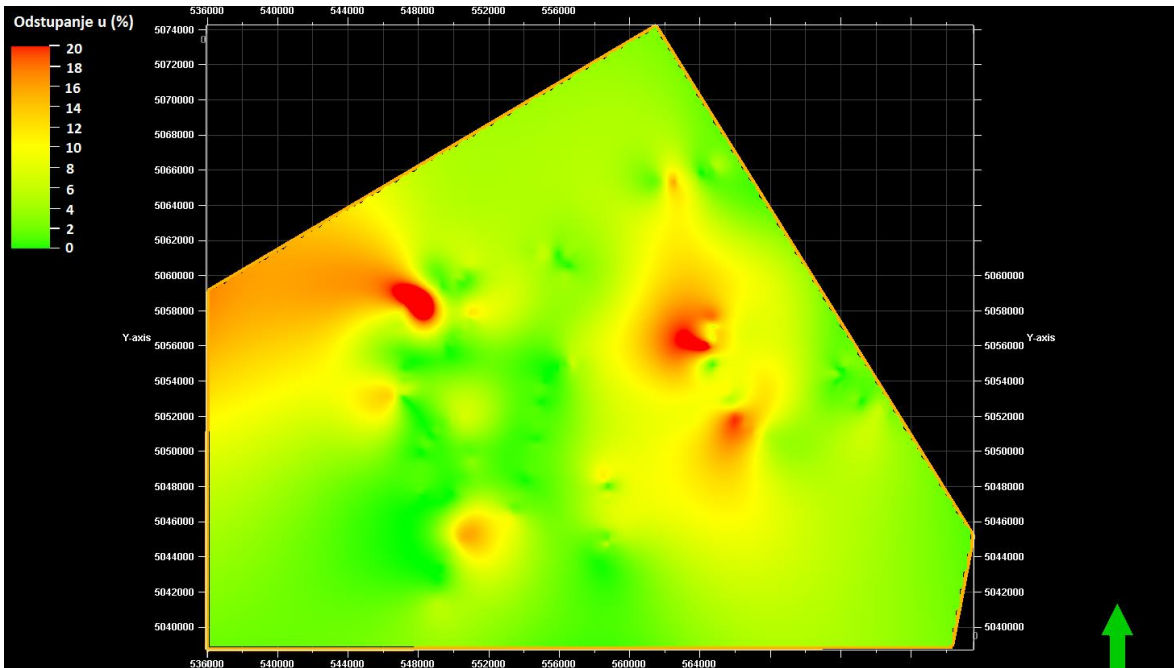
## 5.4. Karte pogreška

Nakon izračuna statističkog odstupanja, izrađuju se karte pogreške da bi se prikazala područja odstupanja u prostoru. Napravljene su na način da su odabrana tri stupca u koje ulaze tri vrijednosti. Prve dvije su koordinate x i y izabranih točaka sa pojedinih karata, treća vrijednost je odstupanje svake pojedine točke.

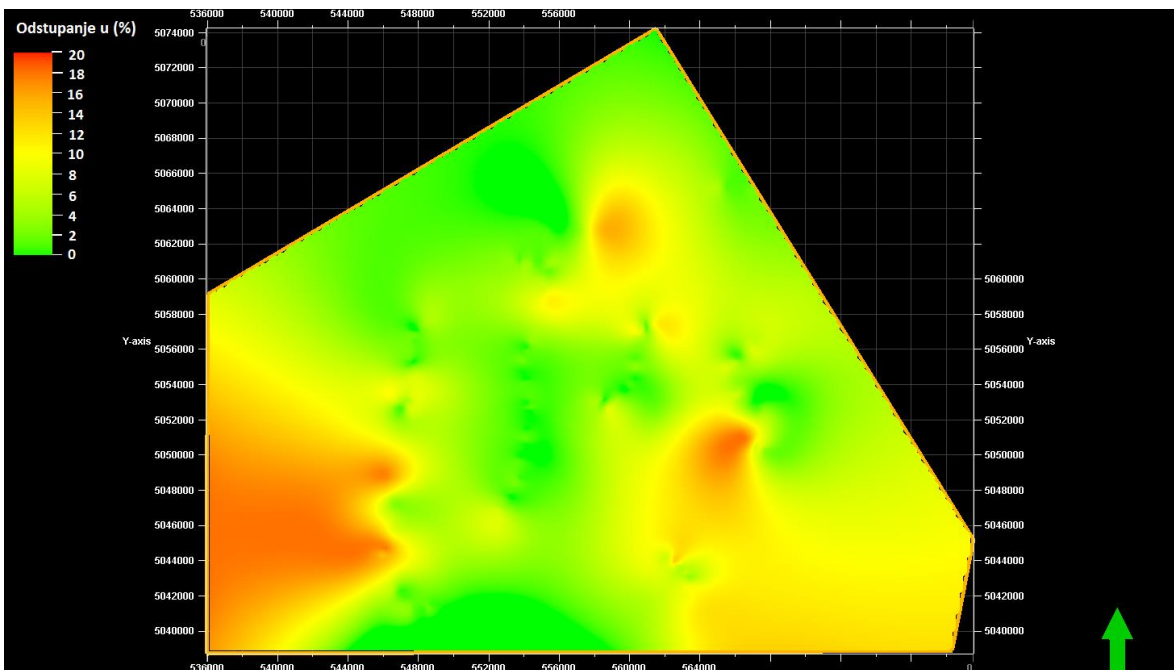
Podatci se unose u Petrel™, nakon čega se konstruira površina (*engl. Make/edit surface*) napravljena na temelju vrijednosti odstupanja u graničnom području modeliranja (BAKETARIĆ & CVETKOVIĆ, 2015). Raspon pogreške prikazan je bojama na sljedećim slikama 5-11, 5-12, 5-13, 5-14, 5-15, 5-16. Zelena boja predstavlja malu grešku (0%) dok crvena predstavlja veliku grešku (20%). Velike greške predstavljaju mali broj ulaznih podataka. Generalno, pojavljuju se na rubovima istraživanog područja gdje je manje ulaznih podataka. Primjer slika 5-11 gdje greška okruglastog oblika predstavlja Vukomeričke gorice sa manje ulaznih podataka u odnosu na okolno područje.



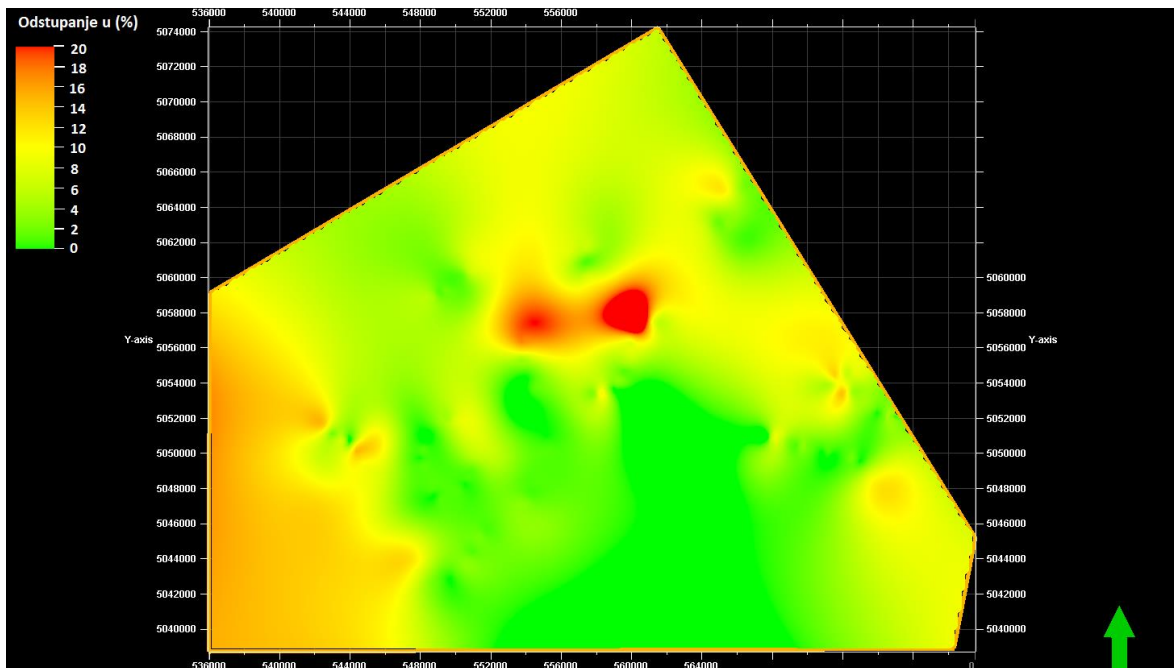
Slika 5-10 Karta pogreške EK-markera  $\alpha'$



