

Digitalizacija potpovršinskih struktturnih karata i izradba geološkog modela na području Savske depresije, okolica Ivanić-Grada

Podbojec, Marija

Master's thesis / Diplomski rad

2015

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/um:nbn:hr:169:939939>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-12**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO – GEOLOŠKO – NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geologije

**DIGITALIZACIJA POTPOVRŠINSKIH STRUKTURNIH KARATA I IZRADBA
GEOLOŠKOG MODELA NA PODRUČJU SAVSKE DEPRESIJE, OKOLICA
IVANIĆ-GRADA**

Diplomski rad

Marija Podbojec

G152

Zagreb, 2015.

Zahvala

Veliku zahvalnost, u prvom redu, dugujem svojoj mentorici dr. sc. Josipi Velić, profesorici emeriti na ukazanom povjerenju i stručnim savjetima te na ustupljenim vrijednim materijalima bez kojih izradba ovog diplomskog rada ne bi bila moguća.

Posebno se zahvaljujem dr. sc. Marku Cvetkoviću, znanstvenom novaku poslijedoktorantu, na stručnoj pomoći, brojnim savjetima, idejama i motivaciji, koji su mi uvelike olakšali uspješnu izradu ovog diplomskog rada.

I would like to thank Schlumberger Company for providing the Petrel software to Faculty without which the subsurface analysis in the Thesis could not have been made.

Najveća zahvala ide mojim roditeljima Željku i Jadranki te mom bratu Tomislavu koji su me podržavali i poticali kroz sve ove godine studiranja.

I na kraju, neizmjerno se zahvaljujem svom dečku Tomislavu Baketariću na bezuvjetnoj podršci i savjetima te na velikom optimizmu i vjeri u moj uspjeh.

**DIGITALIZACIJA POTPOVRŠINSKIH STRUKTURNIH KARATA I IZRADBA GEOLOŠKOG MODELA NA PODRUČJU
SAVSKE DEPRESIJE, OKOLICA IVANIĆ-GRADA**

MARIJA PODBOJEC

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

Sažetak

U okviru ovog rada provedeni su postupci digitalizacije i modeliranja strukturno-tektonskih odnosa zapadnog dijela Savske depresije. Područje modeliranja najvećim dijelom zahvaća područje Zagrebačke županije te obuhvaća površinu od 758,765 km². Strukturne karte, konstruirane po plohama šest elektrokartažnih EK-repera (Tg) i EK-markera ($Rs7, Rs5, Z'$, $R\varphi$ i α'), poslužile su kao temeljni podaci za izradbu ovog rada. Potpovršinske strukturne karte načinjene su prema podacima dobivenim iz geološkog kartiranja i geomorfologije terena, gravimetrijskih i seižmičkih mjerenja te iz bušenja. Strukturne karte su prevedene u digitalni oblik u računalnom programu ArcMap 10.1 te su iste poslužile kao ulazni podaci za kreiranje potpovršinskog modela po plohama svih šest strukturnih horizonata u programu Petrel™ 2013. Potpovršinski model prikazuje blokovitu tektonsku građu područja modeliranja te rasjednute strukture koje predstavljaju hrvatska naftoplinska polja Dugo Selo, Lupoglav, Ježevica, Kloštar, Ivanić i Šumečani. Malo statističko odstupanje modela od ručno načinjenih karata s iznosom vrijednosti prosječnog odstupanja od 0,6512% upućuje na veliku točnost izrade geološkog modela prema ručno izrađenim strukturnim kartama. Trodimenzionalni prikaz utjecaja rasjeda, geoloških struktura i strukturnih zamki omogućava prostornu percepciju i razumijevanje podzemlja sjeverozapadnog dijela Savske depresije. Takvi geološki modeli mogu poslužiti za stvaranje složenijih modela te za definiranje i utvrđivanje novih potencijalnih ležišta..

Ključne riječi: naftoplinsko polje Ivanić, Savska depresija, potpovršinske strukturne karte, digitalizacija, potpovršinski model

Diplomski rad sadrži: 53 stranice, 39 slika, 1 tablicu, 9 priloga i 49 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Dr. sc. Josipa Velić, profesorica emerita, odlukom dekana odobreno mentorstvo rada

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

Ocenjivači: Dr. sc. Josipa Velić, profesorica emerita

Dr. sc. Tomislav Malvić, izvanredni profesor na RGNF i znanstveni savjetnik u INA

Dr. sc. Dario Perković, docent RGNF

Dr. sc. Marko Cvetković, znanstveni novak poslijedoktorand RGNF

Datum obrane: 13. srpnja 2015., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Faculty of Mining, Geology, and Petroleum Engineering

DIGITALIZATION OF SUBSURFACE STRUCTURAL MAPS AND CREATION OF GEOLOGICAL MODEL OF PART OF SAVA
DEPRESSION, SURROUNDING OF IVANIĆ-GRAD

MARIJA PODBOJEC

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 aim of the Thesis was accurate digitalization and geomodelling of structural relationships of subsurface at western part of Sava Depression. Area of modelling encompasses 758.765 square kilometers and is located in central Croatia (Zagreb County). Subsurface structural maps, hand interpolated along six planes of E-logs top ($Rs7$, $Rs5$, Z' , $R\varphi$ and α') and one pre-Neogene top (Tg) were digitalized. Gravimetry, seismic and well data were used for creation of structural maps in 1980. It considered the geomorphology and data obtained by geological mapping of the area. Structural maps were transferred into digital format in a computer program ArcMap 10.1 and were used as input data for creation of a subsurface model along six planes of horizons in the program PetrelTM 2013. Subsurface model shows the radial tectonic structure of the modelling area and impact of the faults on structures which represents oil and gas fields Dugo Selo, Lupoglav, Ježevica, Kloštar, Ivanić and Šumečani. Small statistical error between subsurface model and hand-made maps of 0.6512% indicates accuracy of geomodel. Three-dimensional displays impact of faults on the terrain, geological structures and structural traps enable spatial perception and understanding of geological structures of the western part of the Sava depression. These subsurface models can be used for creation of complex models and for defining and identifying new potential deposits of certain structures and the future development of hydrocarbon reservoirs.

Keywords: oil and gas field Ivanić, Sava depression, subsurface structural maps, digitalization, subsurface model

Thesis contains: 53 pages, 39 figures, 1 table, 9 enclosures and 49 references

Original in: Croatian

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

Supervisor: PhD Josipa Velić, Professor Emerita, mentorship of Master's thesis approved by the Dean of the Faculty

Technical support and assistance: Dr. sc. Marko Cvetković, Senior research assistant RGNF

Reviewers: PhD Josipa Velić, Professor Emerita

PhD Tomislav Malvić, Associate Professor at RGNF and Expert at INA d.d.

PhD Dario Perković, Assistant Professor at RGNF

PhD Marko Cvetković, Senior research assistant at RGNF

Date of defense: 13th of July, 2015. Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

SADRŽAJ

1.UVOD.....	I
2. POVIJEST ISTRAŽIVANJA I OTKRIVANJA	3
NAFTNOPLINSKIH POLJA.....	3
3. GEOLOŠKE ZNAČAJKE MODELIRANOG PODRUČJA.....	6
3.1. Stratigrafski odnosi	7
3.2. Neogensko-kvartarni taložni megaciklusi.....	11
3.3. Postanak hrvatskog dijela Panonskog bazenskog sustava	13
3.4. Strukturno – tektonski odnosi modeliranog područja.....	15
3.5. Naftogeološke značajke	18
4. METODOLOGIJA RADA.....	21
4.1. Računalni program ArcMap	21
4.2. Digitalizacija podataka.....	22
4.3. Računalni program Petrel TM	24
4.4. Sistematiziranje ulaznih podataka i izradba potpovršinskog modela	24
5. REZULTATI.....	33
5.1. Strukturni okvir.....	33
5.2. Potpovršinski model (3D karte)	35
5.3. Izračun statističkog odstupanja na mreži od 590 točaka.....	45
između modeliranih i polaznih karata	45
6. ZAKLJUČAK.....	48
7. LITERATURA.....	49

Popis slika

<i>Slika 1-1. Područje modeliranja označeno crveno</i>	2
<i>Slika 3-1. Depresije hrvatskog dijela Panonskog bazena (PRELOGOVIĆ et al., 1998.; LUČIĆ et al., 2001.; VELIĆ et al., 2011).....</i>	6
<i>Slika 3-2. Pregledna paleogeološka karta podloge neogensko – kvartarnih naslaga zapadnog dijela Savske depresije (VELIĆ, 1980)</i>	8
<i>Slika 3-3. Kronostratigrafske jedinice i litostратigrafske jedinice s određenim formacijama između pojedinih EK-repera i markera (VELIĆ et al., 2011)</i>	9
<i>Slika 3-4. Formacije u Savskoj depresiji (SAFTIĆ et al.,2003).....</i>	11
<i>Slika 3-5. Debljine neogenskih i kvartarnih stijena u hrvatskom dijelu Panonskog bazena (SAFTIĆ et al., 2003)</i>	13
<i>Slika 3-6. Vremenska skala i glavni tektonski i taložni događaji u hrvatskom dijelu PBS- a (MALVIC i VELIĆ, 2011).....</i>	15
<i>Slika 3-7. Poprečni profil kroz Savsku depresiju pravca JZ – SI (PRELOGOVIĆ et al., 1998).....</i>	15
<i>Slika 3-8. Pregledna tektonska karta s najvažnijim definiranim rasjedima</i>	16
<i>Slika 3-9. Prikaz naftoplinskih polja te polja s geotermalnom vodom na modeliranom području.....</i>	19
<i>Slika 4-1. Sučelje računalnog programa ArcMap 10.1</i>	22
<i>Slika 4-2. Digitalizirani dio potpovršinske strukturne karte po plohi EK-markera Rs7</i>	23
<i>Slika 4-3. Sučelje računalnog programa PetrelTM 2013</i>	24
<i>Slika 4-4. Karta stratoizohipsi po EK-markeru Rs7</i>	25
<i>Slika 4-5. Pregrupirani poligoni.....</i>	26
<i>Slika 4-6. 107 grupacija sistematiziranih poligona odnosno rasjeda</i>	26
<i>Slika 4-7. Definirana geometrija modeliranog područja.....</i>	27
<i>Slika 4-8. Alat Okvir rasjednih ploha (engl. Fault framework modelling) s razvrstanim rasjedima</i>	28

<i>Slika 4-9. Rasjedi modeliranog područja</i>	28
<i>Slika 4-10. Prikaz nepotpunih kontakata i nedefiniranih međuodnosa vrlo zakrivljenih rasjednih ploha</i>	29
<i>Slika 4-11. Opcija Izmjena odnosa (engl. Edit relationships) s odnosima rasjednih ploha</i>	30
<i>Slika 4-12. Nekorigirane plohe rasjeda</i>	30
<i>Slika 4-13. Primjer javljenih pogrešaka</i>	31
<i>Slika 4-14. Izgled alata Izradba modela horizonata (engl. Horizon modeling) s ulaznim podacima</i>	32
<i>Slika 5-1. Struktturni okvir s četiri najvažnija rasjeda</i>	34
<i>Slika 5-2. Potpovršinski model (karta u trodimenzionalom prikazu) po plohi EK-repera Tg</i>	35
<i>Slika 5-3. Potpovršinski model (karta u trodimenzionalom prikazu) po plohi EK-markera Rs7</i>	36
<i>Slika 5-4. Potpovršinski model (karta u trodimenzionalom prikazu) po plohi EK-markera Rs5</i>	36
<i>Slika 5-5. Potpovršinski model (karta u trodimenzionalom prikazu) po plohi EK-markera Z'</i>	37
<i>Slika 5-6. Potpovršinski model (karta u trodimenzionalom prikazu) po plohi EK-markera Rφ</i>	37
<i>Slika 5-7. Potpovršinski model (karta u trodimenzionalom prikazu) po plohi EK-markera α'</i>	38
<i>Slika 5-8. Položaj struktura naftoplinskih polja po plohi EK-markera Rs5</i>	38
<i>Slika 5-9. Brckovljani – Štakorovec - struktturni nos po plohi EK- markera Rs7 i antiklinala Brckovljani – Štakorovac po plohi EK-markera Rs5</i>	39
<i>Slika 5-10. Prikaz strukture Dugo Selo po plohamama EK-repera i markera: a) Tg, b) Rs7, c) Rs5, d) Z', e) Rφ i f) α'</i>	40
<i>Slika 5-11. Lupoglav, Kloštar, Ivanić i Šumečani po plohi EK-markera Rs7</i>	41
<i>Slika 5-12. Antiklinala Šumečani po plohi EK-markera Z'</i>	42
<i>Slika 5-13. Struktura Ježovo po plohamama EK-markera Rs7 i EK-markera Rs5</i>	42

Slika 5-14. Razvoj strukture Ivanić po ploham EK-repera i markera: a) Tg, b) Rs7, c) Rs5, d) Z', e) Rφ i f) α' 43

Slika 5-15. Trodimenzionalna zona prekonozojskog paleoreljeфа prikazana po plohi EK-repera Tg 44

Popis tablica

<i>Tablica 5-1. Srednje vrijednosti postotka odstupanja modela od ručno izrađenih struktturnih karata.....</i>	46
---	-----------

Popis priloga

PRILOG I *Strukturna karta po plohi EK-repera Tg*

PRILOG II *Strukturna karta po plohi EK-markera 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'*

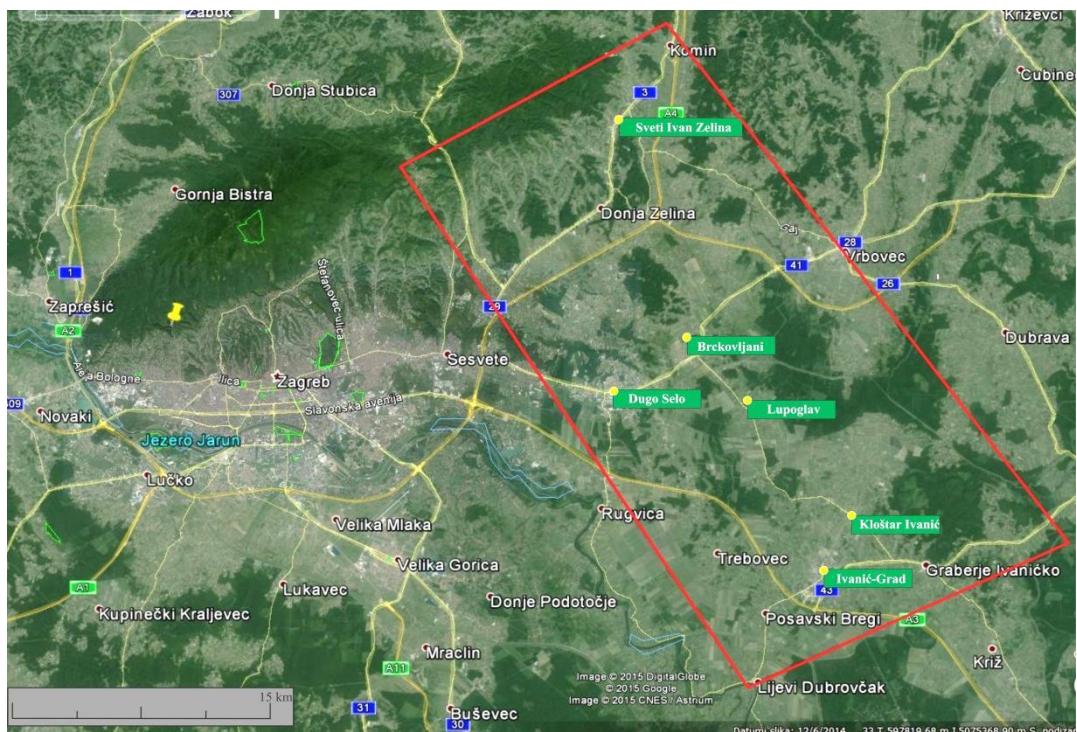
PRILOG IX *Profil C-C'*

1.UVOD

U ovom radu opisani su postupci digitalizacije i modeliranja podzemne građe u sjevernom predjelu zapadnog dijela Savske depresije. Za navedene postupke su se koristili računalni programi ArcMap 10.1 i Petrel™ 2013. Provedena digitalizacija i kreiranje trodimenzionalnog potpovršinskog modela napravljeno je na temelju šest potpovršinskih strukturnih karata po plohama elektrokarotažnih (EK) repera i markera. Svaka od tih strukturnih karata je konstruirana po plohi određenog EK-repera (T_g) i EK-markera ($Rs7$, $Rs5$, Z' , $R\varphi$ i α'). Ove karte dio su vrijedne arhive podataka koje je izradila prof. dr.sc. Josipa Velić u okviru svoje doktorske disertacije (VELIĆ, 1980). Svrha načinjenog potpovršinskog modela po plohama svih šest EK-repera i markera je jasno prikazivanje i percipiranje trodimenzionalnih odnosa rasjednih ploha i geoloških struktura na modeliranom području koji mogu pomoći u daljnjoj izradi preciznijih i složenijih modela te u planiranju i usmjeravanju budućih istraživanja.

Područje modeliranja nalazi se u sjevernom predjelu zapadnog dijela Savske depresije te obuhvaća površinu od 758,765 km². Svojim najvećim dijelom zahvaća područje Zagrebačke županije te manjim dijelom sjeverozapadni predio županije Grada Zagreba i jugozapadni dio Bjelovarsko – bilogorske županije. Na ovom prostoru nalaze se gradovi Sv. Ivan Zelina, Dugo Selo i Ivanić-Grad te neke od najvažnijih općina Brckovljani, Lupoglavljin i Kloštar Ivanić.

Područje je smješteno između obronaka Medvednice na sjeverozapadu i jugoistočnog oboda Moslavačke gore. Ovim pretežito ravničarskim krajem protječe manje rijeke: Kašina, Zelina, Lonja i Črnec. Opisano područje modeliranja prikazano je na *Slici 1-1*.



Slika 1-1. Područje modeliranja označeno crveno

2. POVIJEST ISTRAŽIVANJA I OTKRIVANJA NAFTNOPLINSKIH POLJA

Hrvatska raspolaže prirodnim resursima pa tako i naftom i plinom. Upravo zbog svojeg naftnogeološkog potencijala, oduvijek je postojao veliki ekonomski interes za pronalaskom tih sirovina. Gledajući kroz povijest, naša domovina ima dugu tradiciju istraživanja, pridobivanja i prerade ugljikovodika. Već u 19. stoljeću, ulaganja od strane Austro – Ugarske monarhije koristila su se u svrhu prvih geoloških „kartiranja“. Kratak osvrt na povijest istraživanja u nastavku teksta odnosi se na ograničeno područje modeliranja u zapadnom dijelu Savske depresije.

Prema VELIĆ (2007) godine 1898. u Kloštar Ivaniću je napravljena bušotina do 500 metara dubine potaknuto čestim pojавama plina u zdencima, no nalaza nafte nije bilo. Bušenje se nastavilo 1905. i 1906. g. do 905 m dubine pa je bušotina dobila status najdublje bušotine u hrvatskim krajevima do Prvog svjetskog rata. Pojave nafte pronađene su samo u glinovitom intervalu između 6. i 12. metra, a idući dalje u dubinu, pronađen je jedino plin. Iz te bušotine zbila se i erupcija plina, no podaci o njenoj sanaciji nisu poznati. Četrdesetak godina poslije, upravo na toj lokaciji počela se pridobivati nafta iz nešto dubljih intervala zahvaljujući novim naftno–geološkim znanjima i spoznajama te sofisticiranoj tehnologiji. BOBULA (1958) navodi da je prva elektrokarotaža proizvođača Schlumberger bila obavljena 1948. godine u bušotini Kr-1 u Šumečanima – prvom novom polju otkrivenom nakon rata. Prema BEBEK (1958) struktura Dugo Selo predstavlja malu brahiantiklinalu pružanja istok – zapad. Navlačenje južnog krila na sjeverno uzrokovali su tangencijalni pritisci u Savskoj depresiji. PLETIKAPIĆ i ŠIMON (1964) izdvojili su Ivanićku zonu. Nadalje, isti autor (PLETIKAPIĆ, 1969) piše o dvama regionalnim, izoliranim rezervoarima – Iva i Okoli pješčenjacima unutar formacije Ivanić-Grad – na rubu Moslavačke gore. Svoje zaključke temelji na geološkoj karti podloge, strukturnim i litofacijskim kartama. Osim nalaska strukturnih, otkriva i litološke zamke. Dokazuje povezanost kolektorskih stijena naftnih i plinskih polja Kloštar, Ivanić-Grad, Žutica šuma i Okoli, kao i postojanje slojne migracije ugljikovodika. Daljnju litostratigrafsku razradu nasлага na poljima Šumečani, Bunjani, Dugo Selo, Žutica šuma i Ježevu dali su autori: DOMBOVIĆ (1964); VONČINA (1964a, 1964b); ŠILOBOD i KOŠČEC (1965);

KOŠČEC (1969) i RADIĆ (1969). HANICH (1967) je napravio prvu fotogeološku interpretaciju ravničarskog terena pa između ostalog i Ivanićke zone s jasno definiranim Lonjskim rasjedom. Također je ustvrdio da na potezu sjeverno od Sesveta i Dugog Sela postoji antiklinala pravca pružanja zapad – istok. ZAGORAC et al. (1968) te ZAGORAC (1975) tumače kako se veliki broj zatvorenih rezidualnih gravimetrijskih anomalija poklapa s naftoplilonosnim strukturama (Glavničica, Kloštar–sjever, Šumečani, Bunjani). U svom radu ŠIMON (1969a) prikazuje litostratigrafsku razradbu polja Ježevi, a zatim i Kloštar Ivanić (ŠIMON, 1969b), Šumečani (ŠIMON, 1969c), Ivanić-Grad (ŠIMON, 1969d) i Ivanićku zonu (ŠIMON, 1969e). RUKAVINA (1969) izrađuje strukturnu kartu Ivanićke zone s legendom. PLETIKAPIĆ (1969) objašnjava, kako je gotovo prije tadašnjih 20-ak godina, traženje ležišta ugljikovodika prvenstveno bilo usmjereni na: geološka kartiranja antiklinalnih zamki, istraživanja pozitivnih gravimetrijskih anomalija te na otkrivanje tjemena antiklinala geološkim i seizmičkim mjeranjima.

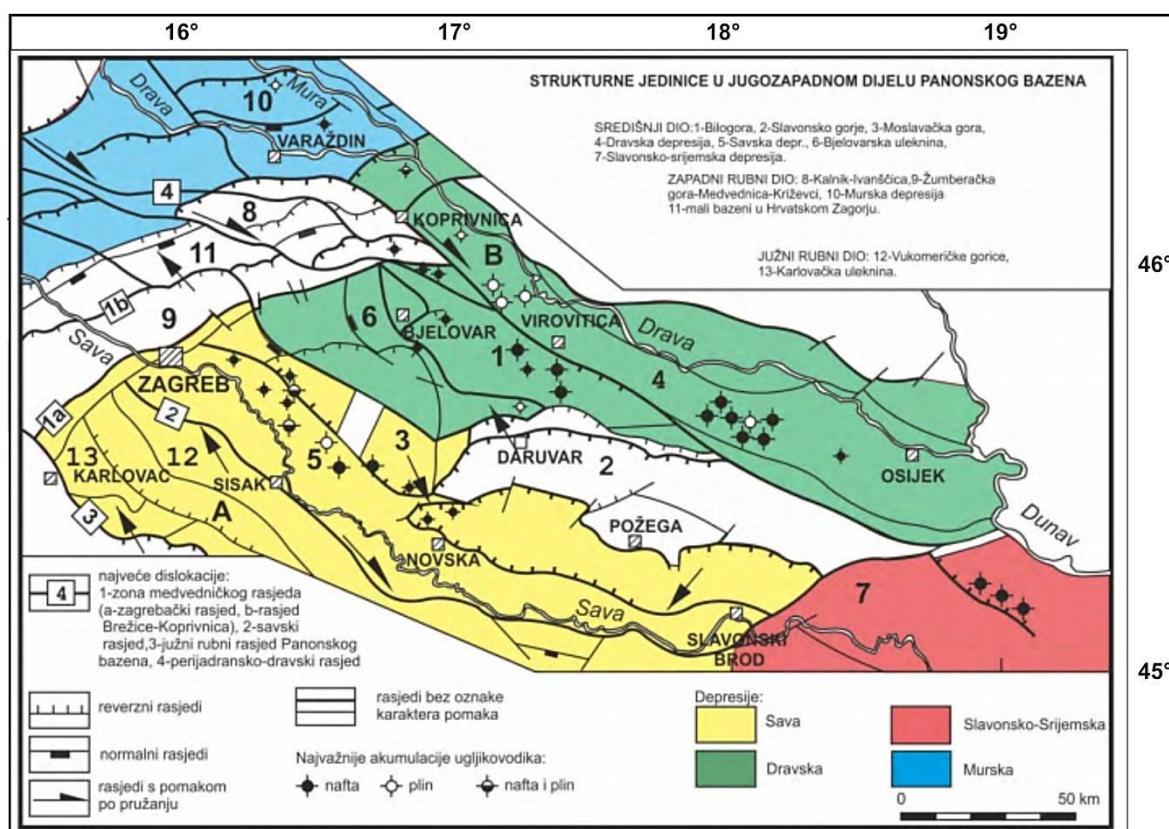
Za otkrivanje potencijalnih struktura za akumulaciju ugljikovodika, kao preteča svih istraživanja, koristila su se geološka istraživanja, odnosno geološko kartiranje. Napretkom tehnologije, u uporabu dolaze i geofizička istraživanja; počevši s gravimetrijom, preko magnetskih i magnetotelurnih mjeranja pa sve do seizmičkih istraživanja i karotažnih mjeranja. Primjenom sofisticirane tehnologije geofizička istraživanja se pospješuju i lakše izvode. Tijekom 60-ih, 70-ih te 80-ih godina koristila su se 2D seizmička istraživanja koja nisu davala potpuno precizne podatke. Dalnjim razvojem, nova 3D seizmička mjerena dala su točnije i pouzdanije rezultate zbog veće dubine zahvata te bolje horizontalne i vertikalne rezolucije. Potrebno je pripomenuti i raznovrsna karotažna mjerena - geofizička mjerena u buštinama, koja daju brojne vrijedne podatke o litološkoj građi, sastavu stijena i sustavu pukotina, nagibu planarnih elemenata i dr. Moguća je i uspostava korelacije između bušotinskih podataka i seizmičkih mjerena.

U hrvatskom dijelu Panonskog bazena sustava KRANJIĆ (1972) je podijelio naftoplinska polja prema tektogenezi i smještaju unutar depresije. Hrvatsku litostratigrafsku nomenklaturu je definirao ŠIMON (1973). ŠIMON (1973; 1980) prikazuje litostratigrafsku razradbu prema depresijama. PAVELIĆ (2001) je proučavao paleografiju Paratethys-a tijekom donjeg i srednjeg miocena. U razumijevanju tri taložna megaciklusa korišteni su radovi VELIĆ et al. (2002) i SAFTIĆ et al. (2003). Radovi MALVIĆ i VELIĆ (2011) te sveučilišni udžbenik „Geologija ležišta nafte i plina“ (VELIĆ, 2007) uvelike su korišteni prilikom objašnjavanja stratigrafskih, strukturno-tektonskih te naftogeoloških

značajki Panonskog bazenskog sustava. U internoj skripti SAFTIĆ i MALVIĆ (2008) obrađene su značajke elektokarotažnih markera i repera te kronostratigrafskih, litostratigrafskih i biostratigrafskih jedinica. Iz prijašnjih ručno izrađenih karata, nove karte po plohama EK-repera *Tg* te markera *Rs7* i *Rs5* su izradili ŠPELIĆ et al. (2014) na temelju novokreirane mreže podataka. Isto tako usporedili su razlike između starih te novo izrađenih („digitaliziranih“) karata.

3. GEOLOŠKE ZNAČAJKE MODELIRANOG PODRUČJA

Hrvatski dio Panonskog bazena nalazi se na jugozapadu velike tektonske jedinice - Panonskog bazenskog sustava (PBS). PBS zauzima prostor između Europske ploče na sjeveru, Mezijske ploče na istoku, Jadranske mikroploče na jugu te Alpskog masiva na zapadu. Pripada skupini zalučnih bazena (*engl. back-arc basins*), a njegovo formiranje započelo je u otnangu subdukcijom i konvergencijom Apulijске ploče pod Dinaride. Savska depresija je smještena uz jugozapadni rub Panonskog bazenskog sustava. Ondje se nalazi ukupno 20 polja, od kojih je 17 i danas aktivno. Na *Slici 3-1.* prikazane su depresije hrvatskog dijela PBS - a.

