

Strukturni odnosi i potpovršinsko modeliranje šire okolice Vinkovaca kao rezultat digitalizacije regionalnih dubinskogeoloških karata

Vuić, Ivor

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/urn:nbn:hr:169:323443>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-18**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO – GEOLOŠKO – NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geologije

**Strukturni odnosi i potpovršinsko modeliranje šire okolice Vinkovaca
kao rezultat digitalizacije regionalnih dubinskogeoloških karata**

Diplomski rad

Ivor Vuić

G-145

Zagreb, 2015.

Zahvala

Iskreno se zahvaljujem svojoj mentorici prof. dr. sc. Velić na ukazanom povjerenju. Velika zahvala asistentu dr. sc. Marku Cvetkoviću bez čije pomoći, usmjeravanja, savjeta i strpljenja izrada ovog diplomskog rada ne bi bila moguća. Zahvaljujem se prof. dr. sc. Saftiću i doc. dr. sc. Perkoviću koji su pomogli pregledati i ispraviti moj rad. Kolegi i prijatelju Andreju Stoparu zahvaljujem se na savjetima i razmjeni znanja, a prvenstveno na stvaranju ugodne radne atmosfere.

Hvala obitelji i prijateljima na podršci i zanimanju za moj rad. Hvala Sandri, Emi i Tiku na ispravicima.

At the end, I would like to thank the Schlumberger Company for donating academic licenses to the University of Zagreb, Faculty of Mining Geology and Petroleum Engineering without which this kind of work would not be possible.

STRUKTURNI ODNOSI I POTPOVRŠINSKO MODELIRANJE ŠIRE OKOLICE VINKOVACA KAO
REZULTAT DIGITALIZACIJE REGIONALNIH DUBINSKOGEOLOŠKIH KARATA

IVOR VUIĆ

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 diplomskog rada bila je po prvi puta digitalizirati i obraditi potpovršinske karte Slavonsko-srijemske depresije. Ulazni podatci za digitalizaciju dolaze iz doktorske disertacije Zvonimira Hernitza iz 1980. godine pod nazivom „Dubinski strukturno-tektonski odnosi u području istočne Slavonije“ (HERNITZ, 1980). Radi se o četiri ručno interpolirane strukturne karte koje prate povijanje ploha tri markera i jednog repera regionalnog značenja: strukturna karta po plohi markera A, strukturna karta po plohi markera B, strukturna karta po plohi markera H, te karta paleoreljefa. Plohe tih markera i repera dijele promatrani prostor na podlogu neogena i četiri formacije unutar neogensko-kvartarne ispune. Samo područje nalazi se u široj okolini Vinkovaca, što je regionalno gledajući jugozapadni dio Panonskog bazena. Digitalizacija podataka izvodila se pomoću ArcMap 10.1 programa, a obrada i modeliranje koristeći računalni program Petrel™ 2013. U konačnici, nakon dugog procesa digitalizacije i modeliranja, dobiven je trodimenzionalni model kartiranog prostora. Na modelu su jasno vidljive razne geološke strukture, odnosi među rasjedima, strukturne zamke i utjecaj koji ima tektonika na izgled površine. Izračunata je i statistička pogreška, odnosno odstupanje dobivenog modela od izvornih karata.

Ključne riječi: strukturno i potpovršinsko modeliranje, ručna interpolacija, digitalizacija, Slavonsko-srijemska depresija, Polje Đeletovci

Završni rad sadrži: 37 stranica, 1 tablica, 35 slika, 5 priloga i 18 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

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

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

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

Ocjenjivači: 1. Dr. sc. Josipa Velić, prof. emerita
2. Dr. sc. Bruno Saftić, izvanredni profesor
3. Dr. sc. Dario Perković, docent
4. Dr. sc. Marko Cvetković, znanstveni novak posljedoktrand

Datum obrane: 30. rujna 2015., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

STRUCTURAL RELATIONS AND SUBSURFACE MODELLING OF WIDER SURROUNDINGS OF
VINKOVCI CITY AS A RESULT OF DIGITALIZATION OF REGIONAL SUBSURFACE MAPS

IVOR VUIĆ

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 master's thesis was to digitalize and process the subsurface maps of Slavonija-Srijem Depression. Input data for digitalization came from doctoral dissertation by Zvonimir HERNITZ from 1980 entitled „About the structural and tectonic relations in the area of Eastern Slavonia“ (HERNITZ, 1980). It included 5 manually interpolated maps based on 5 e-log markers of regional significance: structural map of marker A, structural map of marker B, structural map of marker G, structural map of marker H and the map of pre-Neogene top. These surfaces divide the area on pre-Neogene base and four formations within the Neogene-Quaternary filling. The area is in the general vicinity of the city of Vinkovci, which is in the southwestern part of the Pannonian Basin. The digitization was performed using computer program ArcMap 10.1, and modeling and processing using Petrel™ 2013. After a long process of digitizing and modeling, a three-dimensional model of mapped area was created. In the model we can clearly see various geological structures, fault relations, structural traps, and the impact the tectonics had on the shape of the surface. Also, statistical error, or deviation of the obtained model from the original maps, was calculated.

Keywords: subsurface modelling, handmade interpolation, digitalization, Slavonija-Srijem Depression

Thesis contains: 37 pages, 1 table, 35 figures, 5 enclosures and 18 references

Original in: Croatian

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

Supervisor: DSc. Josipa Velić, Profesor Emeritus

Technical support and assistance: DSc. Marko Cvetković

Reviewers: 1. DSc. Josipa Velić, Profesor Emeritus
2. DSc. Bruno Saftić, Associate Profesor
3. DSc. Dario Perković, Assistant Profesor
4. DSc. Marko Cvetković

Date of defense: 30th of September 2015. Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1. Geografske značajke	1
2. POVIJEST ISTRAŽIVANJA	2
3. GEOLOŠKE ZNAČAJKE MODELIRANOG PODRUČJA.....	4
3.1. Megaciklusi neogensko-kvartarnog sustava	4
3.2. Stratigrafski pregled.....	7
3.2.1. Podloga neogena.....	7
3.2.2. Vukovarska formacija.....	8
3.2.3. Valpovačka formacija.....	9
3.2.4. Vinkovačka formacija.....	10
3.2.5. Formacija Vera	11
3.2.6. Formacija Vuka	11
4. METODOLOGIJA.....	12
4.1. Obrada podataka u računalnom programu ArcMap.....	12
4.2. Obrada podataka u računalnom programu Petrel™ 2013.....	15
5. REZULTATI.....	24
6. DISKUSIJA.....	27
6.1. Izračunavanje statističke vrijednosti odstupanja modela od karata	33
7. ZAKLJUČAK	35
8. LITERATURA.....	36