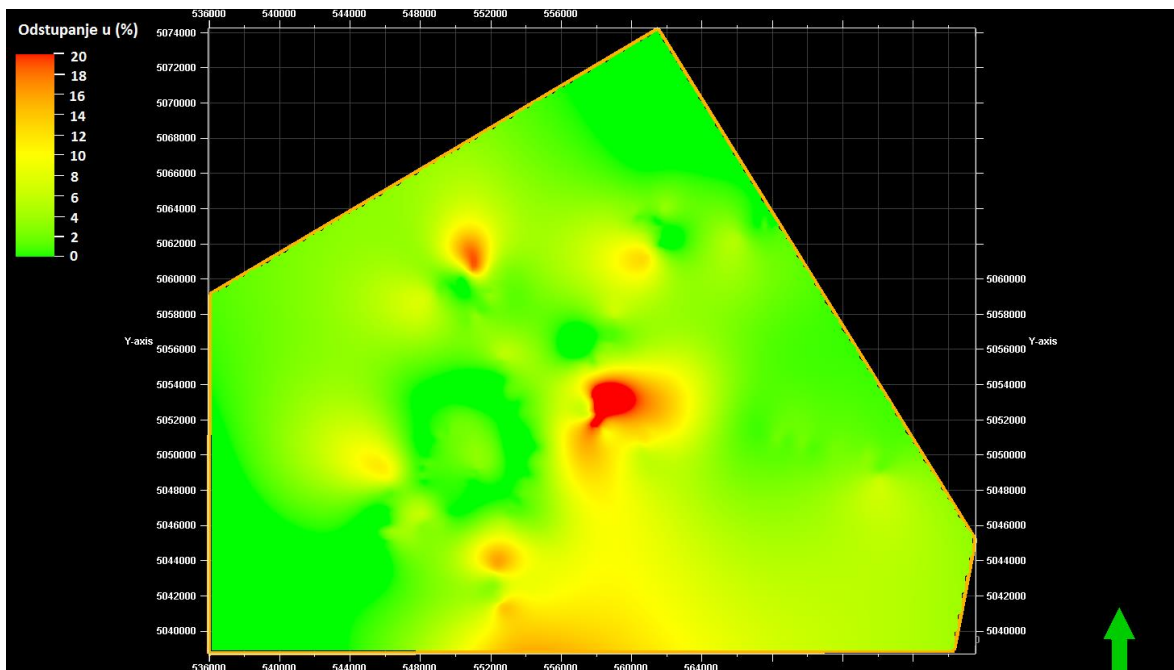
Slika 5-11 Karta pogreške EK markera  $\varphi$



Slika 5-12 Karta pogreške EK markera  $Z'$

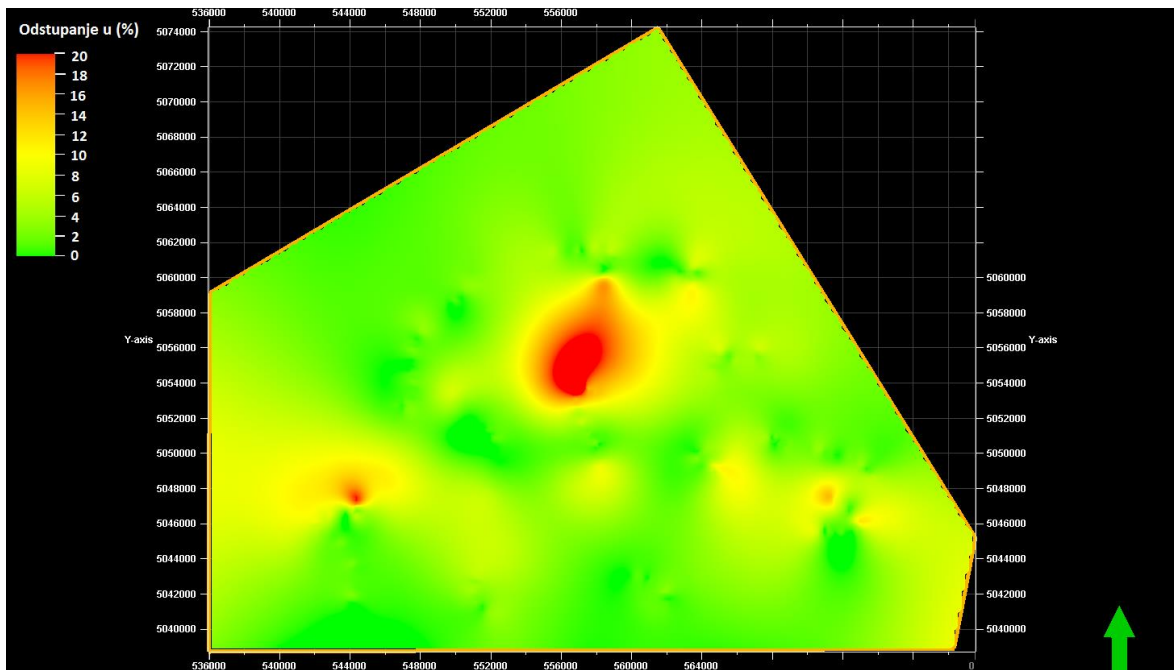


Slika 5-13 Karta pogreške EK markera Rs5



Slika 5-14 Karta pogreške EK markera Rs7





Slika 5-15 Karta pogreške EK repera Tg

## 6. ZAKLJUČAK

U ovome radu uspješno su digitalizirane karte iz doktorske disertacije (VELIĆ, 1980). Ukupno je digitalizirano šest karata koje pokrivaju područje Karlovačke depresije sa 57 rasjeda. Karte daju zorniji prikaz na strukturno stratigrafske odnose u podzemlju; trodimenzionalni prikazi strukturnih odnosa, razvoj geoloških struktura po različitim plohama EK-markera i repera, te pomak volumena stijena u prostoru daje podatke koje se mogu iskoristiti za daljnja istraživanja regionalnog karaktera, tj. za istraživanje nafte i plina.

Izračunata je greška između izvornih i modeliranih karata koja iznosi prosječno 4,862%. Pogreške su veće u blizini rasjeda, zbog preinaka na rasjednim plohama tijekom izrade modela i na rubovima istraživanog područja. Konstruirane su karte pogrešaka koje daju jasniju sliku područja odstupanja u prostoru.