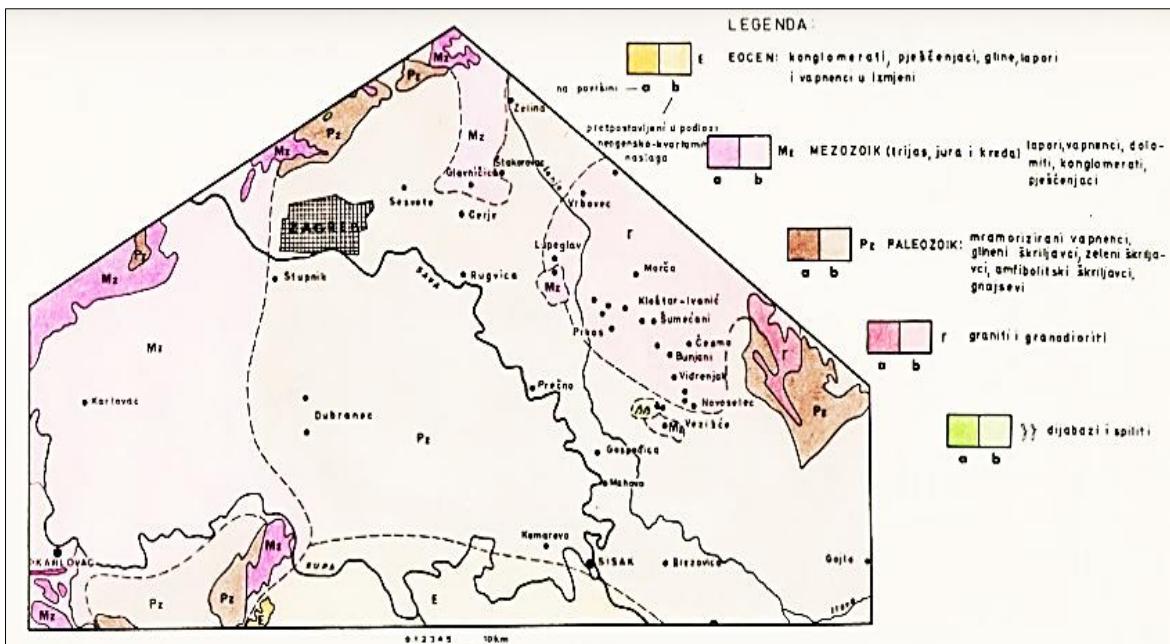


Slika 3-1. Depresije hrvatskog dijela Panonskog bazena (PRELOGOVIĆ et al., 1998.; LUČIĆ et al., 2001.; VELIĆ et al., 2011)

3.1. Stratigrafski odnosi

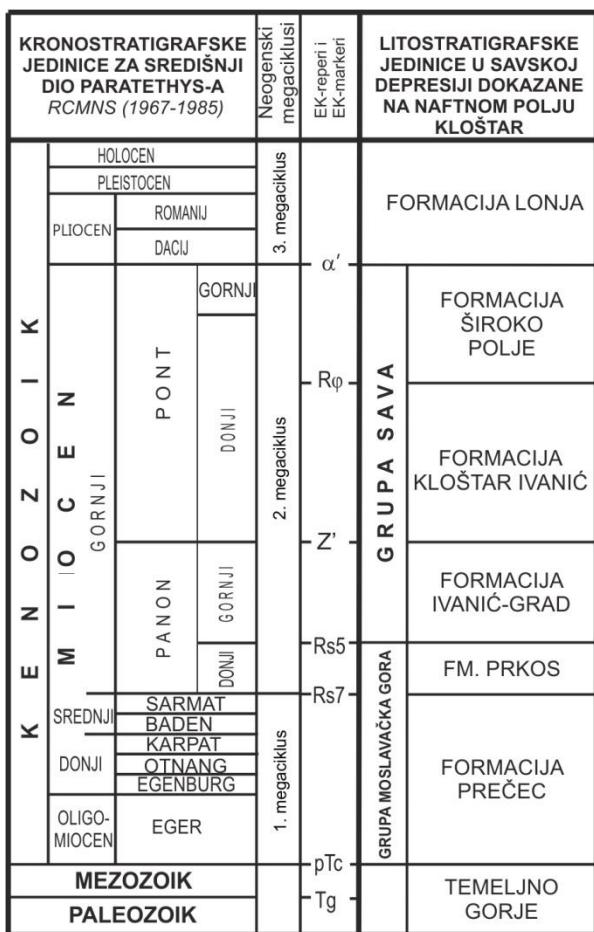
Panonski bazen je izgrađen od dvaju kompleksa stijena. Prema VELIĆ (2007) predneogensku podlogu čini magmatsko – metamorfni kompleks te manji udio sedimenata paleozojske i mezozojske te paleogene starosti, dok sedimentnu ispunu bazena karakteriziraju stijene neogena i kvartara različitog litološkog sastava.

Prikaz i rasprostranjenost stijena na modeliranom području dana je na preglednoj paleogeološkoj karti podloge neogensko–kvartarnih naslaga zapadnog dijela Savske depresije iz VELIĆ (1980). Prema CVETKOVIĆ (2006) i PETRINEC (2013) dio kristalinske mase u podlozi čine stijene mezozojske starosti. Prema litološkom sastavu to su: lapori, vapnenci, dolomiti, konglomerati i pješčenjaci. Rubnim, sjeveroistočnim dijelom modeliranog područja zahvaćeni su istočni i jugoistočni obronci Medvednice. ŠIKIĆ et al. (1979) utvrđuju da su u metamorfnom kompleksu Medvednice definirani ortometamorfiti i parametamorfiti paleozojske starosti. Kao najznačajnije metamorfne stijene se spominju zeleni škriljavci. U sjevernom predjelu područja modeliranja, pored mezozojskih stijena, manjim su dijelom zastupljene i stijene paleozojske starosti. U tu skupinu stijena ubrajaju se mramorizirani vapnenci, glineni, zeleni i amfibolitni škriljavci te gnajsevi. Obronci sjeverozapadnog dijela Moslavačke gore nalaze se na krajnjem jugoistočnom dijelu modeliranog područja. Utvđeno je da se radi o magmatskim stijenama: granitima i granodioritima. TAJDER (1970) zaključuje kako su graniti i granodioriti Moslavačke gore vjerojatno dio veće mase, štoka ili batolita. Paleogeološka karta podloge neogensko–kvartarnih naslaga zapadnog dijela Savske depresije je prikazana na *Slici 3-2*.



Slika 3-2. Pregledna paleogeološka karta podloge neogensko – kvartarnih naslaga zapadnog dijela Savske depresije (VELIĆ, 1980)

Prije samog osvrta na formacije u Savskoj depresiji, potrebno je objasniti značenje elektrokarotažnih (EK) markera i repera. Prema SAFTIĆ i MALVIĆ (2008) markerni slojevi, često zvani i ključnim slojevima, odlikuju se malom debljinom i velikom lateralnom rasprostranjenosću te imaju lako prepoznatljiva svojstva čime ih se vrlo lako izdvaja od stijena u krovini i podini. EK-markeri se prepoznaju kao identični motivi na krivuljama specifične otpornosti u sklopu elektrokarotažnih dijagrama, odnosno prema ponavljanju nizova otklona jednakih vrijednosti otpornosti (VRBANAC, 2002). Također, isti autor tvrdi da su motivi EK-markera odraz promjena prosječnog granulometrijskog sastava čestica i načina njihova pakiranja, što dalje utječe na vrijednost šupljikavosti i propusnosti naslaga taloženih u jednakim uvjetima i u isto vrijeme. To znači da EK-markeri imaju značaj sinkronih ploha – kronohorizonata. Prema VRBANAC (2002) EK-reperi označavaju erozijsko – tektonsku diskordanciju. EK-reper *Tg* (*Temeljno gorje*) nalazi se na dodiru metamorfnih i magmatskih stijena paleozojske starosti sa stijenama neogenske starosti ili starijim sedimentnim (mezozojskim), dok EK-reper *Pt*, *P.T.* ili *PTc* (*Podloga „tercijara“*) označava kontakt između mezozojskih sedimenata i stijena neogenske starosti. Pregled krostratigrafskih i litostratigrafskih jedinica te definiranih formacijama između pojedinih EK-repera i markera prikazan je na *Slici 3-3*.



Slika 3-3. Kronostratigrafske jedinice i litostratigrafske jedinice s određenim formacijama između pojedinih EK-repera i markera (VELIĆ et al., 2011)

Unutar Savske depresije razlučeno je šest formacija. Njihov opis s litostratigrafskog, kronostratigrafskog i biostratigrafskog aspekta prikazan je u nastavku teksta.

Prva i najstarija formacija Prečec je ograničena tektonsko – erozijskom diskordancijom T_g (*Temeljno gorje*) u podini i eletrokarotažnim (EK) markerom Rs_7 u krovini. Odlikuje se heterogenim litološkim sastavom, a kronostratigrafski gledano obuhvaća stariji i srednji miocen. Najzastupljene stijene su: kongolomerati, breče, laporoviti pješčenjaci, pjeskoviti pješčenjaci, vapnenački pješčenjaci, vapnenci te litotamnijski vapnenci.

Litostratigrafska jedinica - formacija Prkos obuhvaća stijene donjeg panona poznate i pod imenom *naslage Croatica*, nazvane tako prema pužu *Radix croatica*. Prema ŠIKIĆ et al. (1979) *naslage Croatica* predstavljaju „bijele lapore“ taložene u plitkovodnoj sredini pod

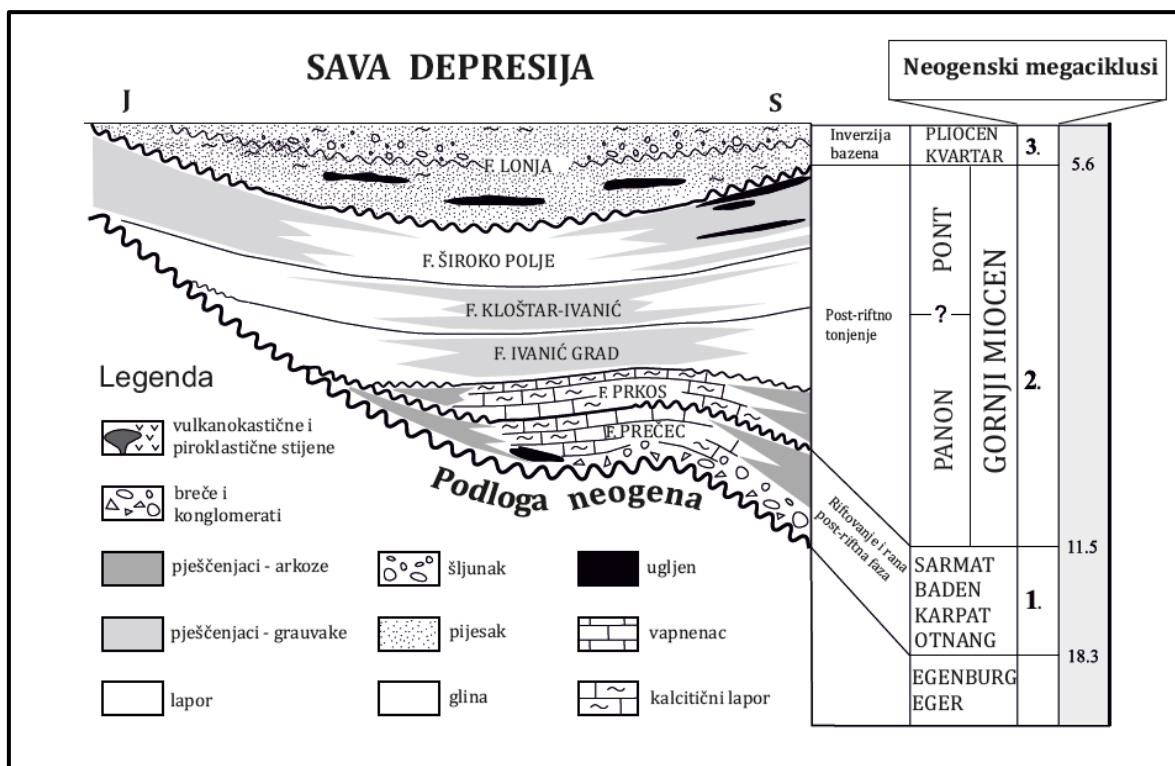
utjecajem jačeg oslađivanja. U starijoj literaturi se spominju i pod nazivom *prevalencijeneziske naslage*. Njihov litološki sastav se postupno mijenja od vapnenih laporan do pješčenjaka arkognog i subarkognog tipa. Formacija je omeđena EK-markerima *Rs7* i *Rs5*. Rasprostiranje ove formacije uvelike je manje od prethodno opisane Prećec formacije zbog kraćeg razdoblja taloženja formacije, ali i kao posljedica vertikalne tektonske aktivnosti u centralnom dijelu depresije (VELIĆ, 1980). Dakle, riječ je međuformacijskoj diskordanciji uvjetovanoj regresivnim tendencijama taložina formacije (VELIĆ, 1980). Obje opisane formacije predstavljaju intervale s matičnim stijenama.

Formacija Ivanić-Grad je približni ekvivalent taložinama gornjeg panona odnosno *naslagama Banatica*, određenim prema školjkašu *Congeria banatica*. Ove gornjopanonske naslage karakteriziraju pjeskoviti i glinoviti lapor, koji u dubljim dijelovima sadrže tanke proslojke pješčenjaka i silta. Formacija je omeđena EK- markerima *Rs5* i *Z'*. Izmjene laporan s pješčenjacima predstavljaju moguće kolektorske stijene za ugljikovodike.

Donjopontskim naslagama približno odgovara formacija Kloštar-Ivanić. Interval ove formacije određen je EK-markerima *Z'* i *Rφ*. Litološki sastav je vrlo sličan kao u prethodno opisanoj formaciji, dakle dominiraju sivi pijesci/pješčenjaci i lapor s brojnim varijetetima. Ovi pješčenjaci smatraju se ležišnim stijenama za ugljikovodike. Donjopontske naslage, tj., *naslage Abichi* dobile su ime prema karakterističnom školjkašu *Paradacna abichi*.

Formacija Široko Polje približni je ekvivalent sedimentima najgornjeg dijela donjeg ponta i gornjeg ponta. Dakle, obuhvaća mali dio *naslage Abichi* te *naslage Rhomboidea*. *Naslage Rhomboidea* su široko rasprostranjene, a nazvane su prema školjkašu *Congeria rhomboidea*. Konkordantno naliježu na starije naslage, a sastoje se od pješčenjaka i pijesaka te pjeskovitih i glinovitih laporan sa slojevima ugljena. Podinu formacije određuje EK-marker *Rφ*, dok krovini definira EK-marker α' .

Posljedna i najmlađa litostratigrafska jedinica je formacija Lonja. Krovini formacije određuje površina terena, dok je podina definirana prema EK – markeru α' . Obuhvaća taložine pliocena, pleistocena i holocena. Potrebno je naglasiti kako se sedimenti pliocena često nazivaju i *naslagama Paludina*, determiniranim prema asocijaciji slatkovodnih/močvarnih puževa roda *Viviparus* (prvotno determinirane kao rod *Paludina*). Naslage su izgrađene od šljunaka, pijesaka i glina s proslojcima ugljena (BUCKOVIĆ, 2006; CVETKOVIĆ, 2013). Na *Slici 3-4*. prikazane su opisane formacije u Savskoj depresiji.



Slika 3-4. Formacije u Savskoj depresiji (SAFTIĆ et al., 2003)

3.2. Neogensko-kvartarni taložni megacyklusi

U središnjem dijelu Savske depresije debljine neogenskih sedimenata dosežu do 5500 metara. U svojim radovima autori FILJAK et al. (1969) te kasnije ŠIMON (1980) i VELIĆ et al. (2002) navode kako naslage neogena pokazuju značajke cikličnosti, tj. ritmičke sedimentacije te se prema tome mogu podijeliti u tri različita sedimentacijska megacyklusa. Svaki megacyklus se sastoji od slijedova dobro definiranih stratigrafskih jedinica koje odgovaraju statusu formacija. Prema MITCHUM (1977) svaki megacyklus obuhvaća stijene taložene tijekom jednog superciklusa promjene relativne razine vode. Dakle, u prvom dijelu se sastoji od postupnog porasta, a u drugom dijelu od razmjerne naglog pada (VELIĆ, 2007).

Ono što je karakteristično za hrvatski dio Panonskog bazena jest da su izdvojene tri bitno različite litološko – genetske asocijacije obzirom na njihov period trajanja i debljinu naslaga. One su odraz tektonskog okvira taloženja (ekstenzije i kompresije), ali i lokalnih čimbenika kao što su donos materijala, relativno spuštanje dna bazena, eustatičke promjene

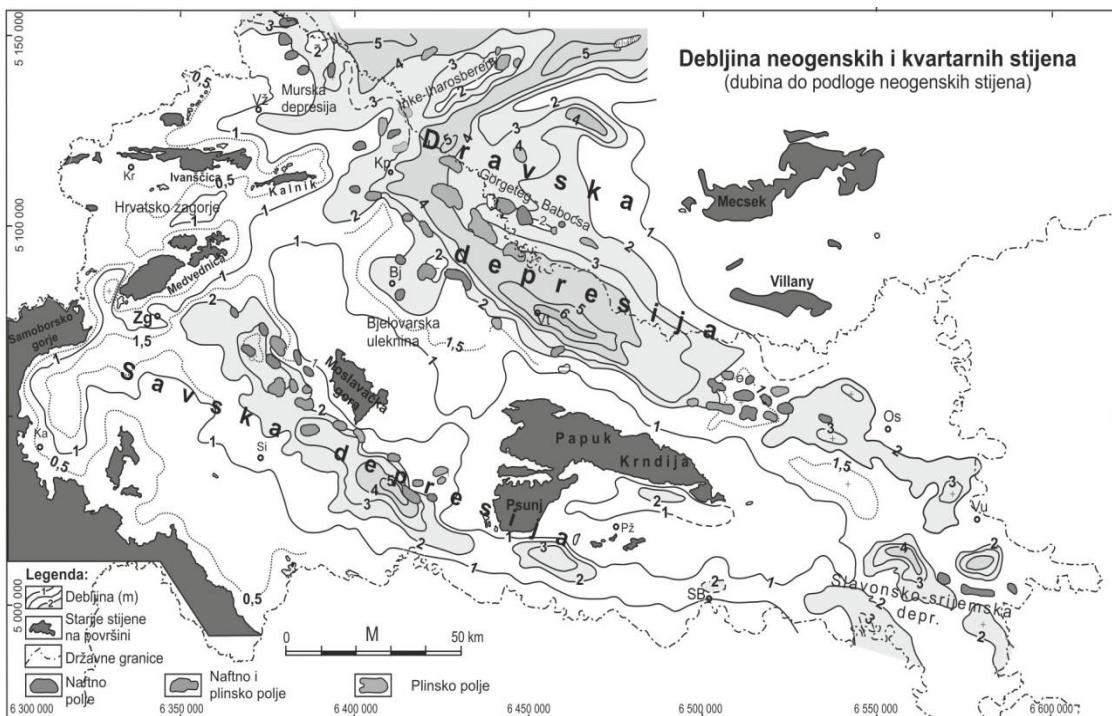
u bazenu te klimatski uvjeti (VELIĆ, 2007). Potrebno je naglasiti kako se sva tri megaciklusa mogu pouzdano izdvojiti i pratiti na seizmičkim profilima s obzirom na debljine naslaga svakog megaciklusa.

Najstariji megaciklus zbio se za vrijeme donjeg i srednjeg miocena (VELIĆ, 2007; VELIĆ i MALVIĆ, 2011). U Savskoj depresiji obuhvaća sedimente formacije Prečec. Tada je započela sinriftna (sinekstenzija) faza. Predstavnici sedimentnih stijena su: krupni klastiti (breče, konglomerati, arkozni pješčenjaci te pješčenjaci s proslojcima bentonitnih glina) i sitni klastiti (gline, lapori, klacitni lapori te pješčenjaci unutar *nasлага Tripoli*) te karbonati (vapnenci, biogeni vapnenci – litotamnijski vapnenac, kalkarenitni biogeni pješčenjak) i mjestimice proslojci ugljena (VELIĆ i MALVIĆ, 2011). Kao dokaz vulkanske aktivnosti tijekom donjeg miocena (egera i egenburga) mogu se pronaći i tufovi na području Hrvatskog zagorja te efuzivne stijene (rioliti, daciti, andeziti, bazalti) (ĆORIĆ et al., 2009). Pretežno se krupniji klastiti nalaze po rubovima depresije, a sitniji klastiti i karbonati u središnjim dijelovima. Stijene egerskog kata su obilježene paraličkim facijesima, a sve do sarmata se izmjenjuju taložine prijelaznih okoliša (otnang) i morskih okoliša (egenburg, karpat i baden) (LUČIĆ et al., 2001; ĆORIĆ, 2009). Početak prave sedimetacije molasnog karaktera smatra se otnang. Period trajanja megaciklusa je oko 6,8 Ma (geokronološki podaci prema RÖGL, 1996; VELIĆ, 2007; VELIĆ i MALVIĆ, 2011).

Drugom megaciklusu u Savskoj depresiji pripadaju gornjomiocenski (panon i pont) sedimenti formacija Ivanić-Grad, Kloštar Ivanić i Široko Polje (VELIĆ i MALVIĆ, 2011). Ovaj megaciklus odraz je kraja ekstenzije. Karakterizira ga jednoličan slijed sivih pijesaka, pješčenjaka (subgrauvaka), silta i laporanih prijelaznim varijetetima (VELIĆ, 2007). U brakičnim uvjetima su nastale panonske naslage, a pontski sedimenti u jezerskoj sredini. Zaključeno je da je riječ o dubljoj niskoenergetskoj sredini s izraženim podvodnim reljefom. Glavni izvor klastičnog materijala donošenih turbiditnim strujama bile su Istočne Alpe (VRBANAC, 2002; VELIĆ i MALVIĆ, 2011). Vrijeme njegovog taloženja iznosi oko 5,9 milijuna godina (RÖGL, 1996).

Treći i najmađi megaciklus obuhvaća sedimente pliocensko – holocenske starosti, tj. formaciju Lonja u Savskoj depresiji (prema VELIĆ i MALVIĆ, 2011). Trajanje ovog megaciklusa je oko 5,333 Ma (prema ICS), a u to vrijeme zbilja se i kompresija u neotektonskoj fazi. Prema litološkom sastavu, bitno je različit od prva dva megaciklusa. Definira ga izmjena sivih i slabo konsolidiranih pijesaka i sivozelenih ili plavičastih

mekanih glina s rijetkim proslojcima lignita (ŠIMON, 1980; VELIĆ, 2007; CVETKOVIĆ, 2013). U gornjim dijelovima se nalaze šljunci, prapori i rastresiti materijal terigenog podrijetla (LUČIĆ et al., 2001). Ukupna debljina neogensko–kvartarnih sedimenata u hrvatskom dijelu Panonskog bazena prikazana je na *Slici 3-5*. Najveće vrijednosti debljina neogensko–kvartarnih sedimenata odnose se na područja Savske i Dravske depresije.



Slika 3-5. Debljine neogenskih i kvartarnih stijena u hrvatskom dijelu Panonskog bazena (SAFTIĆ et al., 2003)

3.3. Postanak hrvatskog dijela Panonskog bazenskog sustava

Postanak PBS- a je vezan za alpsku orogenezu. Prihvaćen model njegovog stvaranja zasniva se na konceptu „riftinga“, tj. na formiranju dugog, uskog kontinentalnog korita ograničenog strmim normalnim rasjedima. Strukturne jedinice objedinjene su u tri veće strukturne zone – to su: zapadni rubni dio (od zone medvedničkog rasjeda pa dalje prema sjeverozapadu), južni rubni dio (od Karlovca do Slavonskog Broda – južno od Savskog rasjeda) i središnji dio (Savska i Dravska depresija (LUČIĆ et al., 2001; VELIĆ, 2007). Prva faza razvoja, tj. početak ekstenzije dogodio u rasponu oligocen – rani miocen, kada je ujedno zabilježena i pojava andezitnog vulkanizma (prema VELIĆ, 2007). 1. transtenzijski

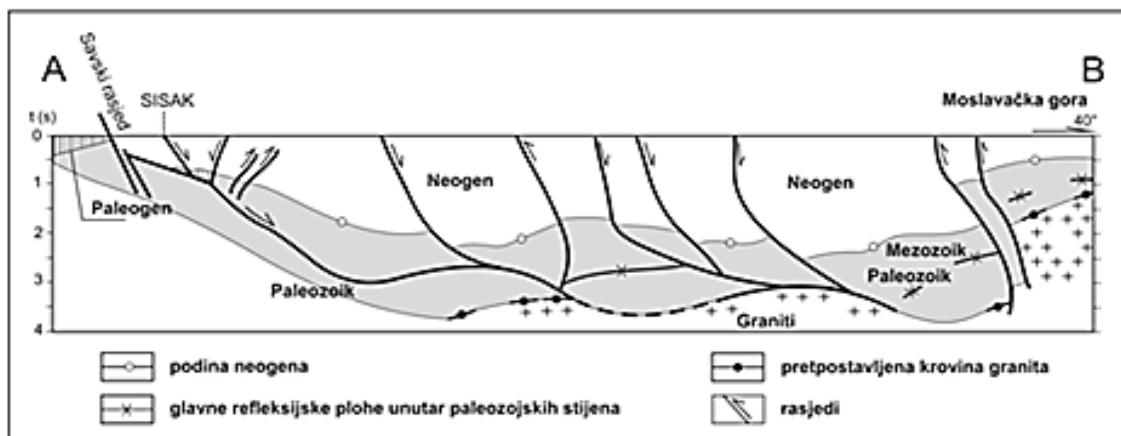
događaj započeo je u badenu (ĆORIĆ et al., 2009; MALVIĆ i VELIĆ, 2011). Dominiraju *strike-slip* pokreti i taloženje unutar tih prostora. Duž aktivnih, velikih transkurentnih rasjeda s pravcem pružanja SZ – JI stvaraju se mali *pull – apart* bazeni. Ovu fazu inicijalne ekstenzije karakterizira usjedanje dna bazena na transtenzijskim dionica spomenutih rasjeda te brza sedimentacija (VELIĆ i MALVIĆ, 2011). Na to upućuju zapunjeni bazeni i depresije sa sintektonskim krupno – do srednjeznastim klastitima, uz koje je vezana izrazita promjena bočnih facijesa.

Tijekom ranog i srednjeg miocena (egenburg – sarmat) nastupila je glavna ekstenzijska faza. Prema PRELOGOVIĆ et al. (1998) dolazi do regionalne promjene orijentacije najveće osi horizontalnog stresa na SSI – JJZ, što uzrokuje aktiviranje lijevih transkurentnih rasjeda (VELIĆ, 2007). Pomicanjem koherenntih tektonskih blokova po navedenim rasjedima prema sjeveroistoku, stvoreni su uvjeti za otvaranjem regionalnih i lokalnih ekstenzijskih zona između tih blokova. Primjeri regionalnih zona su Savska depresija te zapadni dio Dravske depresije, dok su lokalni *pull – apart* bazeni povezani s transkurentnim rasjedima pružanja SI – JZ. PAVELIĆ (2001) zaključuje da su se u otnangu taložili jezerski sedimenti duž Perijadransko – dravske i Savske rasjedne zone na području sjeverne Hrvatske i Slovenije. Najveći doseg marinske transgresije zabilježen je u kasnom badenu, a rezultat je nastanak velikih dubokomorskih područja u kojima se talože latori, a u pličim sredinama biogeni vapnenci i pješčenjaci. Aktivnost ekstenzijske faze završava od sarmata do ponta te tada nastupa postriftna faza. U sarmatu počinje 1. transpresijska faza. Nakon serije transgresivno – regresivnih ciklusa u badenu, započinje regionalna regresija tijekom sarmata (VELIĆ i MALVIĆ, 2011). MALVIĆ (2006) navodi kako u sarmatu dolazi i do pada salineta, kao uvod u stvaranje brakičnih sredina tijekom panona i posebice ponta. 2. transtenzijska faza u dijelovima hrvatskog dijela PBS-a odvijala se već tijekom donjeg panona, a na cijelom tom prostoru u gornjem panonu (VELIĆ i MALVIĆ, 2011). Taloženje je obuhvatilo brojne turbiditne događaje, kojim su uneseni klastiti dalje preneseni prema I i JI. Takav materijal bio je donesen iz Istočnih Alpi kao izvornišnog područja, snažnoga izdizanja te erozije i denudacije (VELIĆ i MALVIĆ, 2011). Gornji pont, pliocen i kvartar periodi su 2. transpresijske faze, u kojima se orijentacija regionalnog stresa mijenja na sjever – jug te dolazi do desnih transkurentnih pomaka i kompresije s velikim vodoravnim pomacima (transpresije) područja između velikih rasjeda s horizontalnim pomakom (PRELOGOVIĆ et al. 1998; MAVLIĆ & VELIĆ, 2011). Na *Slici 3-6.* prikazana je vremenska skala sa popratnim glavnim

tektonskim i taložnim događajima u hrvatskom dijelu Panonskog bazenskog sustava. Treba naglasiti kako su brojne dionice rasjeda reaktivirane s reversnim karakterom pomaka. SAFTIĆ (1998) navodi da su najvažniji rasjedi između kojih se dogodila transpresija Perijadransko – Dravski i Južni rubni rasjed. Poprečni profil kroz Savsku depresiju pravca JZ – SI prikazan je na *Slici 3-7*.

