

Modeliranje potpovršinskih odnosa na području široke okolice Velike Gorice

Jarić, Anja

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:214355>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-15**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO – GEOLOŠKO – NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geologije

**MODELIRANJE POTPOVRŠINSKIH ODNOSA NA PODRUČJU ŠIROKE
OKOLICE VELIKE GORICE**

Diplomski rad

Anja Jarić

G189

Zagreb, 2016.

Zahvala

Za početak zahvaljujem svojoj mentorici dr. sc. Josipi Velić, profesorici emeriti na pruženoj stručnoj pomoći i savjetima te vrijednoj literaturi koja je uvelike pomogla pri izradi ovog diplomskog rada.

Također, zahvaljujem dr. sc. Marku Cvetkoviću, znanstvenom novaku poslijedoktorandu na trudu, strpljenu i stručnoj pomoći koji su uvelike olakšali izradu ovog diplomskog rada.

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

Također, zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima koji su mi bili iznimna podrška tijekom studiranja i omogućili mi da ovaj studij uspješno privedem kraju.

MODELIRANJE POTPOVRŠINSKIH ODNOSA NA PODRUČJU ŠIROKE OKOLICE VELIKE GORICE

ANJA JARIĆ

Diplomski rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Svrha ovog rada bila je digitalizirati strukturne karte i kartu paleoreljefa zapadnog dijela Savske depresije i napraviti 3D model koji bi se kasnije mogao koristiti u regionalnim istraživanjima ležišta ugljikovodika. Korišteno je šest karata koje su konstruirane po plohama elektrokarotaznog repera (Tg) i makera ($Rs7$, $Rs5$, Z' , $R\phi$ i α'). Navedene karte je konstruirala prof. emer. dr. sc. Josipa Velić za potrebe svoje disertacije. Digitalizacija navedenih strukturnih karta i karte paleoreljefa napravljene su u računalnom programu ArcMap 10.1, a trodimenzionalni model podzemlja u računalnom programu PetrelTM 2014. Modelirano područje se najvećim dijelom nalazi na području grada Zagreba te Zagrebačke i Sisačko – Moslavačke županije. Modelirano područje obuhvaća 960 km². Konstruirano je 78 rasjednih ploha kojima su određeni glavni smjerovi pružanja i njihov razmještaj u prostoru. Izračunato je i statističko odstupanje izrađenog modela koje iznosi u prosjeku 0,6348 % što potvrđuje veliku točnost i preciznost prilikom izrade modela u odnosu na izvorne karte.

Ključne riječi: Savska depresija, digitalizacija, strukturne karte, potpovršinsko modeliranje

Završni rad sadrži: 47 stranica, 1 tablicu, 32 slike, 12 priloga i 40 referenca

Jezik izvornika: hrvatski

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

Voditelj: Prof. dr. sc. Josipa Velić, profesorica emerita

Pomoć pri izradi: Dr. sc. Marko Cvetković

Ocjenjivači: Prof. dr. sc. Josipa Velić, profesorica emerita

Izv. prof. dr. sc. Bruno Saftić

Doc. dr. sc. Dario Perković

Dr. sc. Marko Cvetković, znanstveni novak, poslijedoktorand

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

Faculty of Mining, Geology, and Petroleum Engineering

MODELLING OF THE SUBSURFACE RELATIONS IN THE WIDER SURROUNDINGS OF THE TOWN OF
VELIKA GORICA

ANJA JARIĆ

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology, and Petroleum Engineering
Department of Geology and Geological Engineering
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

The purpose of this thesis was to digitalize the structural maps and the paleorelief map of the western part of Sava Depression and make a 3D model that could later be used in regional exploration of hydrocarbon reservoirs. Six maps were constructed in total. One by pre-Neogen border (Tg) and five on E-log markers ($Rs7$, $Rs5$, Z' , $R\phi$ and α'). The maps were originally constructed by PhD Josipa Velić, Professor Emeritus for her doctoral thesis made in the 1980'. The digitization of the structural maps and the paleorelief map were made in the computer program ArcMap 10.1 and the three-dimensional model of the subsurface was made in the computer program Petrel™ 2014. Research area is mostly situated around the city of Velika Gorica along with Zagreb and Sisak - Moslavina county, which roughly covers 960 km². The surfaces of 78 faults were designed and defined. Calculated statistical deviation of the model was an average of 0.6348%, which confirms high accuracy and precision when compared to the original data.

Keywords: Sava depression, digitization, structural maps, subsurface modeling

Thesis contains: 47 pages, 1 table, 32 figures, 12 enclosures and 40 references

Original in: Croatian

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

Supervisor: PhD Josipa Velić, Professor Emeritus

Technical support and assistance: PhD Marko Cvetković

Reviewers: PhD Josipa Velić, Professor Emeritus
PhD Bruno Saftić, Associate Professor
PhD Dario Perković, Assistant Professor
PhD Marko Cvetković, Senior Research Assistant

Date of defense: 19th of February 2016, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Povijest istraživanja	2
3. Geografski opis terena	4
4. Geološke značajke	6
4.1. Stratigrafski odnosi neogenskih i kvartarnih sedimenata i taložni megaciklusi.....	6
4.2. Postanak, građa i strukturno – tektonski odnosi hrvatskog dijela Panonskog bazenskog sustava	14
5. Metode rada	18
5.1. Računalni program ArcMap i postupak digitalizacije.....	18
5.2. Računalni program Petrel™ 2014 i izrada potpovršinskog modela.....	20
6. Rezultati.....	29
6.1. Rezultati modeliranja rasjeda	29
6.2. Potpovršinski model	30
6.3. Proračun odstupanja modeliranih ploha od izvornih karata	37
7. Zaključak.....	42
8. Literatura	43

POPIS SLIKA

Slika 3-1. <i>Prikaz područja modeliranja</i>	5
Slika 4-1. <i>Strukturne jedinice u jugozapadnom dijelu Panonskog bazena (PRELOGOVIĆ et al., 1998.; LUČIĆ et al., 2001.; VELIĆ et al., 2011)</i>	6
Slika 4-2. <i>Karta izopaha naslaga prvog megaciklusa (SAFTIĆ et al., 2003)</i>	9
Slika 4-3. <i>Karta izopaha, drugi megaciklus (SAFTIĆ et al., 2003)</i>	11
Slika 4-4. <i>Karta izopaha, treći megaciklus (SAFTIĆ et al., 2003)</i>	12
Slika 4-5. <i>Pregled kronostratigrafskih, biostratigrafskih i litostratigrafskih jedinica na istraživanom području HERAK (1987), VELIĆ (2007) i MALVIĆ i CVETKOVIĆ (2013)</i>	13
Slika 4-6. <i>Tektonska karta sa naznačenim najvažnijim rasjedima na području Savske depresije</i>	15
Slika 4-7. <i>Pregledna karta stijena temeljnog gorja i transgresivnih neogensko - kvartarnih naslaga (VELIĆ,1980)</i>	16
Slika 4-8. <i>Glavni tektonski i taložni događaji u hrvatskom dijelu PBS- a (MALVIĆ i VELIĆ, 2011)</i>	17
Slika 5-1. <i>Obrađena karta u računalnom programu ArcMap 10.1</i>	19
Slika 5-2. <i>Izgled projekta modeliranja šire okolice Velike gorice</i>	21
Slika 5-3. <i>Strukturna karta po EK - markeru Rs5</i>	22
Slika 5-4. <i>Sistematizirani poligoni od 78 rasjednih ploha</i>	23
Slika 5-5. <i>Definiranje geometrije modeliranog područja</i>	24
Slika 5-6. <i>Prikaz rasjeda s pripadajućim poligonima</i>	24
Slika 5-7. <i>Prikaz pogrešaka koje se mogu javiti prilikom izrade rasjednih ploha</i>	25
Slika 5-8. <i>Prikaz ispravljanja pogreške pomoću alata Uređivanje poligona: a) poligon „prolazi“ kroz susjedni rasjed (3D), b) 2D pogled na poligone, c) brisanje „viška“ poligona, d) linija poligona odgovara ostalim linijama, e) rasjedi u potpunom kontaktu</i>	26
Slika 5-9. <i>Plohe rasjeda prije i poslije procesa zaglađivanja</i>	27

Slika 5-10. <i>Dijaloški okvir izrade horizonata</i>	28
Slika 5-11. <i>Prikaz točke (crvena kugla) pogreške koju Petrel prepoznaje tijekom izrade modela</i>	28
Slika 6-1. <i>Pregled svih modeliranih rasjednih ploha sa naznačenim najvažnijim rasjedima ..</i>	30
Slika 6-2. <i>Ploha izrađena po EK - reperu Tg</i>	31
Slika 6-3. <i>Ploha izrađena po EK - markeru Rs7.....</i>	31
Slika 6-4. <i>Ploha izrađena po EK - markeru Rs5.....</i>	32
Slika 6-5. <i>Ploha izrađena po EK - markeru Z'.....</i>	32
Slika 6-6. <i>Ploha izrađena po EK - markeru $R\phi$</i>	33
Slika 6-7. <i>Ploha izrađena po EK – markeru α'</i>	33
Slika 6-8. <i>Prikaz strukture Odra po plohama EK-repera i markera: a) Tg, b) Rs7, c) Rs5, d) Z', e) $R\phi$ i f) α'</i>	35
Slika 6-9. <i>Prikaz strukture Veleševac po plohama EK-repera i markera: a) Tg, b) Rs5, c) Z', d) $R\phi$</i>	36
Slika 6-10. <i>Volumni prikaz prostora između EK – markera Rs7 i Rs5.....</i>	37
Slika 6-11. <i>Izgled pogreške u prostoru</i>	39
Slika 6-12. <i>Prikaz pogrešaka po katrama a) Tg, b) Rs7, c) Rs5, d) Z', e) $R\phi$, f) α'</i>	41

POPIS TABLICA

Tablica 6-1. <i>Prikaz iznosa pogreške prema EK markerima i reperu</i>	38
---	----

POPIS PRILOGA

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

PRILOG II. *Strukturna karta po plohi EK-repera $Rs7$*

PRILOG III. *Strukturna karta po plohi EK-markera $Rs5$*

PRILOG IV. *Strukturna karta po plohi EK-markera Z'*

PRILOG V. *Strukturna karta po plohi EK-markera $R\phi$*

PRILOG VI. *Strukturna karta po plohi EK-markera α'*

PRILOG VII. *Profil $A - A'$*

PRILOG VIII. *Profil $B - B'$*

PRILOG IX. *Profil $C - C'$*

PRILOG X. *Profil $D - D'$*

PRILOG XI. *Profil $E - E'$*

PRILOG XII. *Profil $F - F'$*

1. UVOD

Dubinsko kartiranje predstavlja izradbu karata koje prvenstveno opisuju dubinsku građu podzemlja. Kao izvor podataka najčešće se koriste seizmička mjerenja i bušotinski podatci, ali mogu se koristiti i gravimetrija, magnetometrija, geoelektrika te ekstrapolacija elemenata na površinskim izdancima.

U ovom radu su korištene strukturne karte zapadnog dijela Savske depresije, koje je konstruirala prof. emer. dr. sc. Josipa Velić za potrebe svoje disertacije (VELIĆ, 1980). Korišteno je šest karata koje su konstruirane po plohama elektrokarotaznog repera (Tg) i makera ($Rs7$, $Rs5$, Z' , $R\phi$ i α') izdvojenog dijela ukupnog područja kartiranog u VELIĆ (1980).

Svrha ovoga rada bila je digitalizirati navedene strukturne karte i napraviti trodimenzionalni model podzemlja koji bi se kasnije mogao koristiti u regionalnim istraživanjima ležišta ugljikovodika. Za navedene postupke korišteni su računalni programi Arc Map 10.1 i PetrelTM 2014.

2. POVIJEST ISTRAŽIVANJA

Hrvatski dio Panonskog bazena poznat je po nalazištima nafte i plina, što je potaknulo potpovršinska istraživanja kojima bi se dobili što točniji podatci o građi podzemlja. Prema povijesnim podacima, eksploatacija nafte je započela već u prvoj polovici 19. stoljeća što čini Hrvatsku jednom od prvih zemalja u svijetu u kojima se nafta istraživala, vadila i prerađivala. Isprva su se istraživanja usmjerila na površinske pojave nafte gdje se ona sakupljala. Nakon toga je počela izgradnja okna iz kojih su rudari kantama (bačvama) izvlačili naftu. Takav način pridobivanja odvijao se sve do modernizacije eksploatacije i izgradnje bušotina.

Opća geološka istraživanja na širem području započinju izradom geoloških karata od polovice prethodnog stoljeća, a izvještaje o tome i prve prikaze građe Medvednice 1861. godine napravio je FOETTERLE (1861). PILAR (1881) je objavio geotektonsku skicu Medvednice, a dvije godine kasnije (PILAR, 1883) detaljno je istražio sarmatsku floru Susjedgrada i Dolja. Tijekom narednih godina prostor Savske depresije i Medvednice, koje spadaju u istraživano područje, detaljno je proučavan od strane mnogih geologa. Tako su dobiveni detaljni podatci o naslagama, vremenima taloženja, tipovima razvoja i tektonskim prilikama. Osim prethodno navedenih podataka, radilo se i na razjašnjenju dubinskogeološke građe. Geološko kartiranje se radi s ciljem što boljeg lociranja bušotina, a 1939. godine počinju prva geofizička istraživanja. Jedan od temeljnih radova objavio je OŽEGOVIĆ (1944) u kojem je prema podacima dobivenima iz dubokih bušotina obrazložio geologiju mlađeg neogena. Fotogeomorfološku analizu SZ dijela Savske depresije dali su KLEIN *et al.* (1966), KLEIN (1970, 1972), te KLEIN i STOJADINOVIĆ (1970). U njoj su između Podsuseda i Španskog izdvojene dvije terase koje su nastale premještanjem starog korita rijeke Save iz zone prigorskog ruba Medvednice prema jugu. Do toga je došlo uslijed diferencijalnih, neotektonskih pokreta slabog intenziteta u holocenu koja se mogu vidjeti kao laktasta skretanja toka rijeke Save. KRANJEC *et al.* (1967) konstruiraju lokalne i regionalne litofacijsne karte Savske depresije mjerila 1:10 000, 1:25 000 i 1:100 000. U to vrijeme je ustanovljeno da konačnu ulogu u zatvaranju nafte i plina u kolektorskim stijenama imaju najmlađa tektonska gibanja, koja se mogu ocijeniti kompleksnim dubinskim strukturnim,

paleostrukturnim, litofacijsnim i morfometrijskim kartiranjem (KRANJEC, 1972a, 1972b). Kasnije se ustanovljuju tri sustava pružanja rasjeda: medvedničko-kalnički, meridionalni i dinarski (VELIĆ, 1980). Seizmičke osobine kolektorskih i izolatorskih stijena istražio je NOWINSKI (1975), a godinu nakon toga i mogućnost izravnog utvrđivanja ležišta ugljikovodika pomoću seizmičkih podataka. Tektogenetsku i paleostrukturu evoluciju te recentnu građu zapadnog dijela Zagrebačke regije od paleozoika do kvartara prikazuju ŠIKIĆ i BASCH (1975).

Litostratigrafijom se prvi počeo baviti ŠIMON (1963) koji je postavio temelje pri opisu lokalnog stupa naslaga polja Ivanić. Također, ŠIMON (1973) definirao Hrvatsku litostratigrafsku nomenklaturu, a 1980. prikazuje litostratigrafsku podjelu hrvatskog dijela Panonskog bazenskog sustava prema depresijama i uvodi mogućnost postojanja megaciklusa. PAVELIĆ (2001) je obradio paleogeografiju Paratethys-a za vrijeme karpata i badena na području sjeverne Hrvatske. Za razumijevanje tri taložna megaciklusa poslužili su radovi VELIĆ *et al.* (2002) i SAFTIĆ *et al.* (2003). Novija se literatura sastoji od preglednih radova MALVIĆ i VELIĆ (2011) te sveučilišnog udžbenika „Geologija ležišta nafte i plina (VELIĆ, 2007). Za usporedbu kronostratigrafskih, litostratigrafskih i biostratigrafskih jedinica te smještajem elektrokarotažnih markera i repera unutar njih poslužio je rad od VELIĆ (2002), a značajke i svrhu pojedinih elektrokarotažnih markera obradili su VRBANAC (2002) i VELIĆ *et al.* (2002).

O prethodnim pokušajima same digitalizacije podzemlja, ŠPELIĆ *et al.* (2014) su napravili karte po plohama EK-repera Tg i EK-markera Rs7 i Rs5 iz prijašnjih podataka s ručno izrađenih karti te su usporedili stare karte s novim kartama, no na drugčiji način nego u BAKETARIĆ i CVETKOVIĆ (2015) koji zapravo predstavljaju princip digitalizacije i modeliranja koji je korišten u ovom radu.

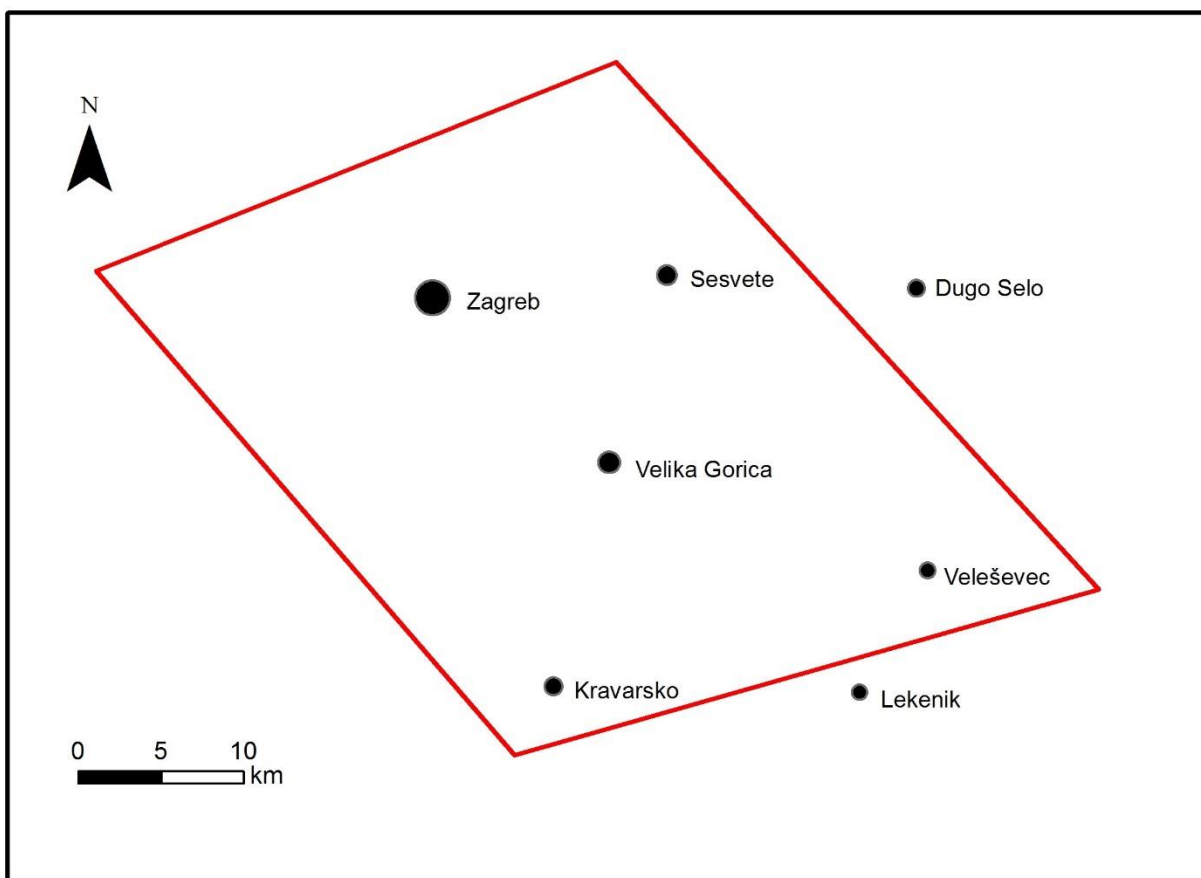
3. GEOGRAFSKI OPIS TERENA

Savska depresija je smještena na jugozapadni rub Panonskog bazena. Prema VELIĆ (1980), na ovom terenu možemo razlikovati tri osnovna tipa reljefa: gorski, brdoviti do brežuljkasti i ravničarski. Gorski tip je u ovome radu predstavljen područjem Medvednice s najvišom kotom od 1032 m. Pravac pružanja je sjeveroistok – jugozapad, a u smjeru jug – jugozapad postupno prelazi u brežuljkasti reljef. U gornjim dijelovima tokova rijeka, korita su oštro urezana.