## 7. LITERATURA

- BAKETARIĆ, T. & CVETKOVIĆ, M. 2015. Subsurface modelling of the Neogene-Quaternary sediments in part of the Sava Depression based on digitalization of legacy map data. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 30, 2, 67-84.
- CVETKOVIĆ, M., 2013. Naftnogeološki potencijal i litostratigrafska razradba trećega neogensko-kvartarnog megaciklusa u Savskoj depresiji (Lithostratigraphic Units of the Third Neogene-Quaternary Megacycle in the Sava Depression and Their Petroleum Potential). Doktorski rad. Zagreb: Rudarsko – geološko – naftni fakultet, 175 str.
- FOETTERLE, F. 1861. Geologische Karte von Kroatien. *Jahrb. Geol. R.A*, 12, Wien
- GORJANOVIĆ – KRAMBERGER, D. 1890. Die praepontischen Bildungen des Agamer Gebirgers. *Glasnik Hrvatskog naravosl. Društva*, 151-164 str.
- GORJANOVIĆ – KRAMBERGER, D. 1894. Geologija gore Samoborske i Žumberačke. Zagreb: Rad Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, 120 str.
- GORJANOVIĆ – KRAMBERGER, D. 1897. Die Gliederung der Pliozäns am südlichen Abhange des Agamer Gebirges. *Vehr. Geol. Reichsanst.*, 339-341 str.
- GORJANOVIĆ – KRAMBERGER, D. 1898. Das Tertiär des Agamer Geirges. *Jahrb. Geol. R. A.*, 549-566 str.
- HERAK, M. 1956. Geologija Samoborskog gorja. *Acta geol. Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti*. 1, 49-74.
- KOCK, F. 1917. Levantinska fauna Vukomeričkih gorica. Zagreb: Glasnik Hrvatskog prirodoslovnog društva, 29, 1-11.
- LUČIĆ, D., SAFTIĆ, B., KRIZMANIĆ K., PRELOGOVIĆ, E., BRITVIĆ V., MESIĆ, I. & TADEJ, J. 2001. The neogene evolution and hydrocarbon potential of the Pannonian Basin in Croatia – *Marine and Petroleum Geology*, 18, 133-147.
- MURPHY, M. A. & SALVADOR, A. (1996): *International Stratigraphic Guide — An abridged version*. *Episodes*, 22, 4, 255-271.
- NACSN 2005: North American Stratigraphic Code. *AAPG Bulletin*, 89, 11, 1547-1591.
- PRELOGOVIĆ, E., SAFTIĆ, B., KUK, V., VELIĆ, J., DRAGAŠ, M & LUČIĆ D. 1998. Tectonic activity in the Croatian part of the Pannonian Basin. *Tectonophysics*, 297, 283-293.

- RÖGL, F. 1996. Stratigraphic correlation of the Paratethys Oligocene and Miocene. *Mitt. Ges. Geol. Soc. Bergbaustud. Österr.*, 41, 65-73.
- SAFTIĆ, B. & MALVIĆ, T. 2008. Dubinsko kartiranje. Fakultetska skripta. Rudarsko geološko naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, str. 46.
- SAFTIĆ, B., VELIĆ, J., SZTANO, O., JUHAS, G. & IVKOVIĆ, Ž. 2003. Tertiary subsurface facies, source rocks and hydrocarbon reservoirs in the SW part of the Pannonian Basin (northern Croatia and south-western Hungary). *Geologia Croatica*, 56, 1, 101-122.
- ŠIMON, J., 1980. Prilog stratigrafiji u taložnom sustavu pješčanih rezervoara Sava-grupe naslaga mlađeg tercijara u Panonskom bazenu sjeverne Hrvatske- Disertacija, RGN fakultet, str. 66.
- ŠUKLJE, F. 1929. Mediteranska fauna Zaprešić-brijega u Samoborskoj gori. *Vijesti Geološkog zavoda*, 3, 1-52 .
- ŠUKLJE F. 1932. Prilog geologiji Samoborske gore. *Vesnik geološkog instituta kraljevine Jugoslavije*, 1/2, 55-67.
- ŠUKLJE F. 1936. Prilog stratigrafiji Samoborske gore. *Glasnik Hrvatskog prirodoslovnog društva*, 41-48, 283-288.
- ŠUKLJE F. 1942. Iz zemljovida Samoborske gore. *Vjesnik Hrvatskog državnog geološkog zavoda i muzeja*. 2/3, 151-163.
- TAKŠIĆ, A. & JURIŠA, M. (1957-1958). Vukomeričke gorice. Geološki izvještaj. Fond stručne dokumentacije Instituta geoloških istraživanja.
- TOMLJENović, B. 2002. Strukturne karakteristike Medvednica i Samoborskog gorja. Doktorska disertacija, Zagreb: Rudarsko – geološko – naftni fakultet, 208 str.
- TOMLJENović B. & CONTOS L., 2001. Neogene–Quaternary structures in the border zone between Alps, Dinarides and Pannonian Basin (Hrvatsko zagorje and Karlovac Basins, Croatia). *Int. J. Earth. Sci.*, 90, 560–578.
- TUČAN F. 1917. Naše rudno blago. Zagreb: Matica Hrvatska, 235 str.
- VELIĆ, J., 1980. Geološka građa zapadnog dijela Savske depresije. Doktorska disertacija. Zagreb: Rudarsko – geološko – naftni fakultet, 137 str.
- VELIĆ, J., 2007. Geologija ležišta nafte i plina. Zagreb: Rudarsko – geološko – naftni fakultet, 342 str.
- VELIĆ, J., MALVIĆ, T., CVETKOVIĆ, M., 2011. Palinspastic reconstruction of synsedimentary tectonics of Neogene and Quaternary sediments in the Kloštar Field

(Sava Depression, Pannonian Basin, Croatia). Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, 162, 2, 193-203.

VRBANAC, B., 2002. Facies and facies architecture of the Ivanic Grad Formation (late Pannonian)—Sava Depression, NW Croatia. Geologia Croatica, 55, 1, 57–77.

VUKOTINOVIĆ, LJ., 1870. O petrefaktih okaminah u obće i o podzemskoj Fauni i Flori Susedskih laporah. Rad Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, 13, 172-212.

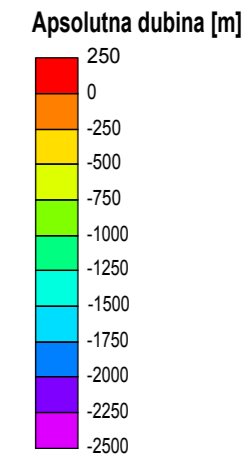
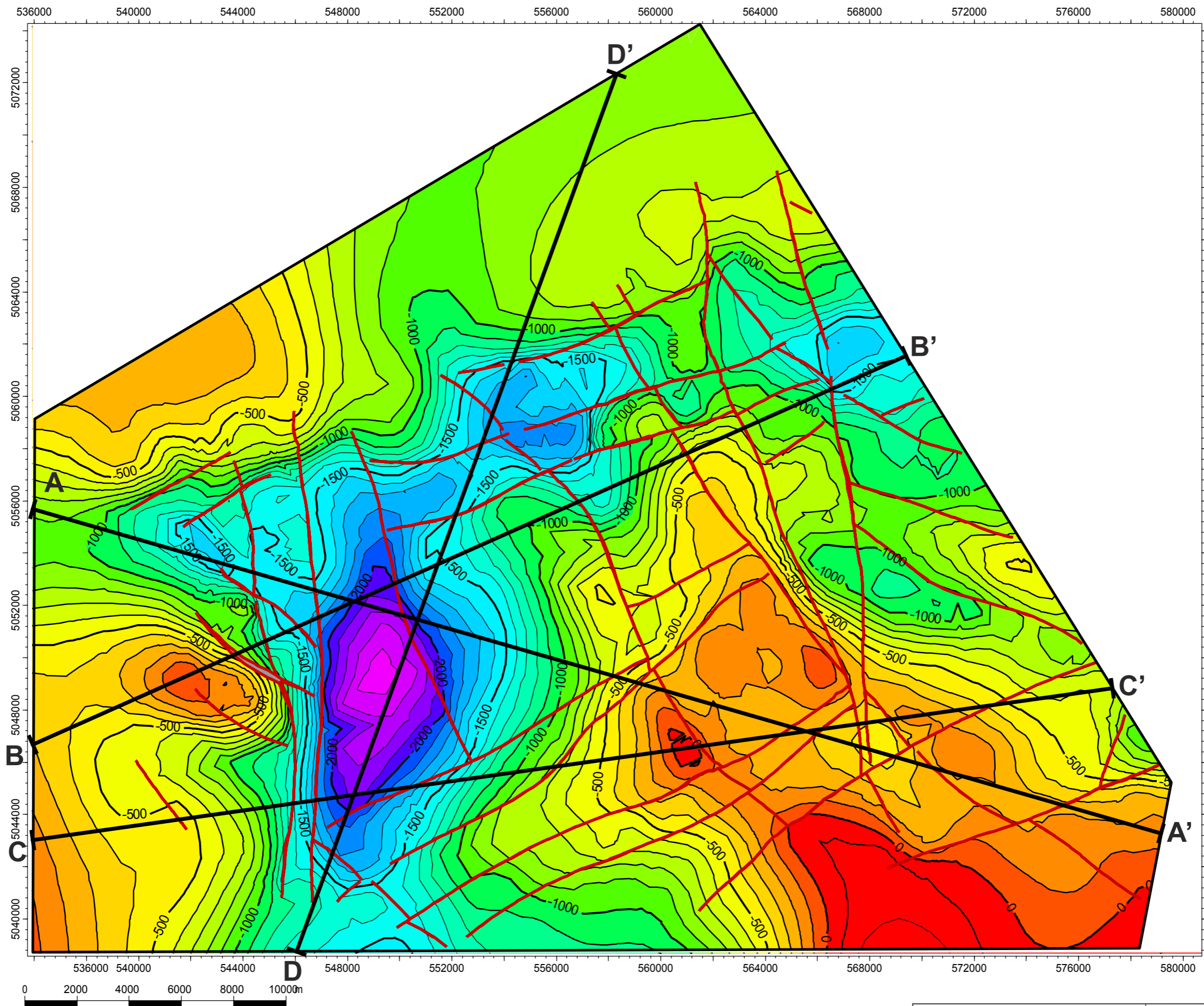
VUKOTINOVIĆ, LJ., 1873. Trećegorje u okolini zagrebačkoj. Rad Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, 23,1-17.