Milijuni godina u prošlost (Ma)																			
19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Otnang	Karpat	Baden			Sarmat	Panon				Pont		Pliocen				Holocen Pleistocen Kvartar			
Moguće sporadične ekstenzije u HPBS-u?		1. transtenzijska faza			1. transpresija	2. transtenzijska faza				2. transpresijska faza									
		Lokalno trošenje i taloženje aluvijalnih lepeza			Oplićavanje i smanjenje saliniteta	Udaljeni izvor klastita donošenih turbiditnim tokovima				Završno formiranje struktura, migracija ugljikovodika, konačan kontinentalni okoliš									

Slika 3-6. Vremenska skala i glavni tektonski i taložni događaji u hrvatskom dijelu PBS-a (MALVIĆ i VELIĆ, 2011)



Slika 3-7. Poprečni profil kroz Savsku depresiju pravca JZ – SI (PRELOGOVIĆ et al., 1998)

3.4. Strukturno – tektonski odnosi modeliranog područja

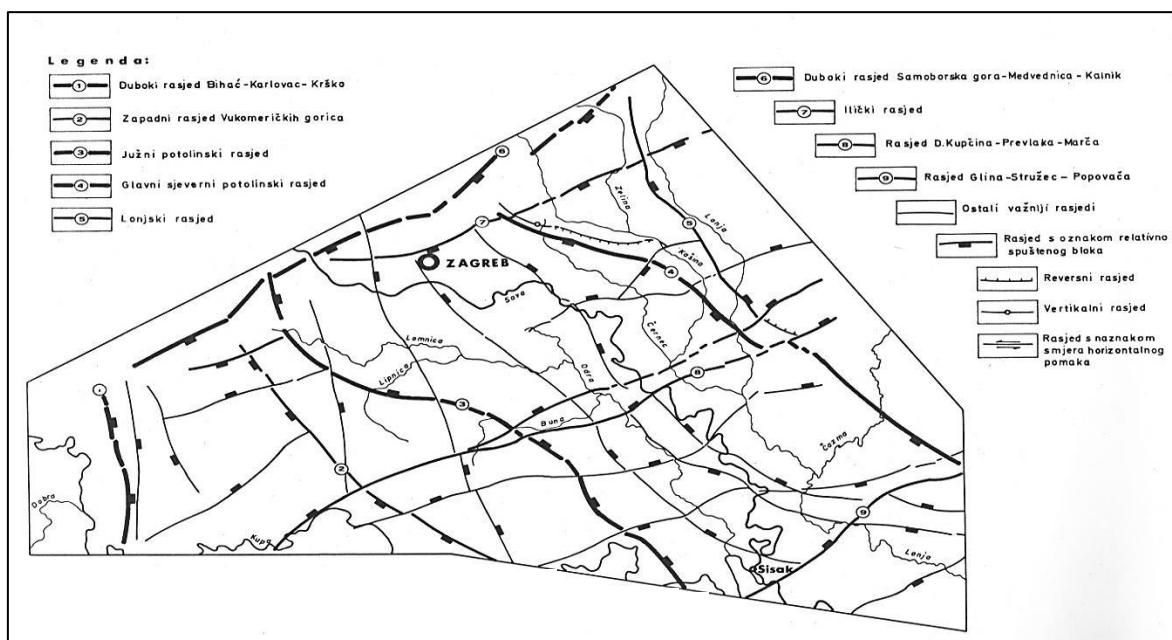
Tektonska građa i strukture modeliranog područja u zapadnom dijelu Savske depresije predočene su pomoću površinskih strukturnih karata konstruiranih po plohama elektrokartažnih (EK) repera Tg te EK-markera: $Rs7$, $Rs5$, Z , $R\varphi$ i α' . Prema VELIĆ

(1980) za izradbu i realizaciju tih karata koristili su se podaci geološkog kartiranja i geomorfološke terene, gravimetrijskih, geoelektričnih i seizmičkih mjerena, kao i podaci dobiveni bušenjem. Dubinske strukturne karte je ručno izradila prof. dr. sc. Josipa Velić, u okviru svoje doktorske disertacije pod naslovom *Geološka građa zapadnog dijela Savske depresije*.

Područje modeliranja karakteriziraju vrlo složeni strukturno-tektonski odnosi. VELIĆ (1980) ističe kako se početak razvoja struktura dogodio vrlo rano ili je uvjetovan oblikom paleoreljefa. Prevladavajuća je tektonika blokova (ili radikalna tektonika) s nizom antiklinala, sinklinala, strukturnih noseva, terasa i strukturnih sedala. Najzastupljeniji su normalni rasjedi s vrlo strmim paraklazama oko 80° (VELIĆ, 1980). Reversni rasjedi su uočeni samo na području Dugog Sela i Kloštra (VELIĆ, 1980). Područjem modeliranja dominiraju tri sustava rasjednih ploha koji se razlikuju prema pravcu pružanja:

- sjeverozapad – jugoistok,
- jugozapad – sjeveroistok,
- sjever – jug.

Četiri najvažnija rasjeda koja se nalaze na modeliranom području imaju pravce pružanja SZ – JI (Lonjski rasjed i Glavni sjeverni depresijski rasjed) te JZ – SI, tj. poprečni rasjedi (Ilički rasjed i rasjed Donja Kupčina-Prevlaka-Marča) (*Slika 3-8.*).



Slika 3-8. Pregledna tektonska karta s najvažnijim definiranim rasjedima

Prema VELIĆ (1980) rasjedi se mogu razvrstati u tri grupe obzirom na deformacije repernih površina i dužinu rastiranja:

- rasjedi koji odjeljuju najveće blokove ili geotektonске jedinice (glavni depresijski rasjedi),
- rasjedi koji odjeljuju najveće strukture unutar bloka ili geotektonске jedinice,
- rasjedi koji odjeljuju manje jedinice ili lokalne strukture.

Strukturno–tektonski odnosi modeliranog područja bit će opisani u nastavku teksta idući od najstarijeg prema najmlađem strukturnom nivou.

Na strukturnoj karti po plohi EK-repera Tg predviđen je izgled paleoreljefa. EK-reper Tg je ploha tektonsko–erozijske diskordancije koja predstavlja kontakt između stijena podloge (*Temeljno gorje – Tg*) i transgresivno neogensko – kvartarnih naslaga. Temeljno gorje u užem smislu odnosi se na čvrste, konsolidirane i kompaktne stijene koje su podložne kidanju i pucanju, ali ne i boranju. Iz tog razloga se ne mogu definirati klasični tipovi struktura kao što su antiklinale, sinklinale i dr. (VELIĆ, 1980). Osim definiranih rasjeda, uočavaju se strukture u blizini Dugog Sela i Ivanić-Grada, dok je strukturna terasa određena na području Brckovljani – Štakorovec. Skupina rasjeda s pravcem pružanja S – J dominira u najzapadnijem dijelu te u široj okolini Zeline. Sa sjeverne strane strukture Dugo Selo je definiran reversni rasjed s paraklazom nagntom u smjeru jug – jugozapad, dok se kod Kloštar Ivanića mijenja u smjer nagiba paraklaze prema sjeveroistoku. Dalje, u produžetku prema sjeverozapadu reversni rasjed Dugog Sela se ustrmljuje te postaje vertikalni i konačno normalan (VELIĆ, 1980). Na području modeliranja, odnosno uz sjeveroistočni rub depresije, mogu se uočiti Glavni sjeverni depresijski rasjed i Lonjski rasjed. Glavnu zonu spuštanja ili utonjavanja dna čine Glavni sjeverni depresijski, Lonjski i Ilički rasjed (prema VELIĆ, 1980). U nastavku će posebna pozornost biti usmjerena na veće strukture i pojave diskordancija jer rasjedni sustavi, uleknuća i uzvišenja ostaju vidljivi na plićim strukturnim nivoima.

Po EK-markeru $Rs7$ osim istaknute antiklinale Dugo Selo, uočava se i antiklinala Šumečani (VELIĆ, 1980). Strukturna terasa Brckovljani – Štakorovec ovdje se mijenja u strukturni nos (VELIĆ, 1980). Najniža područja zapadnog dijela Savske depresije predstavlja niz sinklinala, smještenih zapadno od Ivanić-Grada. Mreža rasjednog sustava

gotovo je jednakog oblika kao i na prethodnoj strukturnoj karti. VELIĆ (1980) zaključuje da su sve manje izraženi tektonski pokreti što se može zaključiti po ujednačenoj debljini formacije Prečec, koja postupno zadebljava prema najdubljim dijelovima depresije.

Ploha EK-markera $Rs5$ ima najmanju površinu u usporedbi s ostalim plohamama EK-repera i markera, a to je odraz regresivnih tendencija za vrijeme njenog taloženja (VELIĆ, 1980). VELIĆ (1980) ističe kako Vrbovečko–moslavački prag označava otočno područje, bez sedimentacije ili plitko podvodno uzvišenje s tankim naslagama. Pomoću takvih područja postavljena je međuformacijska diskordancija koja ukazuje na regionalna tektonska gibanja, posebice izražena na prijelazu starijeg u mlađi panon (VELIĆ, 1980). Na području se i dalje se može pratiti antiklinala Dugo Selo i antiklinala Brckovljani – Štakorovec.

Dubinska strukturna karta po plohi EK-markera Z' daje uvid u dobro izražene antiklinale Dugo Selo, Brckovljani – Štakorovec i Ivanić koje su nastale dezintegracijom jedinstvenog horsta Odra – Oborovo – Martinska Ves (VELIĆ, 1980).

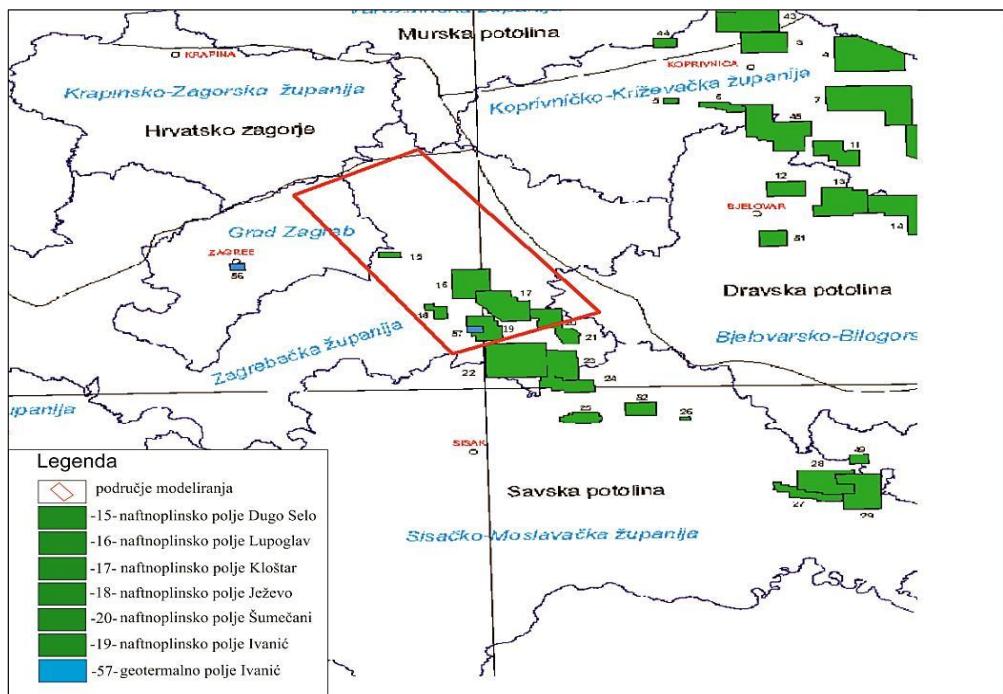
Strukture su najjasnije prikazane po plohi EK-markera $R\varphi$. Tako se kod sjeveroistočnog ruba depresije i dalje jasno opažaju antiklinale Dugo Selo, Brckovljani – Štakorovec, Kloštar i Šumečani. Struktura Ivanić se preoblikovala u strukturni nos (VELIĆ, 1980). Na području između Zagreba, Dugog Sela i Ivanić-Grada se može primjetiti kako manji broj rasjeda više ne dopire do EK-markera $R\varphi$ (prema VELIĆ, 1980).

Na posljednjoj strukturnoj karti po plohi EK-markera α' strukturno–tektonski odnosi postaju sve jednostavniji. Uočava se kako strukture Dugo Selo i Ivanić više nemaju formu antiklinale ili strukturnog nosa, već su „zaravnjene“ i najviše sliče monoklinama (VELIĆ, 1980). Progresivna redukcija rasjeda primjećuje se u okolini Ivanić-Grada.

3.5. Naftogeološke značajke

Pomoću pregledne karte eksploracijskih polja može se vidjeti da se na području modeliranja nalazi šest naftoplinskih polja te jedno polje s geotermalnom vodom (Ivanić). Naftoplinska polja poredana su od sjeverozapada prema jugoistoku sljedećim redom: Dugo Selo, Lupoglav, Ježevi, Kloštar, Ivanić i Šumečani (*Slika 3-9.*). Slijedi kratki opis

dvaju najvažnijih naftoplinskih polja – Kloštar i Ivanić koja se nalaze unutar područja modeliranja.



Slika 3-9. Prikaz naftnoplinskih polja te polja s geotermalnom vodom na modeliranom području

Polje Kloštar svrstava se u hrvatska najstarija polja u Savskoj depresiji. Godine 1952. načinjena je prva bušotina Kloštar-1 (Klo-1) na temelju korištenja tada nove geofizičke metode – seizmičkog istraživanja te gravimetrijskog mjerjenja i interpretacije rezultata. Bušotina je dosegla dubinu od 1272 metra, a dobivene su i ekonomski značajne količine nafte. Na temelju toga je utvrđeno postojanje novog polja unutar strukture Križ (VELIĆ, 2007). Pridobivanje nafte je započelo 1954. godine. Intenzivna razradba polja odvijala se od 1953. do 1961. godine. Velić (2007) tumači kako strukturnu zamku predstavlja antiklinala dinarskog pružanja koja je ispresjecana uzdužnim, normalnim rasjedom. Kolektorske stijene su pješčenjaci s prosječnom poroznosti od 25 %, dok prosječna efektivna debljina iznosi 5 metara. Na polju je ukupno izrađeno 196 bušotina (CVETKOVIĆ, 2007).

Druge naftoplinsko polje Ivanić, nalazi se 35 km jugoistočno od Zagreba, u Ivanićkoj zoni, unutar Savske depresije. 1954. godine na području Ivanić-Grada su provedena seizmička istraživanja, a kasnije i ostale geofizičke metode. Prva bušotina Posavski Bregi-

1 (PB-1) postavljena je na temelju cjelovite interpretacije geofizičkih rezultata te su njome potvrđeni samo tragovi ugljikovodika unutar miocenskih pješčenjaka. Također, ni bušotina Iva-1 nije dala bolje rezultate jer nije probušila ležišne stijene u odgovarajućoj strukturi. Ležišta polja Ivanić otkrivena su bušotinom Iva-2 (VELIĆ, 2007). Razradno bušenje odvijalo se od 1962. do 1966. godine. Prema VELIĆ (1980) ležišne stijene čine smedji srednjo- do sitnozrnati litoareniti formacije Ivanić-Grad odnosno stariji dio pješčenjaka Iva. Efektivna debljina ovih gornjopanonskih pješčenjaka iznosi od 160 do 260 metara. Naftenosni pješčenjaci izgrađuju sedam paketa odvojenih slojevima laporanog. Zamku čini antiklinala s amplitudom zatvaranja od oko 80 m. Naime, na strukturnim se kartama po različitim EK-reperima i markerima zapravo iskazuju dvije antiklinale sa strukturnim sedlom smještenim između njih (VELIĆ, 2007). Osim sekundarnih metoda, na polju su primjenjene i tercijarne (*EOR – Enhanced Oil Recovery*) metode s utiskivanjem CO₂.

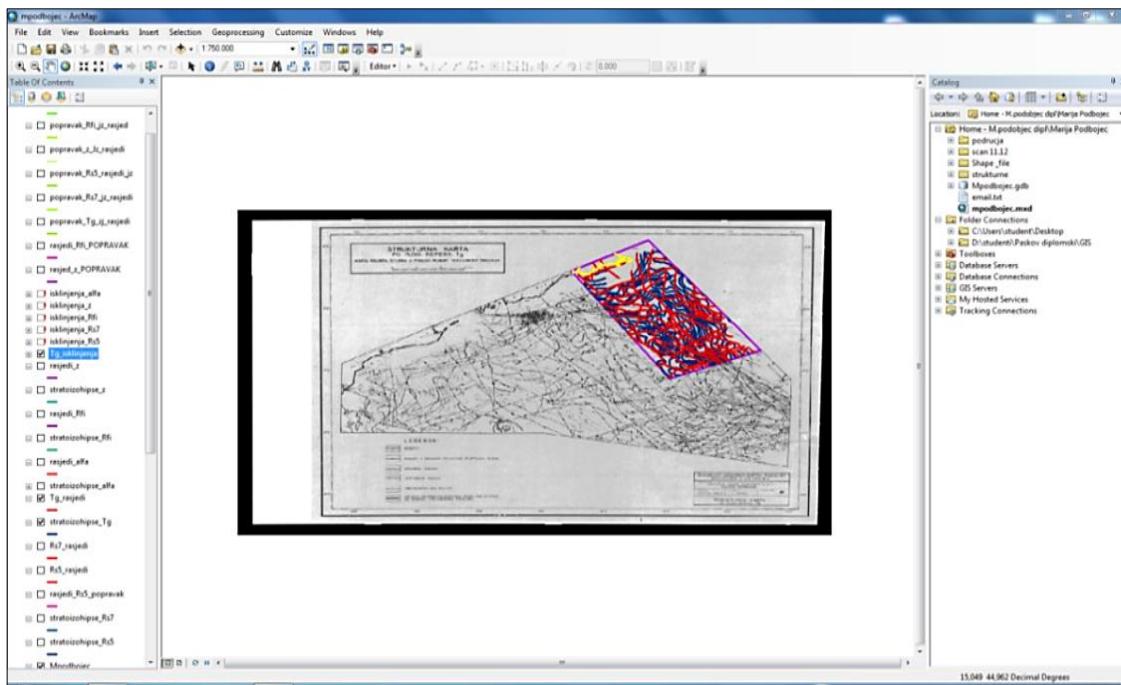
4. METODOLOGIJA RADA

Za provedbu digitalizacije te kasniju izradbu geološkog modela građe podzemlja koristilo se šest dubinskih strukturnih karata iz doktorskog rada prof. dr. sc. Josipe Velić. Svaka od tih strukturnih karata je konstruirana po plohi određenog EK-repera ili markera, počevši od erozijske diskordancije Tg (*Temeljno gorje*) pa sve do EK-markera α' . Za izradbu tih karata koristili su se podaci geološkog kartiranja i geomorfologije područja, podaci gravimetrijskih, geoelektričnih i seizmičkih mjerjenja, kao i svi podaci dobiveni bušenjem. Metodologija rada podijeljena na dvije faze: digitalizacija podataka te sistematiziranje ulaznih podataka i izradba potpovršinskog modela područja, za što su korišteni računalni programi ArcMap 10.1 i PetrelTM 2013.

4.1. Računalni program ArcMap

ArcMap je glavna komponenta programskog paketa ArcGIS instituta ESRI. Računalni program ArcMap se koristi za pregled, uređivanje te obradu geoprostornih podataka. Također, ima mogućnost kreiranja i analiziranja geografskih podataka te njihovog kompletiranja u geodata bazu. Dobiveni digitalizirani podaci mogu poslužiti kao ulazni podaci za druge programe, u ovom slučaju za računalni program PetrelTM.

Na *Slici 4-1.* prikazano je sučelje ArcMap – a verzije 10.1 s ulaznim podacima.



Slika 4-1. Sučelje računalnog programa ArcMap 10.1

4.2. Digitalizacija podataka

Digitalizaciji podataka prethodilo je skeniranje karata te njihovo spremanje u .tif format (*engl. Tagged Image File Format*). Tako pospremljeni podaci uneseni su u računalni program ArcMap 10.1. Na taj način dobiveni su ulazni podaci koje je bilo potrebno točno locirati u prostoru kako bi se očuvala kompatibilnost s mogućnostima geolociranja drugih softvera poput PetrelaTM. S obzirom na navedeno, korišten je referentni koordinatni sustav WGS84. Potom je uslijedilo postavljanje okvira za modelirano područje na kojem će se izvršiti digitalizacija svake karte pojedinačno.

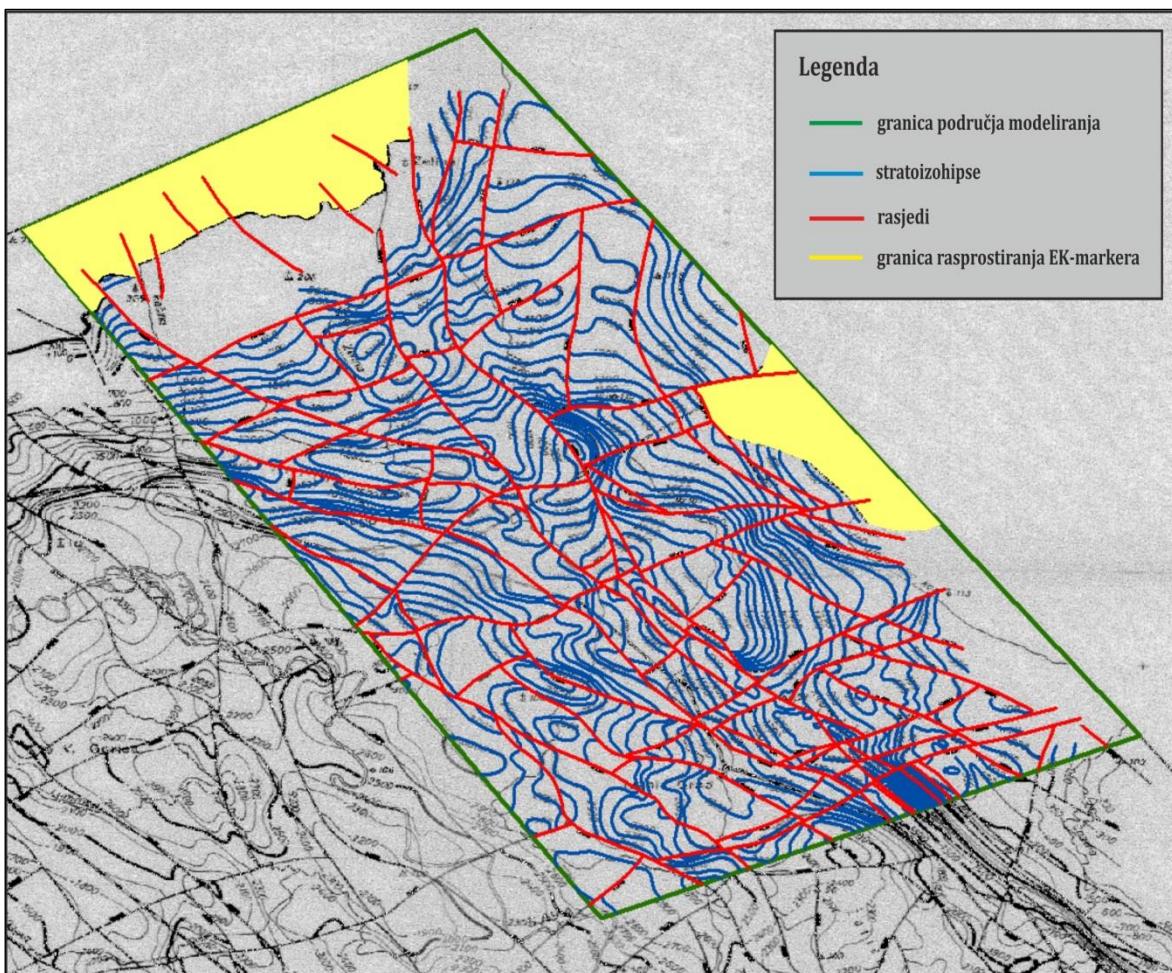
Svrha digitalizacije svih šest strukturnih karata je pretvaranje njihovih analognih oblika u digitalni format. Na taj način su digitalizirani sljedeći podaci: izobate i stratoizohipse, rasjedi te granice rasprostiranja EK-repera i markera.

Prilikom digitaliziranja svakog analognog oblika potrebno je za svaki posebno stvoriti *Feature Class* (klasu). Tako je npr. za rasjede ucrtane na strukturnoj karti po plohi EK-repera *Tg* stvorena klasa pod nazivom „*rasjedi_Tg*“. Ukupno je stvoren 18 klasa za sva tri analogna tipa podataka po šest strukturnih karata.

Digitalizacija izobata i stratoizohipsi odnosi se na pažljivo iscrtavanje linija s pripadajućim vrijednostima absolutne dubine (Z) preko strukturnih karata. Prilikom iscrtavanja linija

rasjeda bilo je potrebno pripaziti da se rasjedi ne dodiruju ili ne sijeku. Time su se izbjegli određeni problemi koji su mogli nastati u kasnijoj fazi rada, tj. tijekom geomodeliranja u računalnom programu PetrelTM. Granice rasprostiranja pojedinih EK-repera i markera su napravljene kao zatvoreni poligoni. Površine granica rasprostiranja EK-repera i markera ovise o samoj naravi određenog EK-repera ili markera.

Digitalizirano područje uokvirenog dijela Savske depresije obuhvatilo je površinu od 758,765 km². Primjer provedene digitalizacije podataka na okonturenom području strukturne karte po plohi EK-markera *Rs7* vidi se na *Slici 4-2*.

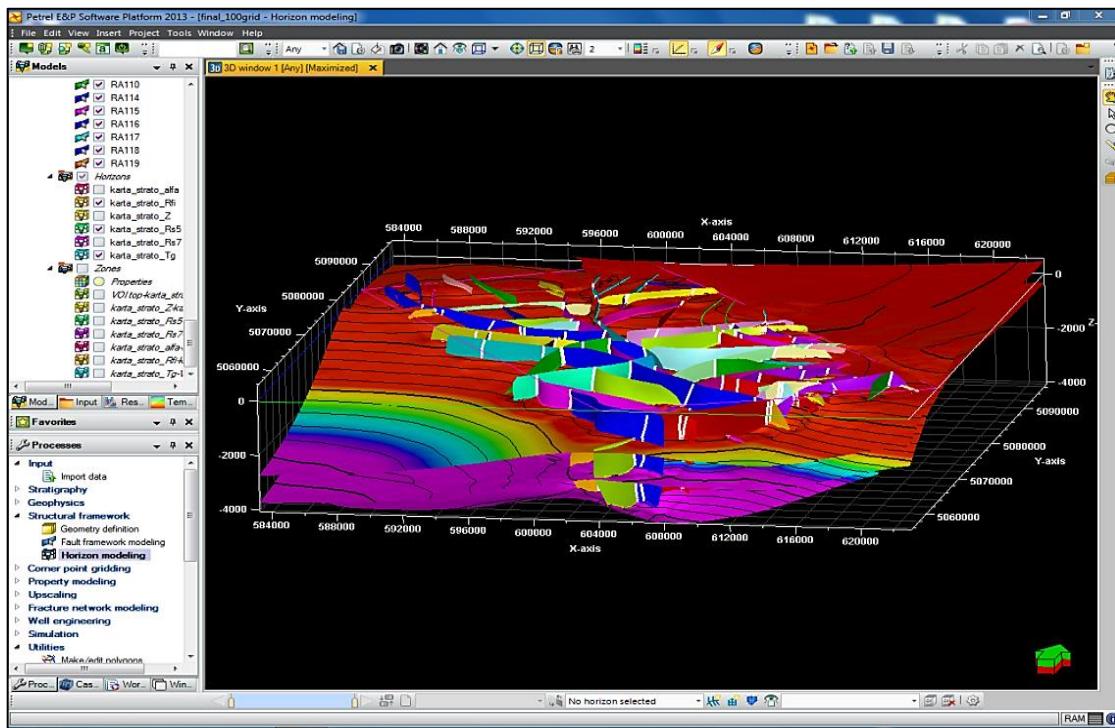


Slika 4-2. Digitalizirani dio potpovršinske strukturne karte po plohi EK-markera *Rs7*

Zadnja faza rada u ArcMap – u odnosi se na izvoz i spremanje digitaliziranih podataka u .shp format (*engl. Shape file format*). Na taj način izlazni podaci postaju ulazni podaci za daljnji rad u PetrelTM – u.