POPIS SLIKA

Slika 1-1. Područje istraživanja.	2
Slika 3-1. Karta izopaha prvog megaciklusa (SAFTIĆ et al., 2003).	5
Slika 3-2. Karta izopaha drugog megaciklusa (SAFTIĆ et al., 2003).	6
Slika 3-3. Karta izopaha trećeg megaciklusa (SAFTIĆ et al., 2003).	7
Slika 4-1. Sučelje računalnog programa ArcMap.	13
Slika 4-2. Primjer strukturne karte (HERNITZ, 1980).	15
Slika 4-3. Digitalizirane linije stratoizohipsa i sjecišta rasjeda.	15
Slika 4-4. 3D prikaz digitaliziranih stratoizohipsa na horizontu A.	16
Slika 4-5. Površina modelirana od stratoizohipsa horizonta A.	16
Slika 4-6. Rasjedi sa strukturne karte A nakon što su „zalijepljeni“ na plohu horizonta A.	17
Slika 4-7. Sve linije sjecišta rasjeda s površinama horizonata. Linije su razdvajane u posebne mape za svaki rasjed (lijeva strana slike).	18
Slika 4-8. Sučelje prozora „Fault framework modeling“.	19
Slika 4-9. Trodimenzionalni prikaz ploha rasjeda na području Slavonsko-srijemske depresije. Prikazane su i linije pomoću kojih su rasjedi modelirani.	19
Slika 4-10. Rasjedi dviju generacija. Prikazane su i linije sjecišta mlađeg rasjeda s horizontima koje su poslužile za njegovo modeliranje.	20
Slika 4-11 (a i b). Lijevo (a) je rasjed koji je generiran s nepoželjnim „nosom“ i neravan u središnjem dijelu, desno (b) isti rasjed generiran nakon što su linije koje ga čine ispravljene.	21
Slika 4-12 (a i b). Na slikama su prikazana dva rasjeda, mlađi i stariji, prije (a) i poslije (b) izravnivanja.	21
Slika 4-13 (a i b). Lijevo (a) su prikazani pogrešno generirani rasjedi, a desno (b) isti rasjedi nakon ispravljanja.	21
Slika 4-14 (a i b). Lijevo (a) slika prikazuje mlađi rasjed s nepotpunim kontaktom sa starijim rasjedom. Desno (b) je prikaz istih rasjeda nakon popravljivanja kontakta.	22
Slika 4-15 (a i b). Primjer popravljivanja kontakta među rasjedima povećanjem udaljenosti ekstrapolacije. Bijela linija na kontaktu znači da je kontakt potpun.	22
Slika 4-16. Uspješno modelirani rasjedi nakon što su greške ispravljene.	23
Slika 4-17. Sučelje prozora „Horizon modeling“.	24
Slika 5-1. Ploha EK markera A.	25
Slika 5-2. Ploha EK markera B.	25

Slika 5-3. Ploha EK markera H.	26
Slika 5-4. Ploha EK markera Tg.....	26
Slika 6-1. Pregledan prikaz sustava rasjeda Slavonsko-srijemske depresije.....	27
Slika 6-2. Glavni depresijski rasjedi.....	28
Slika 6-3. Pregledni prikaz struktura Slavonsko-srijemske depresije.	29
Slika 6-4. Označene su dvije najdublje sinklinale Slavonsko-srijemske depresije.	30
Slika 6-5. Vinkovački horst. Označene su lokacije nalazišta ugljikovodika.	31

POPIS TABLICA

Tablica 6-1. Srednje vrijednosti postotka odstupanja modela od ručno izrađenih strukturnih karata.	34
---	----

POPIS PRILOGA

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

PRILOG II. *Strukturna karta po plohi EK markera H*

PRILOG III. *Strukturna karta po plohi EK markera B*

PRILOG IV. *Strukturna karta po plohi EK markera A*

PRILOG V. *Profil A-A'*

1. UVOD

Digitalizacija je proces pretvaranja analognih podataka u digitalni oblik. Njome je njihova dostupnost uvelike povećana te se otvaraju nove mogućnosti obrade i prikaza podataka. U slučaju ovog diplomskog rada, ulazni analogni podatci nad kojima je načinjena digitalizacija su ručno interpolirane strukturne karte Slavonsko-srijemske depresije. Karte je izradio Zvonimir Hernitz i objavio u sklopu svoje doktorske disertacije "Dubinski strukturno-tektonski odnosi u području istočne Slavonije" iz 1980. godine (HERNITZ, 1980). Ove karte prikazuju povijanje ploha tri elektrokarotazna markera i jednog repera koji dijele promatrani prostor na podlogu neogena i četiri formacije unutar neogensko-kvartarne ispune. Digitalizacija se izvodi koristeći ArcMap 10.1 program, a njena svrha je bila izrada trodimenzionalnog modela Slavonsko-srijemske depresije koristeći računalni program PetrelTM 2013. Time se omogućava novi, bolji uvid u strukture ove depresije, koja po istraženosti zaostaje za svim ostalim depresijama na teritoriju Republike Hrvatske.

1.1. Geografske značajke

Područje koje je obuhvaćeno u ovom radu nalazi se u istočnom dijelu Hrvatske. Zahvaća dijelove Vukovarsko-srijemske, Brodsko-posavske i Osječko-baranjske županije. S regionalnog gledišta, radi se o jugozapadnom dijelu Panonskoga bazena, točnije Slavonsko-srijemskoj depresiji. Cijelo je područje gotovo potpuno zaravnjeno. Kote se u prosjeku kreću između 80 i 100 metara, što su vrlo male varijacije s obzirom na tako veliki prostor. Donekle se ističe predio između Đakova i Vinkovaca (Đakovačko-vinkovački ravnjak). Taj se teren na zapadu veže s istočnim obroncima Dilja i Krndije. Ovdje se mogu naći kote vrijednosti 115 m (Selce) ili 111 m (Đakovo). Spomenute površinske značajke reljefa odraz su dubinske geološke građe i sastava.

Đakovačko-vinkovački ravnjak u geološkom, odnosno tektonskom smislu, dijeli istočnu Slavoniju na dva dijela. Njeni sjeverni dijelovi pripadaju podravskoj, a južni savskoj aluvijalnoj ravnici, odnosno Slavonsko-srijemskoj depresiji. Od Vukovara prema jugoistoku proteže se Vukovarski ravnjak, omeđen aluvijalnim terasama Dunava, Vuke i Bosuta, te se naslanja na zapadne obronke Fruške gore. Ondje se mogu zabilježiti kote 108 m (Vukovar), 110 m (Negoslavci), pa i 112 m (Berak).

Samo kartirano područje nepravilnog je oblika. Na sjeveru obuhvaća Đakovačko-vinkovački ravnjak, dok na jugu dolazi do Gunje i Brčkog. Prema zapadu obuhvaća mjesto Garčin (lokacija istražne bušotine Garčin-1), a na istoku se proteže do Tovarnika, i obuhvaća dijelove Vukovarskog ravnjaka.



Slika 1-1. Područje istraživanja.

2. POVIJEST ISTRAŽIVANJA

Postoji relativno velik broj pisanih radova o geologiji istočne Slavonije i susjednih područja. Jedne od prvih istraživačkih radova piše PILAR (1876) godine u kojima opisuje praporne naslage. Početkom 20. stoljeća područjem Slavonije, Srijema i Podravine bave se GORJANOVIĆ-KRAMBERGER (1912, 1920), ŠANDOR (1912), POLJAK (1912, 1923) i drugi. Intenzivnija istraživanja, koja su diktirana nalazom ugljikovodika u sjevernom dijelu istočne Slavonije, provode se od druge polovice prošlog stoljeća. No, kako je zbog nalaza znatnih količina ugljikovodika (Beničanci, Obod, Bokšić, Ladislavci, Bizovec) pozornost posebno usmjerena na sjeverni dio istočne Slavonije, Slavonsko-srijemska depresija slabije je istražena.

Prva bušotina u području istočne Slavonije izrađena je u predjelu strukture Vukovar (Vu-1) 1956. godine. Desetak godina iza toga za isto područje ŠIMON (1966) prvi puta izdvaja litostratigrafske granice, a nakon daljnjih nastojanja objavljuje njihov detaljan opis (ŠIMON 1973). KRANJEC et al. (1970) opisuju i kartiraju litofacijsne parametre formacija, BOŠKOV-ŠTAJNER et al. (1968, 1971) daju opći stratigrafski pregled, a KRANJEC et al. (1976) uz odgovarajuće kartografske prikaze analiziraju naslage otnanga, karpata, badena, sarmata i donjeg panona.

Osnovnu dokumentaciju pri izradi karata iz HERNITZ (1980) korištenih u ovom diplomskom radu predstavljali su podatci dubokih bušenja i seizmičkih snimanja, sadržani u arhivskim fondovima „Naftaplina“ i „Geofizike“ iz Zagreba. Osim toga korišteni su i rezultati površinskog geološkog kartiranja, fotogeologije, gravimetrije i geoelektrike. U predjelima Slavonsko-srijemske depresije mnogo je manji broj bušotina nego li na okolnim područjima kao što je npr. istočna Dravska depresija. Lokaliteti na ovom području s bušotinskim podacima su: Cerna, Đakovo, Garčin, Jarmina, Otok, Pačetin, Tovarnik, Vera, Vinkovci, Vrbanja, Vukovar i Županja. Isto tako, ni seizmičkim profiliranjem nisu jednakomjerno pokrivene sve depresije, gustoća mjerenja je rjeđa za Slavonsko-srijemsku zbog izostanka većeg broja ležišta (HERNITZ, 1980).