VUKOTINOVIĆ, LJ., 1874. Die Tertiarschichten in der Umgebung Agrams. Jahrb. Geol. R. A. 24/3, 275-286.

Internet izvori:

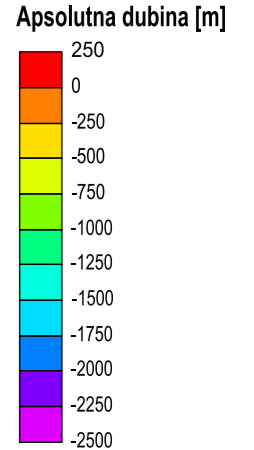
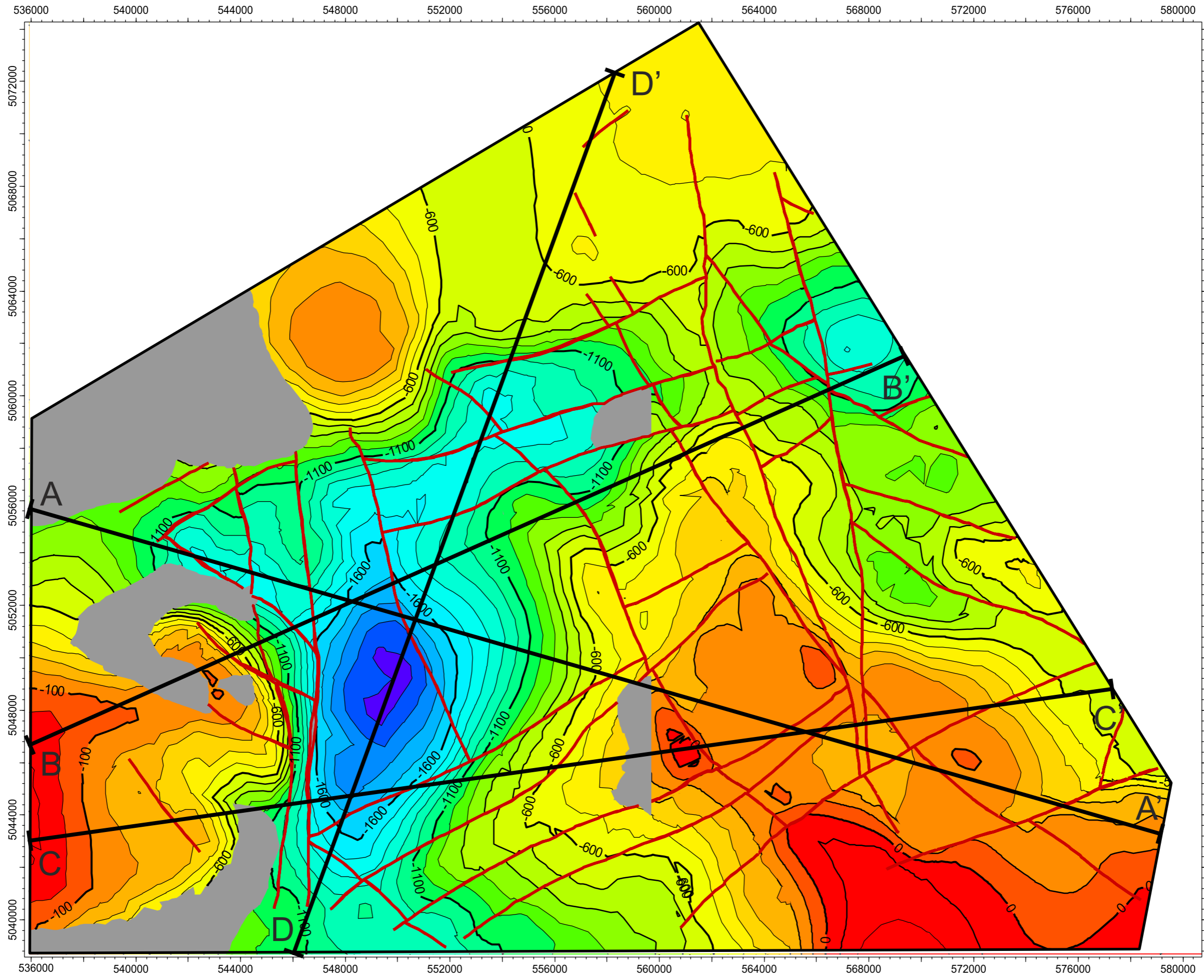
<http://www.esri.com/software/arcgis> - 15. siječnja u 12:00 sati

<http://www.software.slb.com/products/platform/Pages/petrel.aspx> - 18. siječnja u 18:00