4.3. Računalni program PetrelTM

Računalni program PetrelTM tvrtke Schlumberger pruža mnoge mogućnosti: izradu karata, obradu i analiziranje seizmičkih podataka, interpretiranje karotažnih dijagrama, određivanje strukturnih odnosa, kreiranje modela građe podzemlja i dr. Budući da je izuzetno složen i sofisticiran računalni program, ima opciju i razrade ležišta ugljikovodika u čijem radu sudjeluju brojni inženjeri s bogatim radnim iskustvom: naftni geolozi, geofizičari te inženjeri naftnog rудarstva. Računalni program PetrelTM doniran je Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu od strane tvrtke Schlumberger. Prikaz sučelja računalnog programa PetrelTM 2013 vidi se na *Slici 4-3*.



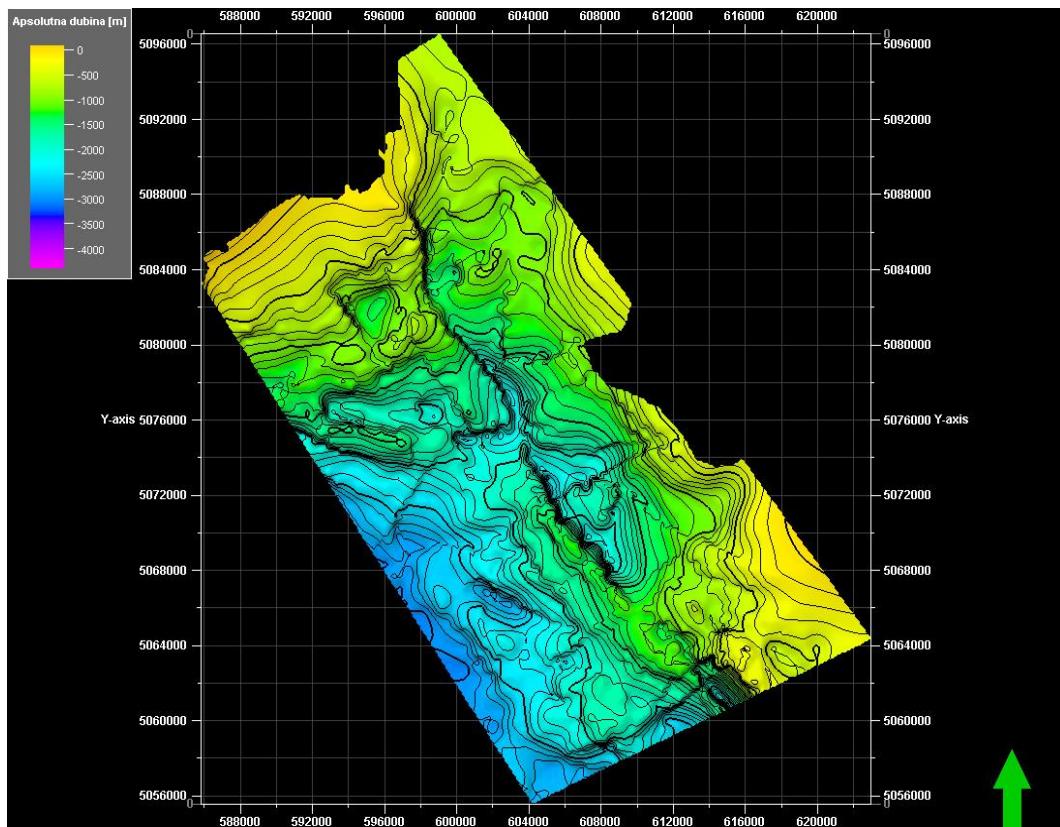
Slika 4-3. Sučelje računalnog programa PetrelTM 2013

4.4. Sistematisiranje ulaznih podataka i izradba potpovršinskog modela

Druga faza rada započinje unosom podataka u PetrelTM 2013 pri čemu su dobiveni ulazni podaci za izobate i stratoizohipse, rasjede i granice rasprostiranjenosti svakog EK-repera i markera, koji su se sistematizirali određenim redoslijedom. Ulazni podaci za izobate i

stratoizohipse poslužili su za izradbu površina po plohami EK-repera i markera pomoću alata *Izradba/preinaka površine* (engl. *Make/edit surface*). Na svim kartama površina može se uočiti raspon boja s odgovarajućim dubinama u gornjem lijevom kutu, strelica zelene boje koja označava smjer sjevera te referentni koordinatni sustav.

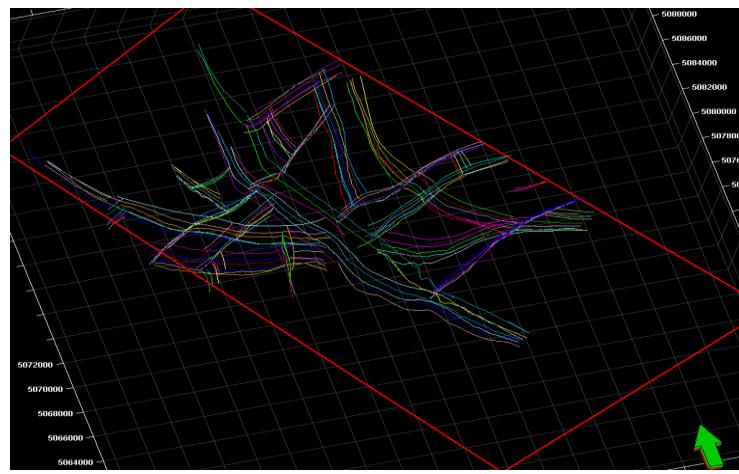
Kao jedan od primjera je površina stratoizohipsa po EK - markeru *Rs7* prikazana na *Slici 4-4.*



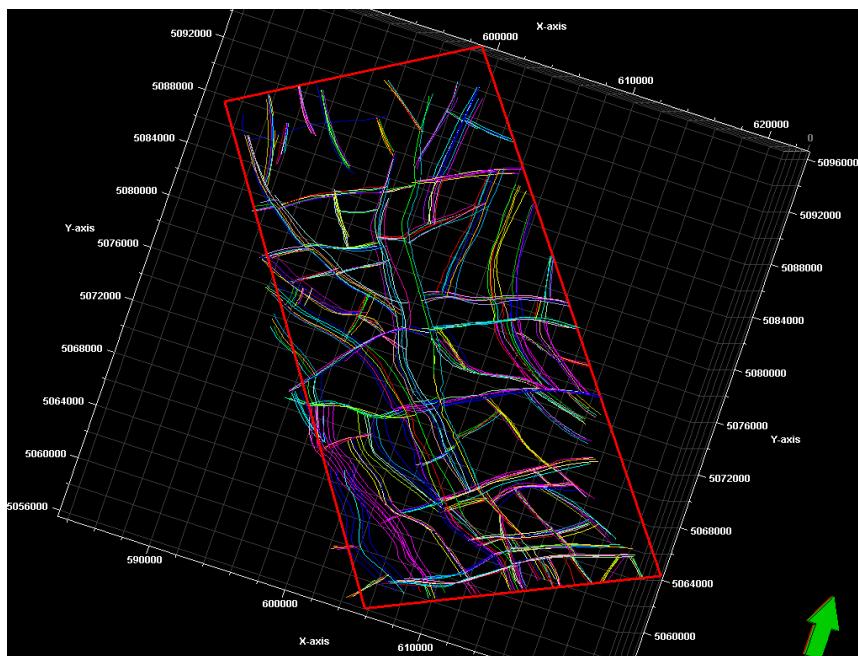
Slika 4-4. Karta stratoizohippsi po EK-markeru Rs7

Potom su obrađeni i ulazni podaci za granice rasprostiranja svakog EK-repera i markera koji se napravljeni i spremljjeni u obliku zatvorenih poligona. Koristeći se alatom *Izračun* (engl. *Calculations*), zatvoreni poligoni granica rasprostiranja EK-repera translatirani su na površine odgovarajućih karata i to pomoću opcije $Z = A$, što znači da je Z koordinata jednakova površini karte. Podešavanjem odnosa tih dviju ploha, „izrezani“ su oni dijelovi površine karte koji su bili prekriveni zatvorenim poligonima. Tako su se dobile stvarne granice rasprostiranja EK-repera i markera na području modeliranja.

Ulagni podaci za rasjede u Petrel™ - u 2013 nalaze se u obliku poligona. Obrada poligona započinje njihovim translatiranjem na površine pripadajućih karata pomoću alata *Calculations* na način da je njihova Z koordinata jednaka površini karte ($Z = A$). Alatom *Jednaki razmak* (engl. *Equal space*), u odjeljku *Operacije poligona* (engl. *Polygons operations*), translatiranim poligonima je dodijeljen jednak broj točaka, a pomoću alata *Razdvajanje* (engl. *Split*) poligoni su rastavljeni na zasebne poligone kako bi se mogli sistematizirati u određene grupacije. Na **Slici 4-5.** vide se pregrupirani poligoni, dok je na **Slici 4-6.** prikazano svih 107 grupacija sistematiziranih poligona, tj. rasjeda.

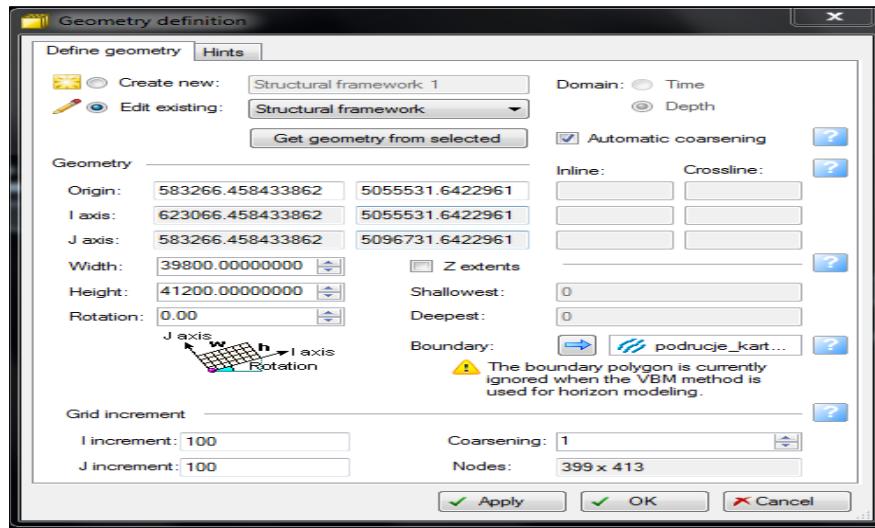


Slika 4-5. Pregrupirani poligoni



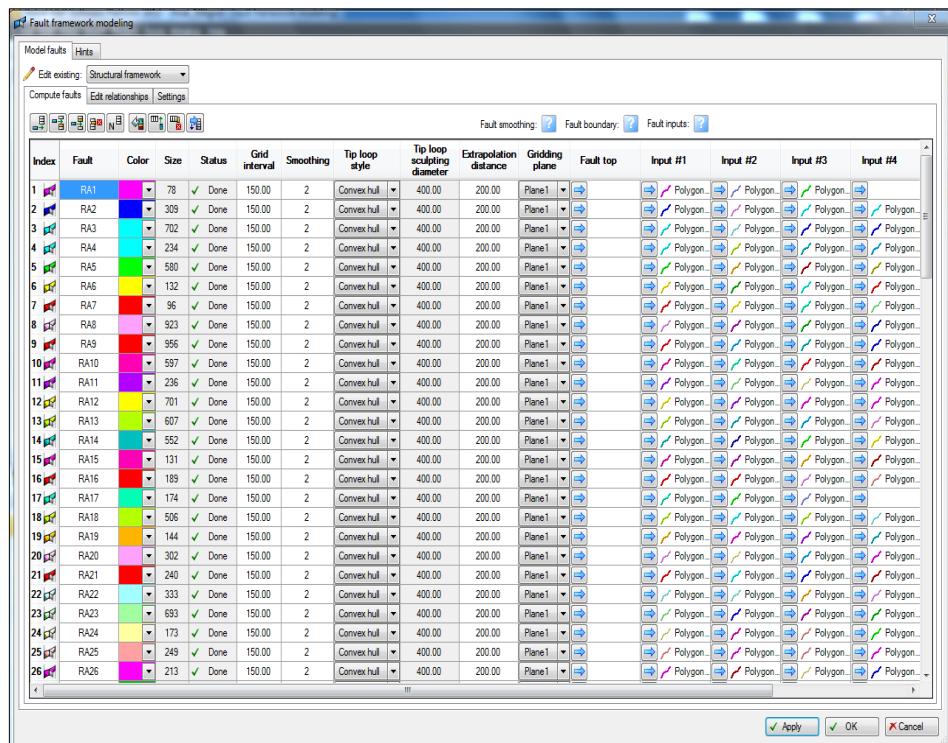
Slika 4-6. 107 grupacija sistematiziranih poligona odnosno rasjeda

Neophodna radnja prije samog modeliranja izdvojenog područja bilo je postavljanje strukturnog okvira (*engl. Structural framework*). Strukturni okvir podrazumijeva određivanje geometrije područja modeliranja te stvaranje i interperetiranje dobivenih rasjednih ploha. Geometrija modeliranog područja (*engl. Geometry definition*) definirana je prema površini izobata EK-repera Tg te prema određenoj granici područja modeliranja. **Slika 4-7.** prikazuje definiranu geometriju za modelirano područje.

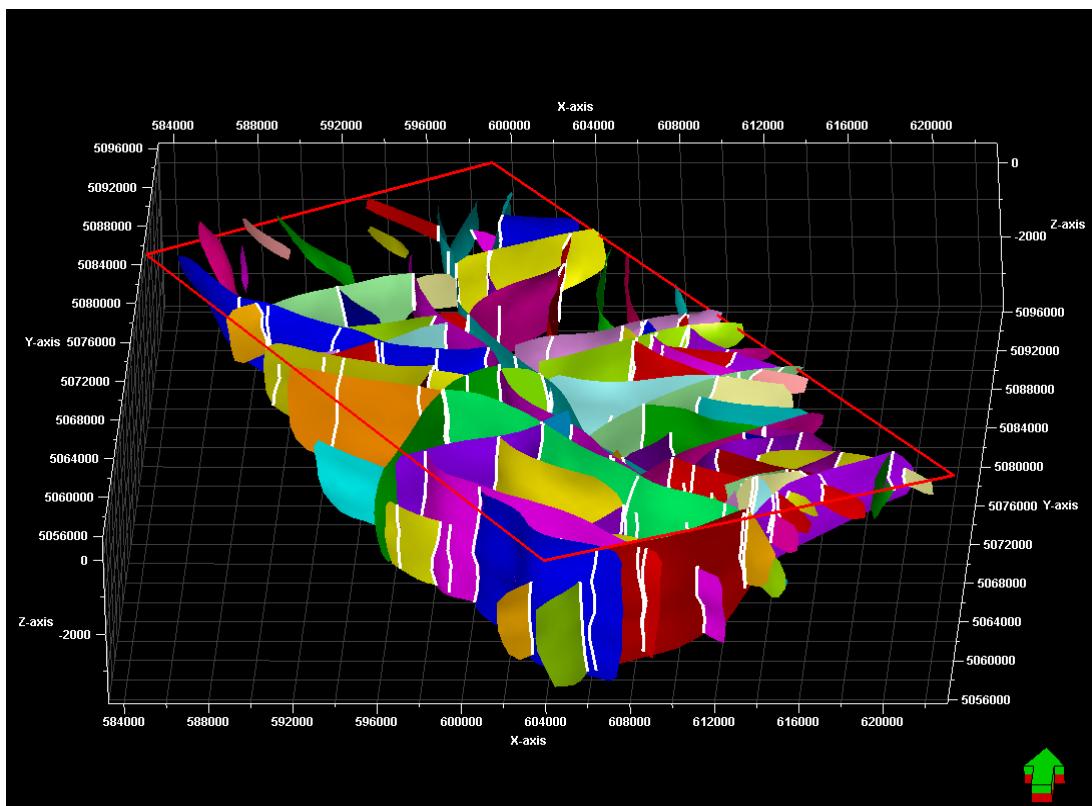


Slika 4-7. Definirana geometrija modeliranog područja

Kao ulazni podaci za kreiranje rasjednih ploha u alatu *Okvir rasjednih ploha* (*engl. Fault framework modelling*) koristili su se sistematizirani poligoni u 107 grupacija. Svaki poligon predstavlja rasjed po plohi jednog od šest EK-repera i markera, pa se iz tog razloga poligoni razlikuju i po dubini u prostoru. Koristeći se alatom *Fault framework modelling* svaka pojedina grupacija poligona objedinjuje se u rasjednu plohu. Alat *Okvir rasjednih ploha* (*engl. Fault framework modelling*) s razvrstanim rasjedima prikazan je na **Slici 4-8.**, dok se rasjedne plohe na području modeliranja vide se na **Slici 4-9.**

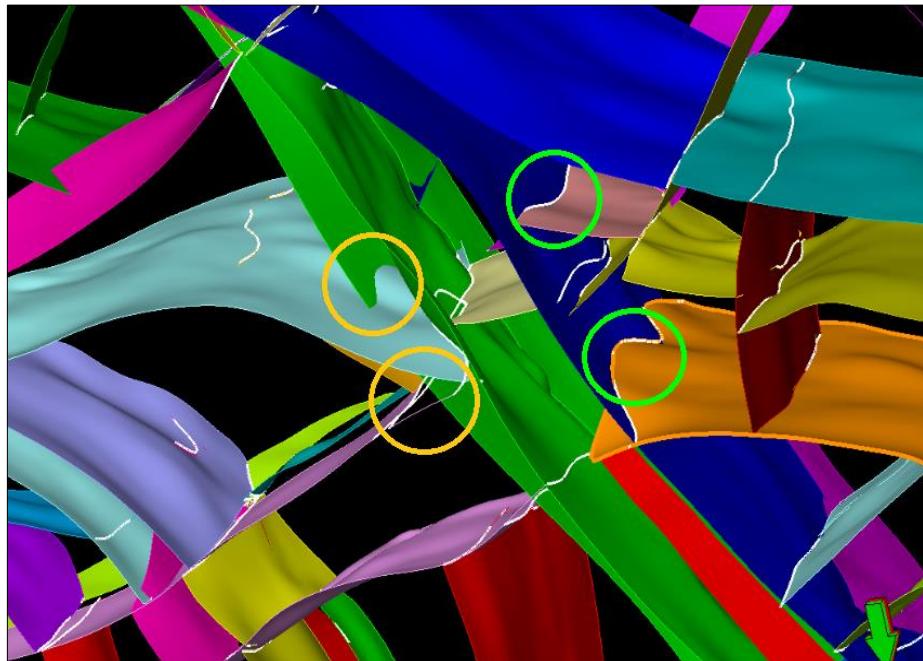


Slika 4-8. Alat Okvir rasjednih ploha (engl. Fault framework modelling) s razvrstanim rasjedima



Slika 4-9. Rasjedi modeliranog područja

Nakon stvaranja 107 rasjednih ploha uslijedila je njihova interpretacija. Važno je naglasiti kako bijele linije između rasjednih ploha označavaju njihove potpune „kontakte“. Budući da na nekim mjestima nisu ostvareni potpuni kontakti, bilo je nužno odrediti međuodnose rasjeda te izgladiti neke vrlo zakrivljene (krivulje 3. reda) i nepravilne rasjedne plohe. Navedene situacije svrstavaju se u pogreške nastale prije izradbe samog modela. **Slika 4-10.** prikazuje žutim krugovima nepotpune kontakte i nedefinirane međuodnose rasjeda (*engl. inconsistent faults contacts*), dok su zelenim krugovima označene vrlo zakrivljene, nepravilne plohe rasjeda (*engl. kinked or sharp truncations*).



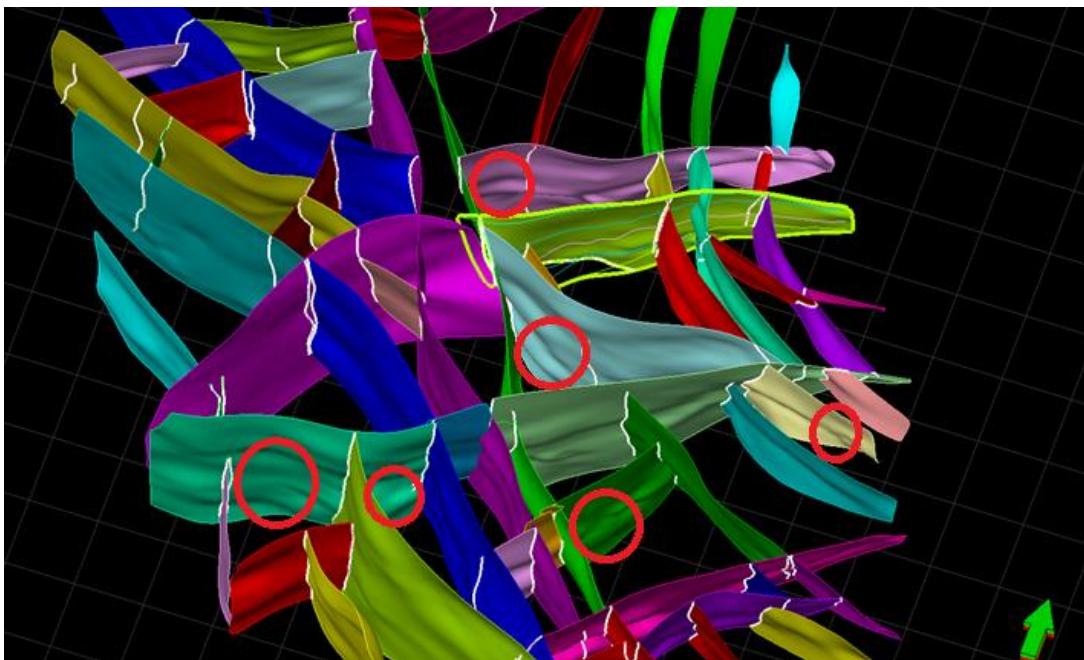
Slika 4-10. Prikaz nepotpunih kontakata i nedefiniranih međuodnosa vrlo zakrivljenih rasjednih ploha

Odnosi između rasjednih ploha definirani su alatom *Fault framework modelling* pod opcijom *Izmjena odnosa* (*engl. Edit relationships*). Pomoću opcije *Edit relationships* podešeni su odnosi glavnih (*engl. major*) i sporednih (*engl. minor*) rasjeda kako bi se upotpunili kontakti rasjednih ploha (**Slika 4-11.**).

Fault pair	Visible	Input	Major fault	Minor fault	Truncation	Verified
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA3	RA1	Below	<input type="checkbox"/>
2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA10	RA1	Below	<input type="checkbox"/>
3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA2	RA1	Remove tru...	<input type="checkbox"/>
4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA3	RA2	Above	<input type="checkbox"/>
5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA12	RA3	Above	<input type="checkbox"/>
6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA8	RA4	Above	<input type="checkbox"/>
7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA8	RA5	Above	<input type="checkbox"/>
8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA8	RA6	Below	<input type="checkbox"/>
9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA13	RA6	Above	<input type="checkbox"/>
10	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA6	RA6	Remove tru...	<input type="checkbox"/>
11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA8	RA7	Below	<input type="checkbox"/>
12	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA13	RA7	Above	<input type="checkbox"/>
13	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA14	RA8	Below	<input type="checkbox"/>
14	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA8	RA9	Above	<input type="checkbox"/>
15	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA12	RA9	Below	<input type="checkbox"/>
16	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA14	RA10	Below	<input type="checkbox"/>
17	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA9	RA10	Below	<input type="checkbox"/>
18	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA12	RA11	Below	<input type="checkbox"/>
19	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA10	RA11	Below	<input type="checkbox"/>
20	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA3	RA11	Remove tru...	<input type="checkbox"/>
21	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA14	RA12	Below	<input type="checkbox"/>
22	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA14	RA13	Below	<input type="checkbox"/>
23	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA5	RA13	Remove tru...	<input type="checkbox"/>
24	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA1	RA13	Remove tru...	<input type="checkbox"/>
25	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA1	RA13	Remove tru...	<input type="checkbox"/>
26	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA44	RA14	Above	<input type="checkbox"/>
27	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA16	RA14	Remove tru...	<input type="checkbox"/>
28	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA12	RA14	Remove tru...	<input type="checkbox"/>
29	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA12	RA15	Below	<input type="checkbox"/>
30	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RA14	RA16	Above	<input type="checkbox"/>

Slika 4-11. Opcija Izmjena odnosa (engl. Edit relationships) s odnosima rasjednih ploha

Za ispravljanje nepravilnih i vrlo zakriviljenih ploha rasjeda poslužio je alat *Izradba/preinaka poligona* (engl. *Make/edit polygons*) kojim je omogućeno pomicanje poligona u prostoru. Na taj način su izravnane i izglađene (engl. *smoothing*) određene rasjedne plohe. Primjer rasjednih ploha (označenih crvenim krugovima) koje je bilo potrebno korigirati, vidi se na **Slici 4-12**.



Slika 4-12. Nekorigirane plohe rasjeda

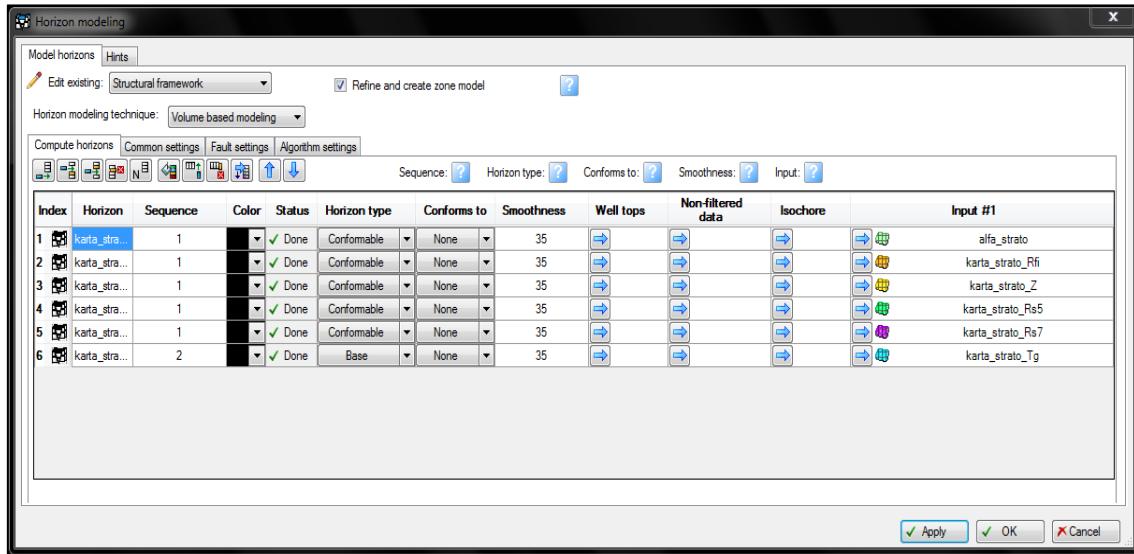
Nakon što program Petrel™ 2013 napravi model po svim strukturnim horizontima, opet se pojavljuju određene pogreške koje je potrebno ispraviti kako bi se dobio ispravan model. Te pogreške odnose se na: iskrivljene plohe rasjeda, neravne i nepotpune kontakte ploha dvaju rasjeda te na netočno određene odnose dvaju rasjeda. Primjeri pogrešaka vidljivi su na *Slici 4-13*. Pogreške se ispravljaju ili prehodno opisanim i navedenim postupcima ili na način da se alatom *Udaljenost ekstrapolacije* (engl. *Extrapolation distance*) poveća vrijednost broja koji označava ekstrapolaciju određenog rasjeda u prostoru. Tako će se kontakt ploha dvaju rasjeda upotpuniti u alatu *Fault framework modelling* pod opcijom *Edit relationships*.