3. GEOLOŠKE ZNAČAJKE MODELIRANOG PODRUČJA

Pretežito nizinsko područje koje se rasprostire između gorskih, odnosno planinskih lanaca Alpa, Karpata i Dinarida nosi naziv Panonski bazen. Hrvatskoj pripada njegov jugozapadni dio, koji je približno omeđen rijekama Kupom i Savom na jugu te Dravom na sjeveru. Hrvatsko istraživačko područje u Panonskom bazenu ima oko 30.000 km², pri čemu više od polovice posjeduje prirodne uvjete neophodne za nastanak ugljikovodika i njihovo nakupljanje u količinama isplativim za pridobivanje (VELIĆ, 2007). Nadalje, hrvatski dio Panonskog bazena dijeli se na depresije: Dravska (koju je moguće podijeliti na zapadni i istočni dio), Savska, Murska i Slavonsko-srijemska depresija, koja je cilj istraživanja ovog diplomskog rada.

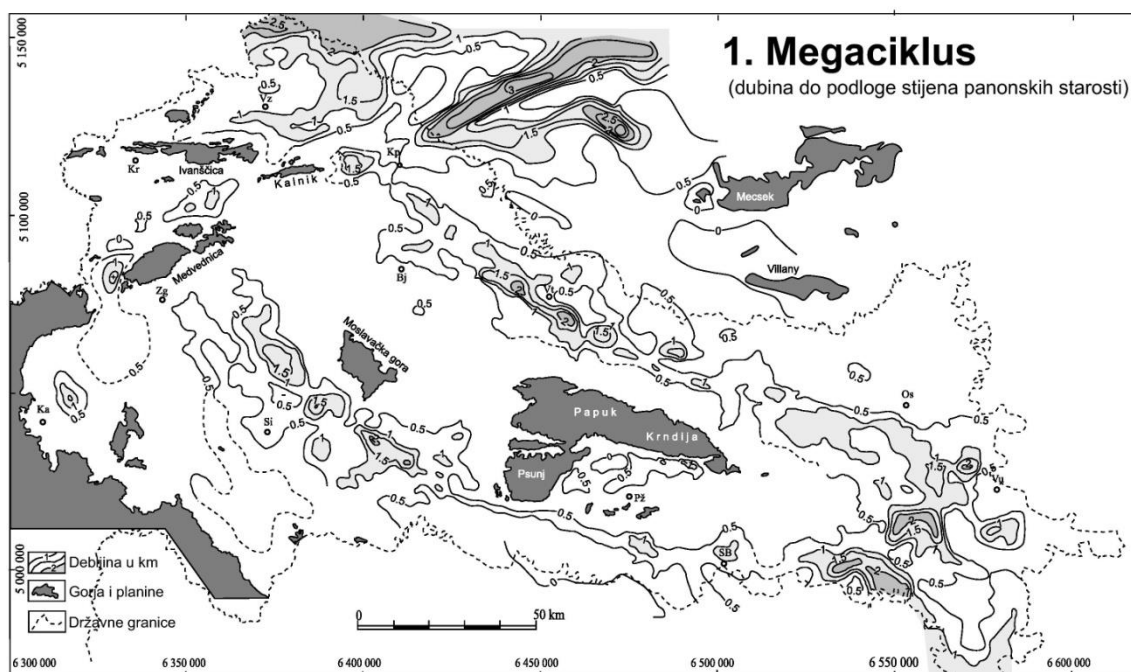
Slavonsko-srijemska depresija, kao što je već rečeno, prostire se južno od Đakovačko-vinkovačkog ravnjaka, istočno od linije Slavonski Brod-Dilj, te sve do državne granice sa Srbijom te Bosnom i Hercegovinom. U usporedbi s drugim depresijama razmjerno je plitka, a i površinski je najmanja. Neogensko-kvartarne taložine dosežu maksimalno 3500 metara debljine. Sedimenti i magmatiti su podijeljeni u četiri formacije: Vukovarska formacija, Vinkovačka formacija, te formacije Vera i Vuka (HERNITZ, 1980). Od 1984. godine u ovoj se depresiji pridobiva nafta i plin iz tri polja. Prema udjelu iscrpljenih fluida to su redom Đeletovci, Privlaka i Ilača. Za sva polja je karakteristično da se radi o plitko smještenim ležištima (na oko -1000 m apsolutne dubine) u raspucanim i trošnim stijenama paleozojsko-mezozojske starosti i klastitima Vukovarske formacije (srednji miocen). Najznačajnije je polje Đeletovci s do sada ukupno pridobivenih dva milijuna m³ nafte (VELIĆ, 2007).

3.1. Megaciklusi neogensko-kvartarnog sustava

Neogensko-kvartarne taložine Panonskog bazena izgrađuju tri sedimentacijska megaciklusa, sastavljena od slijedova dobro definiranih stratigrafskih jedinica koje odgovaraju statusu formacija. Svaki megaciklus obuhvaća stijene taložene tijekom jednog superciklusa promjene relativne razine vode, koji se u prvom dijelu sastoji od postupnog porasta, a u drugom razmjerno naglog pada (VELIĆ, 2007).

Prvi, najstariji megaciklus uključuje Vukovarsku formaciju Slavonsko-srijemske depresije. Ova formacija nalazi se i u istočnom dijelu Dravske depresije, a njezin ekvivalenti su formacija Prečec u Savskoj depresiji, formacija Moslavačka gora u zapadnom dijelu

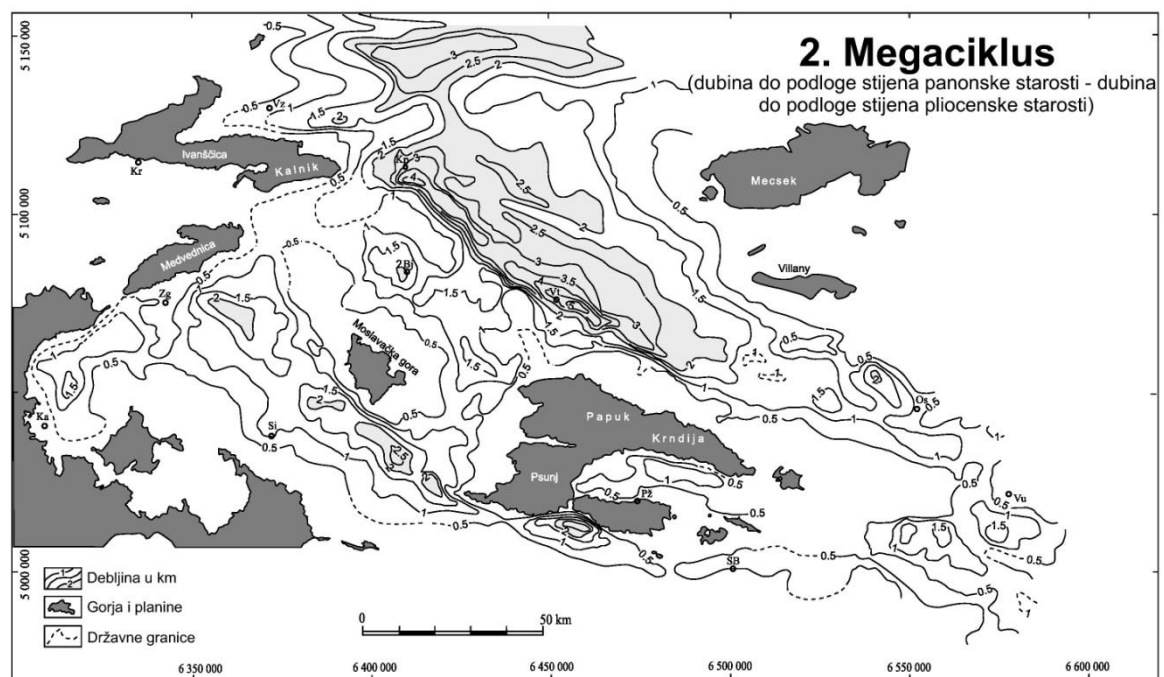
Dravske depresije i formacija Murska Sobota u Murskoj depresiji. Ciklus je donjomiocenske i srednjemiocenske starosti, a trajao je otprilike 6,8 milijuna godina. Paralelno s prvim megaciklusom povezuje se i prva sin-ekstenzijska tektonska faza u ovom dijelu Panonskog bazena, s glavnom osi tenzijskog naprezanja pružanja istok-sjeveroistok – zapad-jugozapad (TOMLJENović i CSONTOS, 2001). Kao “pravi” početak sedimentacije ovog prvog neogenskog megaciklusa može se smatrati otnang. Naime, tijekom egera i egenburga taloženje se odvijalo samo na malim, prostorno ograničenim dijelovima – u Murskoj depresiji, u tzv. malim bazenima Hrvatskog Zagorja i u najzapadnijim zonama Dravske depresije, dakle uz krajnji jugozapadni rub Panonskog bazena gdje su nastale lokalne uleknine. Tek su u otnangu stvoreni uvjeti koji su rezultirali sedimentima rasprostranjenim na gotovo cijelom promatranom području. Takvi sedimenti molasnog karaktera povezani su s početkom manje-više kontinuiranog taloženja kroz cijeli neogen. Prvi megaciklus završava zaključno sa sarmatom (VELIĆ, 2007).