**Legenda**

-  područje modeliranja
-  trasa profila
-  izobate
-  rasjed

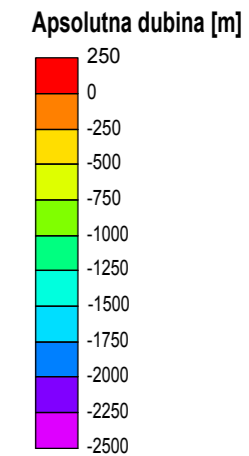
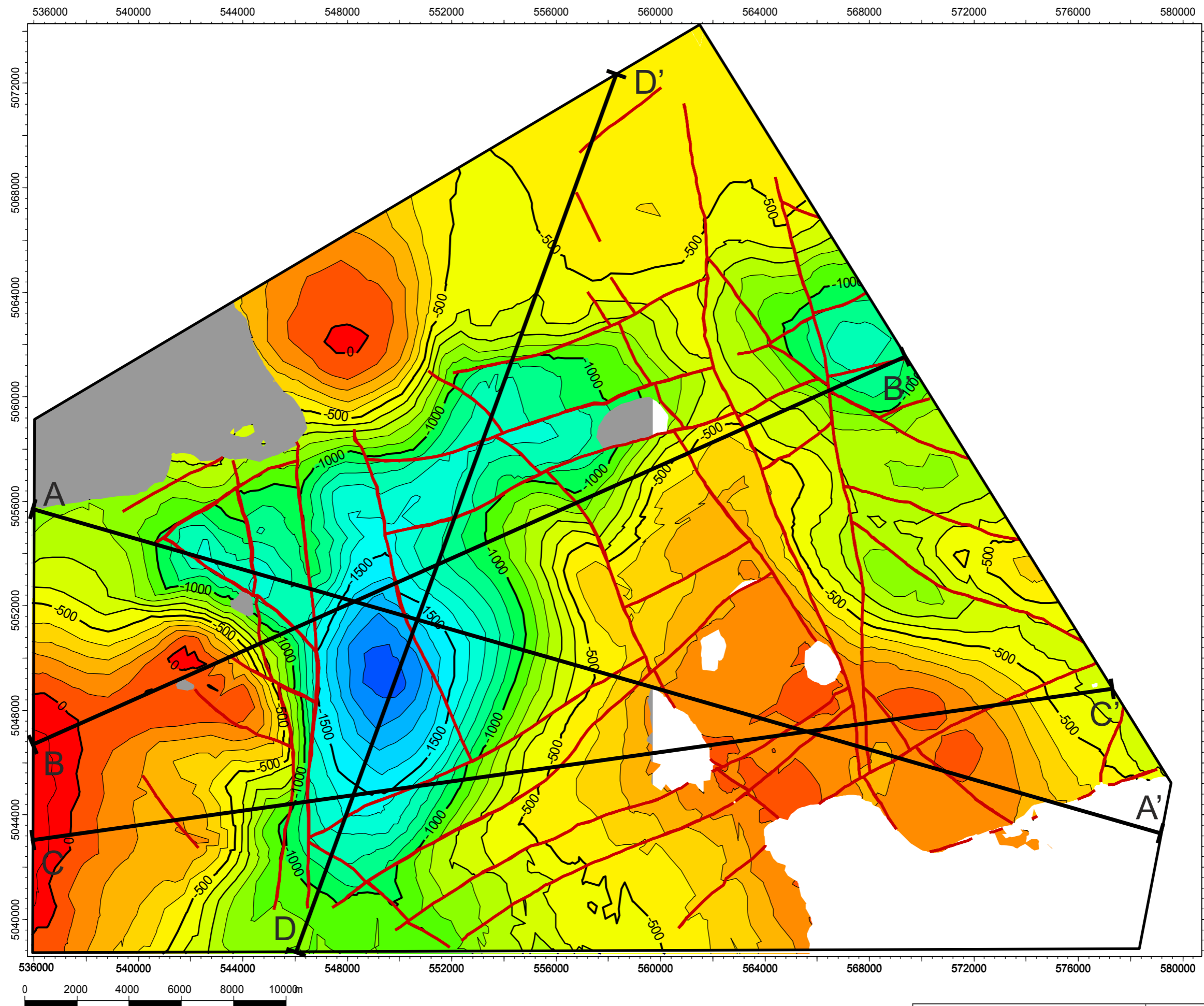


**Legenda**

	područje modeliranja		trasa profila		izostrate		rasjed
--	----------------------	--	---------------	--	-----------	--	--------

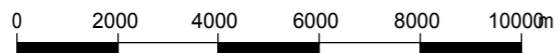
<p>Sveučilište u Zagrebu RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET</p>	<p>DIPLOMSKI RAD Tomislav Pašković</p>
	<p>Prilog II: Strukturna karta po plohi EK-marker Rs7</p>







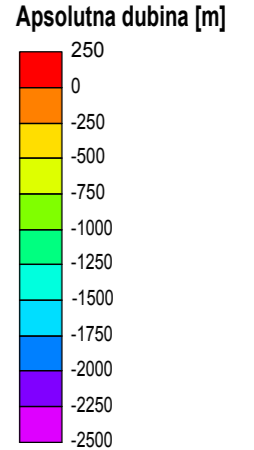
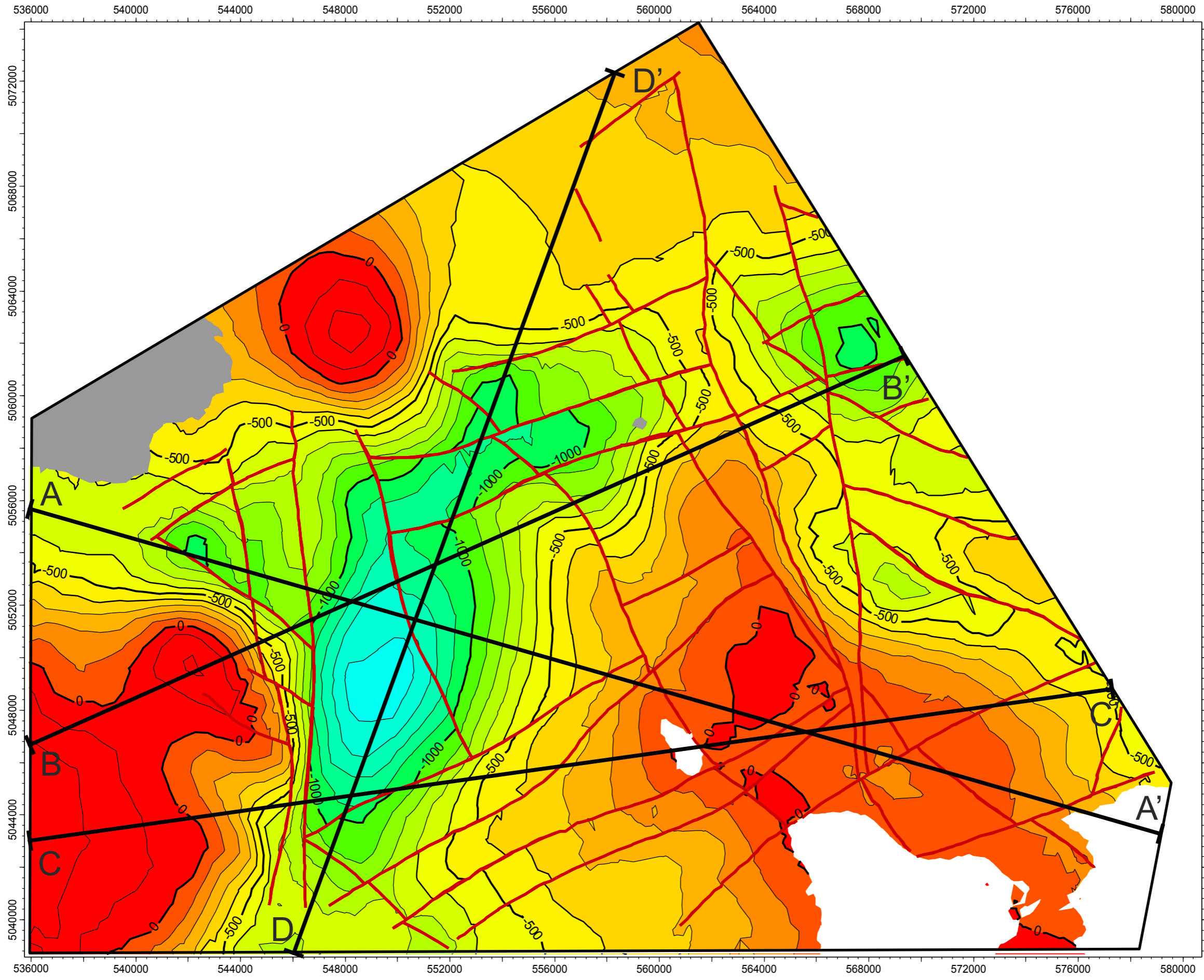
**Legenda**

-  područje modeliranja
-  trasa profila
-  izostrate
-  rasjed



 Sveučilište u Zagrebu <b>RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET</b>	<b>DIPLOMSKI RAD</b> Tomislav Paškov
Prilog III: Strukturna karta po plohi EK-markera Rs5	
	