Na obodima Medvednice smješten je brdoviti do brežuljkasti reljef s nadmorskim visdinama od 200 do 300 m. To je prijelazni tip terena prema ravničarskom. Na južnim obroncima Medvednice mogu se vidjeti dugačke doline i kosine s mjestimice strmim odronima. Još južnije, prema zaravnjenom terenu, brda postaju zaobljena, a doline, potoci i jarci plići i širi. Odroni i klizišta vrlo su česti na ovom području zahvaljujući glinovito – pjeskovito – šljunkovitom sastavu brežuljaka.

Ravničarski dio Savske depresije je prostor gdje nadmorska visina varira oko 100-te izohipse. Pravac pružanja depresije je sjeverozapad – jugoistok i uključuje rijeku Savu, koja je tipična nizinska rijeka. Niz njezin tok može se primjetiti niz rukavaca i mrtvaja, kao i riječnih otoka, a puni se potocima koji dreniraju okolna gorja, brda i brežuljke.

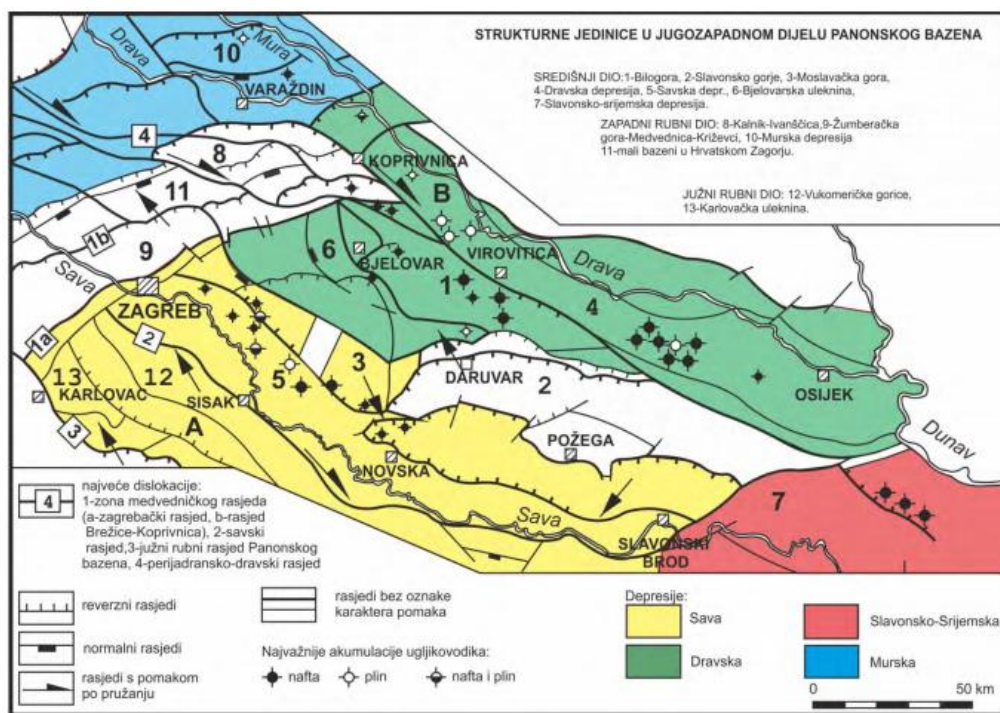
Modelirano područje se najvećim dijelom nalazi na području županije Grad Zagreb koju gotovo u potpunosti obuhvaća, te Zagrebačke i Sisačko – Moslavačke županije. Najveći grad je Zagreb, iako on u ovom radu i nije toliko zanimljiv. Od većih gradova tu se još nalaze Sesvete, koje su na samom istoku modeliranog područja. Velika Gorica predstavlja interesantno područje, kao i Odra koja se nalazi nešto zapadnije od nje (Slika 3-1.). Također, ovdje se nalaze i mnoge općine kao i brojna manja mjesta. Modelirano područje obuhvaća otprilike 960 km². Sjeverni dio područja obuhvaća južne obronke Medvednice, ispod koje protječe rijeka Sava i mnogi manji potoci, a na jugu se naziru Vukomeričke gorice.



Slika 3-1. *Prikaz područja modeliranja*

4. GEOLOŠKE ZNAČAJKE

Panonski bazenski sustav (PBS) zauzima prostor između Europske ploče na sjeveru, Mezijske ploče na istoku, Jadranske mikroploče na jugu i Alpskog masiva na zapadu, a hrvatski dio Panonskog bazena nalazi se na njegovom jugozapadu. On je nastao procesom Alpske orogeneze procesom subdukcije i konvergencije Apulijske ploče pod Dinaride, te pripada u skupinu zalučnih bazena (*engl. back – arc basins*) (VELIĆ *et al.*, 2015). Hrvatski dio PBS – a je podijeljen na četiri depresije, a to su: Dravska, Savska, Murska i Slavonsko – srijemska, prikazane na slici 4-1.



Slika 4-1. Strukturne jedinice u jugozapadnom dijelu Panonskog bazena (PRELOGOVIĆ *et al.*, 1998.; LUČIĆ *et al.*, 2001.; VELIĆ *et al.*, 2011)

4.1. Stratigrafski odnosi neogenskih i kvartarnih sedimenata i taložni megaciklusi

Prema VELIĆ (2007) Panonski bazen izgrađuju dva različita kompleksa stijena. Prvi dio se sastoji od magmatsko – metamornih stijena i manjim dijelom sedimenata paleozojske i

mezozojske starosti, a drugi sačinjava bazenska ispuna koju izgrađuju naslage neogena i kvartara.

Najstarije stijene koje se javljaju na modeliranom području nalaze se na Medvednici i to su ortometamorfiti i parametamorfiti paleozojske starosti. Ortometamorfiti se javljaju na središnjem dijelu Medvednice, a manje pojave, obilježene tektonskim kontaktima, mogu se pronaći na sjeveroistočnom dijelu (ŠIKIĆ *et al.*, 1972; BACH, 1983.). Najčešća stijena koja se javlja u ovom kompleksu je zeleni škriljavac, čije strukture i tekture, ali i mineralni sastav variraju (TOMLJENović i CSONTOS, 2001). U nizinskim se područjima nalaze mlađe naslage, uglavnom neogenske i kvartarne starosti.

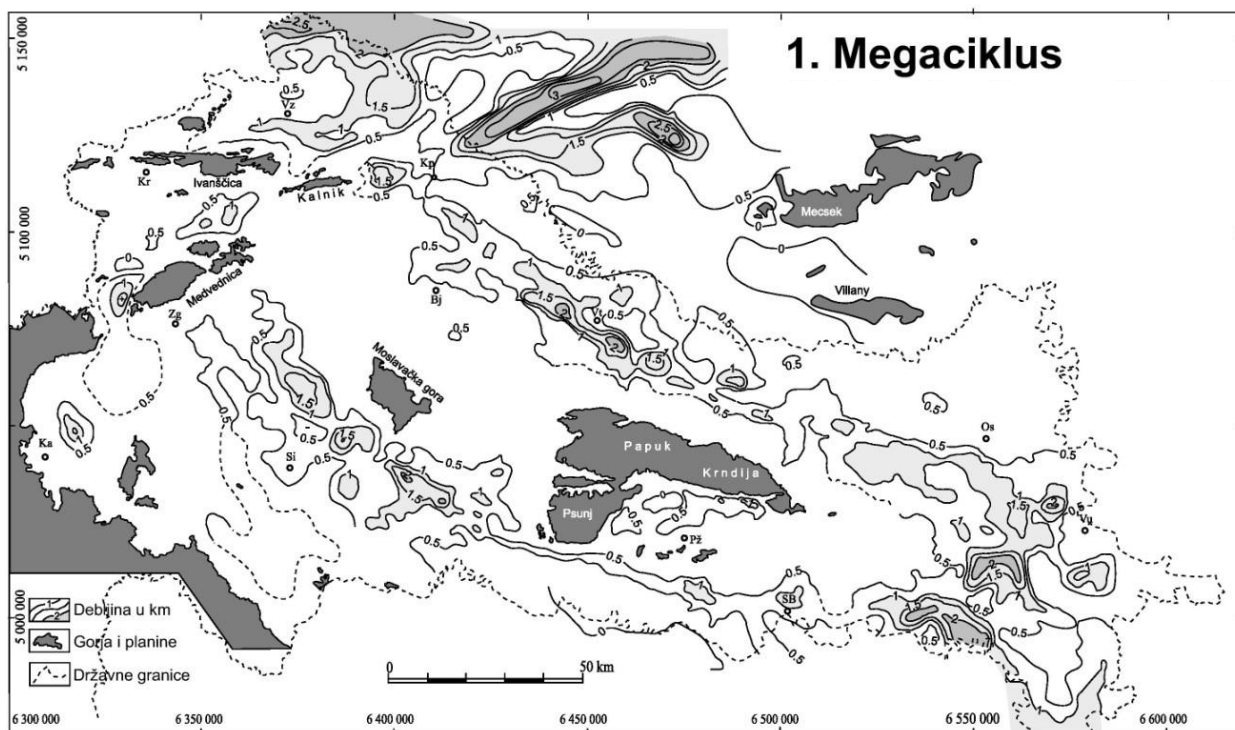
Ako se govori o građi Savske depresije u naftnogeološkom smislu, misli se na formacije koje ju sačinjavaju. One su izdvojene i korelirane na temelju elektrokarotažnih (EK) markera i repere. EK markeri su obilježeni obično malom debljinom i velikim bočnim rasprostriranjem. Oni imaju svojstva koja je lako pratiti i pomoću kojih ih možemo izdvojiti od stijena u podini i krovini (SAFTIĆ i MALVIĆ, 2008). Isti autori definiraju EK markere kao karakteristične ocrte na karotažnim krivuljama, posebno krivuljama otpora. VRBANAC (2002) tumači odraze kao promjene granulometrijskog sastava i načina njihovog pakiranja, što utječe na vrijednosti šupljikavosti i propusnosti naslaga koje su taložene u jednakim uvjetima i u isto vrijeme. Samim time dolazi do prihvaćanja EK markera kao sinkronih ploha ili kronohorizonta.

Za razliku od markera, EK repere prepoznamo kao izrazite tektonske ili erozijske diskordancije i slične pojave. Najstariji reporni slojevi na ovom području odvajaju paleozojske i mezozojske stijene od mlađih naslaga. U slučaju da se ispod neogensko – kvartarnih sedimenata nalaze magmatske i metamorfne stijene paleozojske starosti, uvjetni reporni sloj se naziva *Temeljno gorje* (oznaka *Tg*), a ako su to sedimenti paleozoika i mezozoika, onda se koristi oznaka *Pt* ili *PTc*, što označava podlogu neogena ili kako se nekada nazivao – dijela „*tercijara*“.

Neogenske naslage u svom središnjem dijelu pokazuju značajke cikličnosti, odnosno ritmičke sedimentacije (FILJAK *et al.*, 1969; ŠIMON 1980). Cikličnost se može primjetiti i na rubovima, ali puno rjeđe. Ako se sagledaju značajke tih sedimenata, mogu se izdvojiti tri

zaokružena megaciklusa, sastavljena od dobro definiranih stratigrafskih jedinica koje odgovaraju statusu formacija. Mali dio tih naslaga predstavljaju površinske izdanke, a ostatak se nalazi ispod kvartarnih taložina i dostupan je za istraživanje samo geofizičkim mjerenjem i bušenjem. Potreba za tim metodama postaje vidljiva kada se uzme u obzir da debljina naslaga neogenske starosti u središnjem dijelu Savske depresije iznosi 5500 m (VELIĆ, 2007). MITCHUM (1977) iznosi teoriju prema kojoj svaki megaciklus obuhvaća stijene taložene tijekom jednog superciklusa promjene relativne razine vode. On se u prvom dijelu sastoji od postupnog porasta, a u drugom od nagloga pada razine vode.

Prvi, odnosno najstariji megaciklus trajao je za vrijeme ranog i srednjeg miocena (VELIĆ, 2007; MALVIĆ i VELIĆ (2011) i uključuje formaciju Prečec u Savskoj depresiji. Formacija Prečec je najstarija i ograničena je EK reperom *Tg* i EK – markerom *Rs7* koji označava gornju granicu sarmata (Slika 4-5.). Litološki sastav je heterogen. Tako se od sedimentnih stijena ovdje mogu naći krupni klastiti (breče, konglomerati, pješčenjaci i pješčenjaci sa proslojcima bentonitnih glina), sitni klastiti (gline, lapori, kalcitni lapori, pjeskoviti i glinoviti lapori i pješčenjaci unutar *Tripoli naslaga*) i karbonati (vapnenci, litotamnijski vapnenac i kalkarenitni biogeni pješčenjak) te mjestimice ugljen. Tijekom egera i egenburga (donji miocen) mogući su nalazi tufova i efuzivnih stijena (riolit, dacit, andezit, bazalt) na području Hrvatskog zagorja, koji su nastali vulkanskom aktivnošću (ĆORIĆ *et al.*, 2009). Stijene egerske starosti nalaze se u baznome dijelu i obilježene su paraličkim facijesima, a do sarmata se izmjenjuju taložine prijelaznih okoliša (otnang) i morskih okoliša (egenburg, karpat, baden) (LUČIĆ *et al.*, 2001). Kasnije je utvrđeno (ĆORIĆ *et al.*, 2009) da prvi pravi marinski okoliši na području Hrvatskog dijela PBS-a nastaju tek za vrijeme srednjeg badena. Kao „pravi“ početak sedimentacije ovog megaciklusa smatra se otnang jer je tek u tom razdoblju ona postala rasprostranjena na gotovo cijelom promatranom području (VELIĆ, 2007). Debljina naslaga u Savskoj depresiji varira od nekoliko stotina metara pa do 2000 m (Slika 4-2.). Približno trajanje megaciklusa je 6,8 Ma (geokronološki podatci prema RÖGL, 1996; VELIĆ 2007; MALVIĆ i VELIĆ 2011).



Slika 4-2. Karta izopaha naslaga prvog megaciklusa (SAFTIĆ *et al.*, 2003)

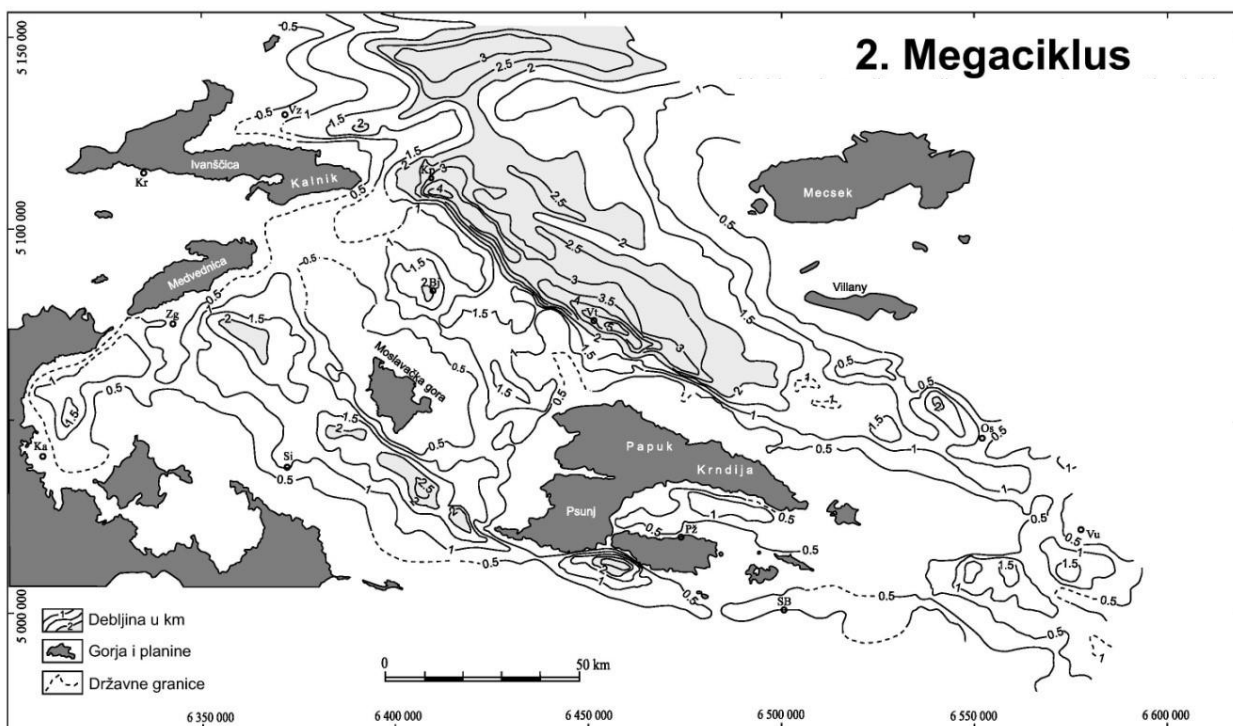
Drugi megaciklus je gornjomiocenske starosti (panon i pont) i sadrži naslage formacija Prkos, Ivanić-Grad, Kloštar Ivanić i Široko Polje (MALVIĆ i VELIĆ, 2011). Izgrađen je od jednoličnog slijeda sivih subgrauvaka, siltnih i laporovitih tijela i njihovih prijelaznih varijeteta (VELIĆ, 2007). Karta izopaha naslaga drugog megaciklusa prikazana je na slici 4-3.

Panonske naslage su nastale u brakičnim uvjetima. Donjopanonske naslage odgovaraju formaciji Prkos koja je ograničena EK – markerima Rs7 u podini i Rs5 u krovini (Slika 4-5.). One obuhvaćaju *Croatica* naslage prema biostratigrafskoj podjeli koje su dobile naziv po karakterističnom fosilnom pužu *Radix Croatica*. Litološki gledano to su čvrsti, tvrdi „bijeli“ lapori (ŠIKIĆ *et al.*, 1979) koji se postupno mijenja u arkoze i rjeđe grauvice. Formacija Prkos slabije je rasprostranjena i znatno tanja od formacije Prečec najviše zahvaljujući kraćem vremenu taloženja i regresivnoj tendenciji taloženja (VELIĆ, 1980). Nakon nje počinje taloženje formacije Ivanić-Grad koja obuhvaća sedimente gornjeg panona koji se još prema biostratigrafskoj podjeli nazivaju i *Banatica* naslage po školjkašu *Congerina banatica*. Litološki prevladavaju dvije komponente koje se međusobno izmjenjuju: pješčenjaci, tj.

pijesci (subgrauvake) i lapori (sa svim prijelaznim tipovima) (VELIĆ, 1980). Formacija je ograničena u krovini EK – markerom Z' i EK markerom $Rs5$ u podini (Slika 4-5.).