Slika 3-1. Karta izopaha prvog megaciklusa (SAFTIĆ et al., 2003).

Drugi ili srednji megaciklus gornjomiocenske je starosti (panon i pont). U sklopu Slavonsko-srijemske i istočne Dravske depresije njemu pripadaju formacije Valpovo, Vinkovci i Vera. U njegovom sastavu nalazi se još asocijacija naslaga grupe Sava (formacije Ivanić-Grad, Kloštar Ivanić i Široko Polje) iz Savske depresije i zapadnog dijela Dravske depresije, te formacije Lendava i donji dio Murske formacije u Murskoj depresiji.

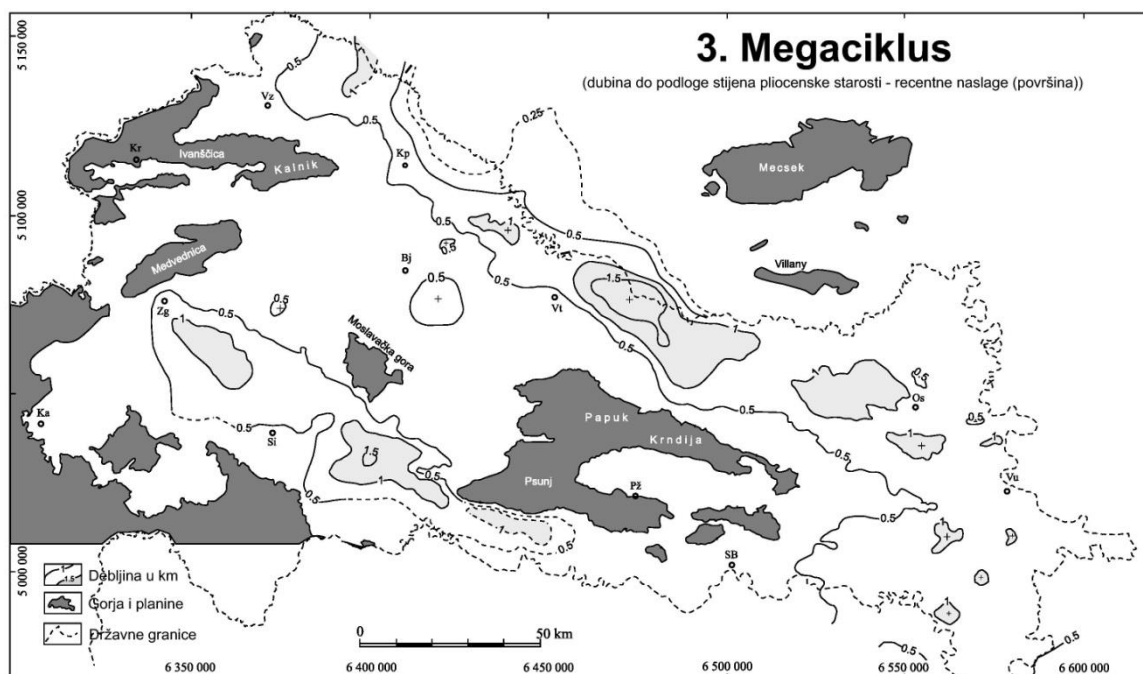
Prema uvjetima taloženja, starije su naslage (panonske) nastale u brakičnom, a mlađe (pontske) u jezerskom okolišu. Taložni model upućuje da se radilo o dubljoj niskoenergetskoj sredini s izraženim podvodnim reljefom koji je oblikovan lokalnim tektonskim aktivnostima (VELIĆ, 2007). Alpe su bile izvorišno područje detritičnog materijala, a najveći dio detritusa unašan je u pojedine depresije turbiditnim strujama (VRBANAC, 2002). Pritom je krupniji detritus odlagan u najdubljim dijelovima depresija, a sitniji na reljefno istaknutijim dijelovima bazena, te na međudepresijskim pregibima. Taloženje ovog ciklusa trajalo je oko 5,9 milijuna godina (VELIĆ, 2007).



Slika 3-2. Karta izopaha drugog megaciklusa (SAFTIĆ et al., 2003).

Treći i najmlađi megaciklus je pleistocensko-holocenske starosti, a vrijeme taloženja mu je procijenjeno na približno 5,333 milijuna godina. U njemu su razlučene: formacija Vuka u Slavonsko-srijemskoj i istočnom dijelu Dravske depresije, formacija Lonja u zapadnom dijelu Dravske i Savskoj depresiji te Mura u Murskoj depresiji. Stijene ovog megaciklusa nastale su u kontinentalnim okolišima (CVETKOVIĆ, 2013). Karakteristična je močvarna, jezerska i riječna sedimentacija koja se odvijala u najnižim dijelovima depresija. U ovom ciklusu događa se i faza tektonske inverzije bazena. Ona je djelomice ostvarena reaktiviranjem ranijih normalnih rasjeda i formiranjem novih reversnih rasjeda, stvorenih u polju regionalnog naprežanja s orijentacijom glavne kompresijske osi pružanja sjever-jug do sjever-sjeverozapad – jug-jugoistok (TOMLJENOVIĆ i CSONTOS, 2001). Ovaj

završni megaciklus litološki se razlikuje od prethodnih, jer je izgrađen od izmjene sivih, slabo vezanih pijesaka i sivozelenih ili plavičastih mekih glina koje sadrže rijetke slojeve lignita. Završava šljuncima, praporima i rastresitim površinskim pokrivačem (VELIĆ, 2007).



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

3.2. Stratigrafski pregled

Razmatrajući područje Slavonsko-Srijemske depresije, isto kao i čitavo područje Panonskog bazena, razlikuju se dvije bitno drugačije geološke cjeline. Radi se o neogensko-kvartarnom kompleksu (bazenskoj ispuni) i njegovoj podlozi. Podlogu neogena čini tzv. temeljno gorje, magmatske i metamorfne stijene najčešće paleozojske starosti, a u širem smislu i mezozojski sedimenti. Karakterizira ju velika strukturno-tektonska kompleksnost, litološka raznolikost te trošnost vršnog dijela (VELIĆ, 2007). Granicu između ove dvije cjeline čini površina prikazana na karti paleoreljefa, odnosno elektrokarotažni reper Tg.

3.2.1. Podloga neogena

Podlogu neogena čine magmatske, metamorfne i sedimentne stijene paleozoika i mezozoika. Promatrajući njihov razvoj u okolnim područjima na slavonskim gorama, Vučjaku i Trebovcu u Bosni, Fruškoj gori u Srbiji, te masivu Villanyja u Mađarskoj, uz

konzultaciju bušotinskih podataka moguće ih je podijeliti na stariji paleozoik (magmatske i metamorfne stijene), te mlađi paleozoik i mezozoik (sedimenti) (HERNITZ, 1980).