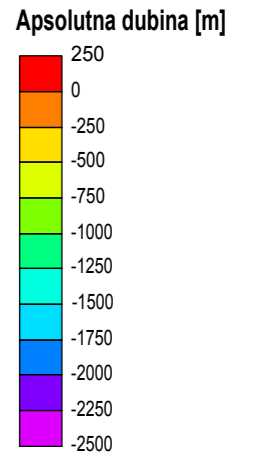
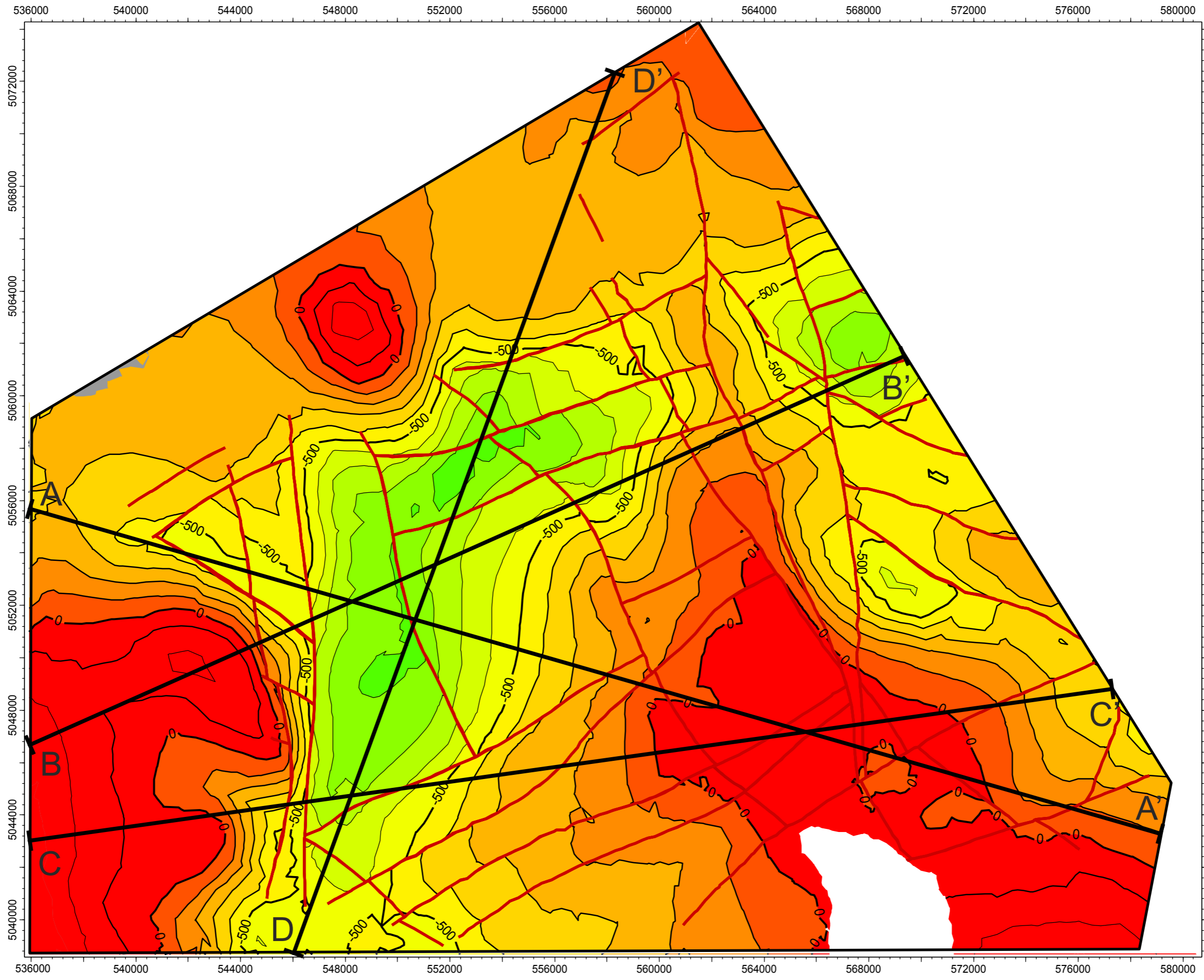


**Legenda**

	područje modeliranja		trasa profila		izostrate		rasjed
--	----------------------	--	---------------	--	-----------	--	--------



<p>Sveučilište u Zagrebu RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET</p>	<p>DIPLOMSKI RAD Tomislav Pašković</p>
	<p>Prilog IV: Strukturna karta po plohi EK-markera Z'</p>

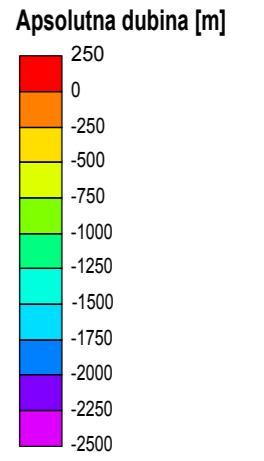
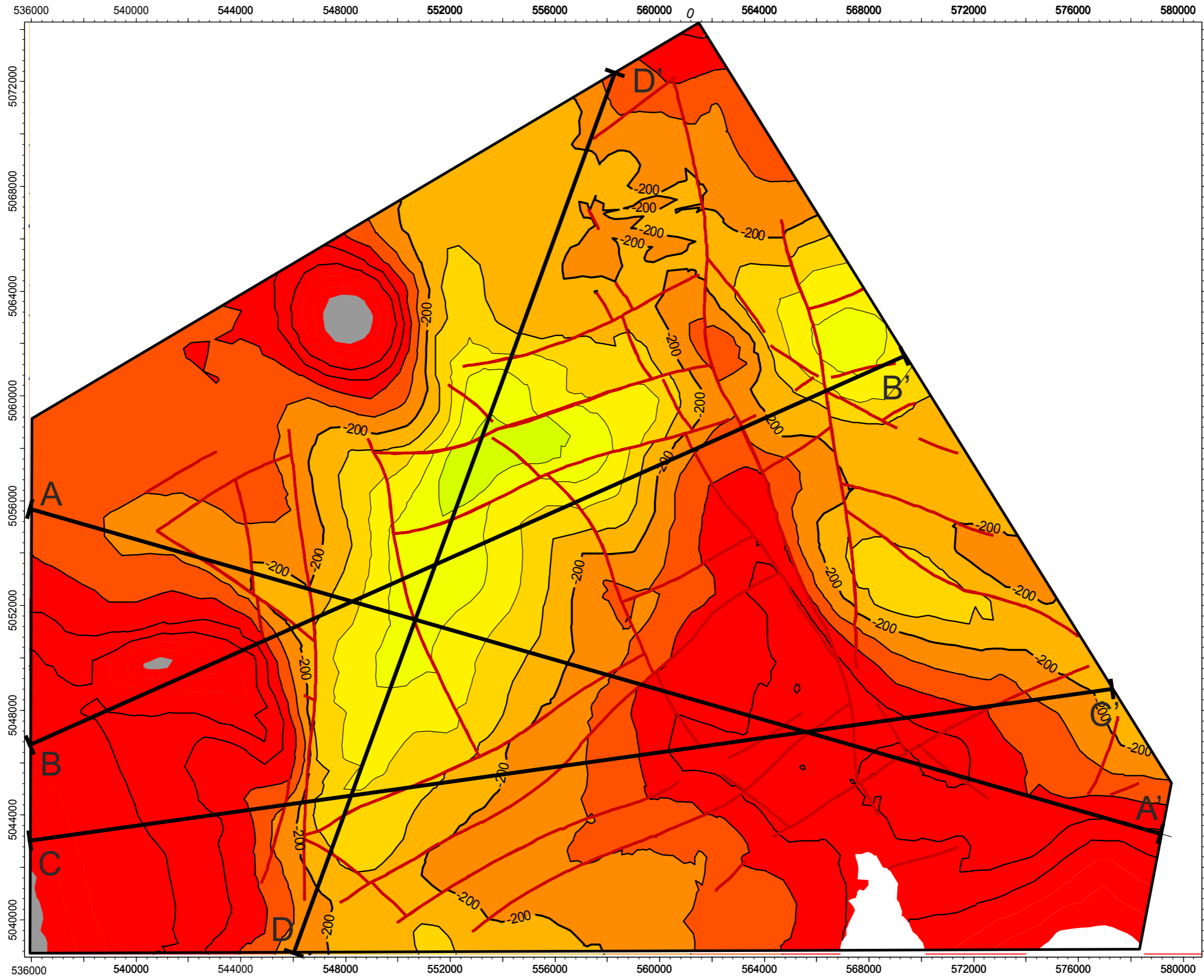