Za razliku od panonskih naslaga koje su nastale u brakičnim uvjetima, kod pontskih se prepoznaju karakteristike jezerskih okoliša. Sedimenti donjeg pontsa odgovaraju formaciji Kloštar Ivanić, a ograničeni su EK – markerom Z' u podini i $R\phi$ u krovini (Slika 4-5.). Litološki odgovaraju sivim pijescima/pješčenjacima koji prevladavaju te laporima sa svim njihovim varijetetima (VELIĆ, 1980). Ove naslage se također nazivaju i *Abichi* naslage po školjkašu *Paradacna abichi* i smatraju se ležišnim stijenama za ugljikovodike. Formacija Široko Polje obuhvaća vršni dio *Abichi* naslage koje su taložene u gornjem dijelu donjeg pontsa i gornjopontske *Rhomboidea* slojeve, nazvane prema školjkašu *Congerina rhomboidea*. Podinu joj predstavlja EK – marker $R\phi$, a krovinu α' (Slika 4-5.). Karakteristične naslage su pijesci/pješčenjaci i lapori raznolikog sastava što je vrlo slično prethodnim formacijama (VELIĆ, 1980).

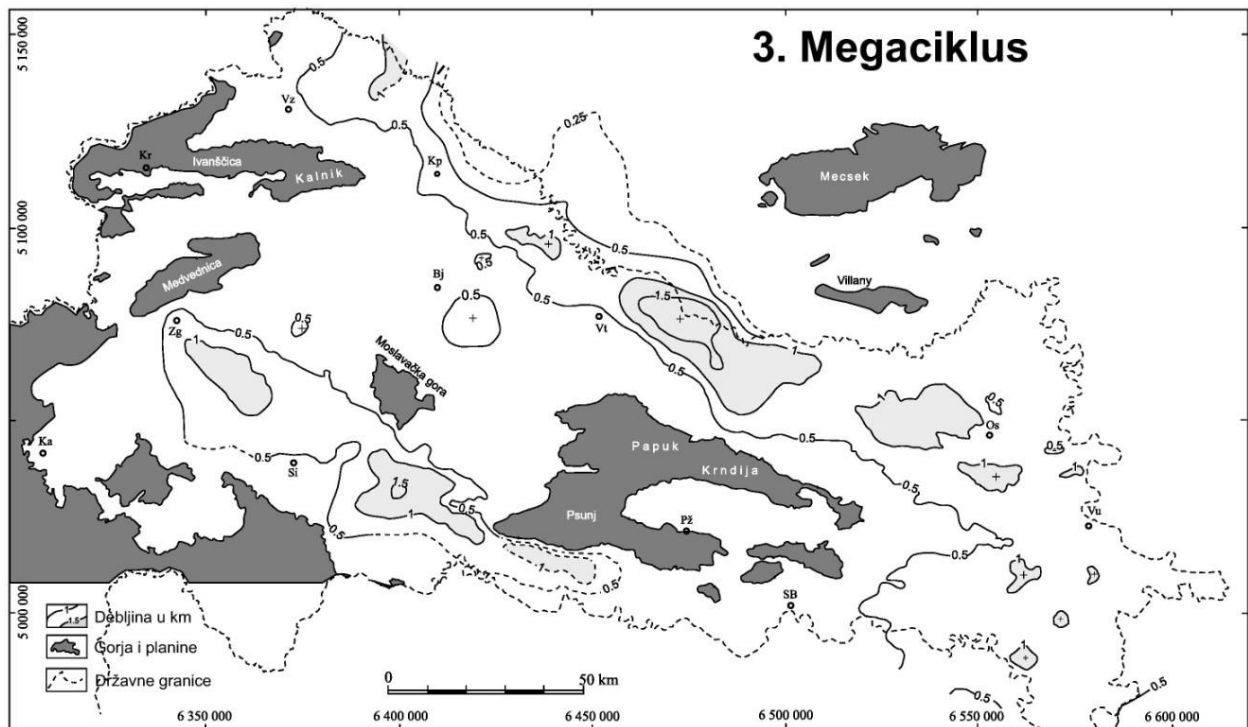
Prema taložnom modelu može se zaključiti da su lokalni strukturni odnosi utjecali na taloženje u zaštićenim, „dubokovodnim“ okolišima jednog izoliranog dijela bazena gdje je na taložni model najviše utjecala lokacija izvora sedimentnog materijala i konfiguracija dna taložnog bazena s izraženim podvodnim reljefom. Najveći dio detritusa taložen je u depresije turbiditnim strujama, a izvor tog detritusa su bile Istočne Alpe (VRBANAC, 2002; MALVIĆ i VELIĆ, 2011). Taloženje ovog ciklusa trajalo je otprilike 5,9 milijuna godina (geokronološki podatci prema RÖGL, 1996).



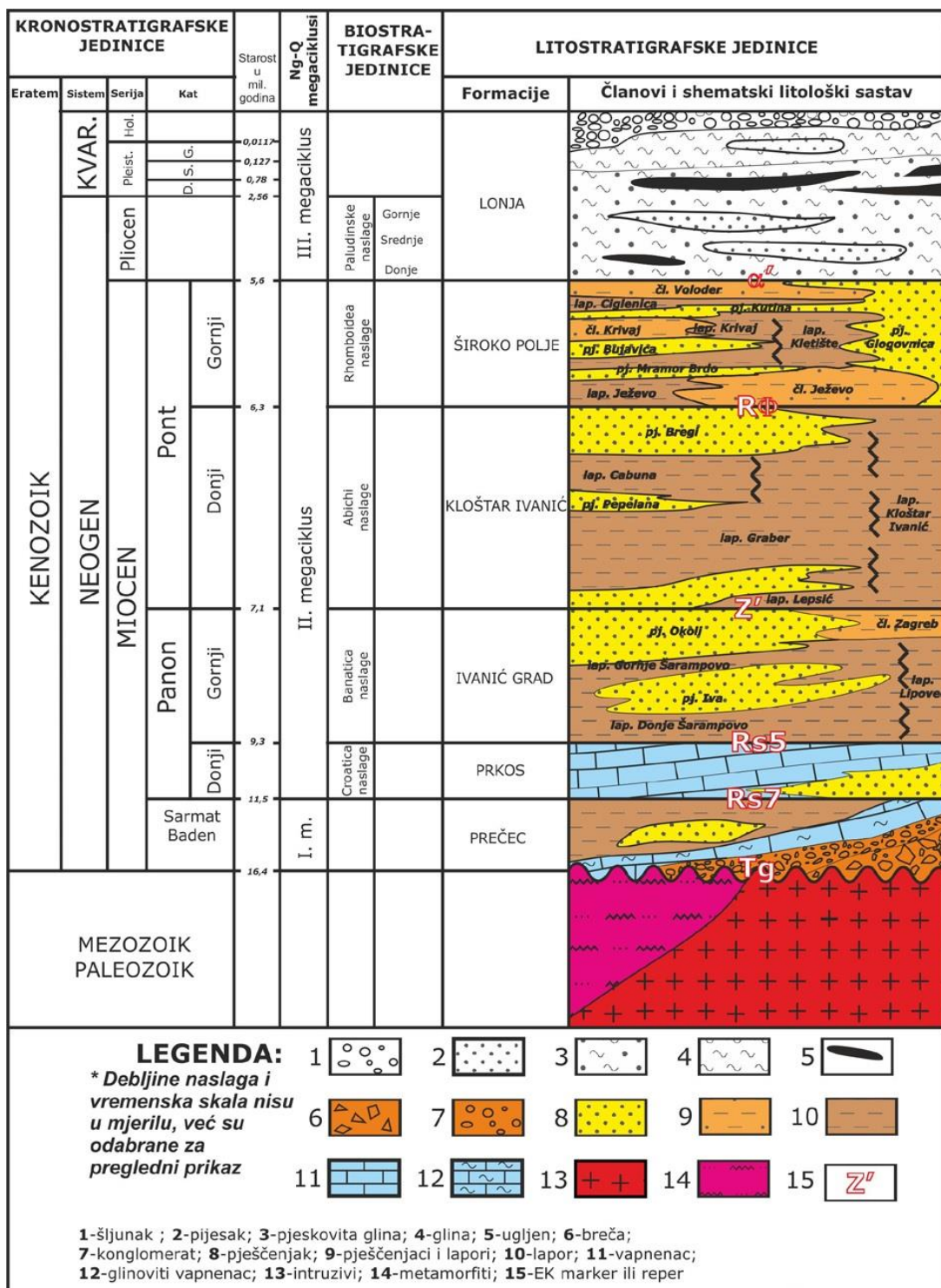
Slika 4-3. Karta izopaha, drugi megaciklus (SAFTIĆ *et al.*, 2003)

Treći megaciklus je najmlađi, pliocensko – holocenske starosti i njemu pripada formacija Lonja u Savskoj depresiji (MALVIĆ i VELIĆ, 2011). Ovaj se megaciklus izdvaja od ostalih svojim specifičnim sastavom koji se razlikuje od prethodnih. Formacija Lonja proteže se od EK – markera α' do površine terena (Slika 4-5.) i izgrađena je od pliocenskih *Paludinskih* naslaga te naslaga pleistocena i holocena. Litološki se sastoji od sivih, slabo vezanih pijesaka i sivozelenih ili plavičastih glina koje sadrže rijetke slojeve lignita i treseta (ŠIMON 1980; VELIĆ, 2007; CVETKOVIĆ, 2013). Završetak taloženja obilježen je naslagama šljunaka, prapora i rastresitog materijala debljine do 1500 m u Savskoj depresiji (ŠIMON, 1980) podrijetla sa kontinenta (LUČIĆ *et al.*, 2001). Debljina svih ovih naslaga prikazana je zajedno na slici 4-4.

Svi megaciklusi mogu se pouzdano pratiti i izdvojiti na seizmičkim profilima. Prvi megaciklus je sinekstenzijski sa riftnim vrhuncem od otnanga do badena, u drugom megaciklusu slijedi kraj ekstenzije, a treći je odraz kompresije u neotektonskoj fazi (VELIĆ, 2007).



Slika 4-4. Karta izopaha, treći megaciklus (SAFTIĆ et al., 2003)



Slika 4-5. Pregled kronostratigrafskih, biostratigrafskih i litostratigrafskih jedinica na istraživanom području HERAK (1987), VELIĆ (2007) i MALVIĆ i CVETKOVIĆ (2013)

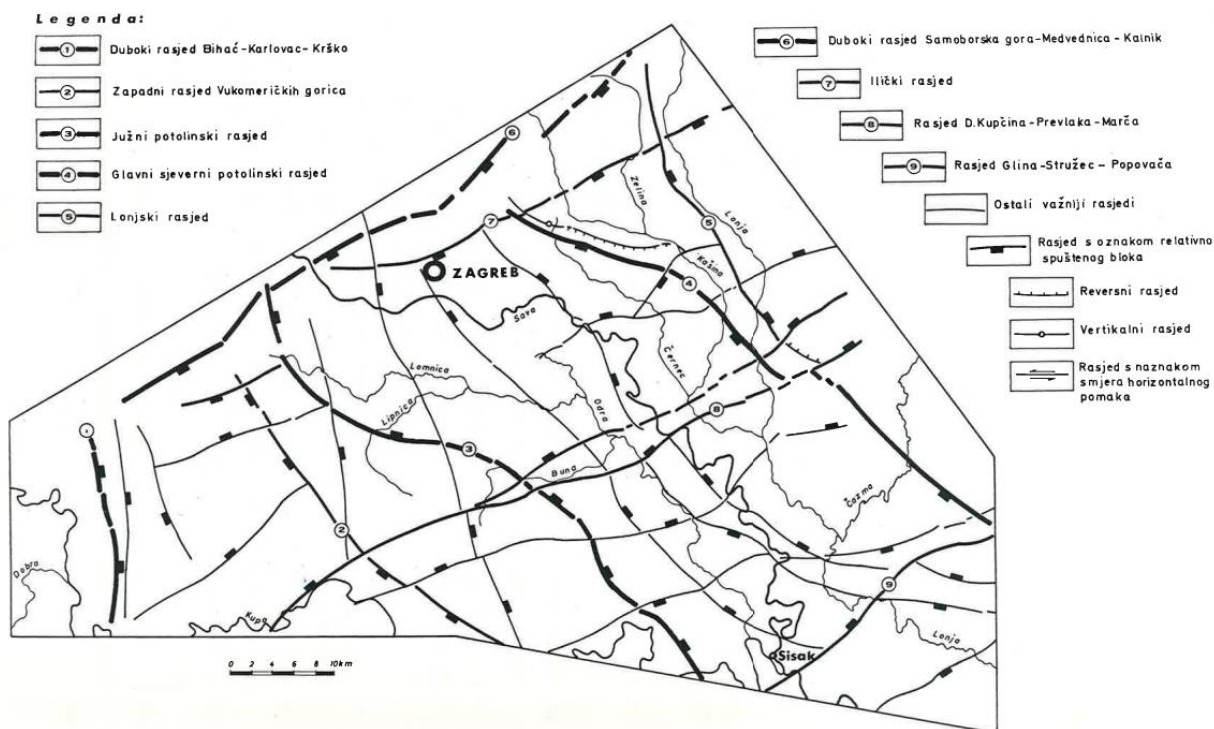
4.2. Postanak, građa i strukturno – tektonski odnosi hrvatskog dijela Panonskog bazenskog sustava

Panonski bazen sastoji se od nekoliko depresija i vezan je uz alpsku orogenezu. Jedan od modela objašnjava oblikovanje „riftingom“ tj. formiranjem dugog, uskog kontinentalnog korita, ograničenog normalnim rasjedima (VELIĆ, 2007). Novija istraživanja od PRELOGOVIĆ *et al.* (1998) i LUČIĆ *et al.* (2001) malo se udaljavaju od te teorije i nude potpuno drugačiji pristup tektonici područja i nastanku struktura. Prema njihovoj rekonstrukciji, strukturne jedinice su objedinjene u tri veće zone, a to su: zapadni rubni dio (od zone medvedničkog rasjeda pa dalje prema sjeverozapadu), južni rubni dio (od Karlovca do Slavanskog Broda – južno od Savskog rasjeda) i središnji dio (Savska i Dravska depresija). Strukturnim kartama zapadnog dijela Savske depresije predočene su njezine potpovršinske strukture i tektonska građa po plohama EK repera Tg i EK markera $Rs7$, $Rs5$, Z' , $R\phi$ i α' . Za potrebe izrade karata korištena su seizmička, gravimetrijska i geoelektrična mjerenja kao i podaci bušenja uz geološku interpretaciju profila.

Promatrano područje se odlikuje vrlo složenim strukturno – tektonskim odnosima u kojima prevladava radijalna tektonika (tektonika blokova) (VELIĆ, 1980). Strukture koje se najčešće javljaju su horst – antiklinale, graba – antilinale, strukturni nosevi, terase i strukturna sedla. Rasjedi su najčešće normalni, sa jako strmim paraklazama – do 80° . Gledajući pravce pružanja rasjeda, oni tvore tri sustava:

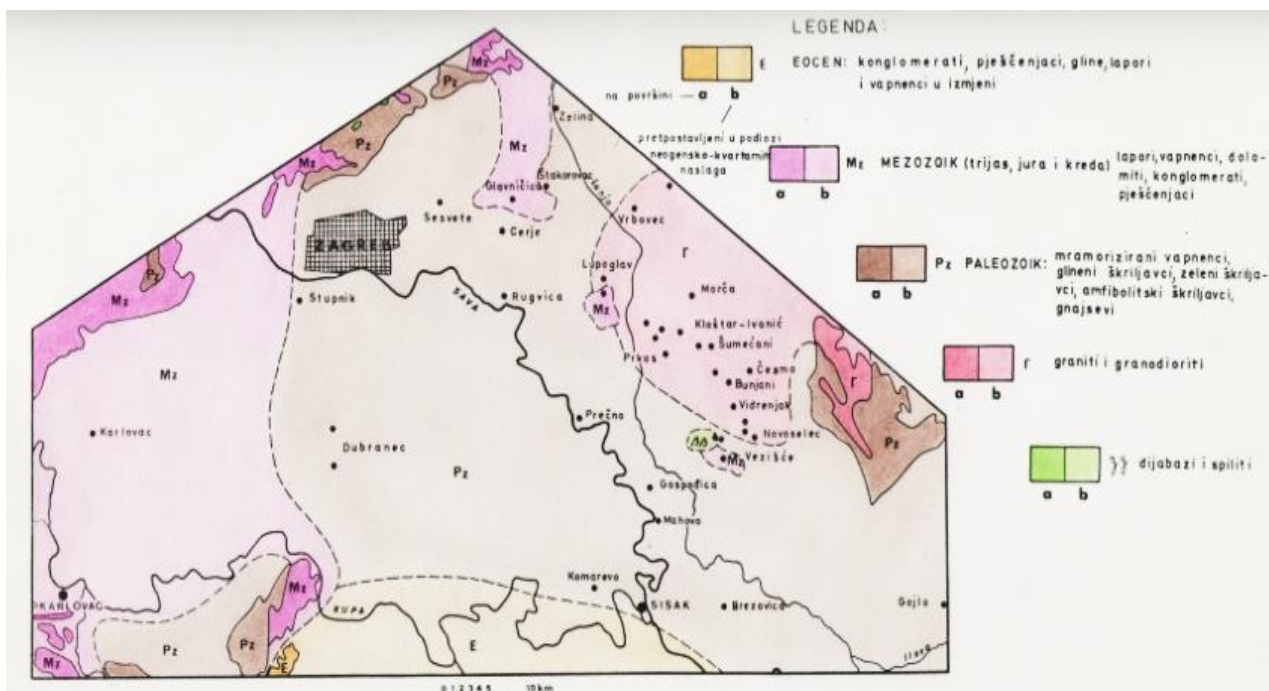
- sjeverozapad – jugoistok (uzdužni)
- jugozapad – sjeveroistok (poprečni)
- sjever – jug (meridionalni)

Uzdužni rasjedi su od najvećeg značenja, a uz njih su smješteni rasjedi koji su uzrokovali tonjenje depresije. Poprečni rasjedi nisu ništa manje bitni jer odvajaju manje blokove i uzrokuju horizontalne pomake, koji se po amplitudi razlikuju od vertikalnih (VELIĆ, 2007). Glavnu zonu spuštanja ili utonjavanja predstavlja „glavni sjeverni depresijeki“ rasjed, dok su „južni potolinski“ i „ilički“ manje značajni prikazani na slici 4-6.



Slika 4-6. Tektonska karta sa naznačenim najvažnijim rasjedima na području Savske depresije (VELIĆ, 1980)

Najstarije naslage prikazane su na karti paleoreljefa EK repera *Tg*, a odoređen je kao ploha diskordancije stijena temeljnog gorja (podloga) i transgresivnih neogensko – kvartarnih naslaga (Slika 4-7.). Podinu čine čvrste i konsolidirane stijene koje su podložnije pucanju nego boranju. To svojstvo se prenosi na sedimente koji neposredno naliježu na njih pa je teško govoriti o klasičnim naborima, antiklinalama i sinklinalama (VELIĆ, 1980).



Slika 4-7. Pregledna karta stijena temeljnog gorja i transgresivnih neogensko - kvartarnih naslaga (VELIĆ, 1980)

Glavna ekstenzijska faza započinje tijekom ranog miocena (egenburg) i traje do kraja srednjeg miocena (baden) (VELIĆ, 2007). Tijekom nje dolazi do regionalne promjene orijentacije stresa na SSI – JJZ uslijed koje se aktiviraju lijevi transkurentni rasjedi. Koherentni tektonski blokovi su se počeli pomicati prema sjeveroistoku po rasjedima zbog čega je došlo do otvaranja regionalnih i lokalnih ekstenzijskih zona između njih. Savska depresija je primjer regionalne zone, a lokalni *pull – apart* bazeni su povezani sa lijevim transkurentnim rasjedima pružanja SI – JZ (VELIĆ, 2007). U otnangu započinje taloženje slatkovodnih jezerskih sedimenata (PAVELIĆ, 2001).