Najstarije stijene od njih pripadaju starijem paleozoiku, a radi se o metamorfnom i granitno-gnajsnom kompleksu. Metamorfna serija (amfibolitski škriljavci, tinjčasti i kvarc-tinjčasti škriljevci, kloritski škriljavci) proteže se od Psunja prema Krndiji tonući prema istoku pod Đakovačko-Vinkovački ravnjak. Granitno-gnajсни kompleks raširen na Papuku nastavlja se dijelom na Krndiji, a zatim također tone pod neogenske naslage.

Sljedeću skupinu stijena u podlozi čine sedimenti gornjeg karbona, perma i donjeg trijasa: konglomerati, pješčenjaci, brusilovci, filiti, vapnenci, glinoviti škriljavci i pjeskoviti škriljavci. U mlađem paleozoiku more oplicava i stoga pretežu krupnoklastične taložine kvarcnih pješčenjaka i konglomerata. Djelomično ili potpuno nedostaju donjotrijaske naslage, jer je u to vrijeme ovdje uglavnom bila kontinentalna faza. Nakon postupnog nadiranja plitkog mora nastupio je maksimum transgresije u srednjem trijesu (vapnenci i dolomiti), a tada nastupa relativno mirni period kada se stvaraju organogeni sedimenti (nalaze se na nekim vrhovima Papuka i Krndije) (HERNITZ, 1980).

U vrijeme jure i donje krede na ovom području je pretežito kopno. U gornjoj kredi ponovo započinje transgresija uz tektonske pokrete. Stvaraju se konglomerati, pješčenjaci i lapori, te vapnenci. Zatim dolazi do regresije i jačih tektonskih pokreta. Bilo je uzdignuto cijelo savsko-dravsko područje, a kopnena faza traje sve do miocena. S gornjokrednim naslagama završava predneogenski razvoj u istočnoj Slavoniji (HERNITZ, 1980).

3.2.2. Vukovarska formacija

Prema svojim elektrofizikalnim i litološkim značajkama Vukovarska je formacija u podini ograničena dodirom s podlogom neogena (uvjetni reper Tg), a u krovini EK markerom H. To ju čini najdubljom formacijom koja naliježe direktno na stijene u podlozi, stijene koje su krajem mezozoika i tokom paleogena bile izložene kopnenoj fazi i eroziji. U to je doba područje istočne Slavonije najvjerojatnije bilo na višoj razini nego bosanska Posavina (HERNITZ, 1980). Tek u gornjem oligocenu, ili na prijelazu iz oligocena u miocen, dolazi do transgresije praćene intenzivnom tektonskom djelatnošću i vulkanizmom. More je bilo plitko ili su postojala jezera s brakično-slatkovodnom sedimentacijom i deponiranjem biljnog materijala. Sredinom miocena dolazi do jačeg i kompleksnog spuštanja, odnosno nove transgresije. Biogeni vapnenci i konglomerati taložili su se u plitkom morskom

facijesu uz obale, na podvodnim hrptovima ili grebenima i oko otoka. Nešto dalje taloženi su vapnoviti i pjeskoviti slojevi, a još dalje (ili blizu obale, ali dublje) glinovito laporoviti (HERNITZ, 1980).

Ova formacija rasprostire se na čitavom području istočne Slavonije osim nekih dijelova koji su u vrijeme njena taloženja, čini se, egzistirali kao otoci (Vukovar, jugoistočno od Vinkovaca, Tovarnik) ili bili erodirani naknadno. Najmanje debljine, manje od 100 m zapažaju se na Đakovačko-vinkovačkoj uzvisini i sjeverno od Brčkog. Južno od Vinkovaca gdje se odvijalo intenzivno spuštanje izuzetno su velike debljine (>1200 m).

Vukovarska formacija odlikuje se znatnom neujednačenošću litološkog sastava. Njene transgresivne značajke uvjetuju litološki sadržaj bogat raznolikošću (vulkanske stijene, breče, vapnenci, pješčenjaci, lapori). Litostratigrafskom odredbom ova formacija daljnje je podijeljena na članove: član Bizovac, Karašica, Beničanci, vapnenac Lacić i lapor Klokočevci (HERNITZ, 1980).

3.2.3. Valpovačka formacija

Krajem miocena dolazi do osjetnog oplićavanja, povlačenja mora i postupnog dotoka slatke vode. Pojavljuju se regresivne tendencije uz lokalne prekide sedimentacije i lokalne diskordancije donjosarmatskih naslaga. U istočnoj Dravskoj depresiji taloži se Valpovačka formacija. U širem području podina Valpovačke formacije određena je markerom H, a krovinska markerom G. KRANJEC et al. (1976.) smatraju da većim dijelom pripada donjem sarmatu, a manjim starijem panonu. Litološki sastav je dosta monoton, to su najčešće sivi i žućkasti čvrsti homogeni vapneni lapori s ponekim zrnom kvarca. U donjem dijelu na pojedinim lokalitetima dolaze biokalkarenitni kvarcni pješčenjaci ili laminirani siltozni lapori.

Iako postoje poteškoće u proučavanju Valpovačke formacije koje nose relativno male debljine (u prosjeku svega pedesetak metara), smatra se da ona nije istaložena u Slavonsko-srijemskoj depresiji. Rasprostranjenost ove formacije relativno je mala, te se može ustvrditi sjeverno od Đakovačko-vinkovačkog ravnjaka, u istočnom dijelu Dravske depresije. No potrebno je uzeti u obzir da npr. naslage donjeg panona postoje i u sjevernoj Bosni, te je u podzemlju moguće pretpostaviti njihovo protezanje na šire područje pa tako i eventualne pojave u Slavonsko-srijemskoj depresiji (HERNITZ, 1980).

3.2.4. Vinkovačka formacija

Krajem miocena prestaje mirovanje. Oživljava tektonska aktivnost što se odražava na sedimentaciju. S izdignutih i često vrlo udaljenih planinskih masiva istočnih Alpa procesom denudacije pokrenute su znatne količine klastičnog materijala i postupno odlagane nakon dugog transporta. Za vrijeme taloženja Vinkovačke formacije područje istočne Slavonije postupno, ali sigurno znatno tone uz povremene oscilacije (HERNITZ, 1980). U produbljene se dijelove talože velike količine lapora i pijesaka. Pokrivene su velike površine osim Đakovačko-vinkovačke uzvisine, te predjela Vukovara i Vinkovaca. Prvotni Đakovačko-vinkovački plato gotovo poprima obrise koji ga i danas karakteriziraju, a spuštanje duž njegova sjevernog ruba znatno je intenzivnije od južnog (HERNITZ, 1980). Vinkovačka formacija obuhvaća naslage mlađeg panona i donjeg pontaa.

Vinkovačku formaciju izgrađuju dva osnovna tipa sedimenata, lapori i pješčenjaci. U najdonjem dijelu znatno prevladavaju lapori, pa se taj dio izdvaja pod nazivom Lastovo lapor. Iznad njega slijedi debeli paket krupnije klastičnih materijala i to su Osječki pješčenjaci. Međutim, pješčano-laporoviti razvoj Osječkih pješčenjaka prisutan je samo u istočnom dijelu Dravske depresije. Na cijelom ostalom području Vinkovačka je formacija zastupljena isključivo laporima, te se taj bočni ekvivalent naziva Vinkovačkim laporom (HERNITZ, 1980).

Kako je Valpovačka formacija (prethodno poglavlje) istaložena uglavnom samo sjeverno od Vinkovačko-đakovačkog ravnjaka, te je izostala na području Slavonsko-srijemske depresije, na tom području Vinkovačka formacija naliježe direktno na Vukovarsku formaciju (HERNITZ, 1980). Tako joj podinsku granicu ovdje čini marker H, dok je u krovini ograničena markerom B. Na širem području gdje leži na Valpovačkoj formaciji, podinu joj čini marker G.