Structural framework							
	Faults	Horizons	Zones		Filter	All	?
Cat	Show	Object #1	Object #2	Show Error Locations	Description	Autoresolve	Recommendation
1		RA54	RA73		Potentially inconsistent truncations between faults	<input checked="" type="checkbox"/>	Use Autoresolve option or remove/change truncations manually
2		RA59	RA60		Potentially inconsistent truncations between faults	<input checked="" type="checkbox"/>	Use Autoresolve option or remove/change truncations manually
3		RA46	RA64		Potentially inconsistent truncations between faults	<input checked="" type="checkbox"/>	Use Autoresolve option or remove/change truncations manually
4		RA57	RA102		Potentially inconsistent truncations between faults	<input checked="" type="checkbox"/>	Use Autoresolve option or remove/change truncations manually
5		RA90	RA91		Potentially inconsistent truncations between faults	<input checked="" type="checkbox"/>	Use Autoresolve option or remove/change truncations manually
6		RA90	RA92		Potentially inconsistent truncations between faults	<input checked="" type="checkbox"/>	Use Autoresolve option or remove/change truncations manually
7		RA91	RA92		Potentially inconsistent truncations between faults	<input checked="" type="checkbox"/>	Use Autoresolve option or remove/change truncations manually
8		RA14			Inconsistent faults contacts		Check/correct fault inconsistencies and connected faults. If issue persist, change slightly Grid interval and/or connected ones around error location.
9		RA13			Inconsistent faults contacts		Check/correct fault inconsistencies and connected faults. If issue persist, change slightly Grid interval and/or connected ones around error location.
10		RA118			Inconsistent faults contacts		Check/correct fault inconsistencies and connected faults. If issue persist, change slightly Grid interval and/or connected ones around error location.
11		RA47			Inconsistent faults contacts		Check/correct fault inconsistencies and connected faults. If issue persist, change slightly Grid interval and/or connected ones around error location.
12		RA108			Potentially duplicated faults		Check identical or similar inputs for the same fault around the error location
13		RA14			Potentially duplicated faults		Check identical or similar inputs for the same fault around the error location
14		RA13			Problem detected on the tip loop of fault(s)		Check/correct fault(s) and connected ones around error location. If issue persists, change slightly Grid interval and/or connected ones around error location.
15		RA14			Problem detected on the tip loop of fault(s)		Check/correct fault(s) and connected ones around error location. If issue persists, change slightly Grid interval and/or connected ones around error location.
16		RA108			Problem detected on the tip loop of fault(s)		Check/correct fault(s) and connected ones around error location. If issue persists, change slightly Grid interval and/or connected ones around error location.
17		RA118			Problem detected on the tip loop of fault(s)		Check/correct fault(s) and connected ones around error location. If issue persists, change slightly Grid interval and/or connected ones around error location.
18		RA47			Problem detected on the tip loop of fault(s)		Check/correct fault(s) and connected ones around error location. If issue persists, change slightly Grid interval and/or connected ones around error location.
19		RA118			Kinked or sharp truncations		Check/correct fault(s) and connected ones. If issue persists, change slightly Grid interval and/or connected ones around error location.
20		RA13			Kinked or sharp truncations		Check/correct fault(s) and connected ones. If issue persists, change slightly Grid interval and/or connected ones around error location.
21		RA14			Kinked or sharp truncations		Check/correct fault(s) and connected ones. If issue persists, change slightly Grid interval and/or connected ones around error location.
22		RA77			Kinked or sharp truncations		Check/correct fault(s) and connected ones. If issue persists, change slightly Grid interval and/or connected ones around error location.
23		RA14			Unsplit faults		Check the contacts between involved fault(s)
24		RA47			Unsplit faults		Check the contacts between involved fault(s)

4-13. Primjer javljenih pogrešaka

Stvaranje pot površinskog modela područja posljednja je faza rada u Petrel™ – u 2013. Alat *Izradba modela horizonata* (engl. *Horizon modelling*) poslužio je za izradbu pot površinskog modela po horizontima. Ulagni podaci koji su se koristili za kreiranje geološkog modela su površine izobata i stratoizohipsi po ploham svih šest EK-repera i markera te 107 interpretiranih rasjeda. Pritom je važno istaknuti da se koristila i opcija *Izglađivanje i kreiranje trodimenzionalog modela* (engl. *Refine and create 3D model*) koja

je još kvalitetnije definirala odnose ploha rasjeda i dobivenih modeliranih horizonata. Površina po EK-reperu Tg postavljena je kao baza modela jer predstavlja podinu neogensko-kvartarnih sedimenata, dok su sve ostale površine po EK-markerima $Rs7$, $Rs5$, Z , $R\varphi$ i α' prilagođene (*engl. conformable*) bazi (podlozi) modela. Izgled alata *Izradba modela horizonata* (*engl. Horizon modeling*) s ulaznim podacima prikazan je na **Slici 4-14.**



Slika 4-14. Izgled alata *Izradba modela horizonata* (*engl. Horizon modeling*) s ulaznim podacima

Model je gotov ukoliko računalni program PetrelTM 2013 nakon njegova kreiranja više ne javlja pogreške.

5. REZULTATI

U ovom poglavlju biti će opisani strukture i rasjedi dobivenog potpovršinskog modela po svim strukturnim horizontima te statistička obrada podataka. Potrebno je naglasiti kako u okviru ovog diplomskog rada nije obavljena detaljna sinteza strukturno – tektonskih odnosa koja zahtjeva kompleksna dubinska geološka, paleostrukturalna i paleotektonska istraživanja.

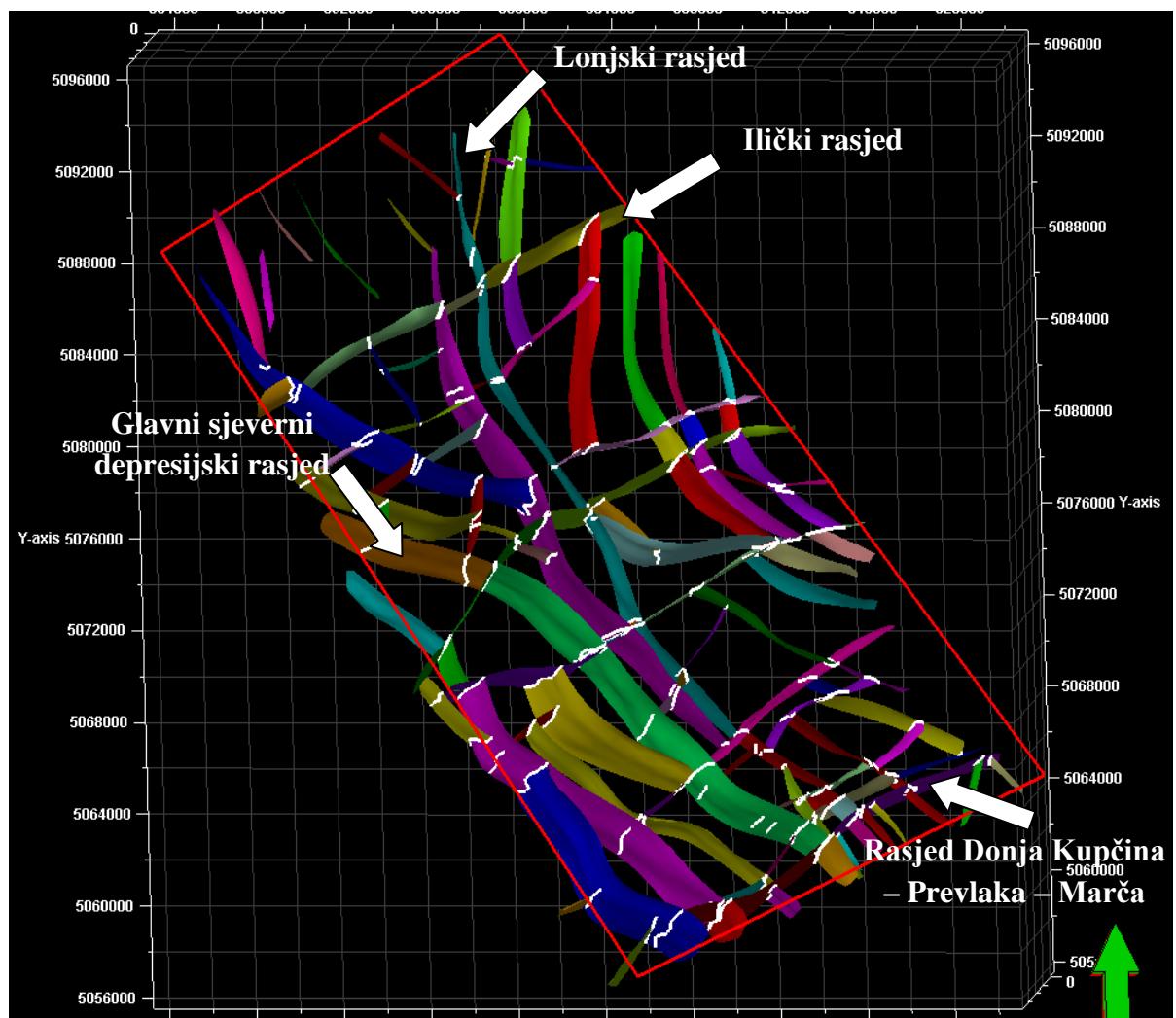
5.1. Strukturni okvir

Za dobivanje potpovršinskog modela s izraženim strukturama i rasjedima po plohami svih šest strukturnih repera i markera bilo je potrebno prvo postaviti strukturni okvir. Strukturni okvir je postavljen i određen prema definiranoj geometriji – površina izobata po plohi EK-repera Tg . Važno je napomenuti kako je program PetrelTM 2013 napravio ekstrapolaciju područja i izvan samog područja modeliranja zbog načina modeliranja (*Volume based modelling*).

Prema ručno nacrtanim strukturnim kartama (VELIĆ, 1980) definirano je i napravljeno 107 rasjednih ploha pomoću alata *Fault framework modeling*. Može se uočiti kako je svaki rasjed prikazan s različitom bojom što olakšava njihovo raspoznavanje. Pojava rasjeda povijenih ploha na krajnjem istočnom dijelu istraživanog područja ukazuje na rubni dio Savske depresije (VELIĆ, 1980). Treba napomenuti kako se svi rasjedi ne protežu kroz sve strukturne nivoe pa tako neki rasjedi ne dosežu do EK-markera $R\varphi$ (VELIĆ, 1980). Iz istoga navedenog razloga mogu se primjetiti sve jednostavniji odnosi po strukturnom nivou α' . Kako je već ranije spomenuto, područjem modeliranja dominiraju tri rasjedna sustava različita po pravcu pružanja:

- sjeverozapad – jugoistok,
- jugozapad – sjeveroistok,
- sjever – jug.

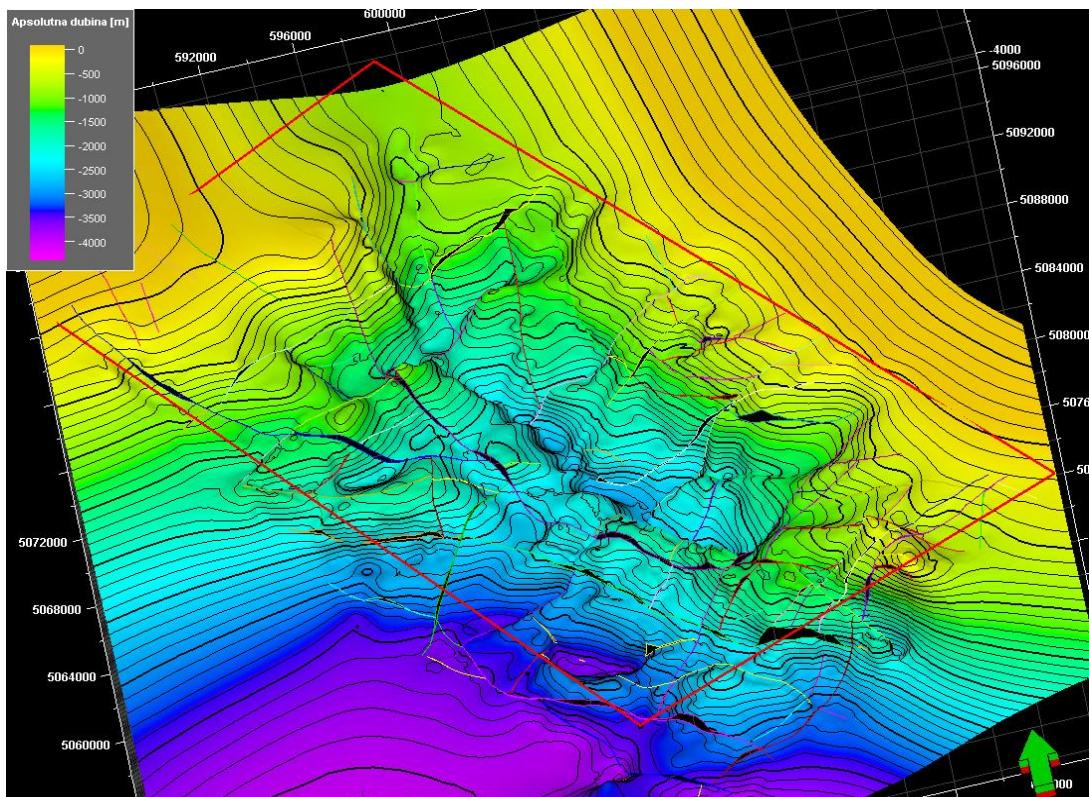
Također, ovim područjem brazde i četiri najvažnija rasjeda, a to su Lonjski, Glavni sjeverni depresijski, Ilički rasjed te rasjed Donja Kupčina – Prevlaka – Marča. Rasjedi dinarskog pružanja (SZ – JI) su Lonjski rasjed i Glavni sjeverni depresijski rasjed, dok su poprečni rasjedi: Ilički rasjed i rasjed Donja Kupčina – Prevlaka – Marča. Lonjski rasjed proteže se cijelim područjem modeliranja. U njegovom gornjem dijelu presjeca ga Ilički rasjed, orientacije JZ – SI. Glavni sjeverni depresijski rasjed s pravcem pružanja SZ – JI također brazdi cijelim područjem. U donjem dijelu modeliranog područja dominira poprečni rasjed Donja Kupčina – Prevlaka – Marča. Na *Slici 5-1.* uočavaju se sva tri rasjedna sustava te četiri najvažnija rasjeda modeliranog područja.



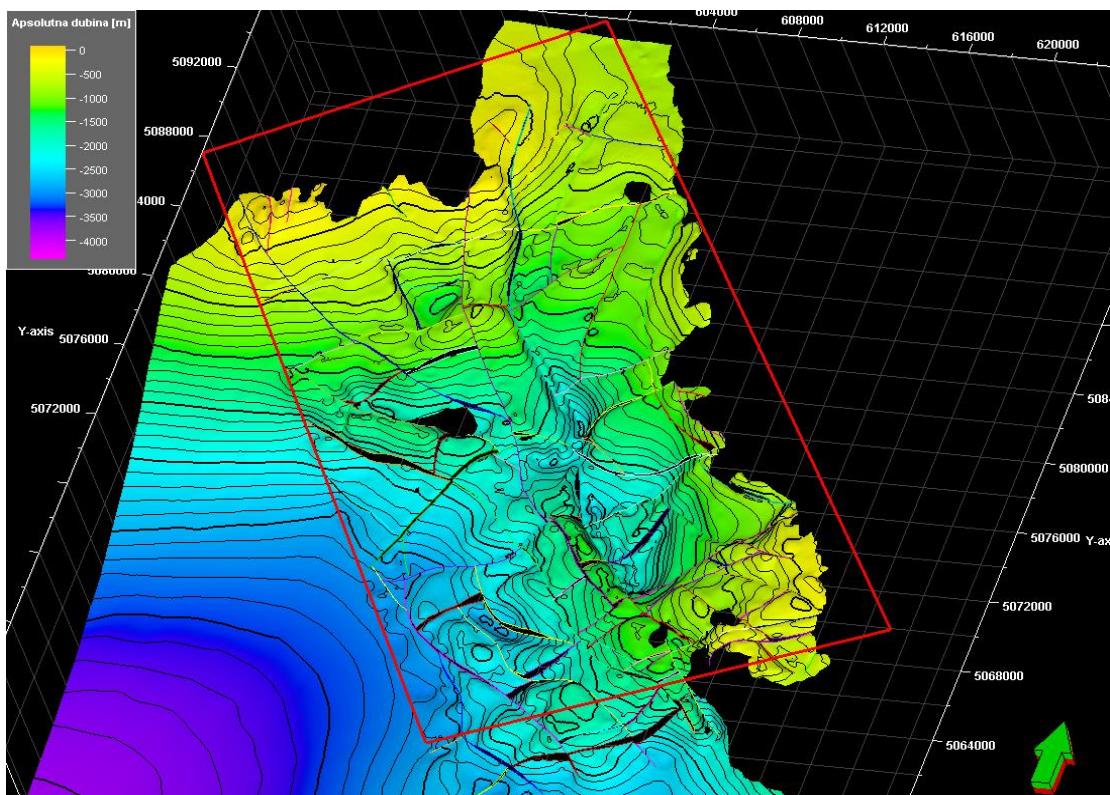
Slika 5-1. Strukturni okvir s četiri najvažnija rasjeda

5.2. Potpovršinski model (3D karte)

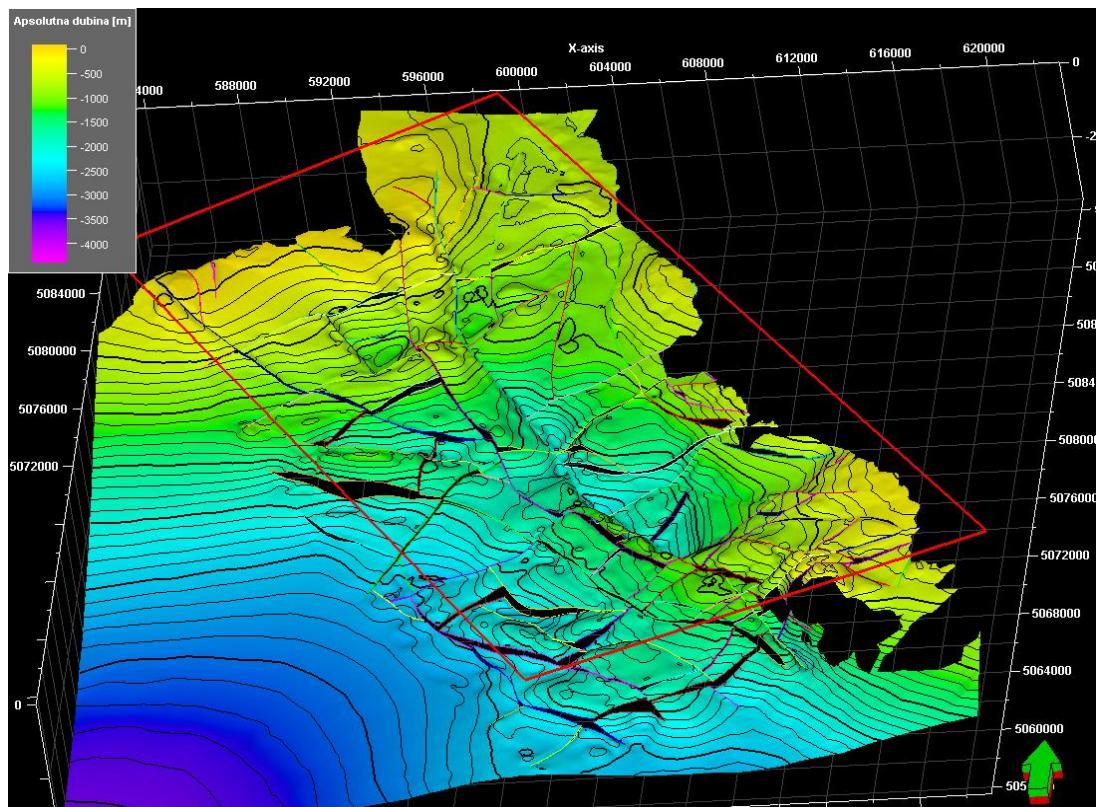
Postupkom modeliranja podzemne građe područja pomoću alata *Horizon modeling*, napravljen je potpovršinski model po svim strukturnim nivoima (Tg , $Rs7$, $Rs5$, Z' , R_ϕ i α'). Na svakom od horizonata modela mogu se primjetiti strukture (antiklinala, sinklinala i dr.), rasjedni sustavi te granica rasprostiranja svakog EK-repera i markera, osim po plohi EK-repera Tg koja predstavlja paleorelief pa se ne može govoriti o klasičnim tipovima struktura. Raspon boja, vidljiv u lijevom gornjem kutu, označava vrijednosti dubina dobivenog horizonta potpovršinskog modela. Šest horizonata potpovršinskog modela po određenom EK-reperu i markeru mogu se vidjeti na **Slikama 5-2., 5-3., 5-4., 5-5., 5-6. i 5-7.** te u **Prilozima I - VI.**



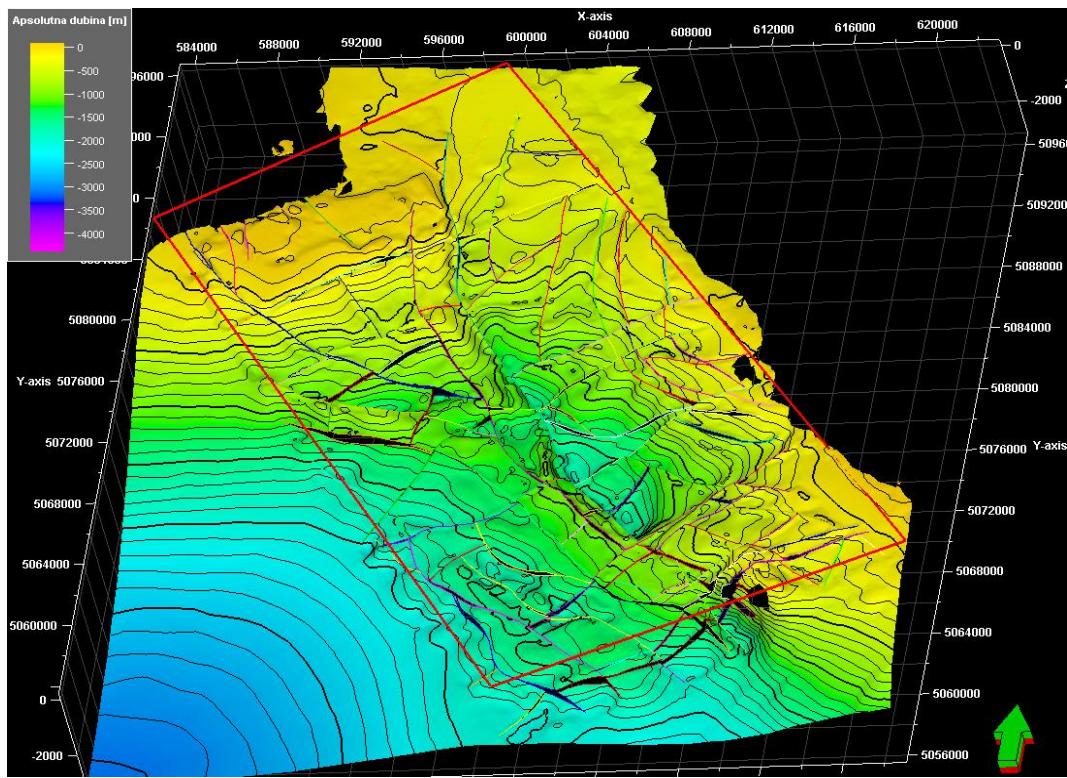
Slika 5-2. Potpovršinski model (karta u trodimenzionalom prikazu) po plohi EK-repera Tg



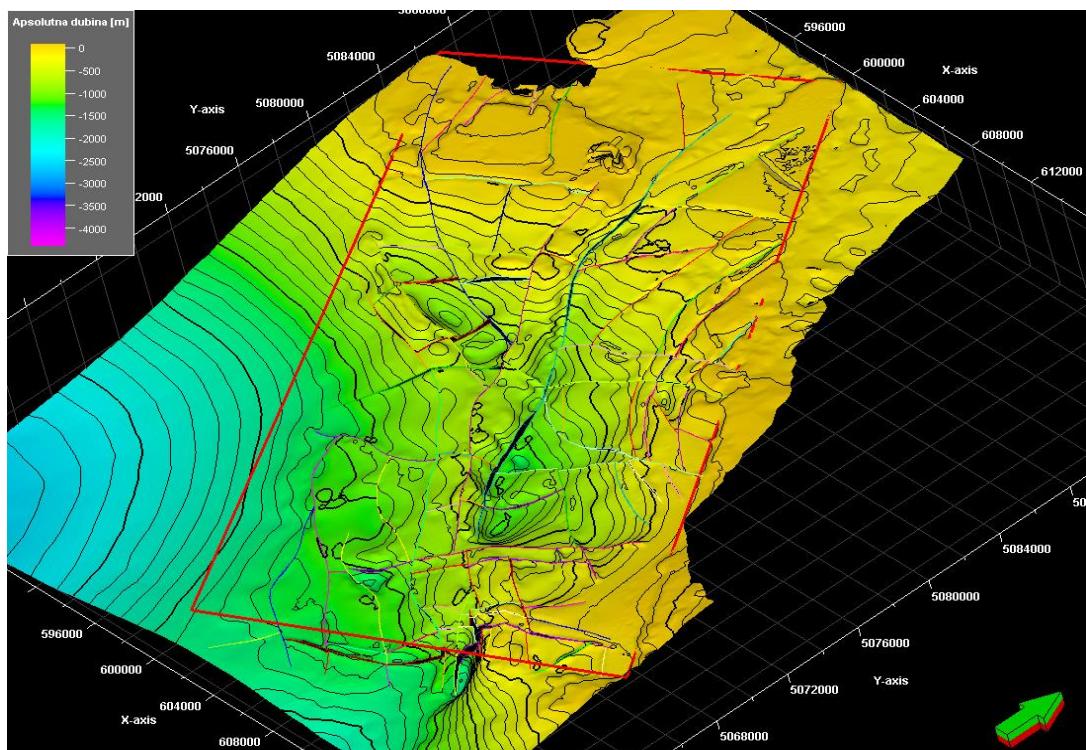
Slika 5-3. Potpovršinski model (karta u trodimenzionalom prikazu) po plohi EK-markera Rs7



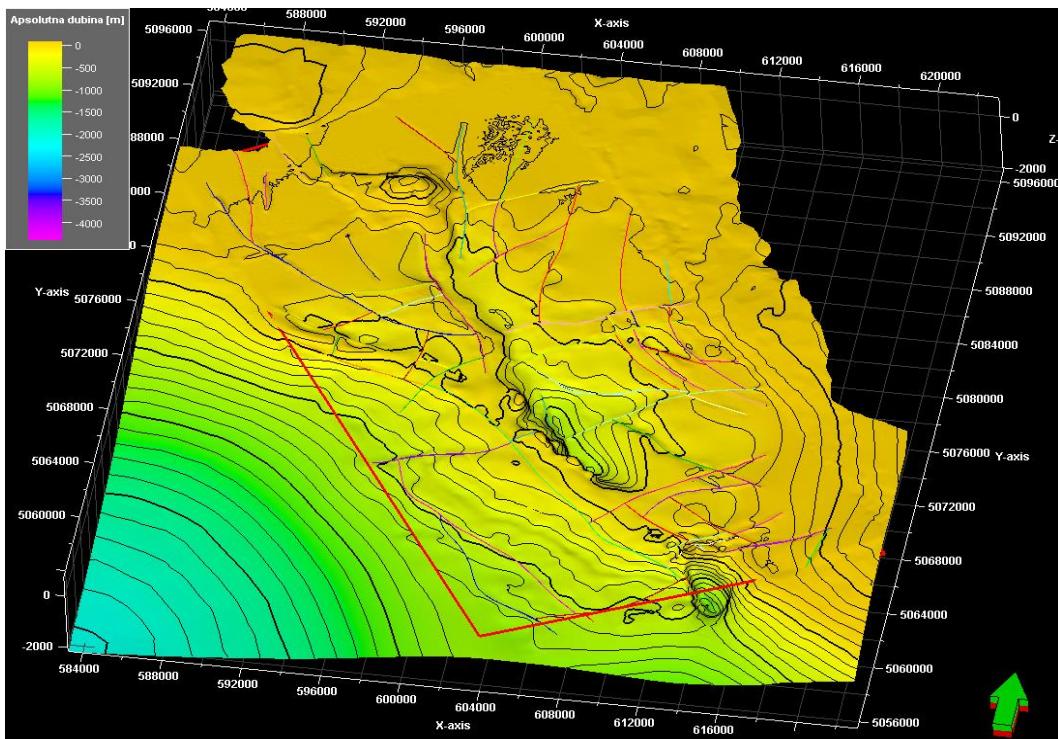
Slika 5-4. Potpovršinski model (karta u trodimenzionalom prikazu) po plohi EK-markera Rs5