U badenu je započeo prvi tenzijski događaj (ĆORIĆ *et al.*, 2009; MALVIĆ i VELIĆ, 2011) u kojem dominiraju *strike – slip* pokreti i taloženje unutar tih prostora. Duž velikih, aktivnih, desnih transkurentnih rasjeda pravcem pružanja SZ - JI javljaju se mali *pull - apart* bazeni koji su nastali na transtenzijskim trasama spomenutih rasjeda brzom sedimentacijom (MALVIĆ i VELIĆ, 2011). Posljedično su svi bazeni i uleknine zapunjavani sintektonskim krupno do srednjezrnatim klastitima uz izrazite bočne promijene facijesa. Prvo transtenzijsko razdoblje završava u kasnom badenu. Tada su nastala velika dubokomorska područja u kojima

su se taložili lapori, a biogeni vapnenci i pješčenjaci u plićim dijelovima. U sarmatu započinje prva transpresijska faza tijekom koje dolazi do pada saliniteta i promjene do brakičnih uvjeta u panonu i pontu (MALVIĆ, 2006).

Iako se u nekim dijelovima Hrvatske druga transtenzijska faza počela odvijati već tijekom donjeg panona, generalno se govori da je započela u gornjem panonu jer se tada javlja na cijelom području (MALVIĆ i VELIĆ, 2011). Kao rezultat snažnog izdizanja i denudacije, dolazi do taloženja turbiditnog materijala sa područja Istočnih Alpi koji ima smjer putovanja prema jugoistoku, tj. u hrvatski dio PBS-a.

Druga transpresijska faza je započela u gornjem pontu i traje do danas (MALVIĆ i VELIĆ, 2011). Dolazi do jačanja kompresijskih sila, čestog reaktiviranja starih rasjednih ploha, te inverzije pomaka (VELIĆ *et al.*, 2015). Na slici 4-8. prikazana je vremenska skala sa glavnim tektonskim događajima u hrvatskom dijelu PBS-a.

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		
								Donji		Gornji		Donji		Gornji					
Moguće sporadične ekstenzije u HPBS-u?			1. transtenzijska faza			1. transpresija		2. transtenzijska faza				2. transpresijska faza							
			Lokalno trošenje i taloženje aluvijalnih lepeza			Oplicavanje i smanjenje saliniteta		Udaljeni izvor klastita donošanih turbiditnim tokovima				Završno formiranje struktura, migracija ugljikovodika, konačan kontinentalni okoliš							

Slika 4-8. Glavni tektonski i taložni događaji u hrvatskom dijelu PBS- a (MALVIĆ i VELIĆ, 2011)

5. METODE RADA

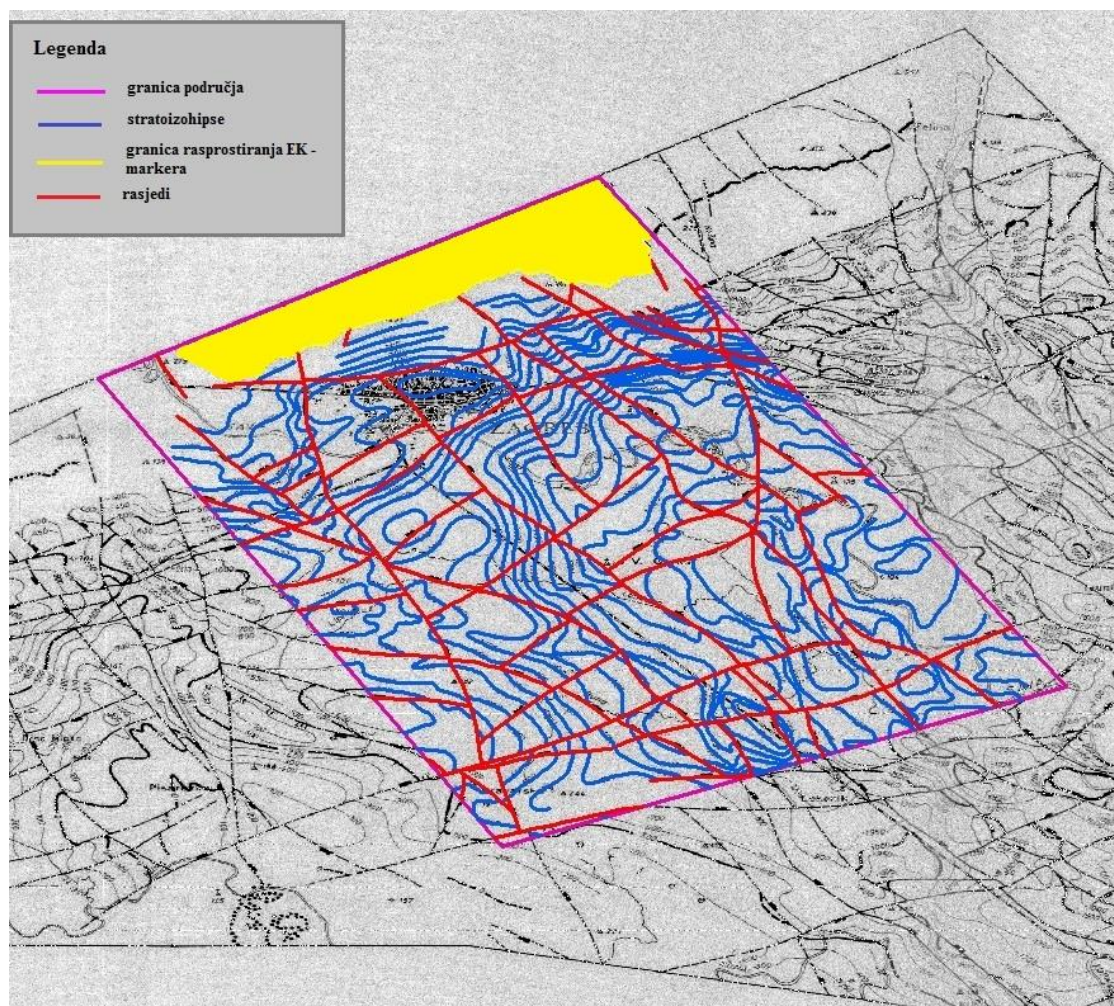
Prilikom izrade ovoga rada korištena je jedna karta peloreljefa i pet dubinskogeoloških strukturnih karata koje je izradila prof. dr. sc. Josipa Velić i koje su objavljene u njenoj disertaciji (VELIĆ, 1980). One su ručno konstruirane po plohama EK – markera i repera *Tg*, a za potrebe ovoga rada su skenirane i time pripremljene za računalnu obradu. Prije izrade modela karte su obrađene i digitalizirane u računalnom programu ArcMap, a nakon toga interpretirane na temelju podataka dobivenih obradom u programu Petrel™ 2014.

5.1. Računalni program ArcMap i postupak digitalizacije

Institut ESRI (*engl. Environmental Systems Research Institute*) je 1999. godine izdao računalnu platformu ArcGis, čija je komponenta ArcMap korištena pri obradi podataka prije izrade modela. ArcMap se koristi za pregledavanje, stvaranje, analiziranje i uređivanje geografskih i geoprostornih podataka, kao i istraživanje već postojećih podataka i izradu karata.

Proces digitalizacije obuhvaća pretvaranje analognih podataka u digitalne. Analogni podatci su u ovom slučaju bile strukturne karte, koje su skeniranjem i spremanjem u slikovnom *.tif* formatu (*engl. Tagged Image File Format*) pripremljene za daljnju obradu u računalnom programu ArcMap 10.1. Prije svega, karte je potrebno locirati u prostoru, tj. dodijeliti im koordinate kako bi se podatci mogli geolocirati, a i biti kompatibilni s drugim programima. Korišten je *WGS84* (*engl. World Geodetic System*), referentni koordinatni sustav koji se može primjenjivati za područje cijele Zemljine kugle sa zadovoljavajućom točnošću. Prije početka digitalizacije bilo je potrebno postaviti granicu na područje koje će biti obrađeno. S obzirom da ArcMap funkcionira na temelju razina slojeva koji se mogu preklapati, jednom postavljena granica u obliku *layera* (sloja) može se postaviti na svaku od šest georeferenciranih karata.

Granica područja se digitalizira jer je potrebna i tijekom modeliranja u računalnom programu PetrelTM. Osim granice, digitalizirane su stratoizohipse (koje su na karti paleoreljafa zapravo izobate), ocrti rasjeda i linije koje predstavljaju granice rasprostiranja EK – markera i repera. Svaki od tih podataka se digitalizira kao posebna klasa (*engl. Feature Class*) za svih pet strukturnih karata i kartu paleoreljafa, što znači da se u konačnici dobije 18 klasa digitaliziranih podataka.



Slika 5-1. *Obradena karta u računalnom programu ArcMap 10.1*

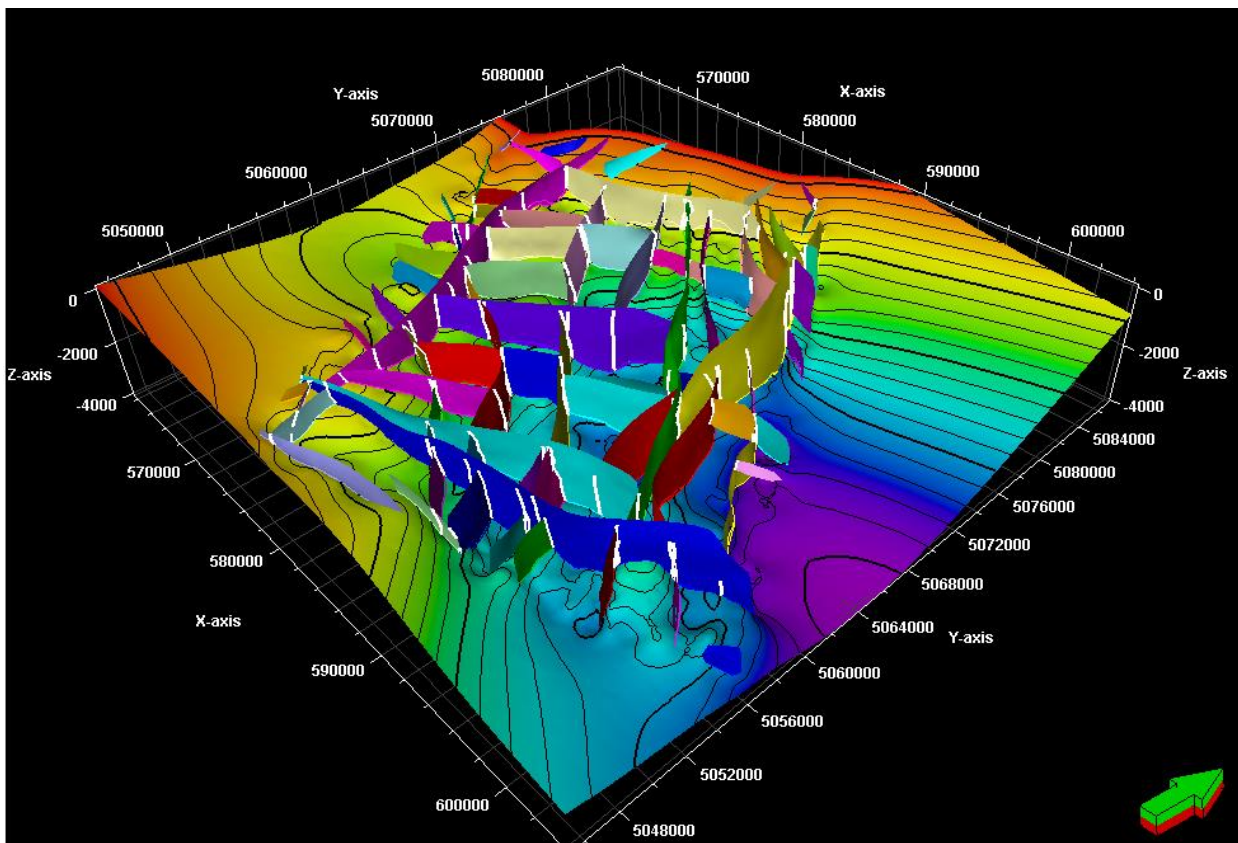
Postupak digitalizacije započinje učitavanjem željene karte nakon čega se izabere prikladna klasa za obradu, npr. izobate na strukturnoj karti *Tg*. Svaka izobata se iscrtava pažljivo prateći linije sa strukturne karte s pripadajućim vrijednostima apsolutne dubine (*Z*). Bitno je pripaziti

na dubine koje unosimo jer će zbog pogrešaka biti nemoguće kasnije napraviti valjan model. Pri iscertavanju treba imati na umu da se te linije ne smiju dodirivati ili sijeći s drugim linijama, npr. linijama rasjeda da bi se izbjegli problemi koji kasnije mogu nastati pri modeliranju. Za linije rasjeda i granice koja označava rasprostiranje markera postupak je gotovo isti, jedina razlika je što se njima ne dodjeljuju dubinske vrijednosti (Z) već se to kasnije, u slučaju rasjeda, radi u programu Petrel™. Također, granica rasprostiranja EK markera treba biti napravljena kao zatvoreni poligon da bi se dobio bolji pregled važnih područja s modela.

Po završetku postupka digitalizacije (Slika 5-1.), podatci se spremaju u *.shp* (*engl. Shape file format*) i kao takvi su spremni za daljnje korištenje i obradu u Petrel™ - u.

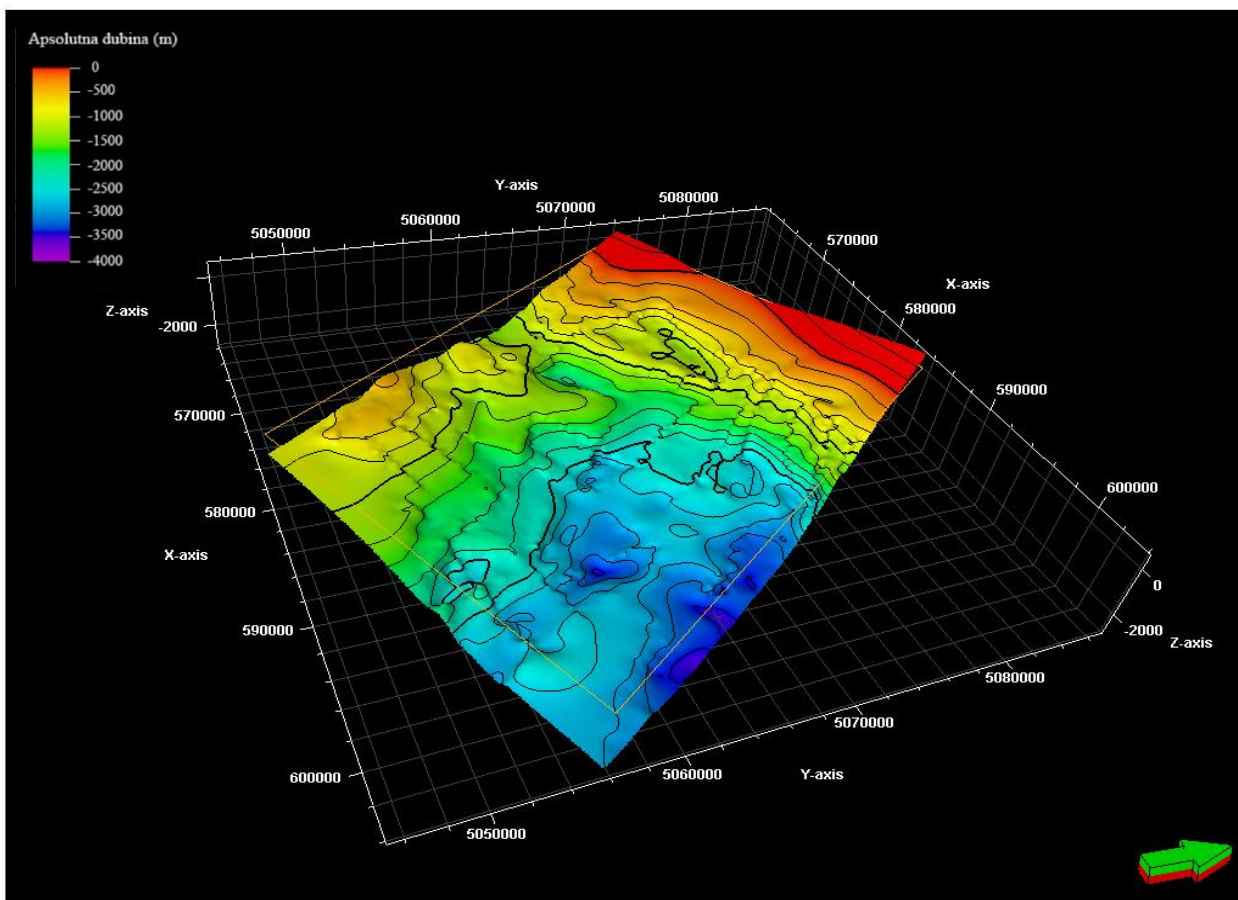
5.2. Računalni program Petrel™ 2014 i izrada potpovršinskog modela

Petrel™ je računalni program u vlasništvu tvrtke Schlumberger koji pruža unaprijed osmišljena rješenja za probleme na koje bi korisnik mogao naići od procesa istraživanja sve do eksploatacije. Koristi se za interpretaciju seizmičkih podataka, korelaciju bušotina, izradu modela naftnih ležišta iz koje je moguće simulirati rezultate, računati rezerve, izrađivati karte i razvijati strategije za poboljšanje rezultata eksploatacije. Računalni program Petrel™ olakšava korisnicima obradu zbog mogućnosti razvrstavanja i analize velikog broja podataka.