**Legenda**

-  područje modeliranja
-  trasa profila
-  izostrate
-  rasjed

 <p>Sveučilište u Zagrebu <b>RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET</b></p>	<p>DIPLOMSKI RAD Tomislav Paškov</p>
<p>Prilog V: Strukturna karta po plohi EK-markera Rφ'</p>	
	

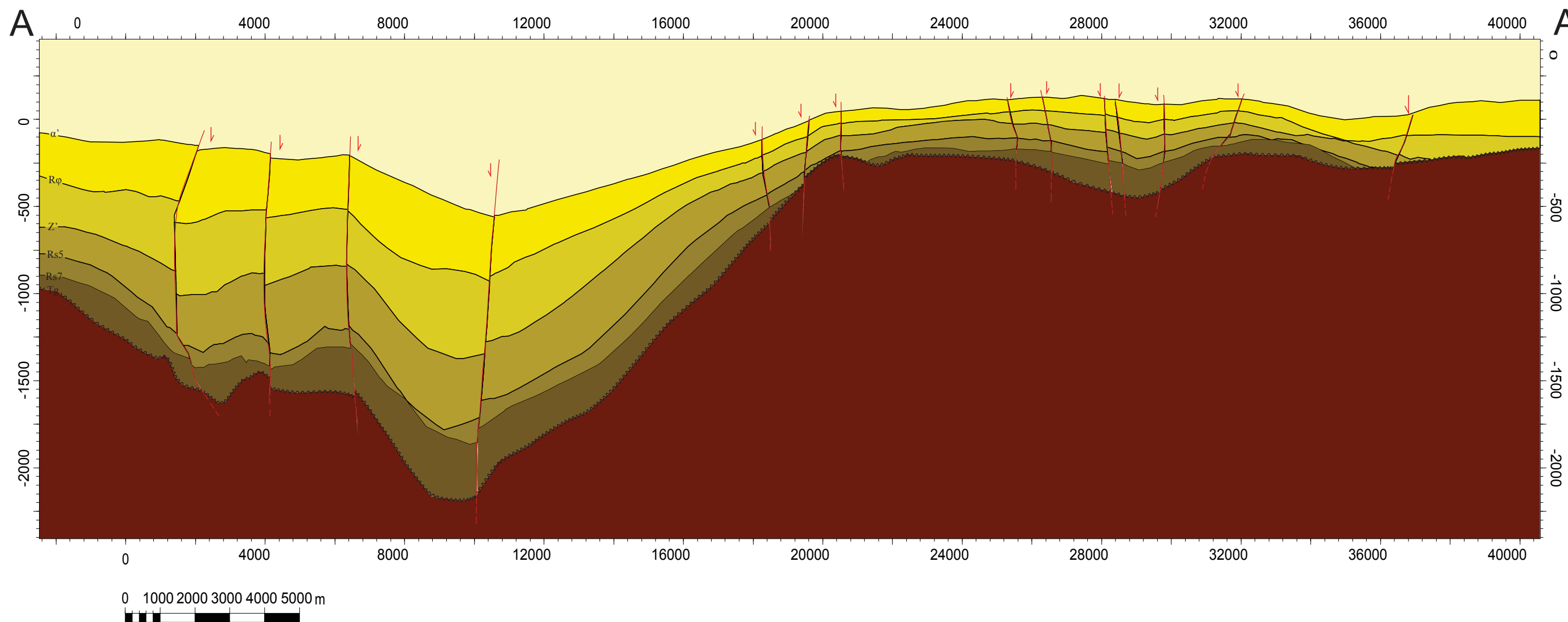


**Legenda**

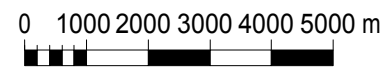
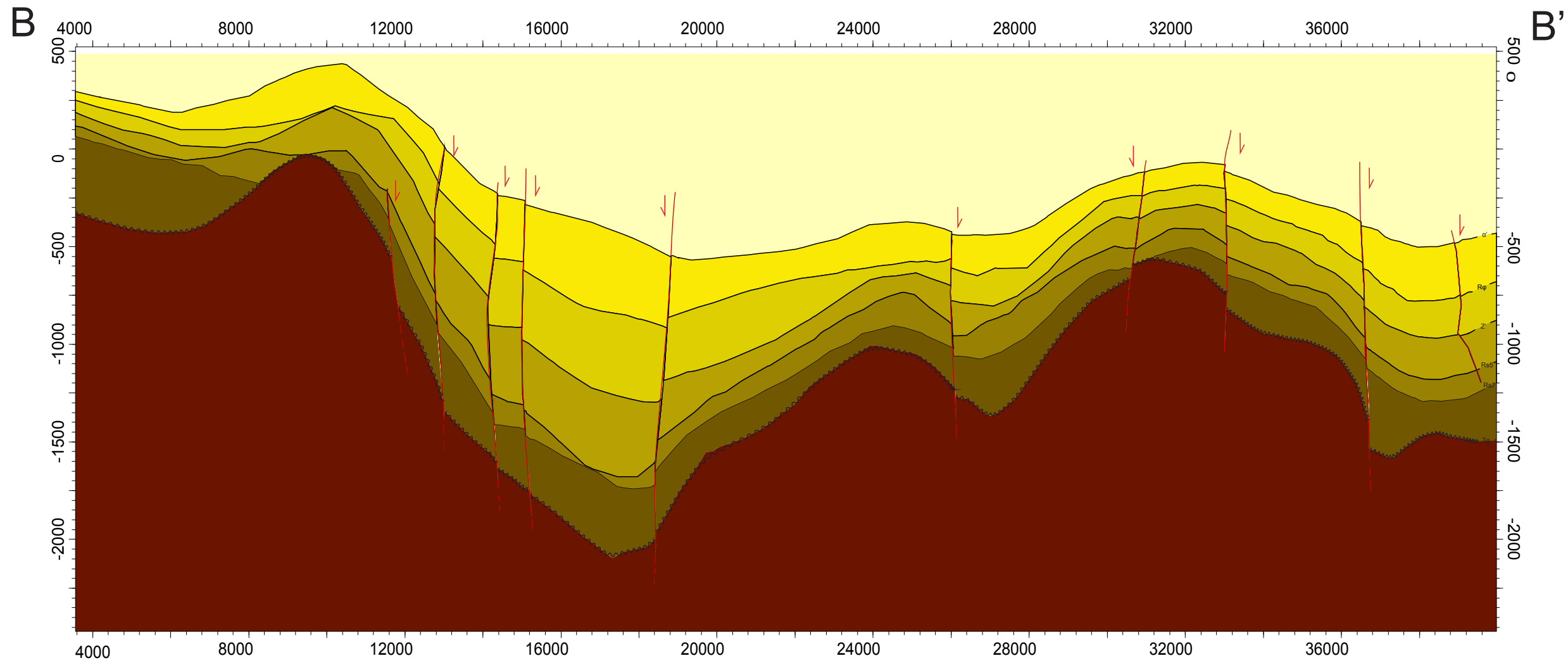
	područje modeliranja		trasa profila		izostrate		rasjed
--	----------------------	--	---------------	--	-----------	--	--------

<p>Sveučilište u Zagrebu RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET</p>	<p>DIPLOMSKI RAD Tomislav Paškov</p>
	<p>Prilog VI: Strukturna karta po plohi EK-markera <math>\alpha'</math></p>