Slika 5-5. Potpovršinski model (karta u trodimenzionalom prikazu) po plohi EK-markera Z'

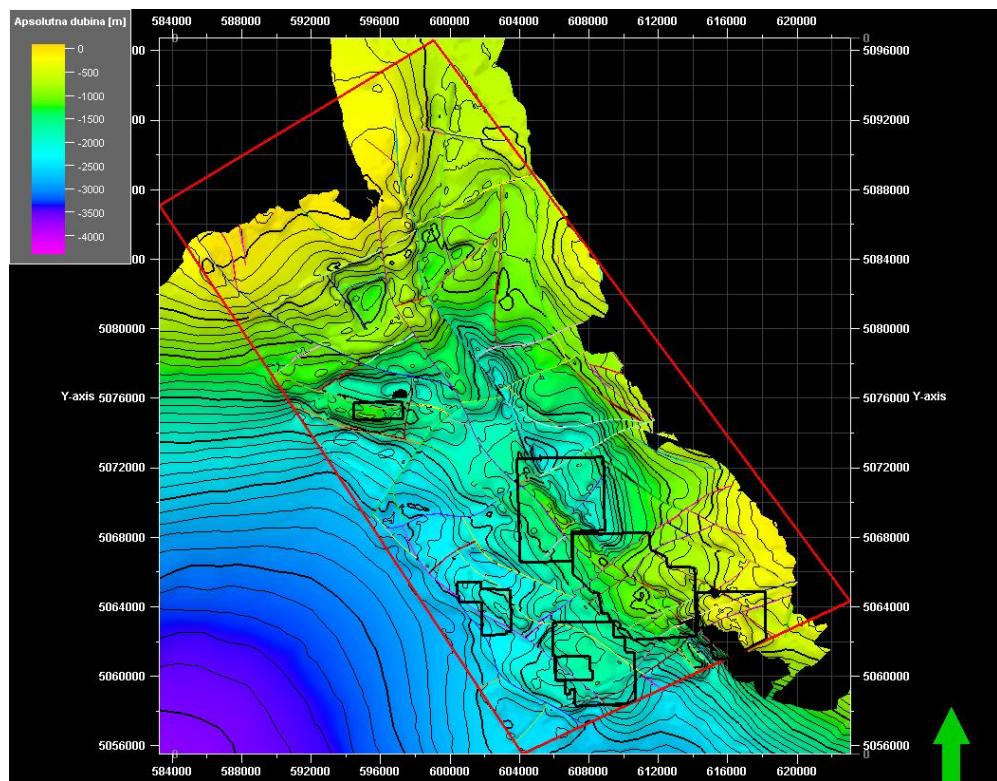


Slika 5-6. Potpovršinski model (karta u trodimenzionalom prikazu) po plohi EK-markera R φ



Slika 5-7. Pot površinski model (karta u trodimenzionalom prikazu) po plohi EK-markera α'

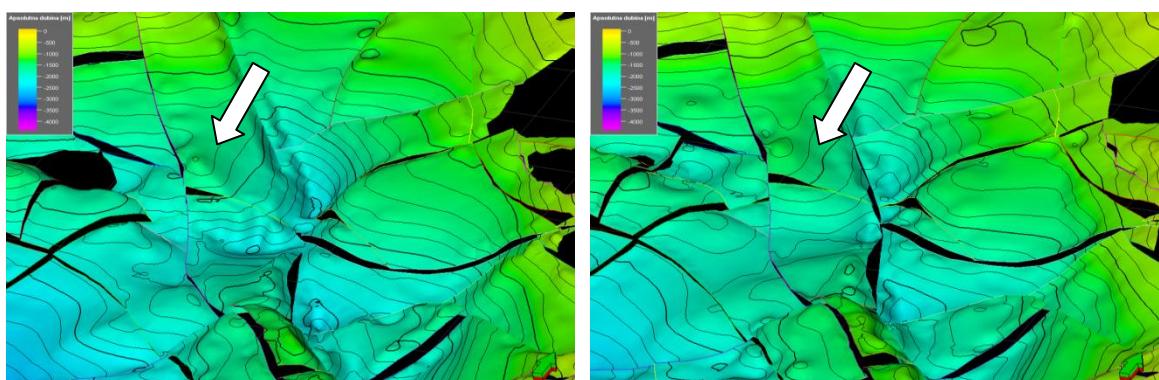
Na području modeliranja pozicionirano je šest naftoplinskih polja, a položaj njihovih struktura prikazan je na *Slici 5-8.*



Slika 5-8. Položaj struktura naftoplinskih polja po plohi EK-markera Rs5

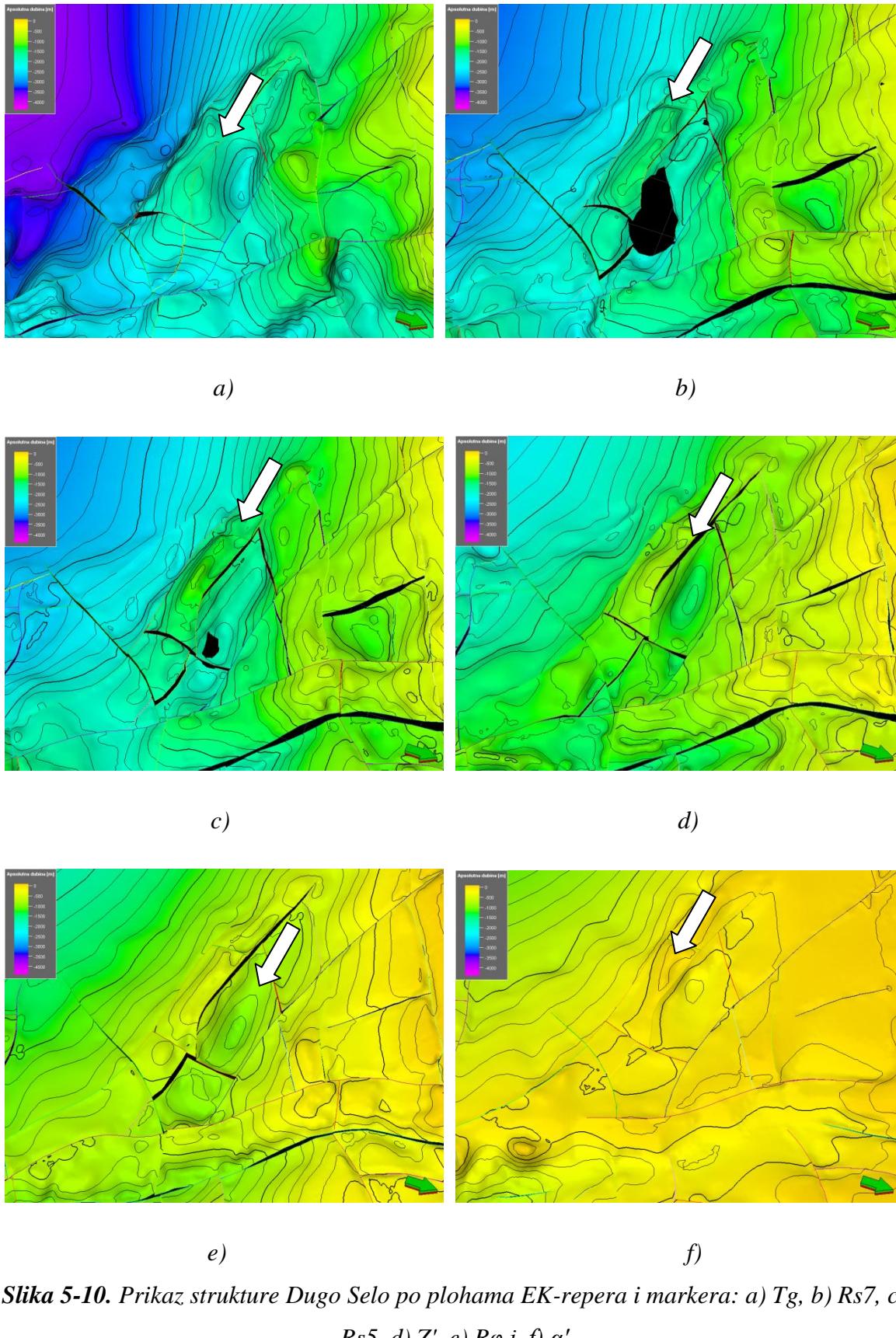
Prije opisa struktura od sjeverozapada prema jugoistoku, potrebno je naglasiti kako se kod opisivanja struktura po plohi EK-repera Tg ne može govoriti o klasičnim tipovima struktura kao što su antiklinala, sinklinala i dr. jer Tg (*Temeljno gorje*) predstavlja paleorelief (**Prilog I**). Drugim riječima, to je ploha tektonsko – erozijske diskordancije između stijena podloge (*Temeljno gorje*) i neogensko – kvartarnih naslaga (**Prilozi VII - IX**).

U gornjem dijelu područja modeliranja nalazi se struktura Brckovljani – Štakorovac. Ovu strukturu odlikuje promjenjivost njena karaktera. Naime, po strukturnom nivou Tg iskazuje se kao strukturna terasa (**Prilog I**), dok se po plohi EK-markera $Rs7$ preoblikuje u strukturni nos (**Prilog II**). Po plohama svih ostalih EK-markera očituje se kao antiklinala (**Prilozi III - VI**). Razvoj ove strukture prate i rasjedi pretežito orijentacije SZ – JI. Na *Slici 5-9.* prikazana je antiklinala Brckovljani – Štakorovec po plohi EK-markera $Rs7$ i EK-markera $Rs5$.



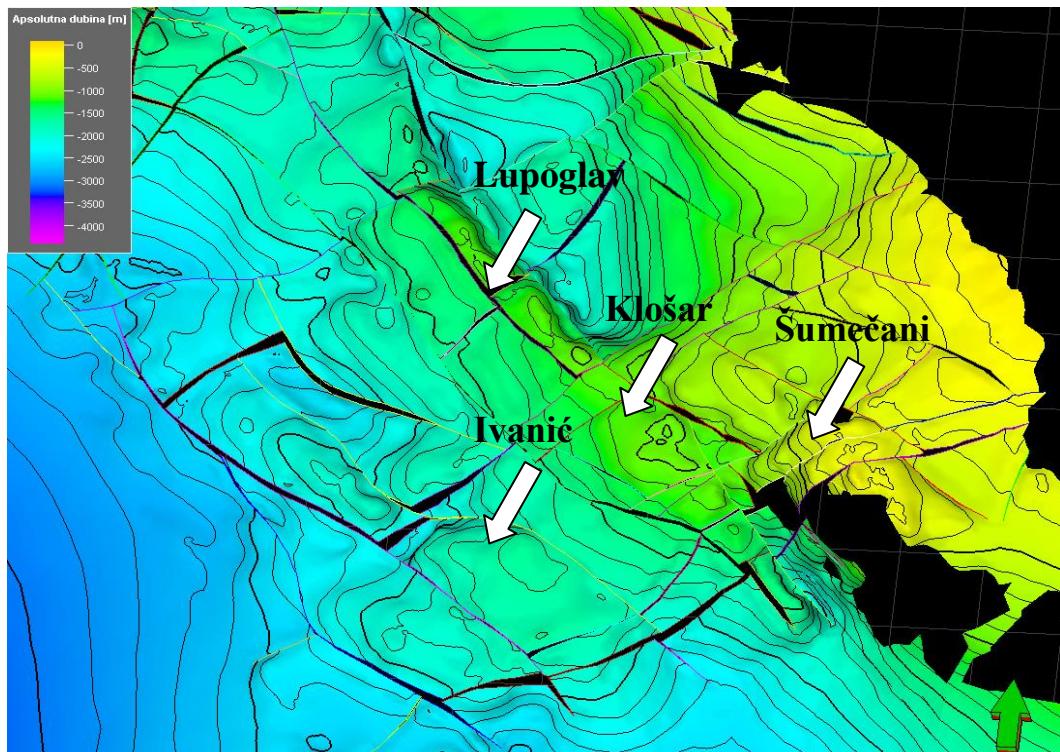
Slika 5-9. Brckovljani – Štakorovec - strukturni nos po plohi EK- markera Rs7 i antiklinala Brckovljani – Štakorovac po plohi EK-markera Rs5

Struktura Dugo Selo nalazi se jugozapadno od strukture Brckovljani – Štakorovac. Prema strukturnom horizontu $Rs7$, može se zaključiti da struktura Dugo Selo predstavlja reversno rasjednutu brahiantiklinalu pravca pružanja istok – zapad (**Prilog II**). Struktura Dugo Selo uočava se na svim strukturnim horizontima. Jasno se iskazuje kao izdužena antiklinala s pravcem pružanja I – Z koja je ispresjecana poprečnim rasjedima te rasjedima pravca pružanja SZ – JI. Izražajnost brahiantiklinale se smanjuje u pličim strukturnim markerima $R\phi$ i α' kada dolazi do „zaravnjenja“ i preoblikovanja struktura (u **Prilogu VII** na profilu A – A' između reversnog i normalnog rasjeda na SZ dijelu profila). Antiklinala se mijenja u monoklinu po plohi EK-markera α' (**Prilozi I – VI**). Strukturni razvoj strukture Dugo Selo detaljno je prikazan na *Slikama 5-10. a), b), c), d), e) i f)*.



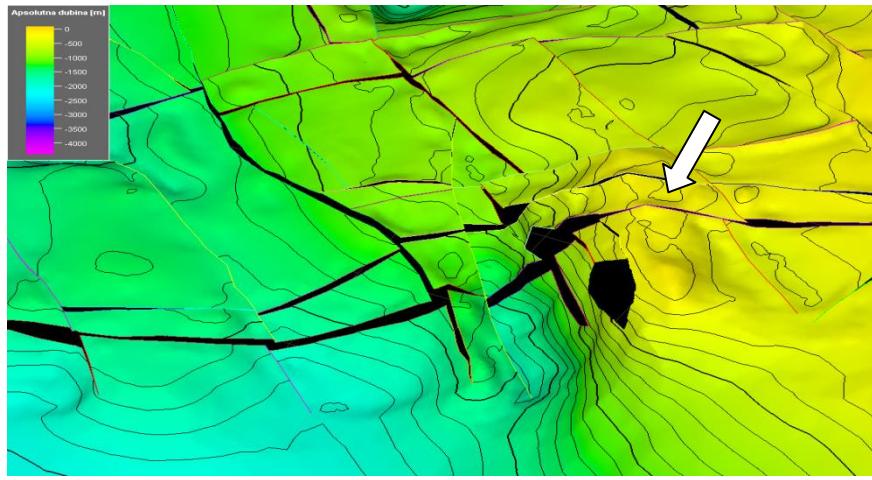
Slika 5-10. Prikaz strukture Dugo Selo po plohamama EK-repera i markera: a) Tg, b) Rs7, c) Rs5, d) Z', e) R φ i f) a'

Struktura Lupoglav najjasnije se očituje kao antiklinala po plohi EK-markera *Rs7* (**Prilog II**). Ovom antiklinalom dominiraju poprečni rasjedi te rasjedi orijentacije SZ-JI (**Prilog IX**). Na strukturno izdignuće Lupoglav, u nastavku se proteže struktura jednog od najstarijih hrvatskih naftoplinskih polja – Kloštar. Naime, svi strukturni nivoi potvrđuju da se radi o još jednoj antiklinali koja je ispresjecana rasjedima jednakih karaktera kao u prethodno dvjema opisanim strukturama (**Prilozi I - VI i VIII**). *Slika 5-12.* Prikazuje antiklinale naftoplinskih polja Lupoglav, Kloštar, Ivanić i Šumečani.



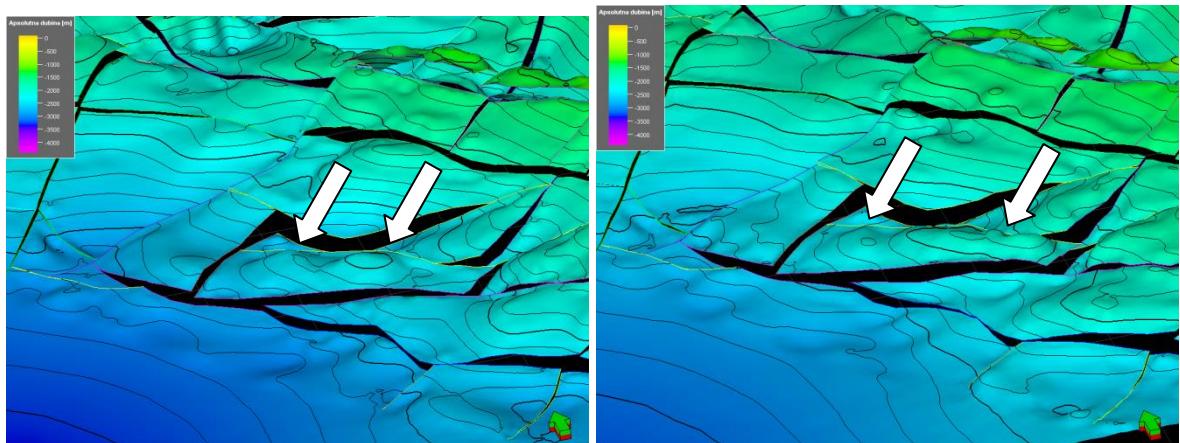
Slika 5-11. Lupoglav, Kloštar, Ivanić i Šumečani po plohi EK-markera Rs7

U produžetku, ovim područjem istraživanja, većim dijelom je zahvaćeno i naftoplinsko polje Šumečani. Također, struktura Šumečana određen je kao antiklinala. Jasno izražena antiklinala Šumečani po plohi EK-markera Z' vidi se na *Slici 5-13.* te u *Prilogu IV i VII* na JI dijelu profila A - A'.



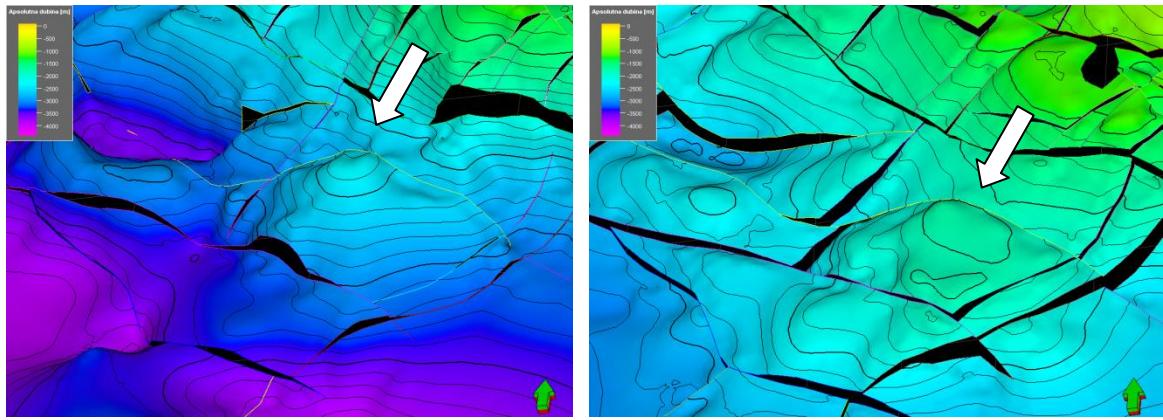
Slika 5-12. Antiklinala Šumečani po plohi EK-markera Z'

Malo zapadnije od polja Kloštar, nalazi se naftoplinsko polje Ježovo. Strukturu Ježovo predstavljaju dvije blago izdignite antiklinale sa strukturnim sedlom između njih. Struktura se najbolje očituje po plohama EK-markera *Rs7* i EK-markera *Rs5* (*Slika 5-14.* te na *Prilozima II, III i IX*).



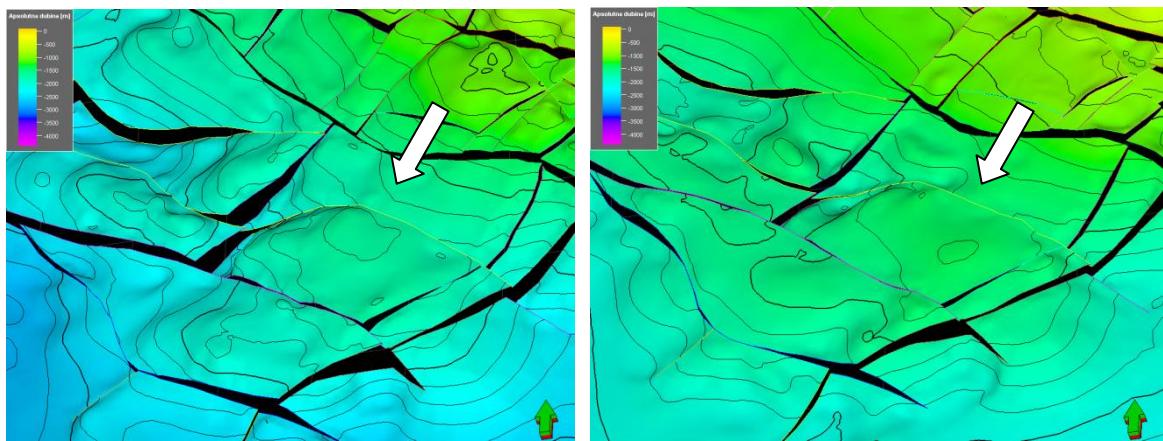
Slika 5-13. Struktura Ježovo po plohama EK-markera Rs7 i EK-markera Rs5

Struktura Ivanić nalazi se jugozapadno od polja Kloštar. Naime, po plohama prvih četiriju EK-repera i markera može se primjetiti kako se zapravo radi o dvjema antiklinalama između kojih se nalazi strukturalna terasa. Strukture su ispresjecane s poprečnim rasjedima te s rasjedima dinarskog pružanja (*Prilog VII*). Najbolje se uočavaju po strukturnim nivoima *Rs7*, *Rs5* i *Z'*. Strukture postaju sve manje izraženi i uočljivi na mlađim horizontima. Tako struktura Ivanić poprima oblik strukturnog nosa po plohi EK-markera *Rφ*, a na strukturnom nivou α' se iskazuje kao monoklina (*Prilozi I – VI*).



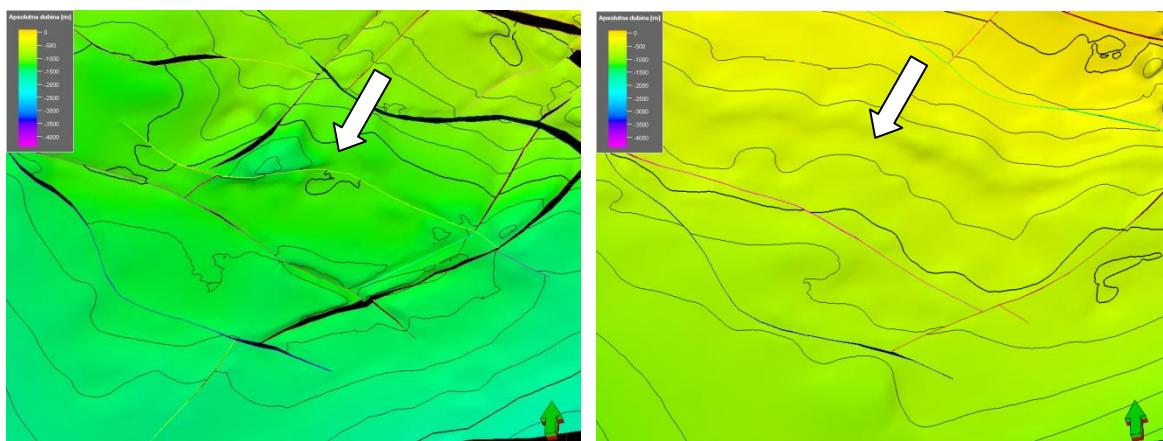
a)

b)



c)

d)

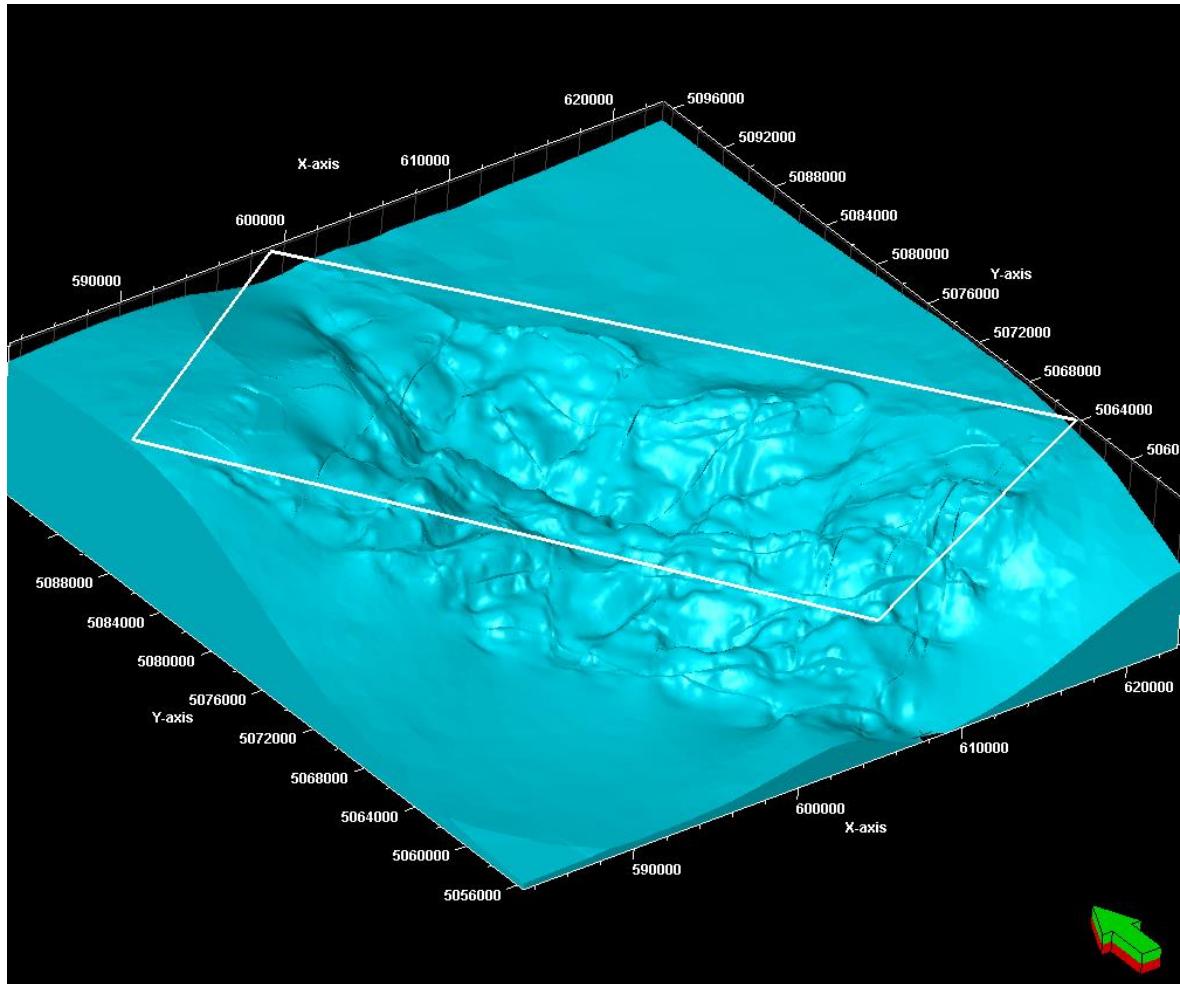


e)

f)

Slika 5-14. Razvoj strukture Ivanić po ploham EK-repera i markera: a) Tg, b) Rs7, c) Rs5, d) Z', e) Rφ i f) α'

Napravljeni su i trodimenzionalne zone prostora između EK-repera i markera. Primjer jedne takve zone, koja predstavlja prekenozojski paleoreljef (podlogu neogensko-kwartarnih sedimenata) područja modeliranja prikazan je po plohi EK-repera Tg , može se vidjeti na *Slici 5-15.*



Slika 5-15. Trodimenzionalna zona prekenozojskog paleoreljefa prikazana po plohi EK-repera Tg

5.3. Izračun statističkog odstupanja na mreži od 590 točaka između modeliranih i polaznih karata

Za izračun statističke vrijednosti odstupanja modela, napravljenog po šest EK-repera i markera, od ručno izrađenih strukturnih karata (VELIĆ, 1980) korištene su usporedbe vrijednosti apsolutne dubine s pojedinih karata. To su vrijednosti apsolutnih dubina 590 prostorno raspoređenih točaka koje su očitane s karte modela i odgovarajuće strukturne karte. Također, broj odabranih točaka je jednak po svih šest strukturnih karata. Za odabranu prostornu točku zadanih koordinata (x i y) očitava se i vrijednost z (treća koordinatna os) koja predstavlja vrijednost dubine na modelu i na ručno nacrtanoj karti. Na strukturnim kartama vrijednosti dubina određene su izobatama ili startoizohipsama, tako da su sve prostorno određene točke namjerno postavljene na izobate ili stratoizohipse kako bi se točno i precizno očitale pripadajuće dubine. Za svaku pojedinu točku se računa postotak odstupanja modela od polazne strukturne karte. Vrijednosti x i y koordinata jednake su za svaku zasebnu točku pa se računa samo odstupanje po koordinatnoj osi z (dubina), i to pomoću formule:

$$\left| \frac{Z(A)_i - Z(B)_i}{Z(A)_i} \right| = X \cdot 100 \quad (5-1.)$$

gdje su:

Z (A) - vrijednost očitane dubine pojedine točke s polazne strukturne karte

Z (B) - vrijednost očitane dubine pojedine točke na dobivenom modelu

X - vrijednost odstupanja koja pomnožena sa 100 daje postotak odstupanja.