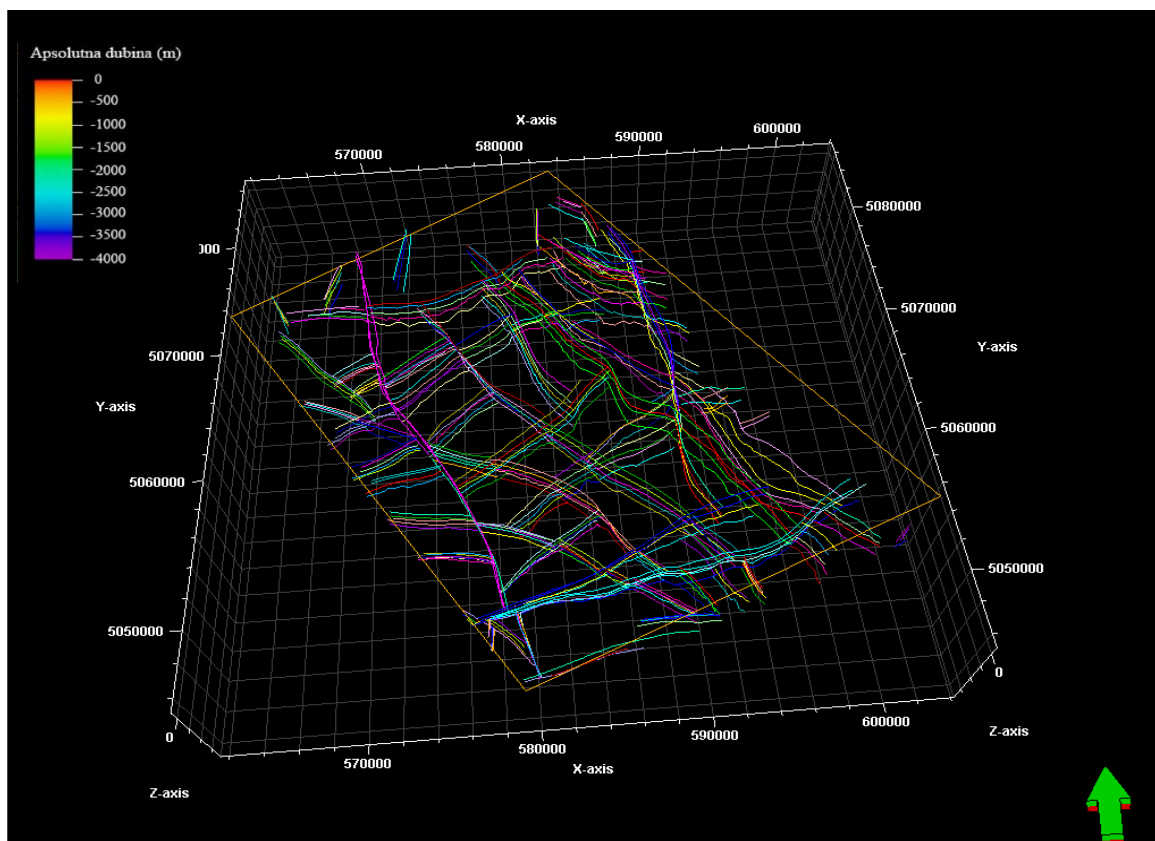
Slika 5-2. *Izgled projekta modeliranja šire okolice Velike gorice*

Proces izrade potpovršinskog modela u PetrelTM - u započinje unosom dobivenih digitaliziranih podataka za stratoizohipse, rasjede i granice rasprostiranja EK – markera i repera. Podatci se unose za svaku strukturnu kartu pojedinačno. Pomoću alata *Izradba/preinaka površine* (engl. *Make/edit surface*) izrađena je površina sa podacima iz shapefile-ova za sve karte napravljene po određenom EK – markeru ili reperu. Na kartama postoji skala kojom su boje vezane uz dubine da bi olakšalo percepciju prostora, te strelica u lijevom donjem kutu koja pokazuje smjer sjevera, tj. smjer pogleda ukoliko rotiramo dobivenu površinu.



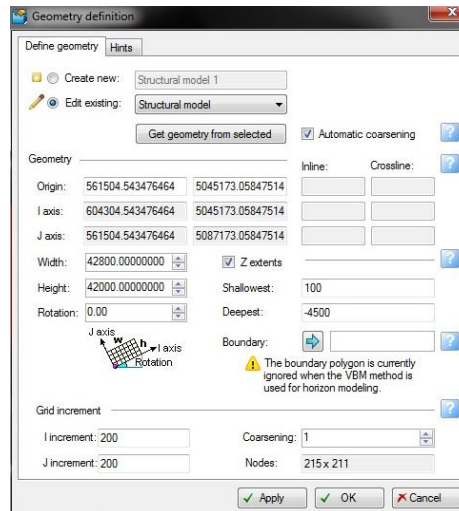
Slika 5-3. Strukturna karta po EK - markeru Rs5

Nakon što je napravljena površina, na nju se unose rasjedi u obliku poligona. Prvo se alatom *Jednaki razmak* (engl. *Equal space*) poligonima dodaje jednak broj točaka radi lakšeg oblikovanja i mijenjanja položaja ukoliko će to biti potrebno. Oni nemaju dubinsku komponentu definiranu u ArcMap-u, pa ju je potrebno dodati translirajući ih na prethodno izrađenu površinu odgovarajuće strukturne karte ili karte paeloreljefa po EK markeru ili reperu. To se radi pomoću alata *Calculations* u koji se unosi površina karte (A) s kojom izjednačava Z koordinata rasjeda ($Z = A$). Modeliranje rasjeda zahtijeva da se njihovi poligoni razdijele pomoću alata *Razdvajanje* (engl. *Split*) na zasebne poligone. Zatim se grupiraju na način da svaka grupa rasjeda ima svoju mapu (engl. *Folder*). Poligoni koji su „sami“, tj. ne mogu se grupirati ni sa jednim drugim poligonom, brišu se jer ih program PetrelTM ne bude zadovoljavajuće modelirao zbog manjka prostornih podataka. Poligoni su razdijeljeni u 78 mapa koje predstavljaju isti broj rasjeda na istraživanom području (Slika 5-4.).



Slika 5-4. Sistematizirani poligoni od 78 rasjednih ploha

Kada završi grupiranje rasjednih poligona po mapama, potrebno je postaviti strukturni okvir (*engl. Structural framework*) kojim se određuje geometrija modeliranog područja. Tim postupkom dobiju se rasjedne plohe kreirane po izgledu interpretiranih rasjednih poligona. *Geometrija modeliranog područja (engl. Geometry definition)* definirana je prema granici modeliranog područja i prema površini stratoizohipsa EK – repera *Tg* (Slika 5-5.).



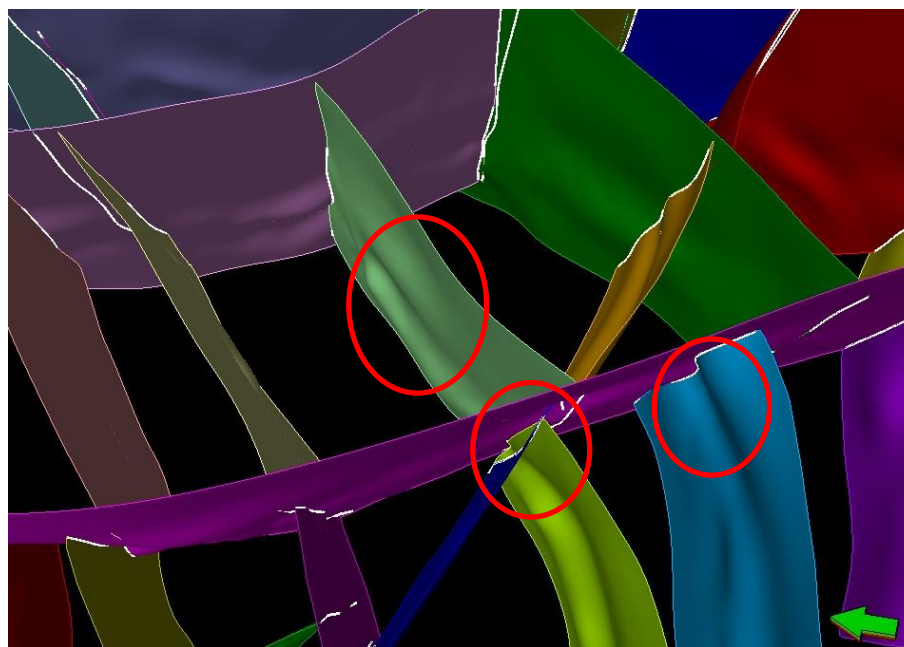
Slika 5-5. Definiranje geometrije modeliranog područja

Rasjedne plohe su napravljene uz pomoć alata za modeliranje rasjeda i međusobnih odnosa između rasjeda (*engl. Fault framework modeling*). U prethodnim postupcima je napravljeno 78 mapa, koje su sadržavale poligone rasjeda. Svaka grupa poligona predstavlja rasjed koji se pojavljuje na više od jedne strukturne karte napravljene po EK – markeru ili reperu. Njihovom grupacijom moguće je dobiti plohu koja ima definiran svoj položaj u prostoru (Slika 5-6.).

Index	Fault	Color	Size	Status	Grid interval	Smoothing	Tip loop style	Tip loop sculpting diameter	Extrapolation distance	Gridding plane	Fault top	Input #1	Input #2	Input #3
1	Polygon 99		389	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	50.00	Plane1		Polygon...	Polygon...	Polygon...
2	Polygon 1		1908	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	50.00	Plane1		Polygon...	Polygon...	Polygon...
3	Polygon 109		250	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	50.00	Plane1		Polygon...	Polygon...	Polygon...
4	Polygon 110		292	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1		Polygon...	Polygon...	Polygon...
5	Polygon 95		1164	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	50.00	Plane1		Polygon...	Polygon...	Polygon...
6	Polygon 97		188	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	50.00	Plane1		Polygon...	Polygon...	Polygon...
7	Polygon 98		588	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1		Polygon...	Polygon...	Polygon...
8	Polygon 100		159	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	50.00	Plane1		Polygon...	Polygon...	Polygon...
9	Polygon 101		431	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	50.00	Plane1		Polygon...	Polygon...	Polygon...
10	Polygon 102		574	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	50.00	Plane1		Polygon...	Polygon...	Polygon...
11	Polygon 5		1364	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	50.00	Plane1		Polygon...	Polygon...	Polygon...
12	Polygon 103		136	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1		Polygon...	Polygon...	Polygon...
13	Polygon 104		513	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1		Polygon...	Polygon...	Polygon...
14	Polygon 105		779	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	200.00	Plane1		Polygon...	Polygon...	Polygon...
15	Polygon 4		2065	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1		Polygon...	Polygon...	Polygon...
16	Polygon 106		943	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	200.00	Plane1		Polygon...	Polygon...	Polygon...
17	Polygon 107		1097	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1		Polygon...	Polygon...	Polygon...
18	Polygon 108		76	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1		Polygon...	Polygon...	Polygon...
19	Polygon 7		129	Done	100.00	2	Convex hull	400.00	100.00	Plane1		Polygon...	Polygon...	Polygon...

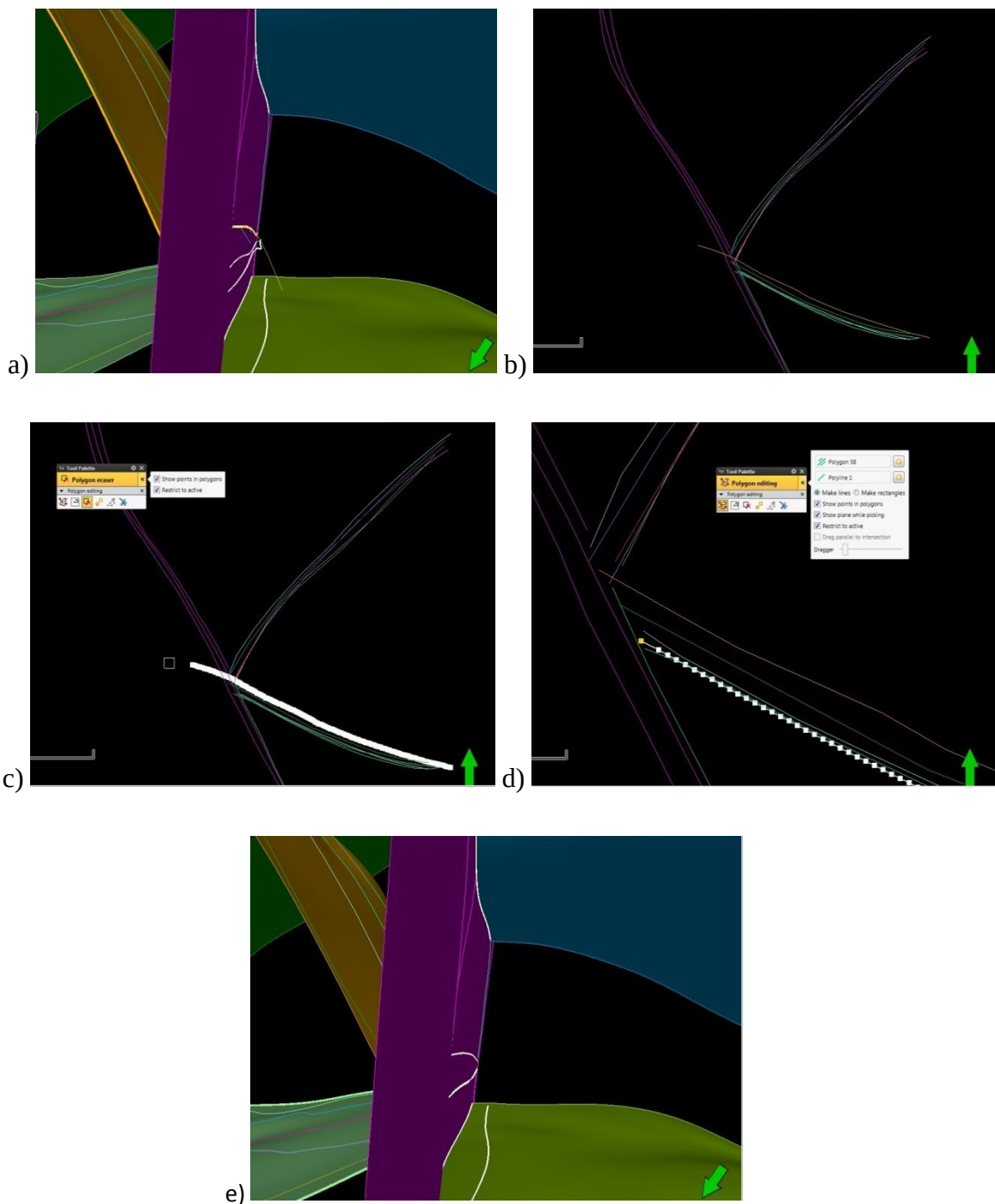
Slika 5-6. Prikaz rasjeda s pripadajućim poligonima

Nakon što su definirani svi osnovni parametri i oblikovani rasjedni poligoni, potrebno ih je modelirati. Pri izradi rasjednih ploha moguće su pogreške (prikazane na slici 5-7.) koje je potrebno ispraviti. Jedna od pogrešaka koje se mogu javiti su nepotpuni kontakti, to je najjednostavnije ispraviti alatom *Duljina ekstrapolacije* (engl. *Extrapolation distance*) kojom program ekstrapolira plohu za duljinu koja se ručno određuje. Nepotpuni kontakt se ispravlja sve do trenutka kada cijeli ne „pobijeli“ na dodirnom kontaktu sa drugim rasjedom, to znači da je postao potpuni. Također, problem s kontaktima može biti i tehničke prirode ukoliko Petrel™ sam pri izradi rasjednih ploha odredi krivo njihove kontakte. Tada se koristi alat *Izmjena odnosa* (engl. *Edit relationships*) i ručno određuje koji je rasjed glavni (engl. *major*) ili sporedni (engl. *minor*) i samim time koja rasjedna ploha presjeca koju.



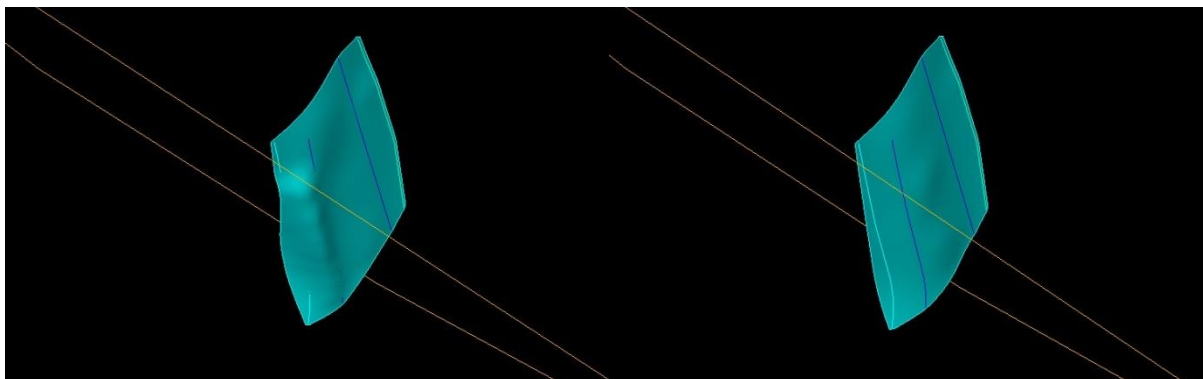
Slika 5-7. Prikaz pogrešaka koje se mogu javiti prilikom izrade rasjednih ploha

Osim kontakta, greška koju je također potrebno ispraviti je i prevelika ili vrlo nepravilna zakrivljenost ploha rasjeda. Greška tog tipa ispravlja se alatom za *Izradbu/preinaku poligona* (engl. *Make/edit polygons*). On omogućuje pomicanje poligona u prostoru, brisanje točaka linije poligona ako je predugačka (Slika 5-8.) ili njihovim pomicanjem i još mnoštvo opcija koje mogu pomoći pri postupku zaglađivanja rasjedne plohe.



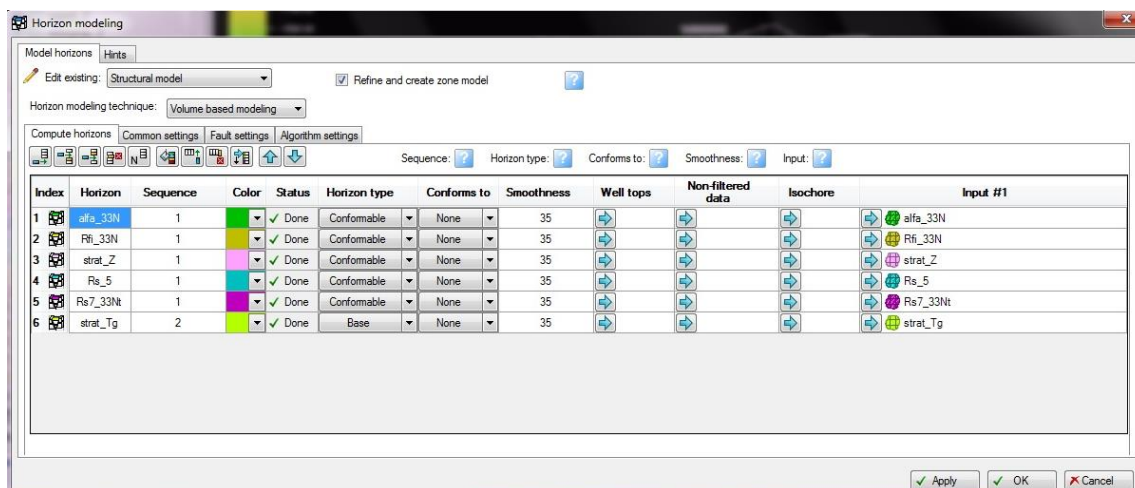
Slika 5-8. Prikaz ispravljanja pogreške pomoću alata Uređivanje poligona: a) poligon „prolazi” kroz susjedni rasjed (3D), b) 2D pogled na poligone, c) brisanje „viška” poligona, d) linija poligona odgovara ostalim linijama, e) rasjedi u potpunom kontaktu

U alatu za modeliranje rasjeda i međusobnih odnosa između rasjeda (*engl. Fault framework modeling*) postoji opcija *Zaglađivanje* (*engl. Smoothing*) koja omogućuje prilagođavanje omjera zaglađenosti plohe rasjeda (Slika 5-9.).