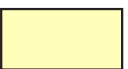



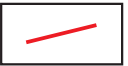


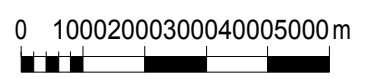
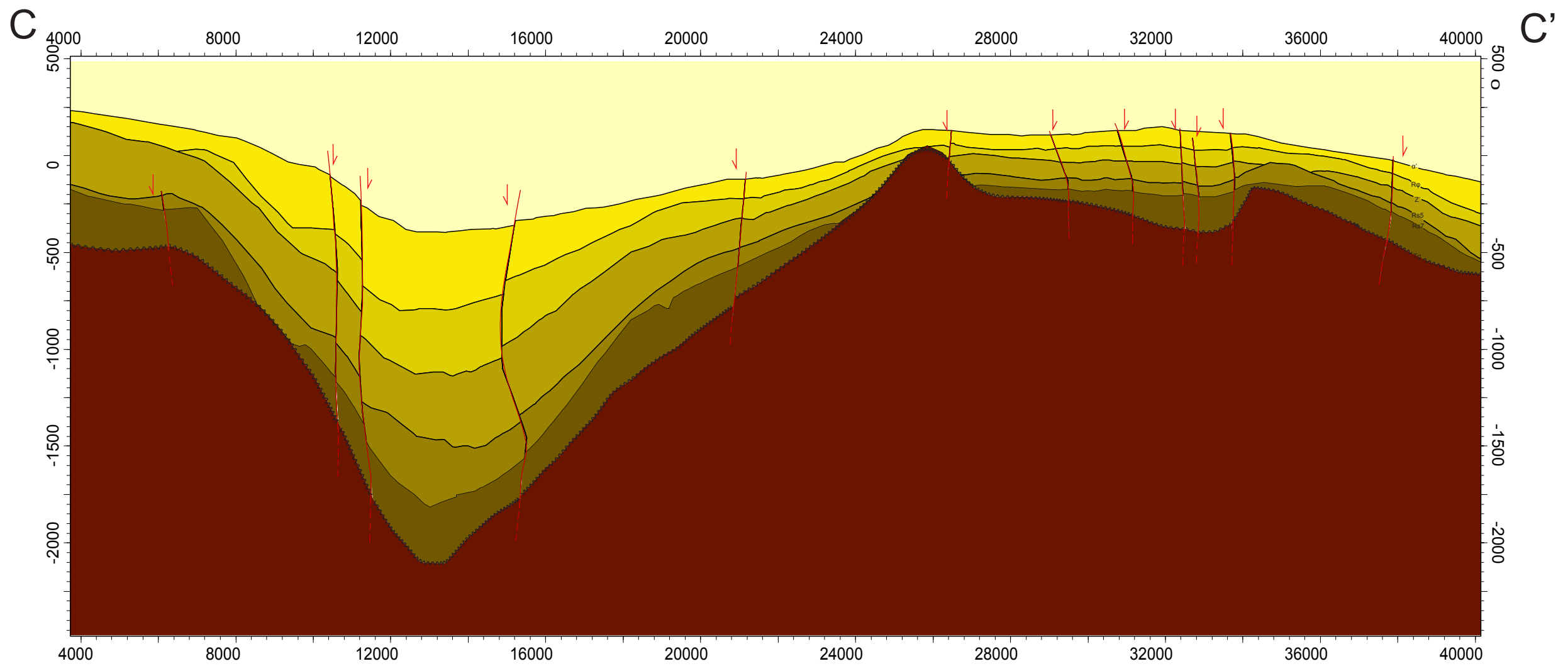


Legenda							
	Temeljno gorje		Formacija Prkos		Formacija Kloštar Ivanić		Formacija Lonja
	Formacija Prečec		Formacija Ivanić-Grad		Formacija Široko Polje		Rasjedi



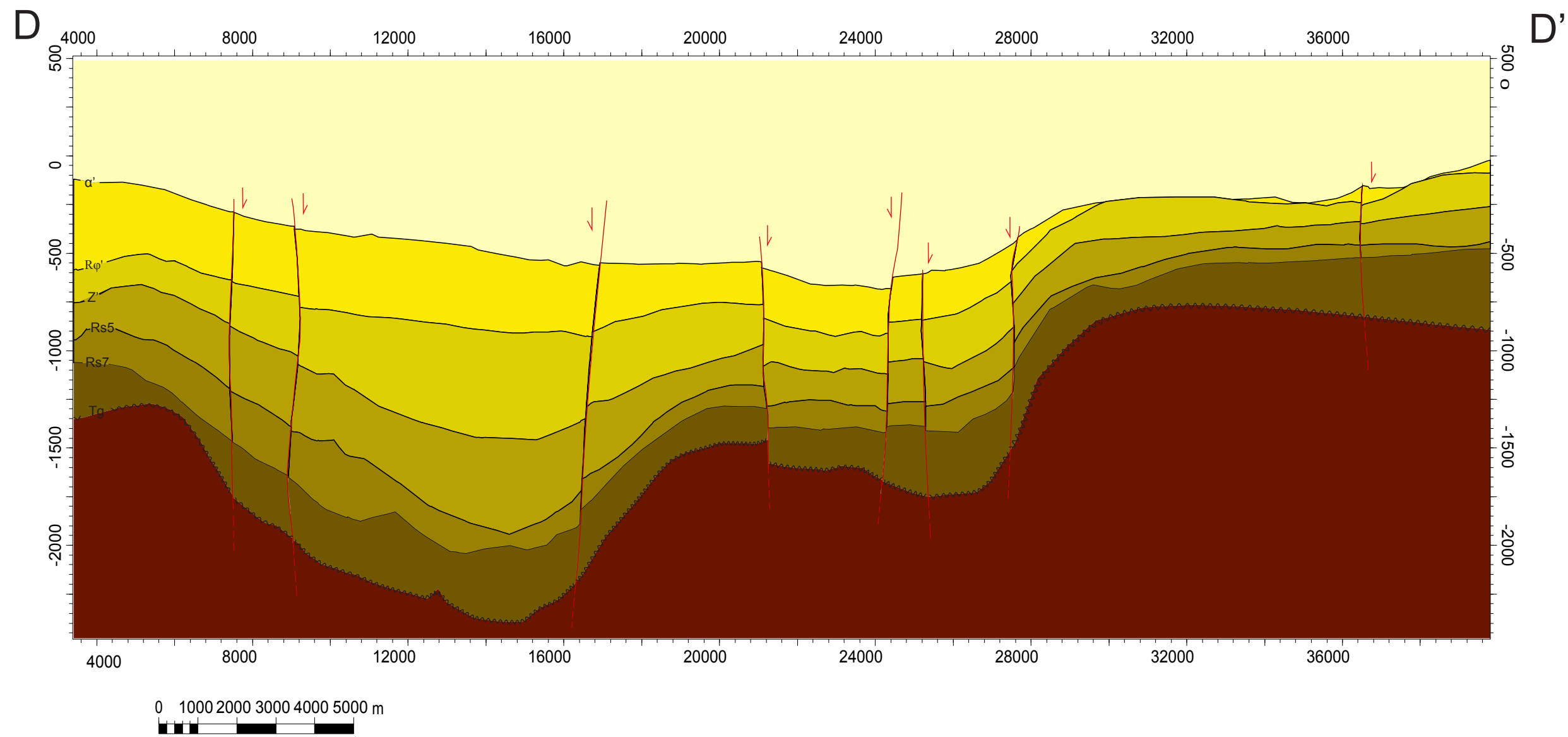
Legenda

- |  |   |  |   |
|--|---|--|---|
|  Temeljno gorje   |  Formacija Prkos       |  Formacija Kloštar Ivanić |  Formacija Lonja |
|  Formacija Prečec |  Formacija Ivanić-Grad |  Formacija Široko Polje   |  Rasjedi         |




Legenda			
	Temeljno gorje		Formacija Prkos
	Formacija Kloštar Ivanić		Formacija Lonja
	Formacija Prečec		Formacija Ivanić-Grad
	Formacija Široko Polje		Rasjedi

 Sveučilište u Zagrebu RUDARSKO - GEOLOŠKO - NAFTNI FAKULTET	DIPLOMSKI RAD: Tomislav Paškov
Prilog IX : Profil C - C'	



Legenda			
	Temeljno gorje		Formacija Prkos
	Formacija Kloštar Ivanić		Formacija Lonja
	Formacija Prečec		Formacija Ivanić-Grad
	Formacija Široko Polje		Rasjedi

 Sveučilište u Zagrebu RUDARSKO - GEOLOŠKO - NAFTNI FAKULTET	DIPLOMSKI RAD: Tomislav Paškov
Prilog X: D - D'	