U Slavonsko-srijemskoj depresiji, gdje se talože isključivo lapori, debljine Vinkovačke formacije ne dosežu tako velike iznose kao na sjeveru. U najvećem dijelu debljine naslaga iznose 200 do 400 m ocrtavajući vrlo lijepo nekoliko lokalnih uleknina. Južno od Vukovara, južno od Vinkovaca i kod Brčkog iznose preko 400 m, a istočno od Garčina preko 600 m (HERNITZ, 1980).

3.2.5. Formacija Vera

Iznad Vinkovačke slijedi formacija Vera. Podinsku joj granicu čini marker B, a krovinsku marker A, koji je najplići elektrokarotažni marker regionalnog značenja. Karakterizira ju stalne izmjene pješćanih i laporovitih slojeva, koji su i pojedinačno dobro korelirani na većem prostoru. Prema litološkim značajkama formacija je podijeljena na tri jedinice nižeg ranga, članove: lapor Borovo, Županjski pješćenjaci i član Jarmina. Rasprostranjenost člana Jarmina ukazuje na njegove lokalne transgresivne značajke jer prekriva cijeli prostor istočne Slavonije, čak i preko Đakovačko-vinkovačkog ravnjaka. Nehomogenog je pješćano-laporovitog sastava (HERNITZ, 1980).

Također, formacija Vera gledana u cijelosti karakterizirana je uglavnom ujednačenim debljinama koje se kreću u najvećem dijelu područja istočne Slavonije između 300 i 400 m. Vrijednosti rastu (500 do 600 m) južno od Osijeka, Vinkovaca i Vukovara, ondje gdje zadebljava lapor Borovo (HERNITZ, 1980).

3.2.6. Formacija Vuka

U slijedu litostratigrafskih jedinica najplića i najmlađa je formacija Vuka. Ekvivalentna je formaciji Lonja u Savskoj i Dravskoj potolini i predstavljena kompleksom naslaga čija debljina mjestimice prelazi 1000 m. Obuhvaća interval iznad markera A do današnje površine terena. Prema taložnim uvjetima, litološkom i paleontološkom sadržaju, te elektrokarotažnim značajkama jasno se razlikuje od nižih, već opisanih jedinica. Proučavanjem karotažnih dijagrama uočljivo je da slojeve nije moguće tako dobro korelirati na većem prostranstvu kao prije, jer se radi uglavnom o lećastim tvorevinama često manjih dimenzija (HERNITZ, 1980).

Formacija Vuka obuhvaća taložine približno srednjeg i gornjeg pliocena te kvartara i nije raščlanjena na jedinice nižeg ranga. To je iz razloga što se njoj nije prilikom bušenja posvećivala dovoljna pažnja s obzirom na mnogo manje mogućnosti nalaza ugljikovodika u odnosu na starije jedinice. Tek su se njeni najplići dijelovi istraživali radi potreba hidrogeoloških istraživanja, pa je omogućeno izdvajanje nivoa Q' koji se nalazi unutar kvartara, ali je granica između kvartara i pliocena ostala nerazjašnjena (HERNITZ, 1980).

Srednje vrijednosti debljina formacija Vuka kreću se između 700 i 800 m. Najmanje su u predjelu Đakovačko-vinkovačkog ravnjaka, gdje padaju na 300, pa čak i 200 m, ali su zato obilne istočno od Bosanskog Šamca, kod Vinkovaca i južno od Vukovara gdje dostižu

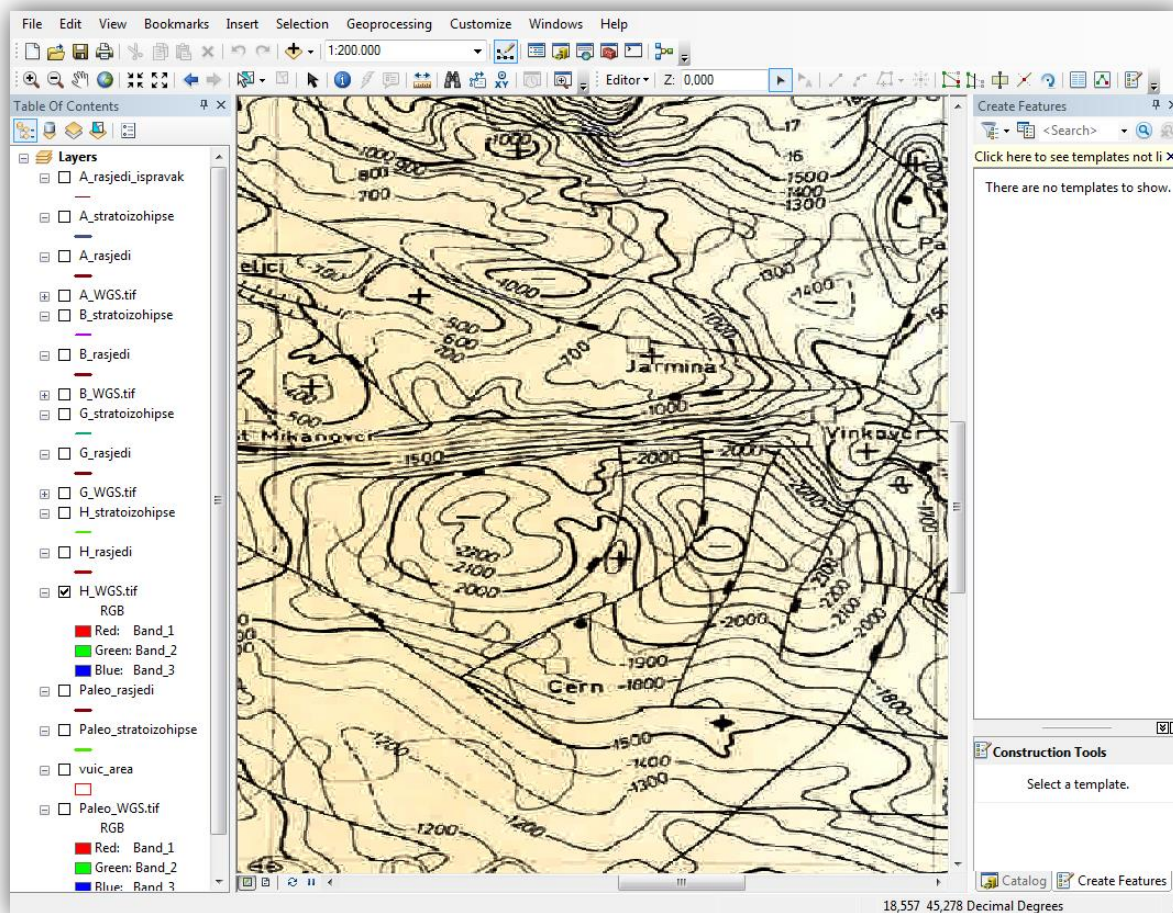
1000 m. Maksimalni su iznosi južno od Osijeka i istočno od Beničanaca (1100 m) (HERNITZ, 1980).

4. METODOLOGIJA

Ulazni podatci za potpovršinsko modeliranje Slavonsko-Srijemske depresije su ručno interpolirane strukturne karte i karta paleoreljefa iz doktorske disertacije Zvonimira Hernitza iz 1980. godine. U okviru ovog diplomskog rada po prvi puta su digitalizirani podatci prikazani u tim kartama, kao i modelirani strukturni odnosi navedenog područja. Četri karte korištene su za modeliranje: strukturna karta po plohi markera A, strukturna karta po plohi markera B, strukturna karta po plohi markera H, te karta paleoreljefa. Kako karte obuhvaćaju i područje istočne Dravske depresije koja nije tema ovog rada, u obzir je uzet samo južni dio karata, otprilike južnije od linije Đakovo – Vinkovci, gdje se nalazi granica između Dravske i Slavonsko-srijemske depresije. Kako bi se digitalizirali podatci tih karata korišten je računalni program ArcGIS.