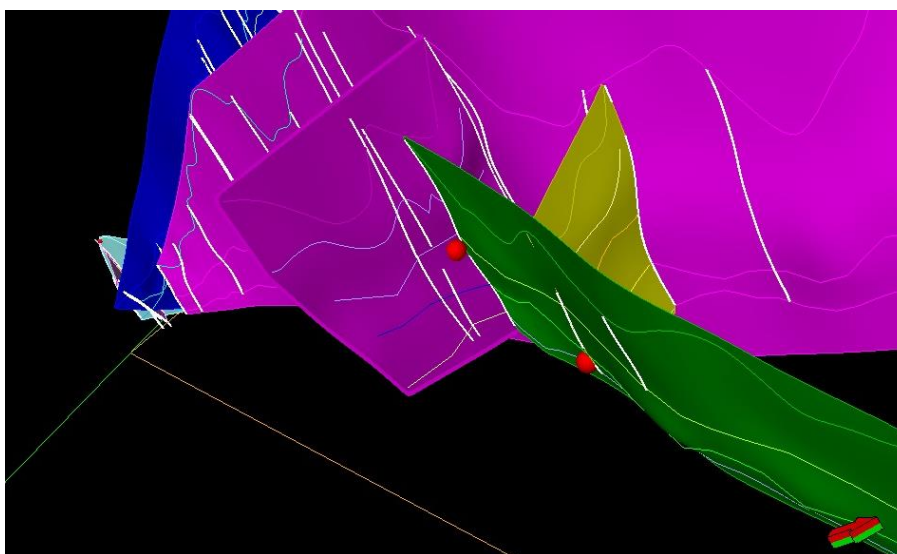
Slika 5-9. Plohe rasjeda prije i poslije procesa zaglađivanja

Posljednja faza rada u PetrelTM - u je izrada potpovršinskog modela. Model obuhvaća sve plohe EK – markera i repera napravljene po površinama izobata i 78 rasjednih ploha koje su unešene u alat *Modeliranje horizonta* (*engl. Horizon modelling*) (Slika 5-10.). Tim postupkom izrađen je potpovršinski model s horizontima u kojima su uvaženi skokovi rasjeda. S obzirom da program PetrelTM u prvom koraku dosta grubo modelira, koristi se alat za kvalitetnije definiranje odnosa i kompletiranje samog modela (*engl. Refine and create 3D model*). U postupku unošenja horizonata, EK – reper *Tg* postavljen je kao baza modela, dok su svi ostali horizonti EK – markera konformni (*engl. conformable*) njemu, tj. bazi modela.



Slika 5-10. *Dijaloški okvir izrade horizonata*

Nakon što se svi podatci urede, u sljedećoj iteraciji Petrel™ opet procesuirala model i javlja pogreške ukoliko ih ima (Slika 5-11.). Ako nema više pogrešaka, model se smatra valjanim s fizičkog gledišta i sam proces modeliranja je gotov.



Slika 5-11. *Prikaz točke (crvena kugla) pogreške koju Petrel prepoznaje tijekom izrade modela*

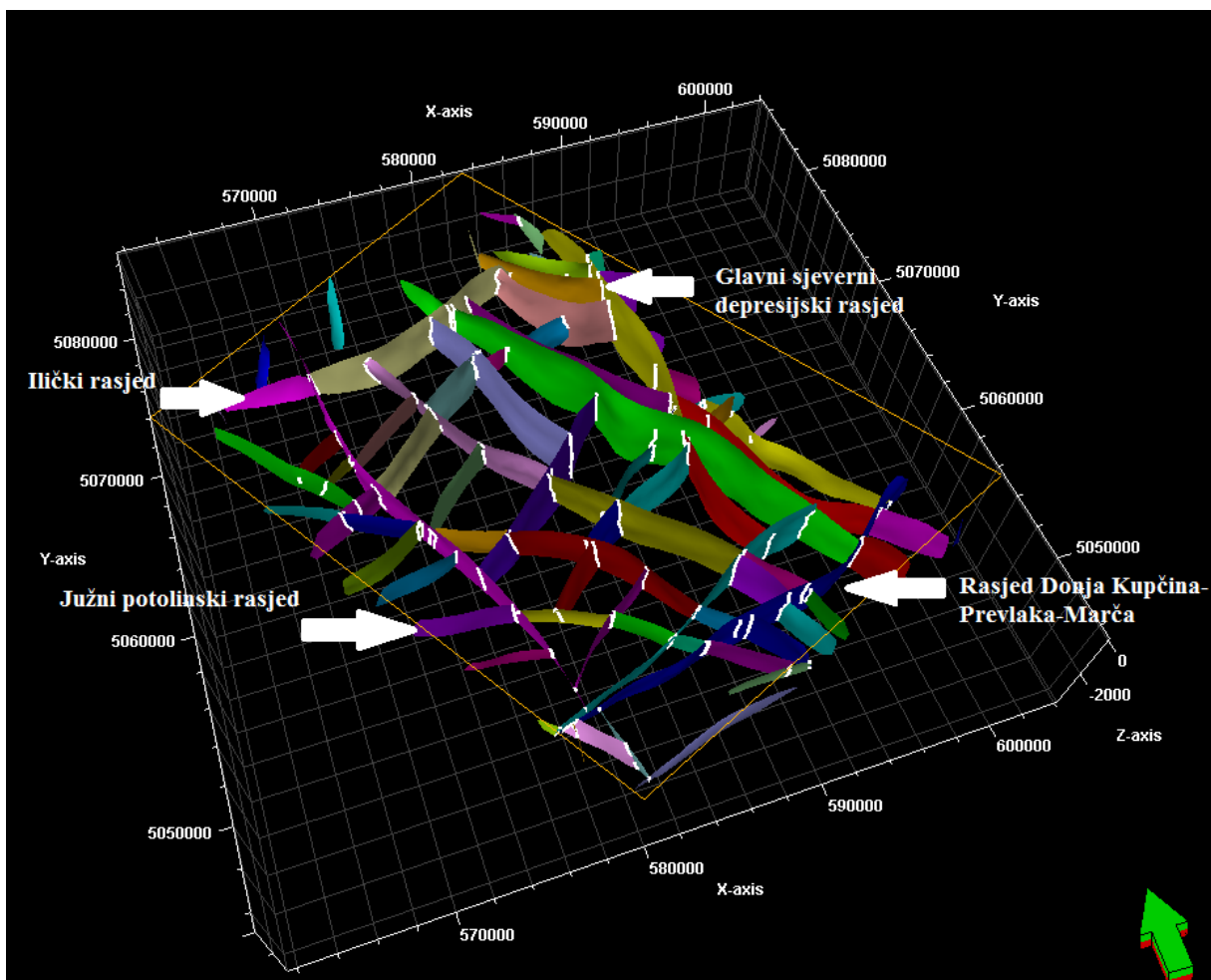
6. REZULTATI

U ovom poglavlju prikazani su i analizirani rezultati dobiveni modeliranjem horizonata EK – markera i repera u PetrelTM – u. Svrha modeliranja bila je dobiti trodimenzionalan prikaz u kojem će biti opisane potpovršinske strukture, prikazani rasjedi i njihovi pomaci te statistička obrada podataka.

6.1. Rezultati modeliranja rasjeda

Strukturni okvir je postavljen konstrukcijom 78 rasjeda na modeliranom području. Kao definirajuća površina određen je EK – reper Tg , tj. njegove izobate. Iznad njega se redaju ostali horizonti od najdubljeg prema najplićem, to su EK – markeri $Rs7$, $Rs5$, Z' , $R\phi$ i α' . On se konstruira kako bi dobili potpovršinski model u kojem je lakše uočile zanimljive strukture i pomake po rasjedima na odedenim dubinama. Također, treba napomenuti da je PetrelTM napravio ekstrapolaciju i izvan područja modeliranja na temelju dostupnih podataka.

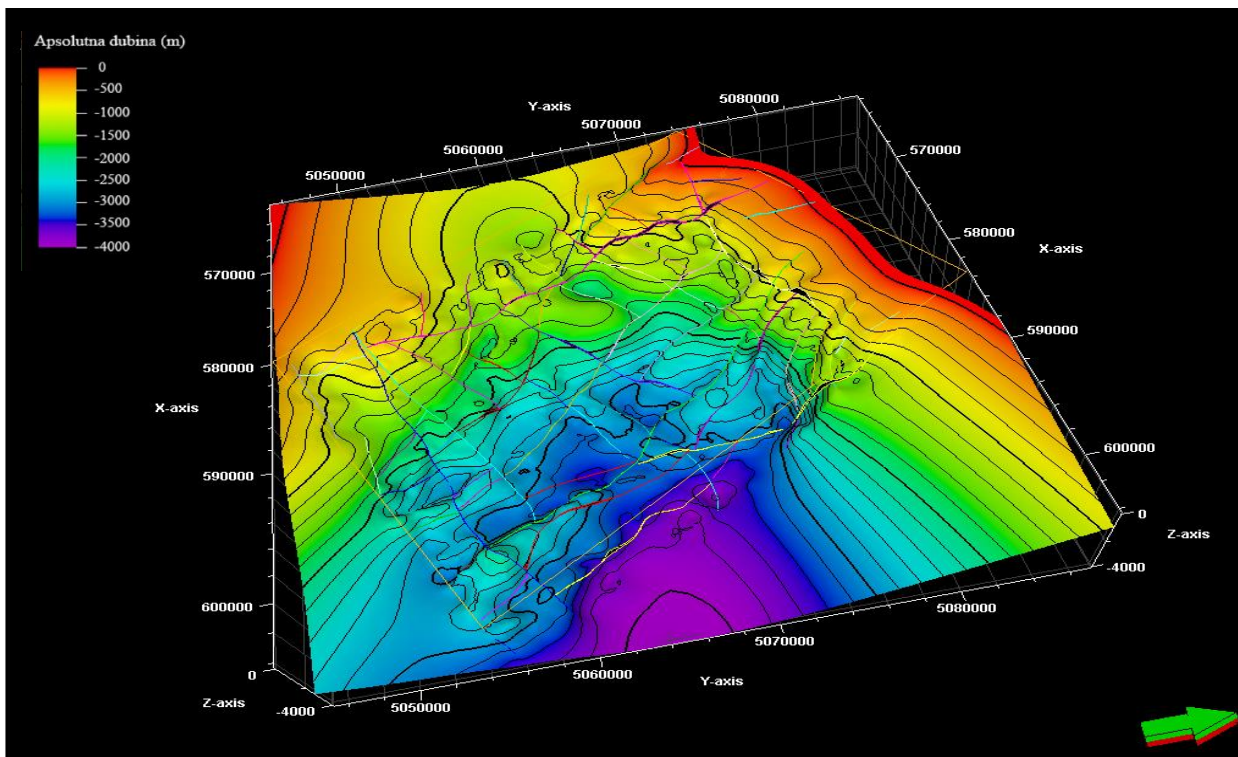
VELIĆ (1980) spominje tri rasjedna sustava, koja karakteriziraju pravci pružanja SZ – JI, JZ – SI i S – J. S obzirom da ih prema strukturnim kartama ima 78, oni su radi lakšeg raspoznavanja prikazani različitim bojama. Gledajući strukturne karte po dubini, lako je uočiti da se one pojednostavljaju od strukturne karte po reperu Tg , prema EK - markeru α' . Odgovor leži u tome da se ne pružaju svi rasjedi po svim horizontima, već neki prestaju nakon horizonta Z' . Najvažniji rasjedi ovog područja su Južni potolinski rasjed, Glavni sjeverni depresijski rasjed, Ilički rasjed i Rasjed Donja Kupčina-Prevlaka-Marča (prikazani na slici 6-1.).



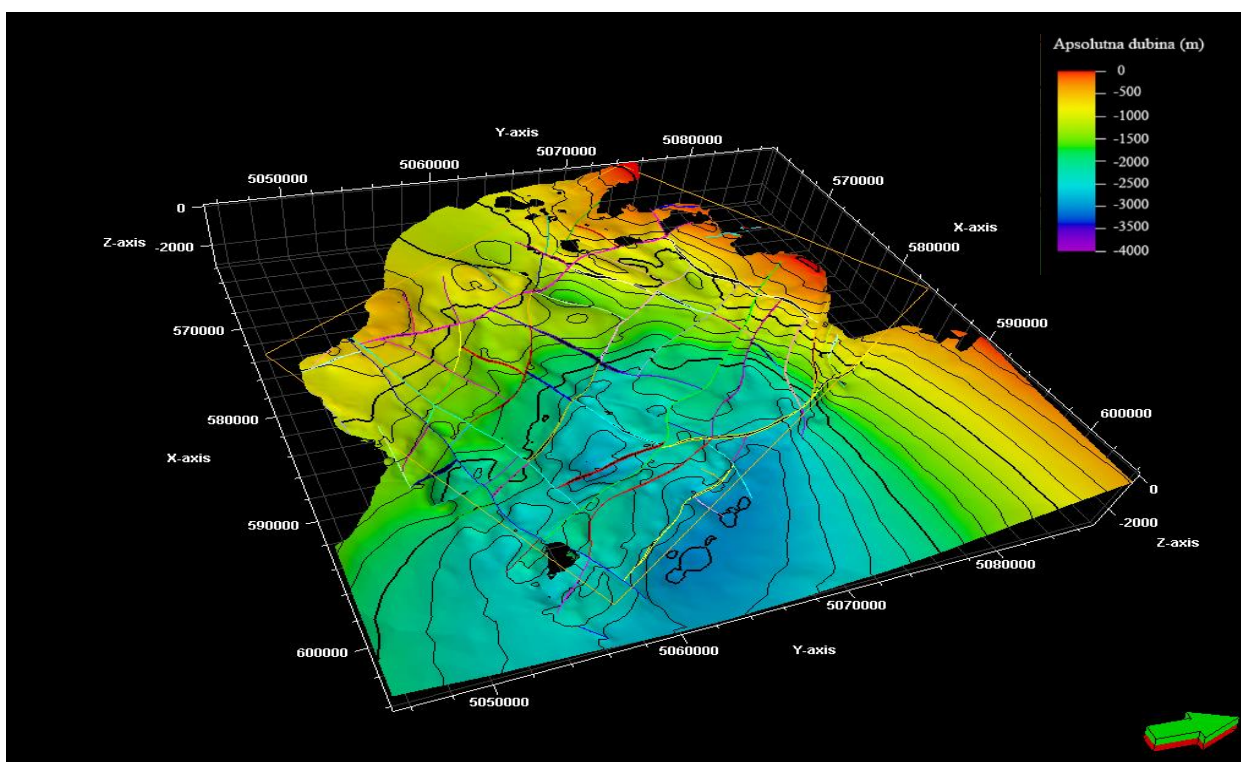
Slika 6-1. Pregled svih modeliranih rasjednih ploha sa naznačenim najvažnijim rasjedima

6.2. Potpovršinski model

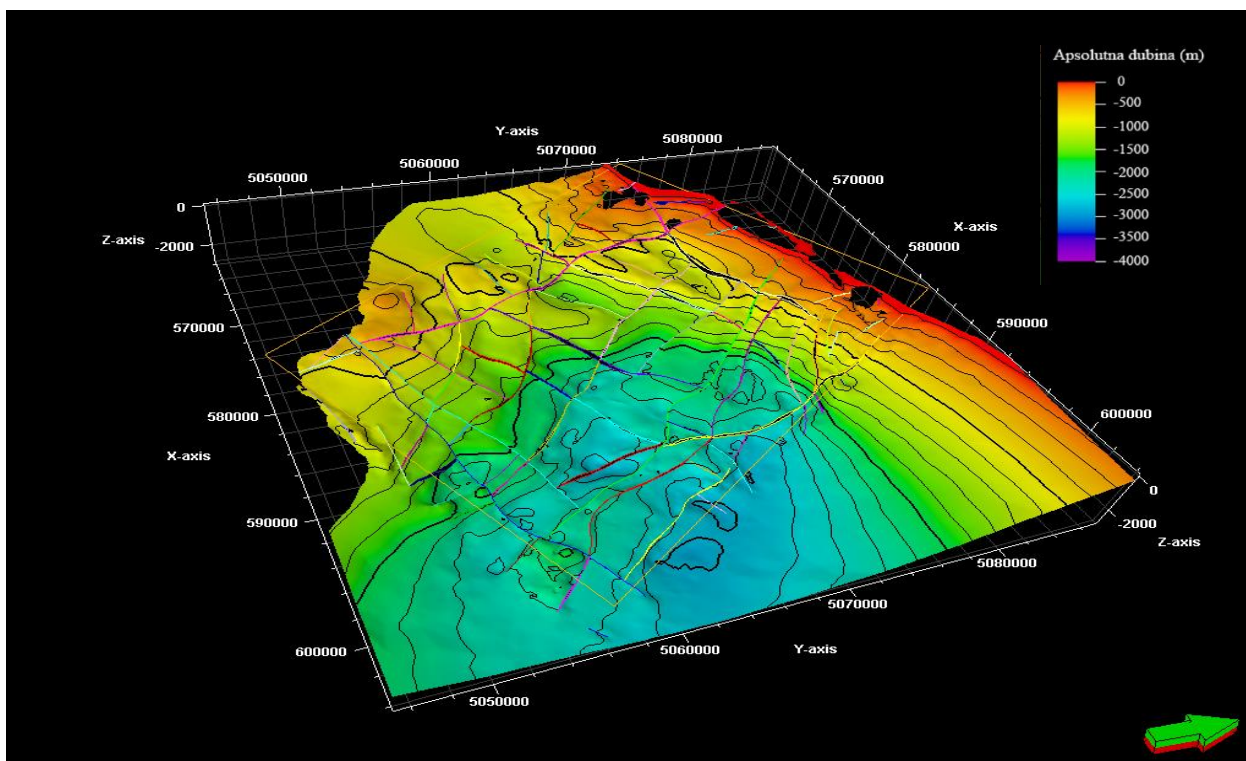
Potpovršinski model konstruiran je pomoću alata *Horizon modeling* i prikazuje trodimenzionalnu građu podzemlja na karti paleoreljefa i pet strukturnih karata napravljenih po EK – reperu i markerima (Slike 6-2. do 6-7.). Svrha izrade modela bila je dobiti podzemne strukture i sustave rasjeda te njihove promjene po dubini.