Potom se pomoću jednadže aritmetičke sredine postotnog odstupanja u svim zbrojenim točkama (,, i '') (5-2.) izračunava srednja vrijednost (aritmetička sredina) odstupanja svih

točaka kako bi se dobilo prosječno odstupanje modela od svake pojedinačne strukturne karte.

$$\frac{\left(\sum_{i=1}^{590} \left| \frac{Z(A)_i - Z(B)_i}{Z(A)_i} \right| \right) \cdot 100}{Z(A)}$$

(5-2.)

Na kraju se od prosječnih odstupanja ponovno računa aritmetička vrijednost te se dobiva srednja vrijednost ukupnog odstupanja izraženog u postotcima. Budući da dubine imaju negativnu vrijednost, cijela formula postavljena je u absolutnu vrijednost. Srednje vrijednosti postotka odstupanja modela od ručno izrađenih strukturalnih karata prikazani su u **Tablici 5-1**.

Tablica 5-1. Srednje vrijednosti postotka odstupanja modela od ručno izrađenih strukturalnih karata

Ploha EK – markera/EK –repera	Srednja vrijednost odstupanja (%)
α'	1,3583 %
$R\varphi$	0,5366 %
Z'	0,9668 %
$Rs5$	0,3129 %
$Rs7$	0,4240 %
Tg	0,3086 %

Izračunata prosječna vrijednost odstupanja modela od strukturalnih karata određena je na četiri decimale te iznosi 0,6512 %. Valja naglasiti kako se veća vrijednost odstupanja odnosi na one točke koje se nalaze u blizini rasjeda ili kontakata rasjeda gdje je model zbog utjecaja rasjeda izdeformiran i vidljivo pomaknut. Točke koje se nalaze na zaravnjenim dijelovima modela, te one koje se ne nalaze u blizini rasjeda ili blizu kontakata između rasjeda pokazuju znatno manje vrijednosti odstupanja modela od strukturalnih karata. Uzrok tome su preoblikovani krajnji dijelovi rasjeda prilikom pravljenja strukturalnog okvira alatom *Fault framework modelling* nastalih zbog povećanja opcije

ekstrapolacije te ručno pomaknutih kontakata između rasjeda, opisanih u prethodnom poglavlju, prijekopotrebnih da bi računalni program PetrelTM 2013 izradio model.

6. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je prostorna percepcija modeliranog područja te trodimenzionalni prikaz strukturno – tektonskih odnosa podzemne građe u svrhu planiranja i usmjeravanja budućih regionalnih istraživanja. U okviru zadane teme diplomskog rada provedena je digitalizacija te modeliranje dubinskih strukturno–tektonskih odnosa okoline Ivanić-Grada u Savskoj depresiji (*Slika 1-1.*). Šest potpovršinskih strukturalnih karata uspješno je skenirano i prevedeno u digitalni oblik te su iste poslužile kao ulazni podaci za daljnji rad u računalnom programu Petrel™ 2013. Prije kreiranja potpovršinskog modela po ploha šest EK-repera i markera, bilo je potrebno postaviti digitalni strukturalni okvir, stvoriti rasjedne plohe i definirati njihove međuodnose. Kreirani potpovršinski model po strukturalnim horizontima prikazuju blokovitu tektonsku građu modeliranog područja. Područjem modeliranja dominiraju tri glavna rasjedna sustava koji razlamaju definirane strukture. Vrlo jasno se uočavaju rasjednute antiklinale koje predstavljaju hrvatska naftoplinska polja Dugo Selo, Lupoglav, Ježevi, Kloštar, Ivanić i Šumečani.

Statističko odstupanje potpovršinskog modela od ručno načinjenih strukturalnih karata s iznosom vrijednosti prosječnog odstupanja od 0,6512 % potvrđuje veliku preciznost i točnost digitalizacije ručno napravljenih karata i kreiranog geološkog modela. Potvrda uspješnosti izadbe geološkog modela je prosječno statističko odstupanje manje od 5 %. Najveće statističko odstupanje dobivenog modela od polaznih karata pretpostavljeno je u zonama rasjeda zbog načina izrade samoga modela tj., modeliranja odnosa horizonata i rasjednih ploha te samog skoka rasjeda.

Takvi geološki modeli mogu poslužiti za stvaranje složenijih modela gdje se sa poznavanjem litološkog sastava, osim strukturalnih zamki, mogu odrediti i stratigrafske zamke. Također, potpovršinski modeli pogodni su za definiranje i utvrđivanje novih potencijalnih ležišta na temelju određenih struktura odnosno za buduće razrade ležišta ugljikovodika.

7. LITERATURA

- BEBEK, B. 1958. Geologija strukture Dugo Selo i njen odnos prema strukturi Križ (Kloštar). Zagreb, Nafta, 9/7, str. 187-194.
- BOBULA, V. 1958. Istražna i eksploatacionala bušenja i proizvodnja nafte u FNRJ od 1945. do danas. – Nafta, 8, str. 249-261.
- BUCKOVIĆ, D. 2006. Historijska geologija II. E – knjiga, Sveučilišta u Zagrebu, Prirodoslovno – matematički fakultet, str. 96-101.
- CVETKOVIĆ, M., 2006. Petrološke i petrogenetske značajke višestruko metamorfoziranih amfibolita Moslavačke gore (Petrologic and petrogenetic characteristic of polyphase metamorphosed amphibolites from Mt. Moslavačka Gora). Zagreb: Rudarsko – geološki – naftni fakultet, str. 27
- CVETKOVIĆ, M. 2007. Naftnogeološka primjena neuronskih mreža na primjeru ležišta u polju Kloštar, Diplomski rad, RGN fakultet, Sveučilišta u Zagrebu, str. 49.
- CVETKOVIĆ, M. 2013. Naftnogeološki potencijal i litostratigrafska razradba trećega neogensko-kvartarnog megacyklusa 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, str. 175.
- ĆORIĆ S., PAVELIĆ, D., ROGL, F., MANDIĆ, O., VRBAC S., AVANIĆ, R., JERKOVIĆ, L. & VRANJKOVIĆ, A. 2009. Revised Middle Miocene datum for initial marine flooding of Northern Croatian Basin (Pannonian Basin System, Central Paratethys). Geol. Croat., 62/1, str. 31-43.
- FILJAK, R., PLETIKAPIĆ, Ž., NIKOLIĆ, D. & AKSIN, V. 1969. Geology of petroleum and natural gas from the Neogene complex and its basement in the southern part of the Pannonian basin, Yugoslavia. – Conference of the Institute of Petroleum and AAPG, Brighton, str. 113 – 130.
- HANICH, M. 1967. O rezultatima fotogeološke obrade područja između Save i Drave, na primjeru šire okolice Dugog Sela, Zagreb, Nafta, 18/1-2, str. 9-11.

ICS (2013): International Chronostratigraphic Chart. International Commission on Stratigraphy, v. 2013/01.

KRANJEC, V., 1972. Subsurface structures in the Sava and Drava river depressions and their classification. – Bulletin scientifique, sec. A, 17/11-12, str. 362-364., Zagreb.

LUČIĆ, D., SAFTIĆ, B., KRIZMANIĆ, K., PRELOGOVIĆ, E., BRITVIĆ, V., MESIĆ, I., TADEJ, J. 2001. The Neogene evolution and hydrocarbon potential of Pannonian basin, Marine and Petroleum Geology 18, str. 133-147.

MALVIĆ T., 2006. Middle Miocene depositional model in the Drava Depression described by geostatistical porosity and thickness maps (case study: Stari Gradac-Barcs Nyugat Field). Rud.-geol.-naft. zbornik, 18: str. 63–70.

MALVIĆ, T. & VELIĆ, J. 2011. Neogene Tectonics in Croatian Part of the Pannonian Basin and Reflectance in Hydrocarbon Accumulations. – SCHATTNER, U. (ed.): New Frontiers in Tectonic Research: At the Midst of Plate Convergence, InTech, Rijeka, str. 352.

MITCHUM, R.M., Jr. 1977. Glossary of terms used in seismic stratigraphy. – U: PAYTON C.E. (ur.): Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration. AAPG Memoir 26, Tulsa str. 205-212.

PAVELIĆ, D., 2001. Tectonostratigraphic model for the North Croatian and North Bosnian sector of the Miocene Pannonian Basin System. Basin Research, 13, 3, str. 359–376.

PETRINEC, Z., 2013. Strane i kognatne enklave u krednim granitoidima Moslavačke gore: mikrostrukturni i geokemijski uvid u kompleksnu evoluciju moslavačkog kristalina (Foreign and cognate enclaves inside Cretaceous granitoids: microstructural and geochemical insight into complex evolution of the Moslavačka Gora crystalline). Doktorska disertacija. Zagreb: Prirodoslovno-matematički fakultet, str.264.

PLETIKAPIĆ, Ž. 1969. Stratigrafija, paleogeografska i naftoplilonosnost Ivanić Grad formacije na obodu Moslavačkog masiva, Disertacija, RGN fakultet, Sveučilišta u Zagrebu, str. 1-70.

- 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, str. 283–293.
- RÖGL, F. 1996. Stratigraphic correlation of the Paratethys Oligocene and Miocene. – *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.*, 41, str. 65-73.
- SAFTIĆ, B. 1998. Genetska sekvencijska analiza u pontskim naslagama zapadnog dijela Savske depresije. Disertacija, RGN fakultet, Sveučilišta u Zagrebu, str. 136.
- SAFTIĆ, B. & MALVIĆ, T., 2008. Dubinsko kartiranje. Fakultetska skripta. Rudarsko geološko naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, str. 46.
- ŠIKIĆ, K., BASCH, O. & ŠIMUNIĆ, A. 1979. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000 – tumač za list Zagreb. Inst. geol. istr. Zagreb, Sav. geol. zavod, Beograd, str. 81.
- ŠIMON, J., 1973. O nekim rezultatima regionalne korelaciјe litostratigrafskih jedinica u jugozapadnom području Panonskog bazena. *Nafta*, 24/(12), str. 623 – 630.
- ŠIMON, J. 1980. Prilog stratigrafiji u taložnom sustavu pješčanih rezervoara Sava-grupe nasлага mlađeg tercijara u Panonskom bazenu sjeverne Hrvatske. – Disertacija, RGN fakultet, Sveučilišta u Zagrebu, str. 66.
- ŠPELIĆ, M., MALVIĆ, T. , SARAF, V., ZALOVIĆ, M. (2014): Remapping of depth of e-log markers between Neogene basement and Lower/Upper Pannonian border in the Bjelovar Subdepression. *Journal of maps*, 10, str. 1-8.
- TAJDER, M. 1970. Noviji pogledi sustava i geneze eruptiva i metamorftita Papučko – psunjskog gorja (Slavonija). *Zbornik radova Prvog znan. sabora Slavonije i Baranje*, Osijek, str. 107-126.
- VELIĆ, J. 1980. Geološka građa zapadnog dijela Savske depresije. Disertacija, RGN fakultet, Sveučilišta u Zagrebu, str. 1-136.
- VELIĆ, J. 2007. Geologija ležišta nafte i plina, RGN fakultet, Sveučilišta u Zagrebu, str. 342.
- VELIĆ, J., WEISSER, M., SAFTIĆ, B., VRBANAC, B. & IVKOVIĆ, Ž. 2002. Petroleum-geological characteristics and exploration level of the three Neogene depo-

sitional megacycles in the Croatian part of the Pannonian basin. *Nafta*, 53/6–7, Zagreb, str. 239–249.

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

ZAGORAC, Ž. 1975. Interpretacija gravimetrijskog reziduala i njena primjena u području Savske i Dravske potoline. Disertacija, Rud.-geol. fakultet, Sveučilišta u Beogradu.

ZAGORAC, Ž., ĐURESAK, S. & RIMAC, I. 1968. Gravimetrija u kompleksu geofizičkih istraživanja naftne tercijara Hrvatske. Simp. o nafti, Jugosl. akad. znan. umjetn., Zagreb, str. 31-40.

Radovi iz fondova stručnih dokumenata:

DOMBOVIĆ, D. 1964. Litostratigrafske jedinice polja Dugo Selo. *Ibid.*, Zagreb

KOŠČEC, J. 1969. Litostratigrafske jedinice polja Ježovo. *Ibid.*, Zagreb

PLETIKAPIĆ, Ž. & ŠIMON, J. 1964. Litostratigrafske jedinice Ivanićke zone. *Ibid.*, Zagreb

RADIĆ, J. 1969. Litostratigrafske jedinice polja Dugo Selo. II izd. Fond struč. dokum. INA-Naftaplin, Zagreb

RUKAVINA, Ž. 1969. Strukturne karte Ivanićke zone (s tumačem). *Ibid.*, Zagreb

ŠILOBOD, M. & KOŠČEC, J. 1965. Litostratigrafske jedinice polja Žutica-šuma. Fond struč. dokum. INA-Naftaplin, Zagreb

ŠIMON, J. 1969a. Litostratigrafske jedinice polja Ježovo. *Ibid.*, Zagreb

ŠIMON, J. 1969b. Litostratigrafske jedinice polja Kloštar Ivanić, II izd. *Ibid.*, Zagreb

ŠIMON, J. 1969c. Litostratigrafske jedinice polja Šumečani, II izd. *Ibid.*, Zagreb

ŠIMON, J. 1969d. Litostratigrafske jedinice polja Ivanić-Grad, II izd. *Ibid.*, Zagreb

ŠIMON, J. 1969e. Litostratigrafske jedinice tercijarnog kompleks na području Ivanićke zone. Ibid., Zagreb

VONČINA, Z. 1964a. Litostratigrafske jedinice polja Bunjani. Ibid., Zagreb

VONČINA, Z. 1964b. Litostratigrafske jedinice polja šumečani. Ibid., Zagreb

Internetski izvori:

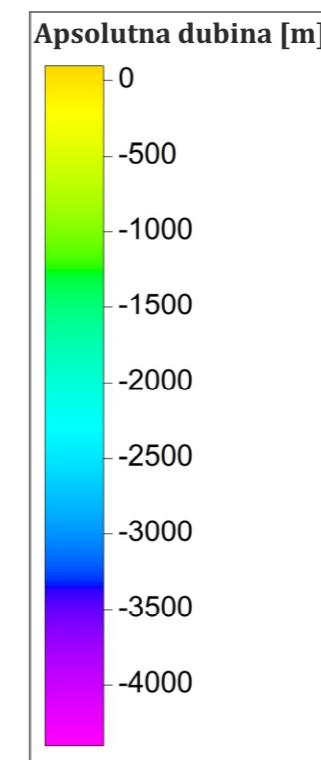
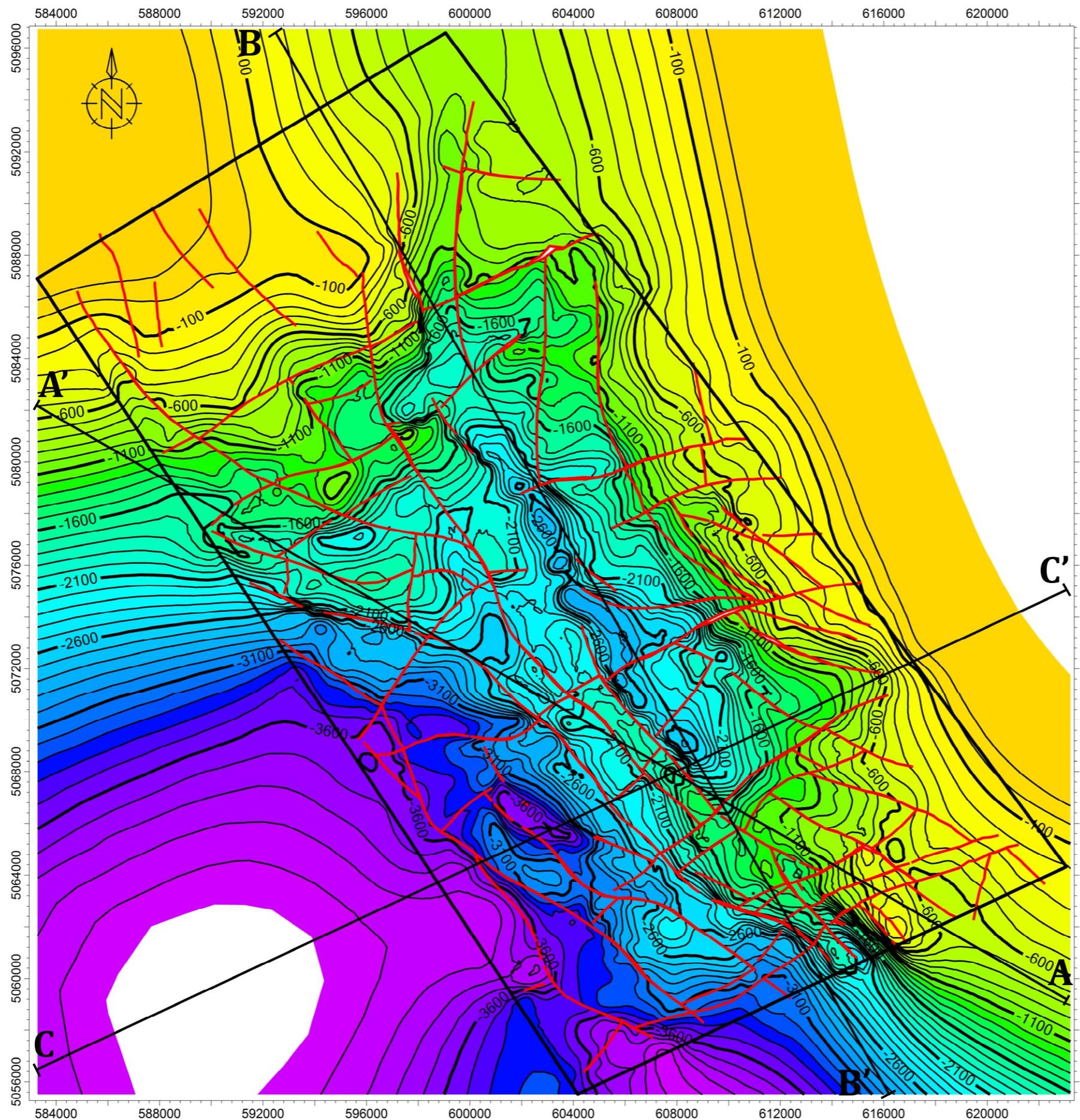
<http://www.software.slb.com/products/platform/Pages/petrel.aspx> - 13. travnja 2015. u 17 sati

<http://www.esri.com/software/arcgis> - 12. travnja 2015. u 19 sati

<http://www.rgn.hr/hr/istrazivanje/racunalni-programi/popis-racunalnih-programa> - 14. travnja 2015. u 14 sati

<https://confluence.qps.nl/pages/viewpage.action?pageId=29855173> - 17. svibnja 2015. u 16 sati

STRUKTURNA KARTA PO PLOHI EK-REPERA Tg

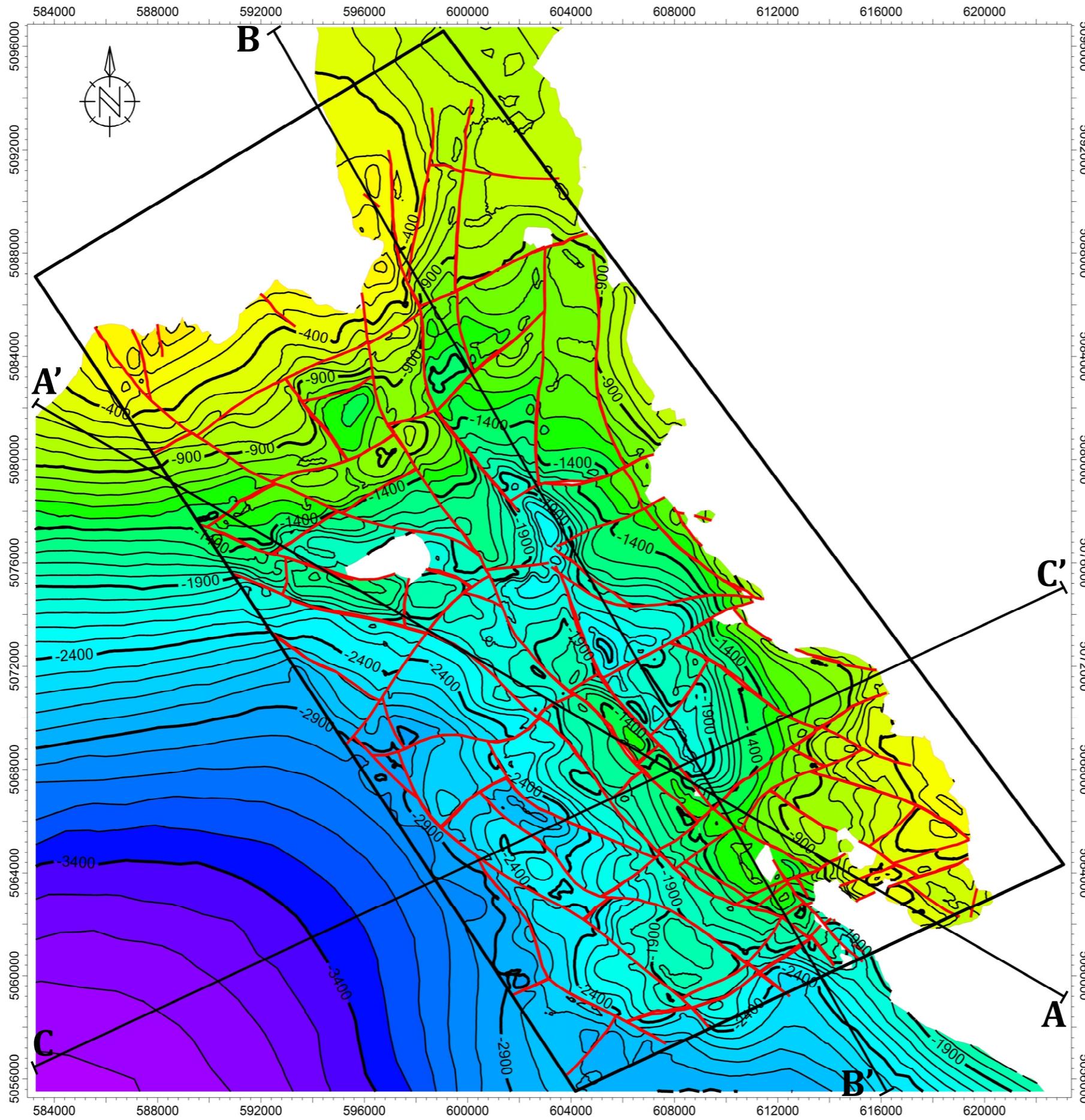


0 2000 4000 6000 8000 10000m

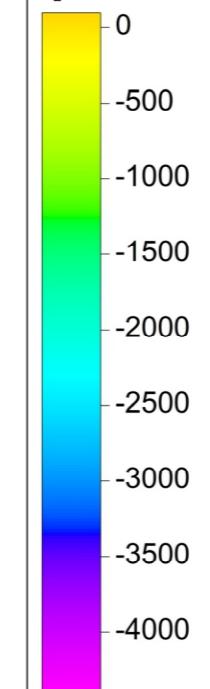
Legenda

- [diamond] područje modeliranja
- [diagonal line] trasa profila
- [square with diagonal line] izobate
- [red line] rasjed

STRUKTURNA KARTA PO PLOHI EK-MARKERA Rs7



Apsolutna dubina [m]

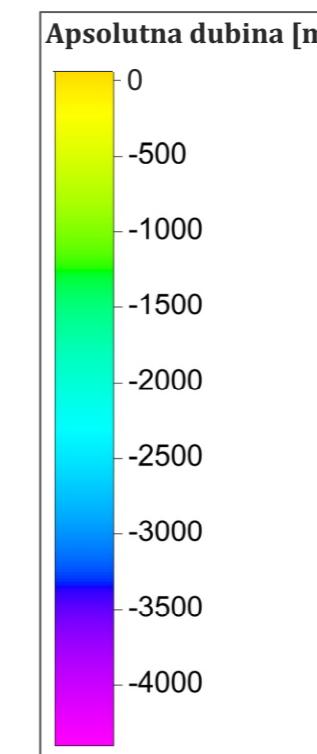
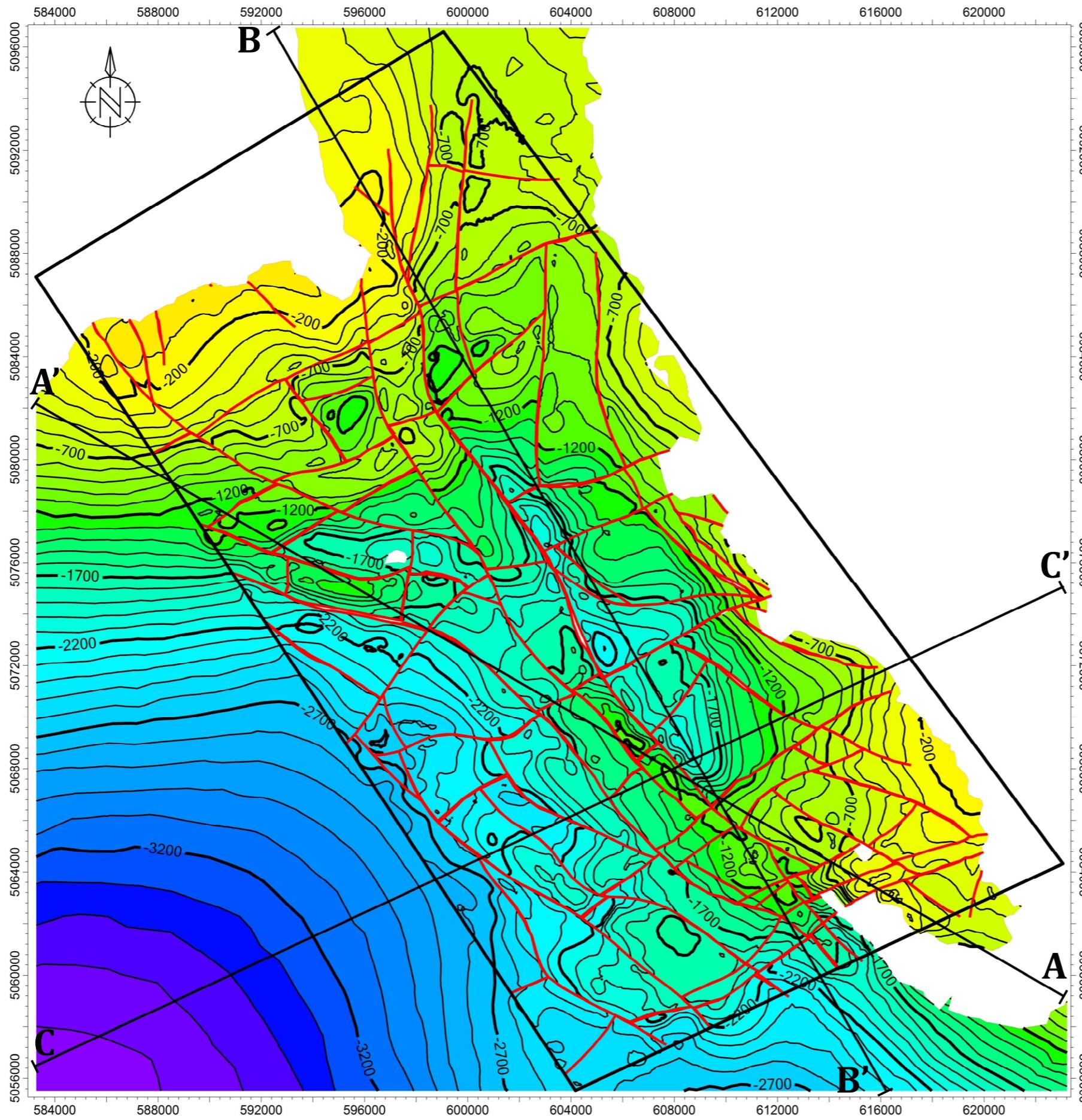