4.1. Obrada podataka u računalnom programu ArcMap

ArcGIS je geografski informacijski sustav za rad s kartama i geografskim informacijama proizvođača Esri (Environmental Systems Research Institute). Ima široku primjenu prilikom izrade i obrade karata, prikupljanja geografskih podataka, analiziranja kartiranih podataka, razmjene i istraživanja geografskih informacija. U ovom slučaju koristila se aplikacija ArcMap, jedna od programskih komponenti od kojih se sastoji ArcGIS. ArcMap se koristio kako bi se generirale digitalne linije za sve stratoizohipse, izobate, ocrte rasjeda na pojedinim plohama, te poligon koji ograničuje modelirani prostor. Kasnije će ti podatci biti korišteni u Petrelu za modeliranje Slavonsko-srijemske depresije.



Slika 4-1. Sučelje računalnog programa ArcMap.

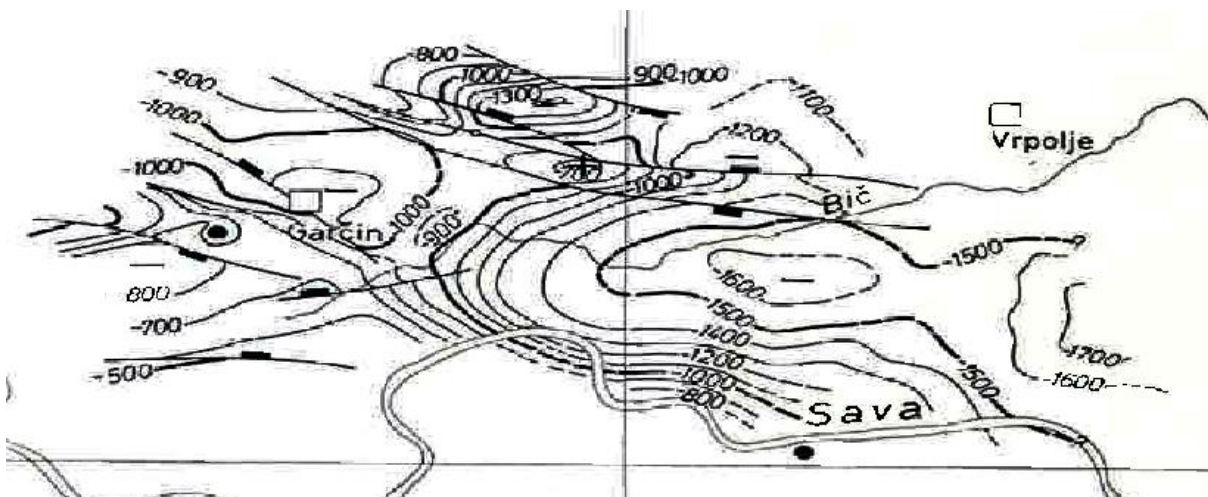
Karte pohranjene u .tif formatu (eng. *Tagged Image File Format*) unošene su u ArcMap pomoću naredbe „Add data“. Zbog velikih dimenzija karata nije ih bilo praktično prikazati slikama u ovom radu. Karte je prvo bilo potrebno georeferencirati kako bi se podatci mogli uspješno digitalizirati. Georeferenciranje je pridruživanje geografskih koordinata određenoj kartografskoj projekciji točkama na karti. Kao prostorna referenca upotrebljen je geografski koordinatni sustav WGS_1984 (eng. *World Geodetic System*). U ArcGIS-u je zatim napravljena geo-baza podataka (eng. *Geodatabase*) kojoj je također zadan isti geografski koordinatni sustav WGS_1984. Ta će baza podataka sadržavati sve elemente strukturnih karata: područje kartiranja, te stratoizohipse, izobate i rasjede za svaku pojedinu strukturnu kartu.

Područje kartiranja, poligon pod nazivom „area“, služi da bi se ograničilo područje koje će se digitalizirati i kasnije modelirati. Ono je jednako za sve četiri strukturne karate jer sve karte prikazuju isto područje, samo s horizontima na različitim dubinama.

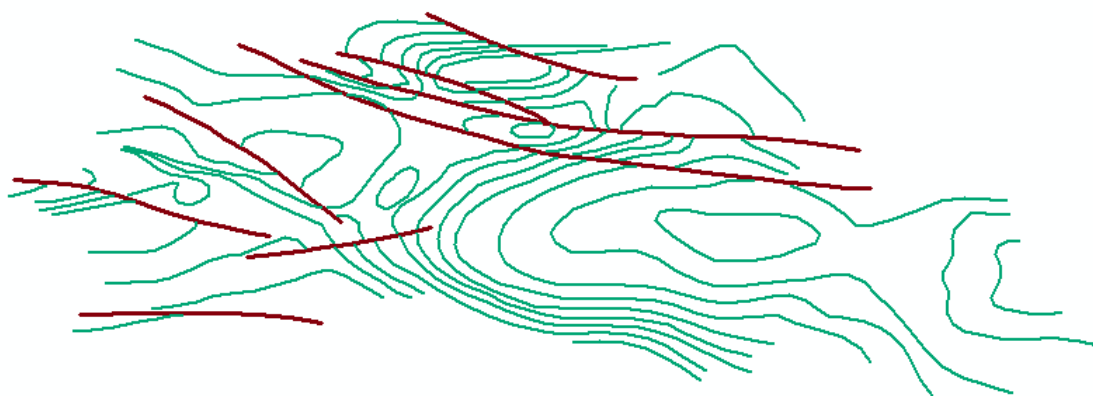
Za svaku strukturnu kartu i kartu paleoreljefa stvorena su u geo-bazi podataka dva elementa, odnosno sloja (eng. *layer*), jedan za stratoizohipse (odnosno izobate) i drugi za rasjede. Na primjer, za strukturnu kartu po plohi markera A stvoreni su elementi „A_stratoizohipse“ i „A_rasjedi“. Svi su ti elementi također georeferencirani pomoću geografskog koordinatnog sustava WGS_1984.

Horizonti, odnosno plohe markera i repera, na kartama su prikazani pomoću stratoizohipsi i izobata, linija na geološkim kartama koje spajaju mjesta jednake dubine horizonata (slika 4-2). U ArcMap-u je za svaku stratoizohipsu i izobatu ucrtana linija na odgovarajućem sloju. Tako su, na primjer, linije stratoizohipsa markera A unošene na sloju „A_stratoizohipse“. Također, svakoj stratoizohipsi (i izobati) pridodana je vrijednost Z, koja odgovara njezinoj dubini i daje joj treću dimenziju. Na taj je način svaka stratoizohipsa i izobata predstavljena linijom na odgovarajućoj dubini (slika 4-3). Slično tome, rasjedima su također u ArcMap-u pridodani linijski elementi, s razlikom što njima nije pridodana vrijednost Z. Umjesto toga predstavljeni su samo s linijama na mjestima gdje presijecaju određeni horizont. Te linije sijeku nepravilne površine i u pravilu u prostoru ne stoje horizontalno kao stratoizohipse. Stoga će im treća dimenzija, dubina, bit određena tek kasnije pomoću Petrela.

Digitalizacija stratoizohipsi, izobata i rasjeda na svim horizontima bio je dugotrajan proces koji je rezultirao geo-bazom podataka koja sadrži sve četiri digitalizirane strukturne karte. U konačnici, geo-baza podataka sadržavala je devet elemenata (slojeva): četiri za stratoizohipse i izobate markera A, B, H i repera Tg, četiri za rasjede po markerima A, B, H i reperu Tg, te jedan za područje kartiranja. Nakon završetka ovog procesa svi su elementi strukturnih karata izvezeni (eng. *export*) u *shapefile*-ove koji su mogli biti uneseni u Petrel, i koji će poslužiti za daljnje 3D modeliranje navedenog područja.