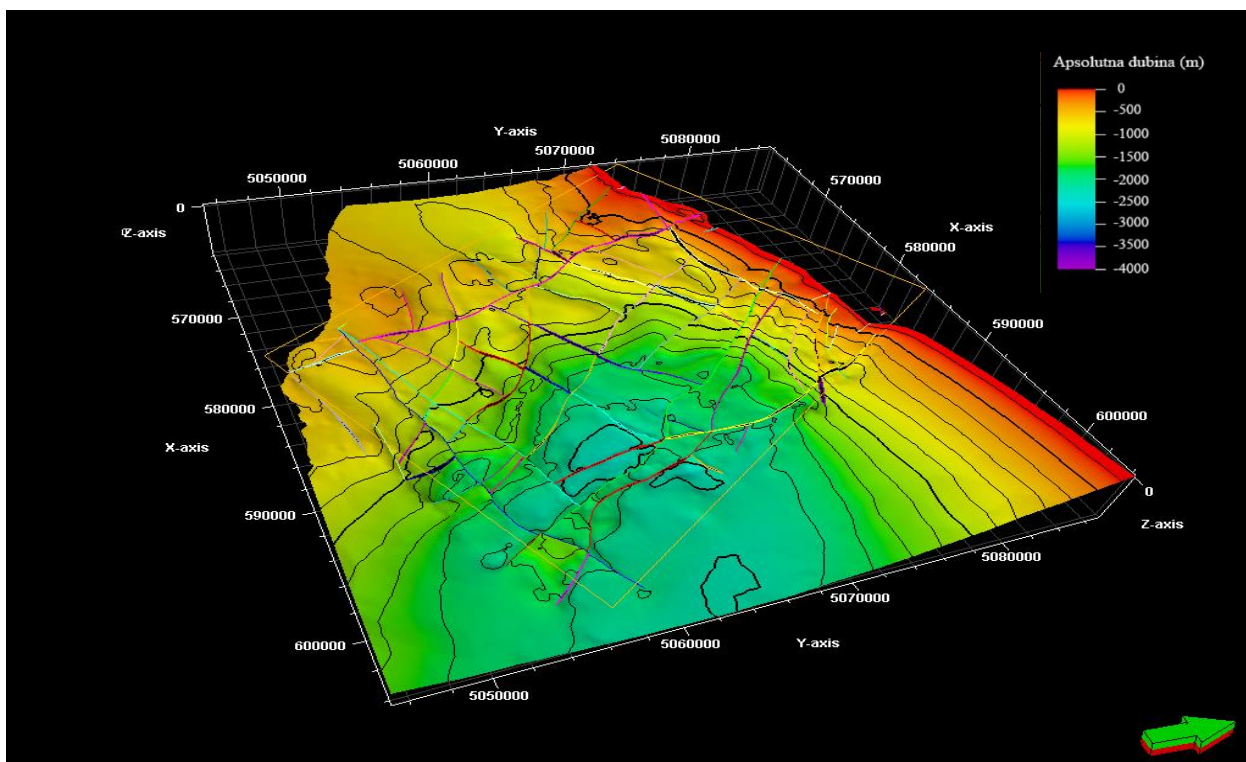
Slika 6-2. Ploha izrađena po EK - reperu Tg



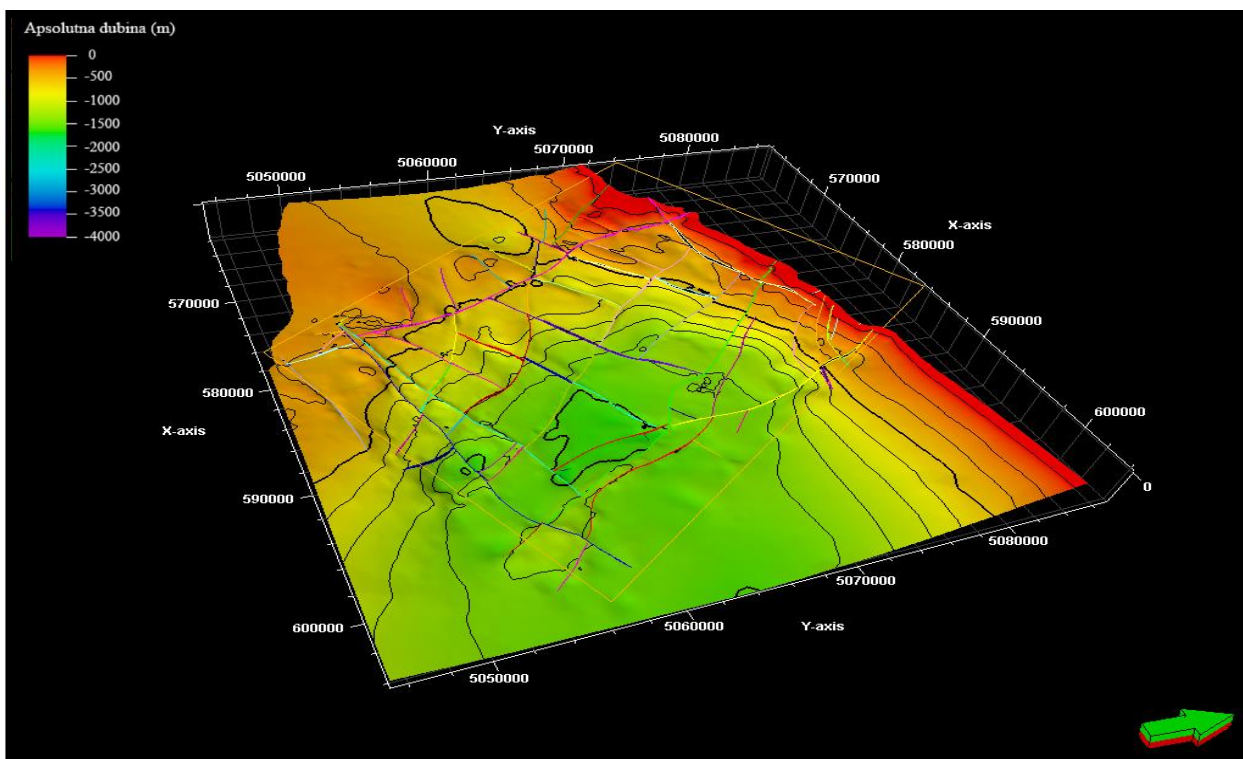
Slika 6-3 Ploha izrađena po EK - markeru Rs7



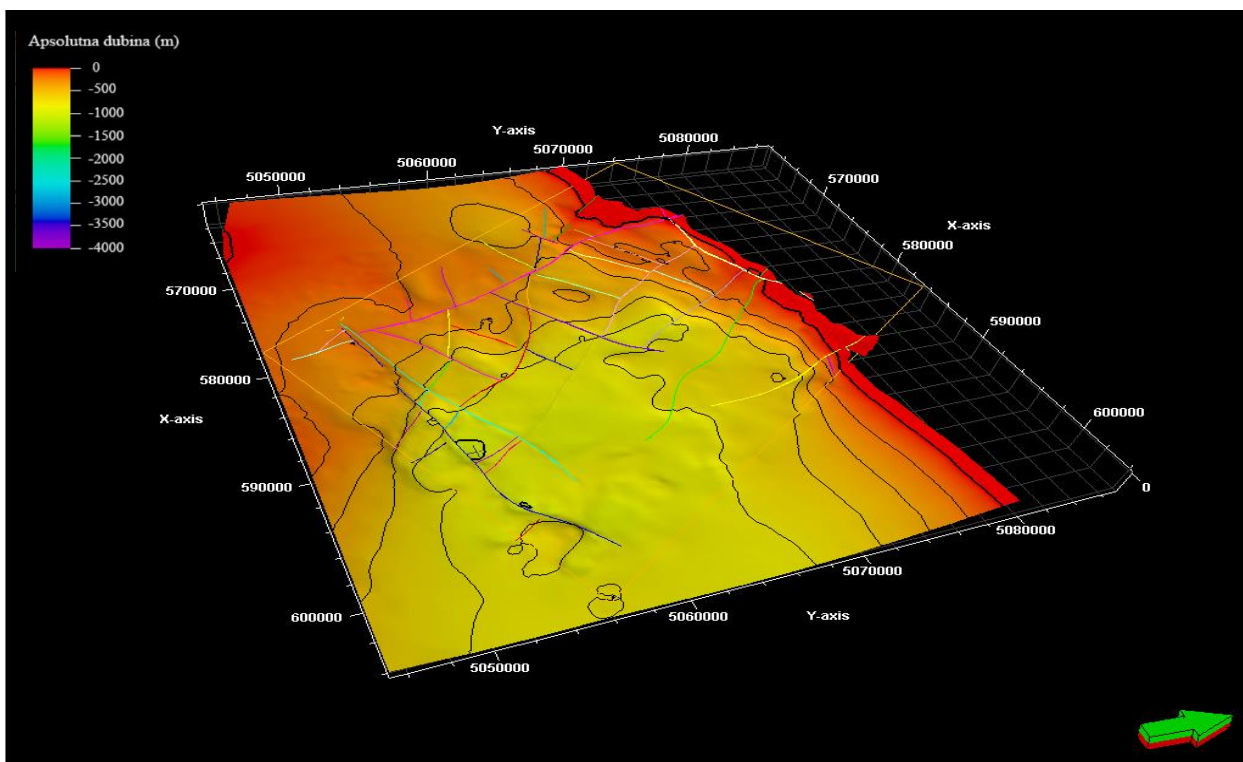
Slika 6-4 Ploha izrađena po EK - markeru Rs5



Slika 6-5 Ploha izrađena po EK - markeru Z'



Slika 6-6. Ploha izrađena po EK - markeru $R\phi$

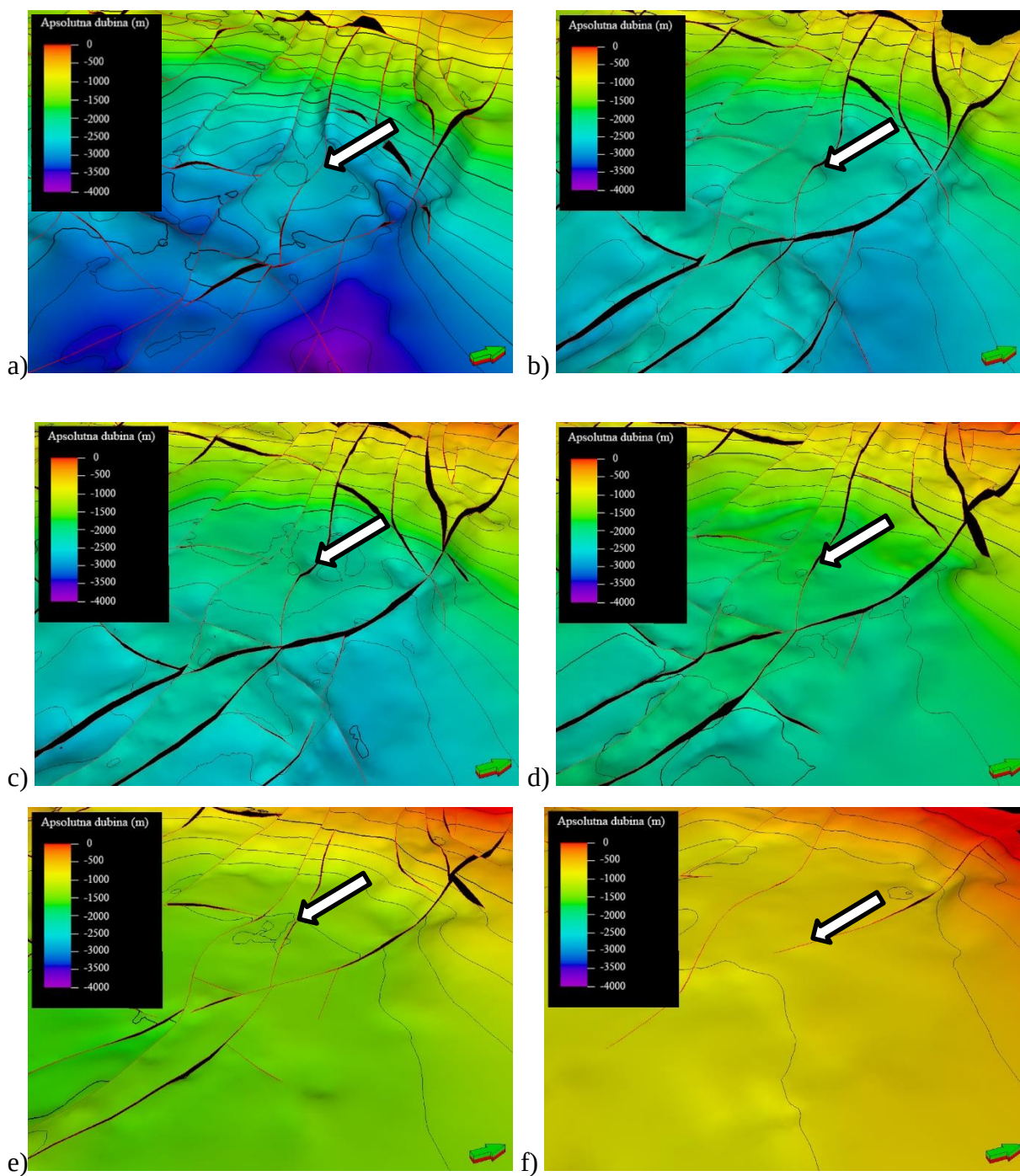


Slika 6-7. Ploha izrađena po EK – markeru α'

Modelirano područje je relativno jednostavne građe. Sjeverozapadni, zapadni i jugozapadni dijelovi su izdignuti s obzirom na ostatak terena, dok na središnjem i istočnom dijelu strukture tonu prema jugoistoku. Gledamo li taj dio na horizontu Tg , ne možemo govoriti o sinklinali jer ona predstavlja strukturu, a Tg predstavlja tektonsko – erozijsku diskordanciju (**Prilog I.**) između neogensko – kvartarnih taložina (**Prilozi II. – VI.**) i starijih stijena, tj. predstavlja paleoreljef.

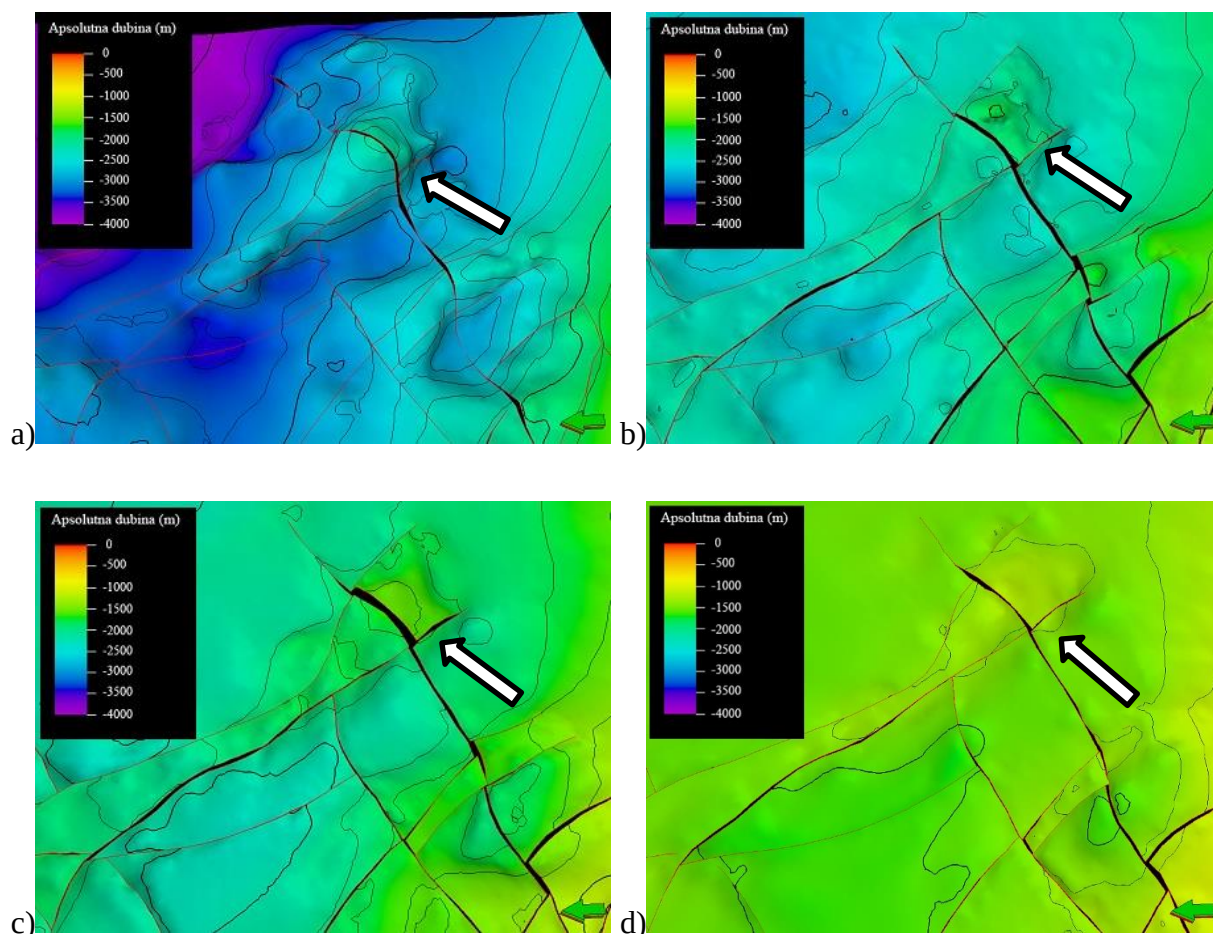
Na istraživanom području konstruirano je šest profila pomoću kojih je dobiven bolji uvid u potpovršinske strukture. Iz njih je vidljivo da su gotovo svi rasjedi normalni, a osim njih se pojavljuju i reaktivirani rasjed (**Prilozi VII. – XII.**).

Struktura Odra je dio velike horst-antiklinale Odra – Oborovo – Martinska Ves koja se proteže kroz zapadni dio Savske depresije. Na plohama izrađenima po modelu zabilježeni su veći skokovi na EK – reperu Tg i markeru $Rs7$ (**Prilog VII.**), što je zapisano i u literaturi (VELIĆ, 1980). Dalje prema površini na EK markerima $Rs5$ i Z' je moguće pratiti strukturu, ali postaje sve slabije istaknuta. Na EK-markerima $R\phi$ i α' više nema horst antiklinale, već samo antiklinala. Struktura i njezine promijene su prikazane na slici 6-8.



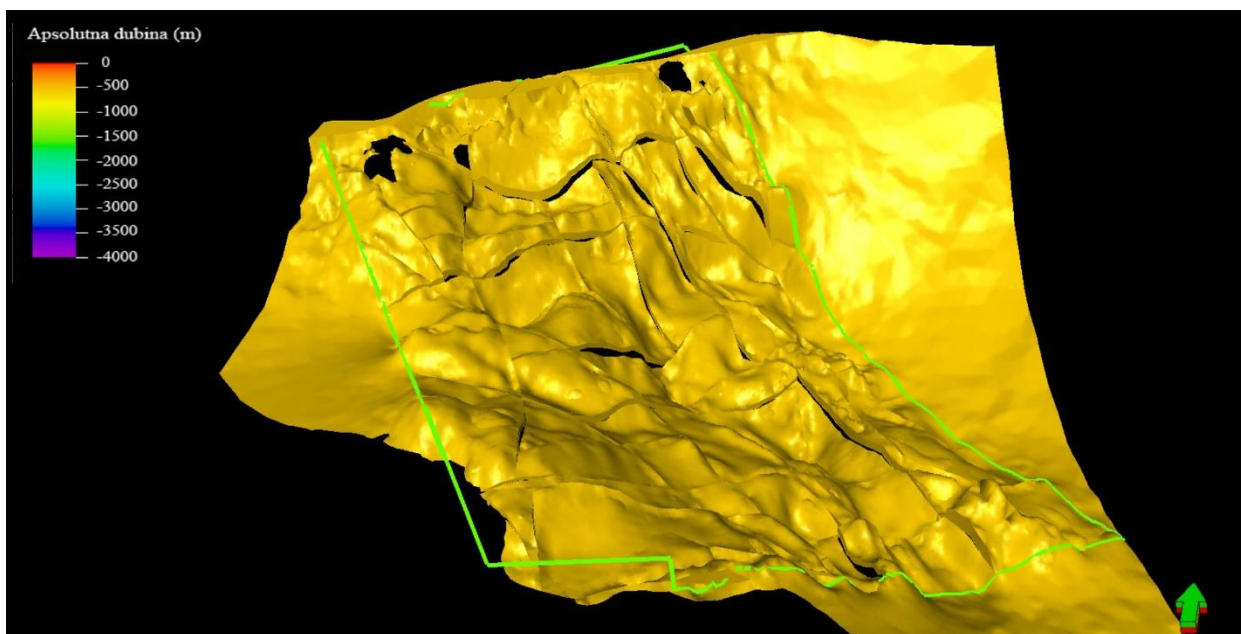
Slika 6-8. Prikaz strukture Odra po plohama EK-repera i markera: a) Tg, b) Rs7, c) Rs5, d) Z', e) Rφ i f) α'

Rasjednuta antiklinala na području Veleševca nije posebno spomenuta u literaturi, dok je na modelu jedna od rijetkih istaknutih struktura. Dobro se vidi na EK – reperu *Tg*, a na markeru *Rs7* nije vidljiva jer isklinjava na reper *Tg*, što je na modelu vidljivo kao nepostojanje strukture (**Prilog XI.**). Iz tog razloga on ni nije prikazan na slici 6-9. Idući prema površini, struktura postaje manje istaknuta, ali se može pratiti sve do markera *Rφ* nakon kojeg više nije vidljiva na strukturnim kartama (**Prilozi I. do VI.**).