0 2000 4000 6000 8000 10000m

Legenda

- | | | | |
|--|----------------------|--|---------------|
| | područje modeliranja | | trasa profila |
| | stratoizohipse | | rasjed |

STRUKTURNA KARTA PO PLOHI EK-MARKERA Rs5

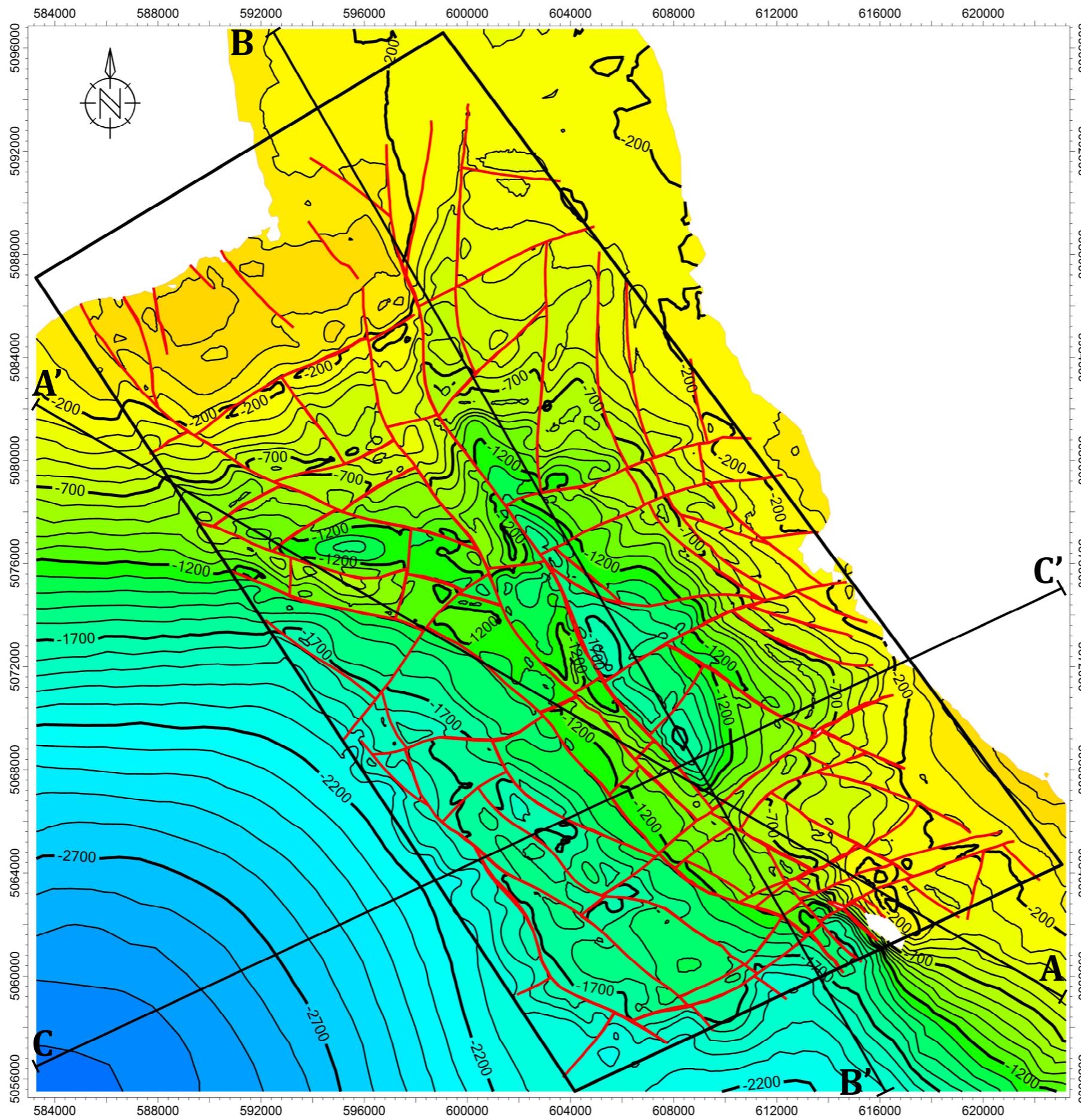


0 2000 4000 6000 8000 10000m

Legenda

- [Icon] područje modeliranja
- [Icon] trasa profila
- [Icon] stratoizohipse
- [Icon] rasjed

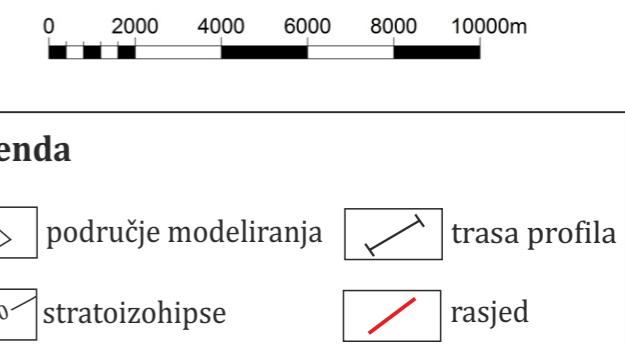
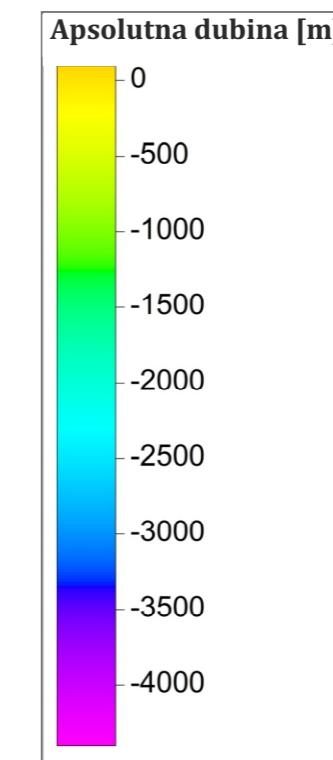
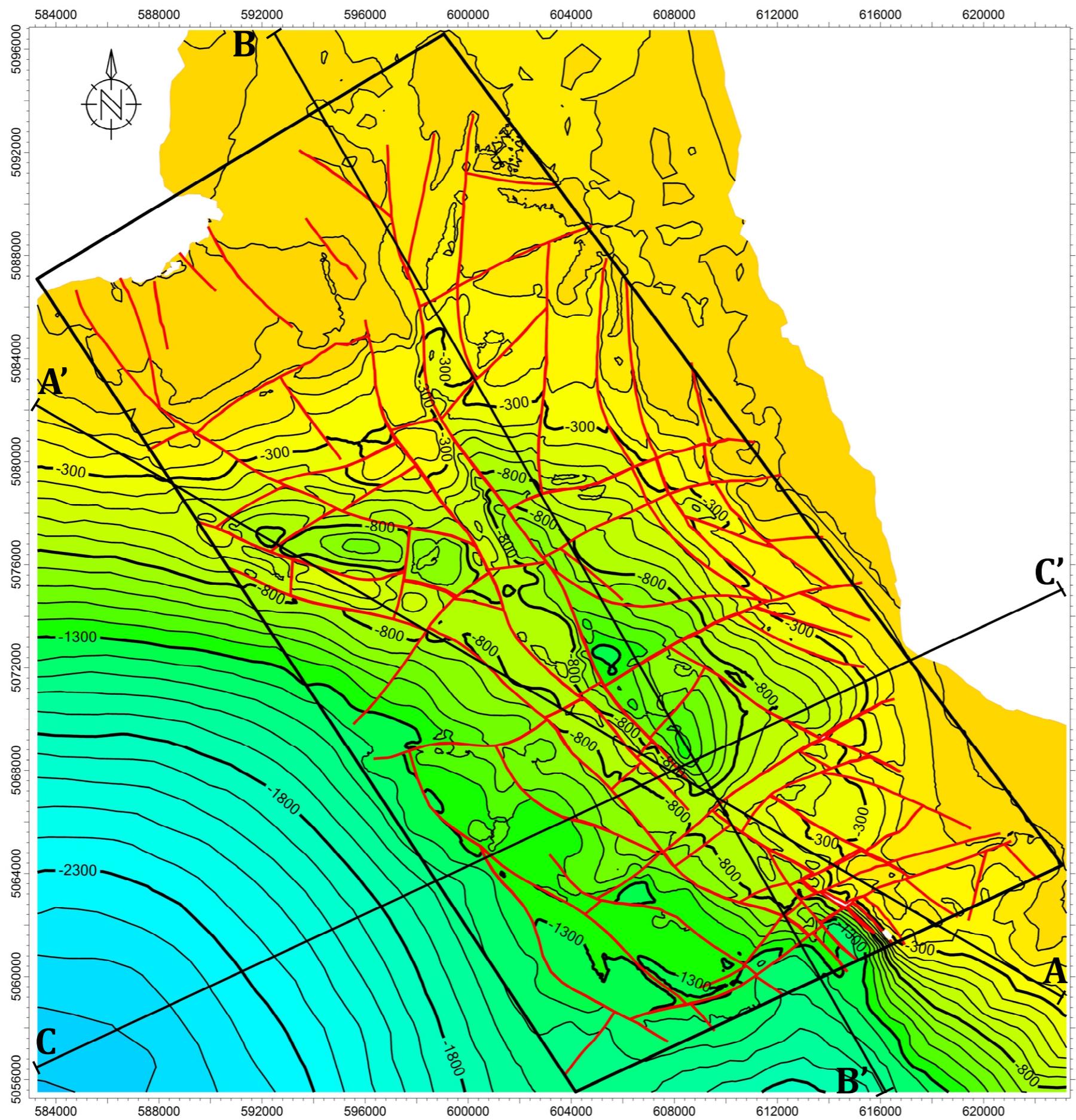
STRUKTURNA KARTA PO PLOHI EK-MARKERA Z'



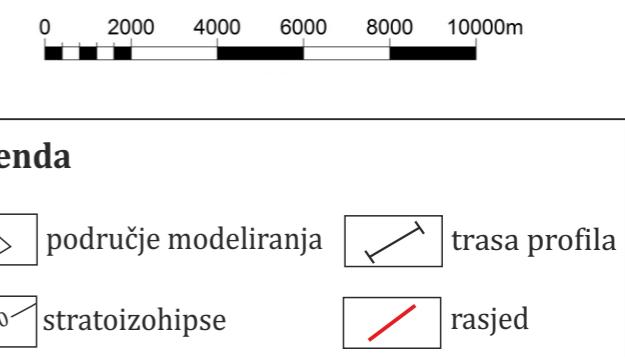
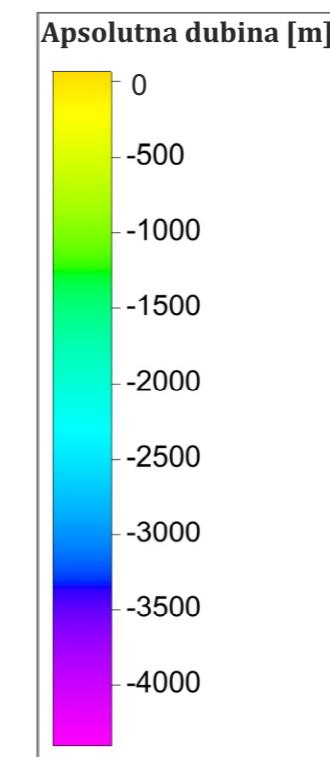
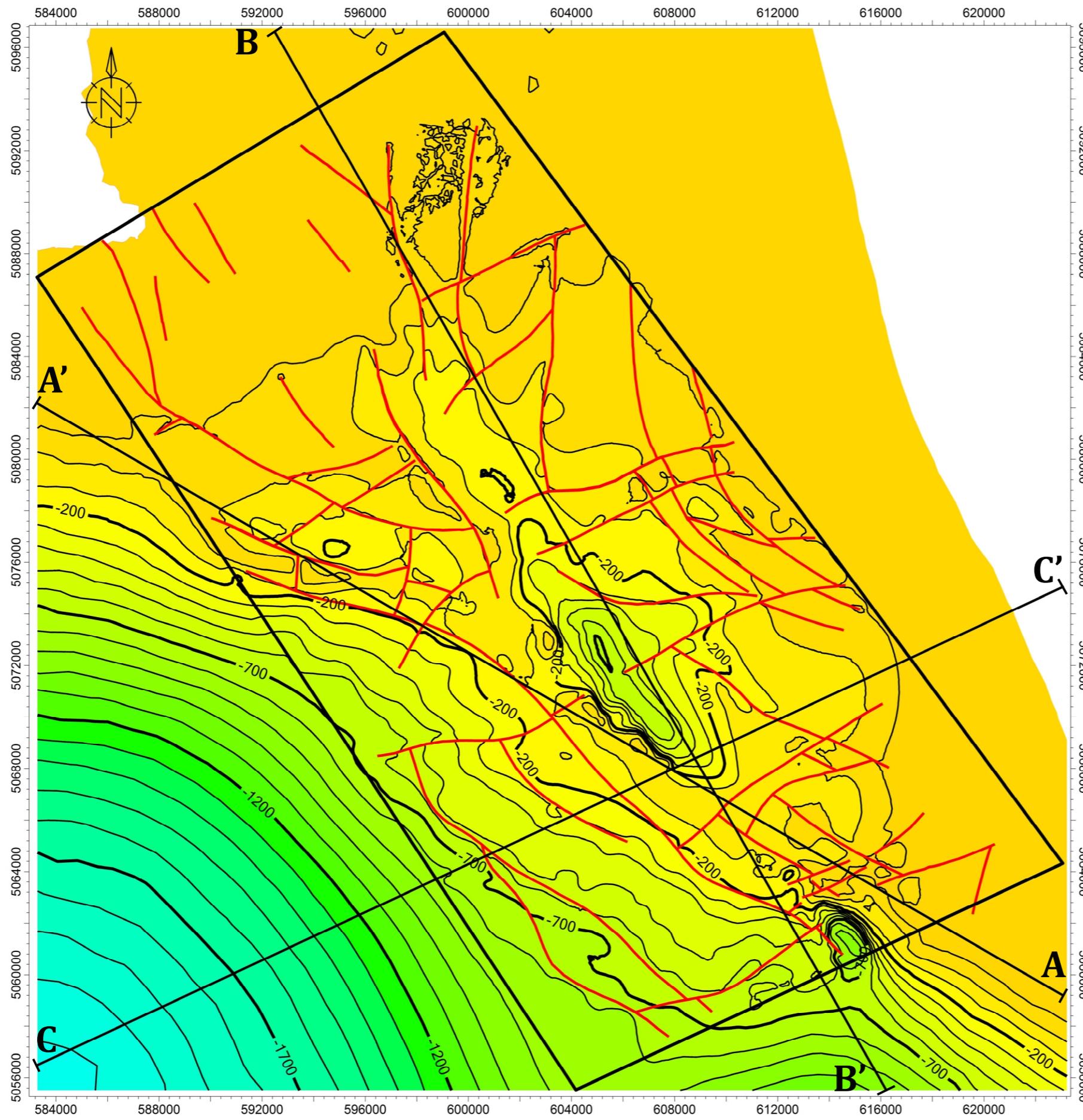
Legenda

- | | |
|----------------------|---------------|
| područje modeliranja | trasa profila |
| stratoizohipse | rasjed |

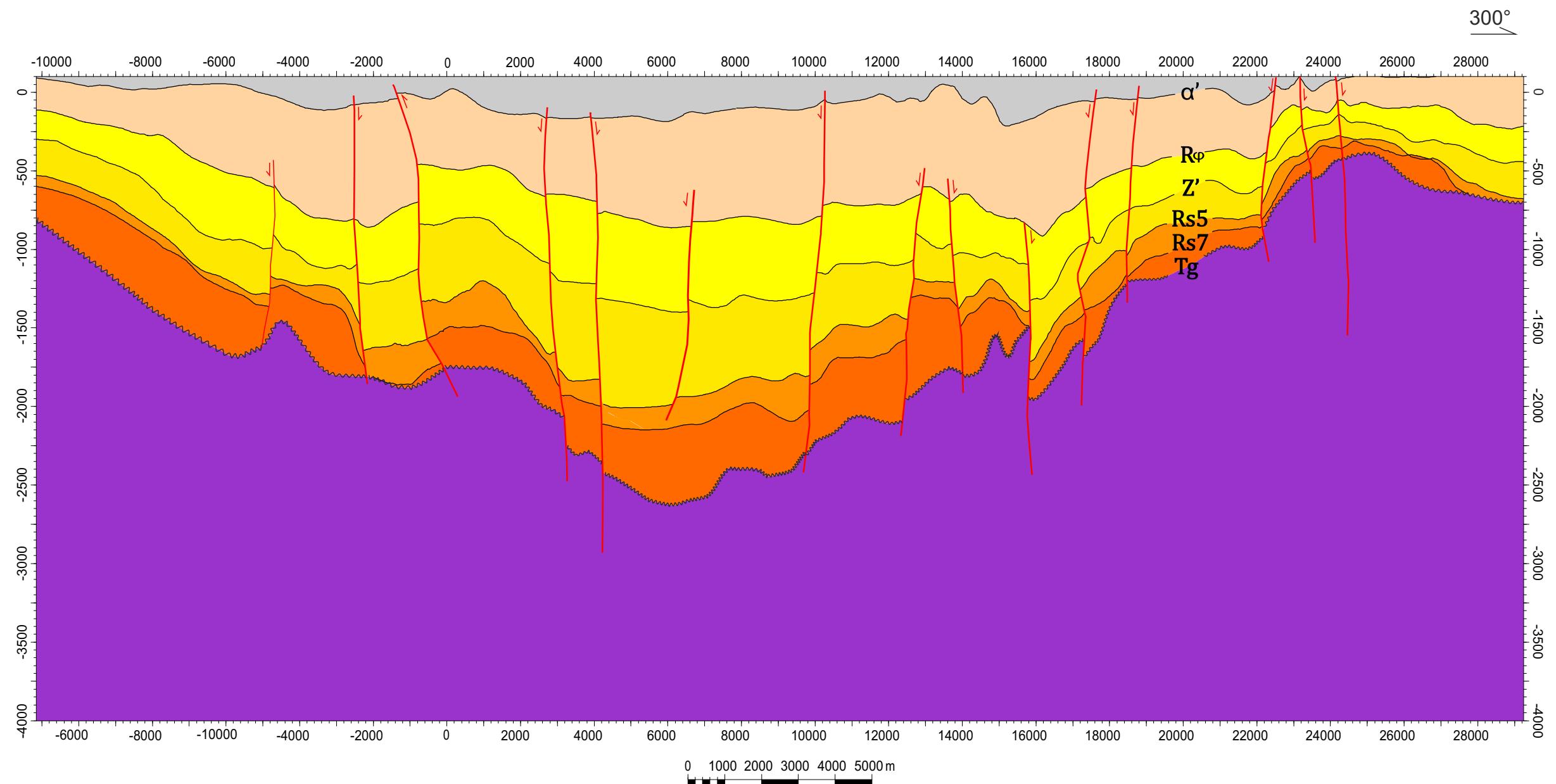
STRUKTURNA KARTA PO PLOHI EK-MARKERA R ϕ



STRUKTURNA KARTA PO PLOHI EK-MARKERA α'



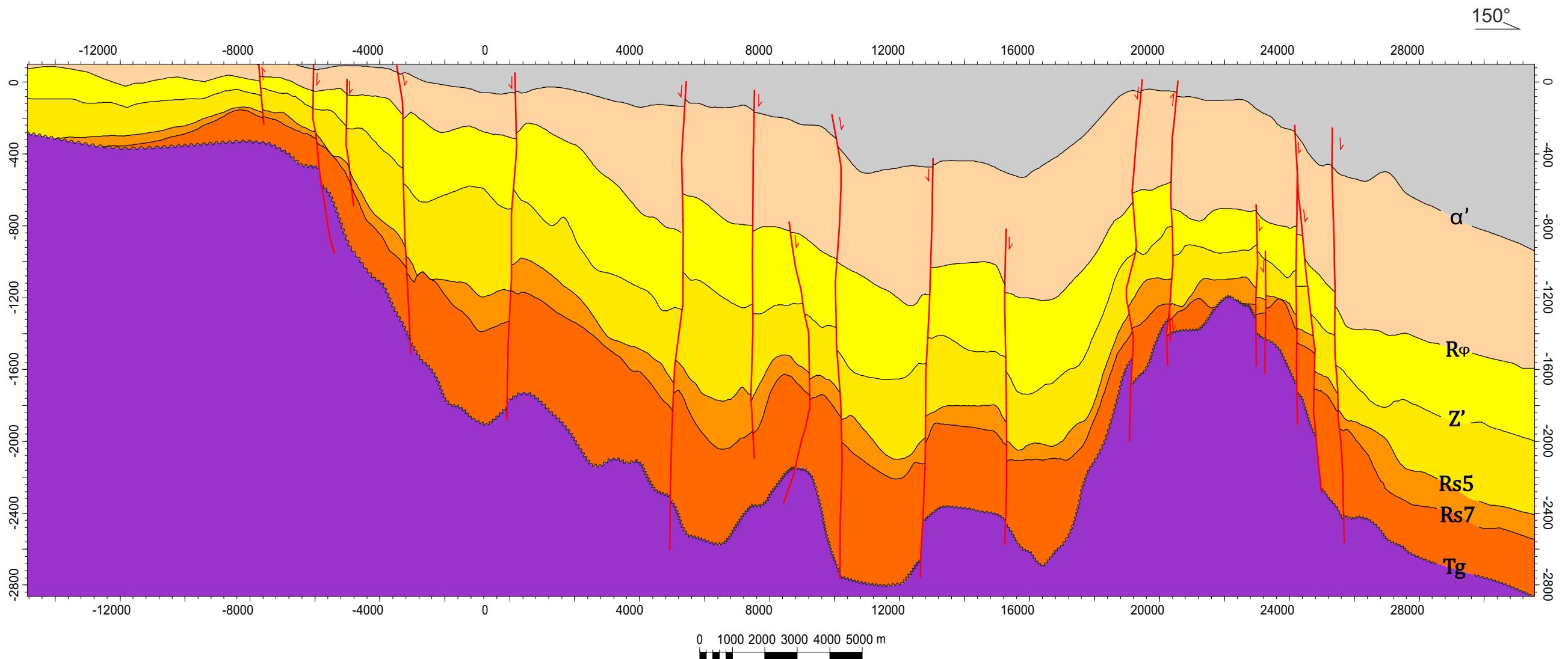
PROFIL A - A'



Legenda

Temeljno gorje	formacija Prečec	formacija Prkos	formacija Ivanić-Grad
formacija Kloštar-Ivanić	formacija Široko Polje	formacija Lonja	rasjed

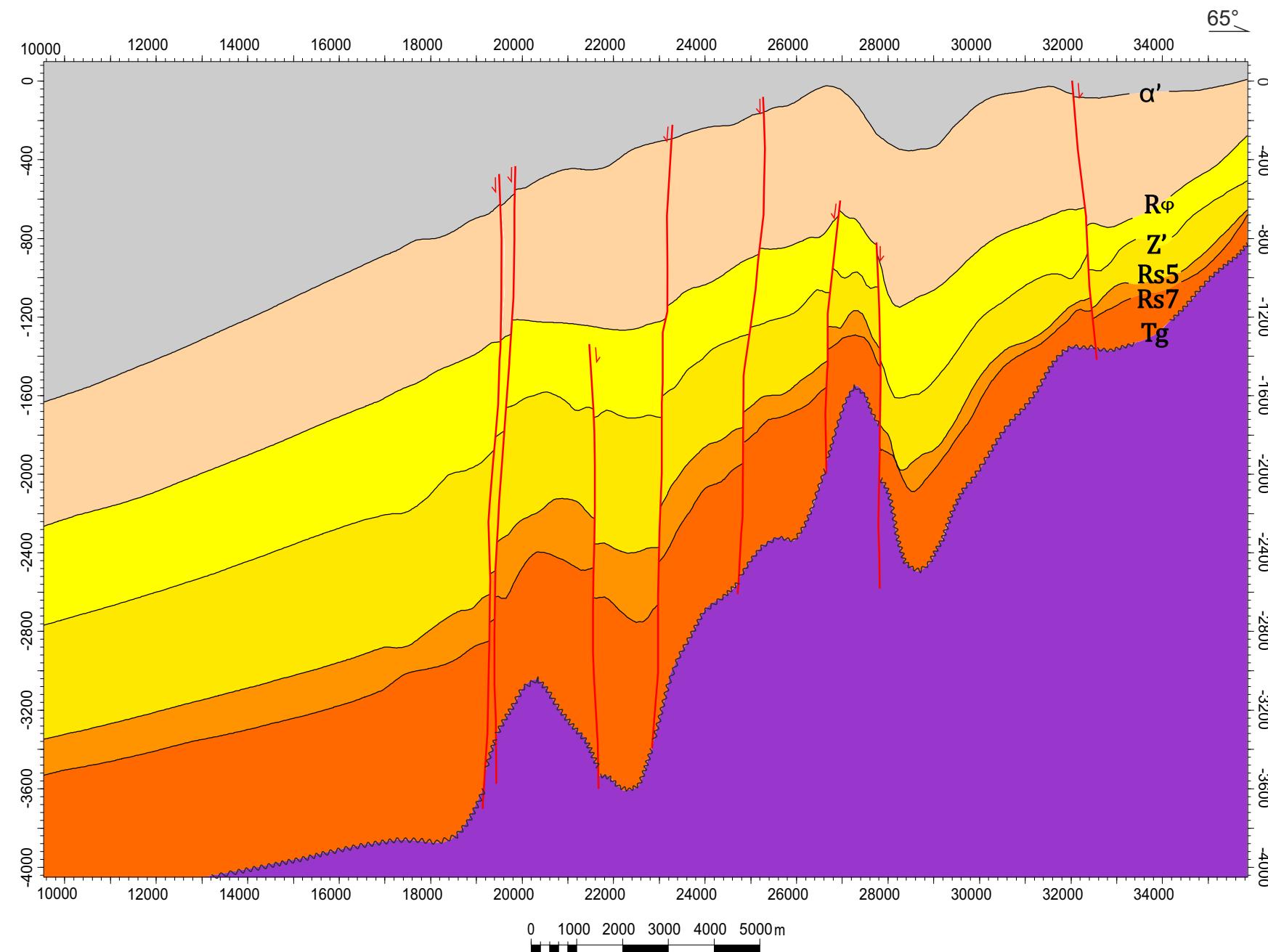
PROFIL B - B'



Legenda

Temeljno gorje	formacija Prečec	formacija Prkos	formacija Ivanić-Grad
formacija Kloštar-Ivanić	formacija Široko Polje	formacija Lonja	rasjed

PROFIL C - C'



Legenda

Temeljno gorje	formacija Prečec	formacija Prkos	formacija Ivanić-Grad
formacija Kloštar-Ivanić	formacija Široko Polje	formacija Lonja	rasjed