Slika 6-9. Prikaz strukture *Veleševac* po plohama EK-repera i markera: a) *Tg*, b) *Rs5*, c) *Z'*, d) *Rφ*

Trodimenzijski prikaz zona napravljen je prema podacima o prostoru između EK – repa i markera. Na slici 6-10. prikazan je volumen između EK – markera *Rs7* i *Rs5*.



Slika 6-10. *Volumni prikaz prostora između EK – markera Rs7 i Rs5*

6.3. Proračun odstupanja modeliranih ploha od izvornih karata

Statistički račun se provodi u svrhu detaljnijeg analiziranja podataka te utvrđivanja eventualne pogreške koja može upućivati na problem pri izradi modela (npr. pogrešno digitalizirana stratoizohipsa kojoj je pridodana kriva vrijednost apsolutne dubine).

Prilikom računanja statističke vrijednosti odstupanja modela korištene su usporedbe vrijednosti apsolutne dubine sa ploha po pet EK – markera i jednom reperu izrađenih na temelju ručno izrađenih strukturnih karata i izvornih karata (VELIĆ, 1980). Korištene su vrijednosti apsolutnih dubina 1911 pravilno prostorno raspoređenih točaka očitanih sa strukturne karte i istovjetne karte unutar modela. Broj odabranih poligona iz kojih su iščitane koordinate točaka varira na pet strukturnih karata i karti paleoreljefa od 10 do 13, ovisno o generalnoj pokrivenosti područja. Za početak odabiremo jednu liniju (poligon) koju sačinjava određeni broj povezanih točaka koje imaju koordinate položaja u prostoru (x i y) i vrijednost z koja predstavlja dubinsku komponentu. Prvo se očitaju dubinske vrijednosti sa strukturnih karata, to su stratoizohipse sa strukturnih karata. Nakon njih se očitavaju z vrijednosti sa modeliranih karata, konstruiranih prema strukturnim kartama, te se računa postotak

odstupanja. Koordinate x i y su jednake na obje karte pa nije potrebno računati odstupanje. Svi podatci se unose u Microsoft Excell tablicu zbog lakšeg izračuna i preglednosti podataka. Jednadžba (5-1) pomoću koje je dobiven izračun glasi:

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

(5-1.)

gdje su:

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

Z (B) - vrijednost očitane dubine pojedine točke na modeliranoj karti

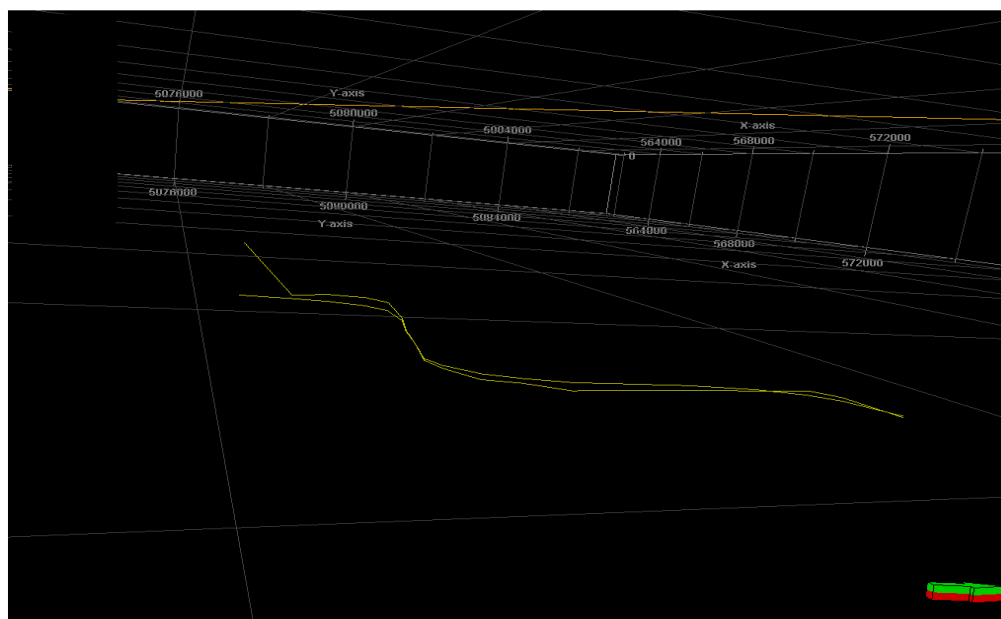
X - vrijednost odstupanja koja pomnožena sa 100 daje postotak odstupanja.

Nakon računanja prosječnih odstupanja za svaku točku pojedinog poligona, potrebno je izračunati prosječno odstupanje po pojedinim kartama horizonata izraženo u postotcima. Srednje vrijednosti postotaka odstupanja od ručno izrađenih strukturnih karata prikazane su u *Tablici 1.*

Tablica 6-1. *Prikaz iznosa pogreške prema EK markerima i reperu*

Ploha EK – markera/EK – repera	Srednja vrijednost odstupanja (%)
α'	0,7597 %
R ϕ	0,6026%
Z'	0,5523 %
Rs5	0,7633 %
Rs7	0,4339 %
Tg	0,6969 %

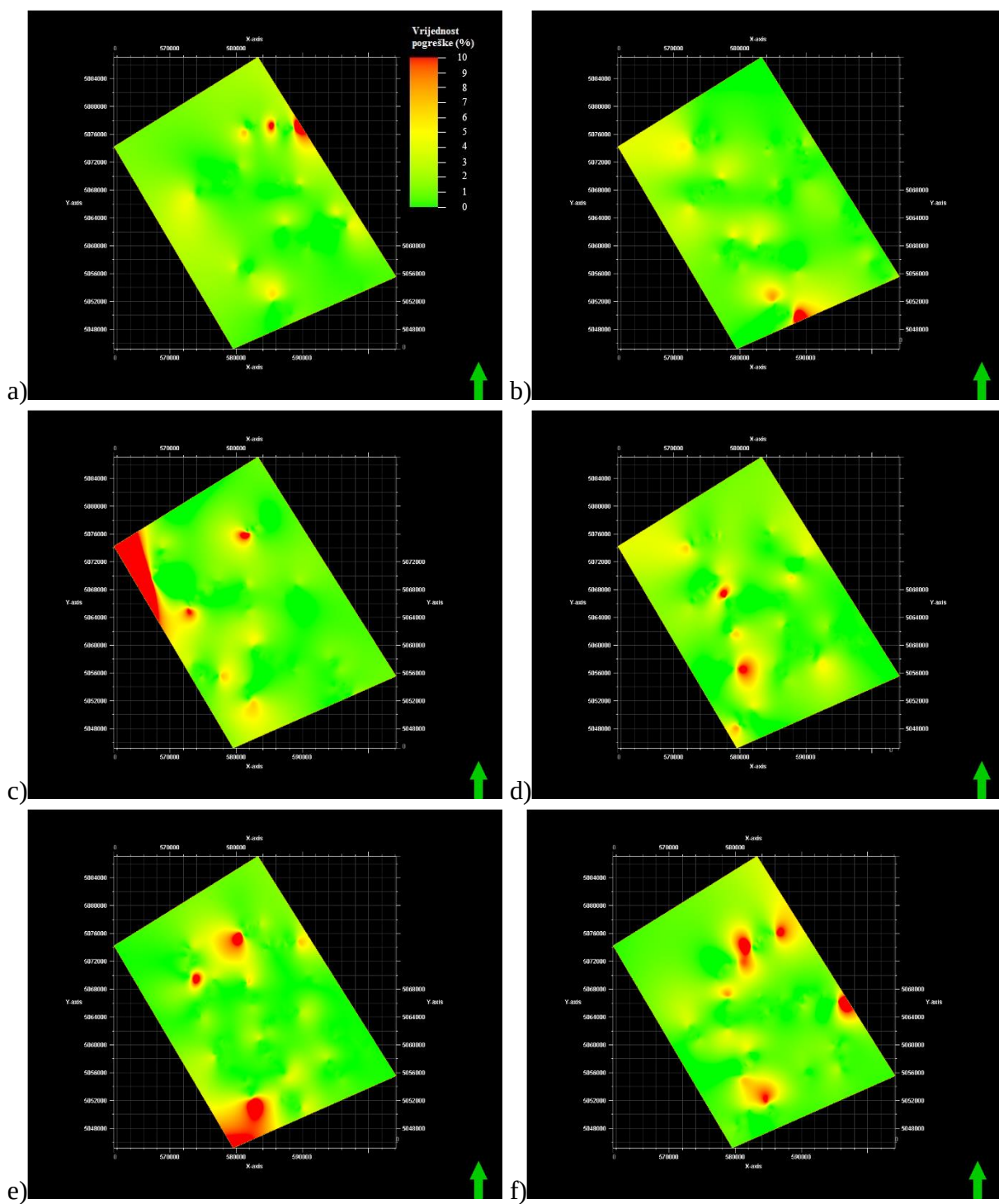
Prosječna vrijednost odstupanja modela od strukturnih karata je određena na četiri decimalne i iznosi 0,6348 %. Primjetno je da su odstupanja modela od strukturnih karata vrlo mala uz točke na zaravnjenim dijelovima ploha te one koje nisu u blizini rasjeda. Točke koje se nalaze uz rasjede imaju veće vrijednosti odstupanja što je i vidljivo na modelu kao pomak ili deformacija. Razlog tih odstupanja leži u činjenici da se prilikom modeliranja strukturnog okvira alatom *fault framework modeling* mijenjaju izgledi ploha rasjeda, njihovi kontakti kao i veličina ekstrapolacijom. No, to je potrebno napraviti da bi računalni program Petrel™ 2014 konstruirao model. Na slici 6-11. prikazan je izgled pogreške u prostoru.



Slika 6-11. Izgled pogreške u prostoru

Karte pogrešaka

Nakon što je napravljen izračun statističkog odstupanja, izrađene su i karte pogrešaka kako bi područja s većim odstupanjima bila prikazana u prostoru. Ti podatci se uvode u Petrel™ gdje svaka točka ima svoje mjesto određeno koordinatama. Zatim se koristi alat *Napravi/uredi površinu* (engl. *Make/edit surface*) koji konstruira površinu na temelju vrijednosti odstupanja u ograničenom području modeliranja. Vrijednosti pogreške se kreću od 0 do 46 % ovisno o području sa kojega su točke preuzete. Na mjestima gdje je ploha zaravnjena, pogreška je gotovo zanemariva, dok je u blizini rasjeda veća. Na slici 6-12. prikazane su vrijednosti pogreške po strukturnim kartama. Zelenom bojom prikazana područja gdje greške nema ili je vrlo mala, dok crvena područja odgovaraju većem iznosu pogreške.



Slika 6-12. Prikaz pogrešaka po katrama a) T_g , b) $Rs7$, c) $Rs5$, d) Z' , e) $R\phi$, f) α'

7. ZAKLJUČAK

Cilj ovog diplomskog rada bio je digitalizirati strukturne karte (VELIĆ, 1980) te dati novi pogled na modelirano područje i omogućiti daljnje korištenje podataka za regionalna istraživanja. Istraživano područje odnosi se na prostor ispod gradova Zagreb i Velika Gorica kao i njihove okolice. Konstruirano je 78 rasjednih ploha kojima su određeni glavni smjerovi pružanja, njihov razmještaj u prostoru i kako oni utječu na strukture te na kraju model sa šest horizonata – pet po EK markerima i jedan po EK reperu Tg.

Izračunato je i statističko odstupanje izrađenog modela od izvornih karata, koje iznosi u prosjeku 0,6348 %, što potvrđuje veliku točnost i preciznost prilikom izrade modela. Nešto veća odstupanja, ali i dalje u dopuštenim granicama (<5%), javljaju se uz rasjedne plohe. Razlog tome su preinake koje su napravljene na rasjednim ploham prilikom izrade modela (ekstrapolacija, pomicanje poligona da bi se zagladila rasjedna ploha i dr.) gdje je došlo do promjene odnosa modeliranih horizonata i rasjednih ploha.

Obzirom da računalno potpovršinsko modeliranje spada u nešto novije metode istraživanja, postoji veliki prostor koji bi se u budućnosti mogao obraditi i kao takav koristiti za regionalna istraživanja. Računalni programi omogućuju istovremeno korištenje velikog broja raznovrsnih podataka, koji tada mogu poslužiti za bazensko modeliranje i druga regionalna istraživanja. Također, ako se ovim podacima pridruže litostratigrafski podatci, dobiju se korisne informacije za istraživanje ugljikovodika u svrhu okrivanja novih ležišta.

8. LITERATURA

BAKETARIĆ, T., CVETKOVIĆ, M. 2015. Subsurface modelling of the Neogen-Quaternary sediments in part of the Sava Depression based on digitalization of legacy map data, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 30, 2. 67-84

BASCH, O. 1983. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Ivanić-Grad L33-81.- Geološki zavod, Zagreb (1980), savezni geološki institut, Beograd 66. str.

CVETKOVIĆ, M. 2013. Naftnogeološki potencijal i litostratigrafska razradba trećega neogensko-kvartarnog megaciklusa u Savskoj depresiji (Lithostratigraphic Units of the Third Neogene- Quaternary Megacycle in the Sava Depression and Their Petroleum Potential). Doktorski rad. Zagreb: Rudarsko – geološko – naftni fakultet, str. 175.

CVETKOVIĆ, M., MALVIĆ, T. 2013. Defining electro-log markers in poorly consolidated, heterogeneous clastic sediments using standard deviation data trends – an example from the Sava Depression, Pannonian Basin System. 16th Hungarian & 5th Croatian and Hungarian congress abstract and program book, Horváth, J. ; Wágenhoffer, A. Geiger, J. Cvetković, M. Malvić, T. (ur.), Seged, 1-4.

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 oart of the Pannonian basin, Yugoslavia. – Conference of the Institute of Petroleum and AAPG, Brighton, str. 113 – 130.

FOETTERLE, F. (1861/62): Geologische Karte von Kroatien, Jahrb. Geol. Reichsanst., 12/1 (Verh. 123–124), Wien.

HERAK, M. (1987): Geologija. Školska knjiga, Zagreb, 450 str.

KLEIN, V. 1972. Die Ergebnisse einer vorläufigen geomorphologischen Analyse des Taltalles des Savastromes im Gebiete der nordwestliche Hälfte der Savagrebens unter Berücksichtigung der neotektonische Verhältnisse. Bull. sci. Cons. Acad. Yugosl., (A), 17/1-2, 4-6, Zagreb

KLEIN, V., STOJADINOVIĆ, P. 1970. Rezultati fotogeomorfološke analize područja Zagrebačkog polja između podsuseda i Španskog, Građevinar, 4, 128-130, Zagreb

KRANJEC, V., PRELOGOVIĆ, E., HERNITZ, Z. 1972a. Strukturno – geomorfološko proučavanje neotektonskih gibanja u dijelu Posavine između Zagreba i Siska, te obziri kod planiranja gradnji. II Simp. o hidrogeol. i inž. geol. knj. 2, 163-186, Srajevo

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., 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.

OŽEGOVIĆ, F. 1944. Prilog geologiji mlađer tercijara na temelju podataka iz novijih dubokih bušotina u Hrvatskoj. Vjesnik Hrvatskog državnog geološkog zavoda i muzeja, 2-3, 391-472, Zagreb

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.

PILAR, Đ. 1881. Grundzüge der Abyssodynamik. Deutsch. Rundsch. Geogr. Und Statistik 1-98, Wien.

- PILAR, Đ. 1883. Flora fossilis Susedana. Descriptio plantarium fossilium quae in lapidacis ad Nedjelja, Sused, Dolje, etc. Vicinitate civitatis Zagrebiensis husuquae repertae sunt. Djela Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, 4, VIII + 163, Zagreb
- 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., MALVIĆ, T., 2008. Dubinsko kartiranje. Fakultetska skripta. Rudarsko geološko naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, str. 46.
- SAFTIĆ, B., VELIĆ, J., SZTANO, O., JUHAS, G., IVKOVIĆ, Ž. 2003. Tertiary subsurface facies, source rocks and hydrocarbon reservoirs in the SW part of the Pannonian Basin (northern Croatia and south-western Hungary). Geologia Croatica, 56, 1, 101-122.
- ŠIKIĆ, D., BASCH, O. 1975. Geološka zbivanja od paleozoika do kvartara u zapadnom dijelu Zagrebačke regije. II god. Znan. skup. Sekcije za primjenu geologije, geofizike i geokemije ZSN Jugosl. akad. znan. umjetn., (A), 5, 69-84, Zagreb
- ŠIKIĆ, D., PLENIČAR, M. ŠPARICA, M. 1972. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Ilirska Bistrica L33-89.- Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Geološki zavod, Ljubljana (1958-1967), Savezni geološki institut, Beograd
- 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, F. 1973. O nekim rezultatima regionalne korelacije litostratigrafskih jedinica u jugozapadnom području Panonskog bazen. Nafta, 24/12, 623-630, Zagreb
- ŠIMON, J. 1980. Prilog stratigrafiji u taložnom sustavu pješčanih rezervoara Sava-grupe naslaga mlađeg tercijara u Panonskom bazenu sjeverne Hrvatske. – Disertacija, RGN fakultet, Sveučilišta u Zagrebu, str. 66.

TOMLJENović, B., CSONTOS, L., 2001. Neogene-Quaternary structures in the border zone between Alps, Dinarides and Pannonian basin (Hrvatsko zagorje and Karlovac Basins, Croatia). International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau). 90. 3 str. 560-578

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, Sveučilište u Zagrebu, str. 342.

VELIĆ, J., MALVIĆ, T., CVETKOVIĆ, M. 2015. Geologija i istraživanje ležišta ugljikovodika, RGN fakultet, Sveučilište u Zagrebu

VELIĆ, J., WEISSER, M., SAFTIĆ, B., VRBANAC, B., IVKOVIĆ, Ž. 2002. Petroleum-geological characteristics and exploration level of the three Neogene depositional megacycles in the Croatian part of the Pannonian basin. Nafta, 53/6–7, Zagreb, str. 239–249.

VELIĆ, J., WEISSER, M., SAFTIĆ, B., VRBANAC, B., IVKOVIĆ, Ž. 2002. Naftnogeološke značajke i istraženost triju neogenskih megaciklusa u hrvatskom dijelu Panonskog bazena. Nafta. 53, 6-7. 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.

Stručni članci/interna literatura

KLEIN, V. PERIĆ, M., DONNELLI, B., PETRINEC, F., MIKIĆ, V., CEPANEC, Z., RATKOVIĆ, P. 1966. Prethodna morfološka analiza neotektonskih pokreta u SZ dijelu Savske potoline. Fond struč. dokum. INA-Naftaplin, Zagreb

KLEIN, V., 1970. Morfografsko – neotektonska analiza sjeverozapadnog dijela Savske potoline. Fond struč. dokum. INA-Naftaplin, Zagreb

KRANJEC, V. HERNITZ, Z. PRELOGOVIĆ, E., BLAŠKOVIĆ, I., 1967 Lokalne i regionalne litofacijsne karte Savske potoline (mj. 1:10 000, 1:25 000, 1:100 000) Fond struč. dokum. INA-Naftaplin, Zagreb

KRANJEC, V., PRELOGOVIĆ, E., HERNITZ, Z. 1972b. Geološka studija područja Posavine između Sesveta, Novoselca, Siska i Velike Gorice (sa strukturno-geomorfološkim kartama). Fond struč. dokum. Elektroprivreda, Zagreb

NOWINSKI, A. 1975. Studija o seizmičkim karakteristikama kolektora i pokrovnih stijena u zapadnom dijelu Savske potoline. Fond struč. dokum. Geofizika, Zagreb

ŠIMON, J. 1963. Litostratigrafske jedinice polja Ivanić Grad. Fond struč. dokum. INA-Naftaplin, Zagreb