Slika 4-2. *Primjer strukturne karte (HERNITZ, 1980).*

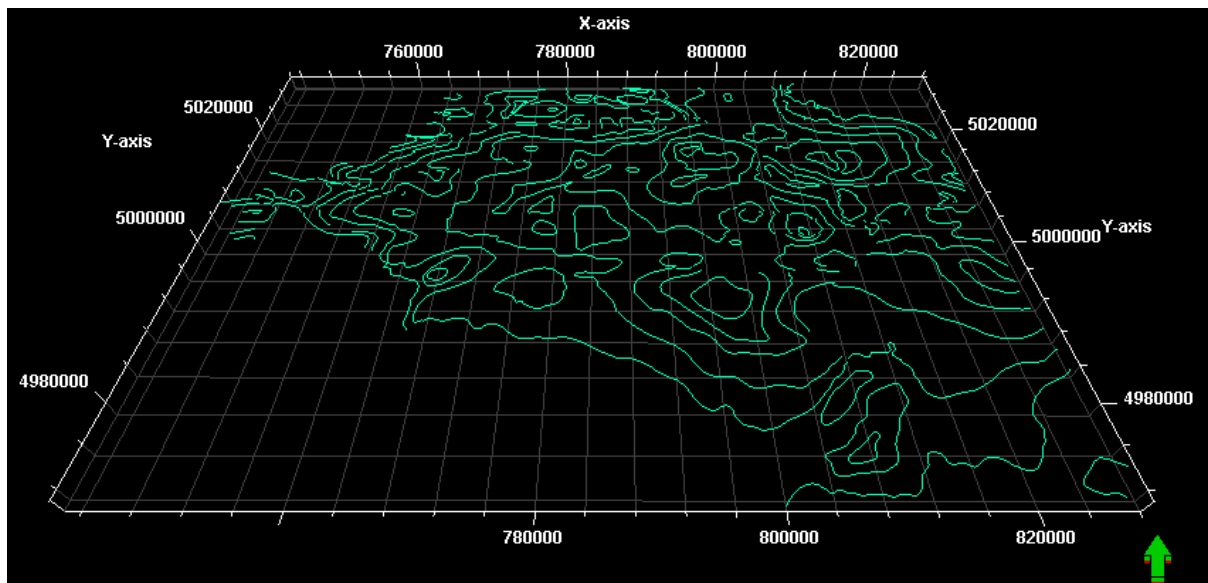


Slika 4-3. *Digitalizirane linije stratoizohipsa i sjecišta rasjeda.*

4.2. Obrada podataka u računalnom programu Petrel™ 2013

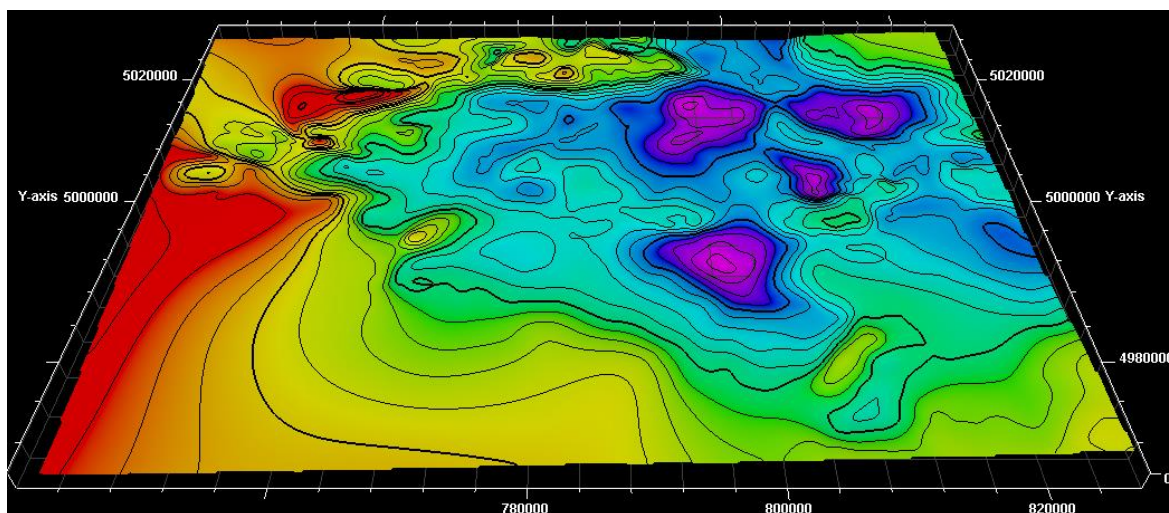
Petrel™ 2013 je *software*-ska platforma u vlasništvu tvrtke Schlumberger koja korisniku omogućava interpretaciju seizmičkih podataka, korelaciju bušotinskih podataka, izradu modela, simuliranje, računanje volumena, izradu karata, razradu strategija za najbolje iskorištavanje eksploatacijskih rezervoara i dr. Prilikom izrade ovog diplomskog rada služio je kao platforma za izradu 3D modela Slavonsko-srijemske depresije od digitaliziranih strukturnih karata. Nakon što su karte digitalizirane u ArcGIS-u, izvedene su u obliku *shapefile*-ova i u tom obliku su mogle biti učitane (eng. *import*) u Petrel i prikazane u 3D obliku (slika 4-4). Za georeferenciranje u Petrelu korišten je koordinatni referentni sustav WGS_1984_UTM_Zone_33N. Na ovaj su način u Petrel unešeni *shapefile*-ovi svih stratoizohipsa i izobata: A_stratoizohipse, B_stratoizohipse,

H_stratoizohipse i paleo_izobate, kao i shapefile-ovi pripadajućih rasjeda: A_rasjedi, B_rasjedi, G_rasjedi, H_rasjedi i paleo_rasjedi, te područje kartiranja.



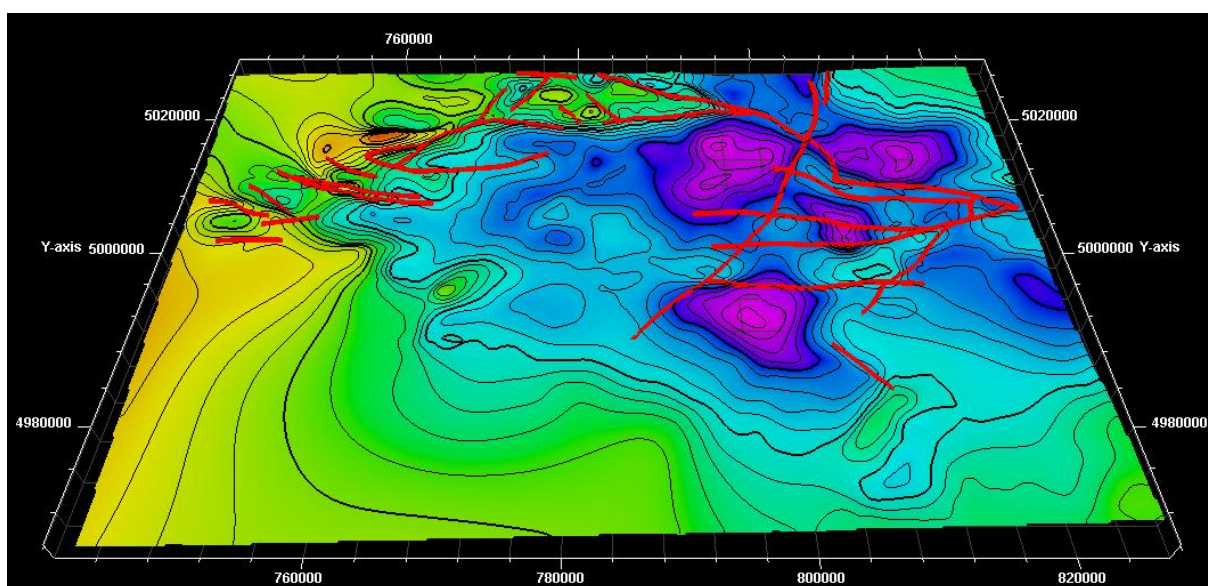
Slika 4-4. 3D prikaz digitaliziranih stratoizohipsa na horizontu A.

Od linija stratoizohipsa i izobata, pomoću alata "Make/edit surface", generira se površina koja predstavlja određeni horizont. Na primjer, od linija stratoizohipsa prikazanih na slici 4-4 modelira se površina koja predstavlja horizont A, prikazana na slici 4-5. Istim postupkom, od linija stratoizohipsa, načinjene su površine ostalih markera i repera: površina horizonta B, površina horizonta G, površina horizonta H i površina paleoreljefa.



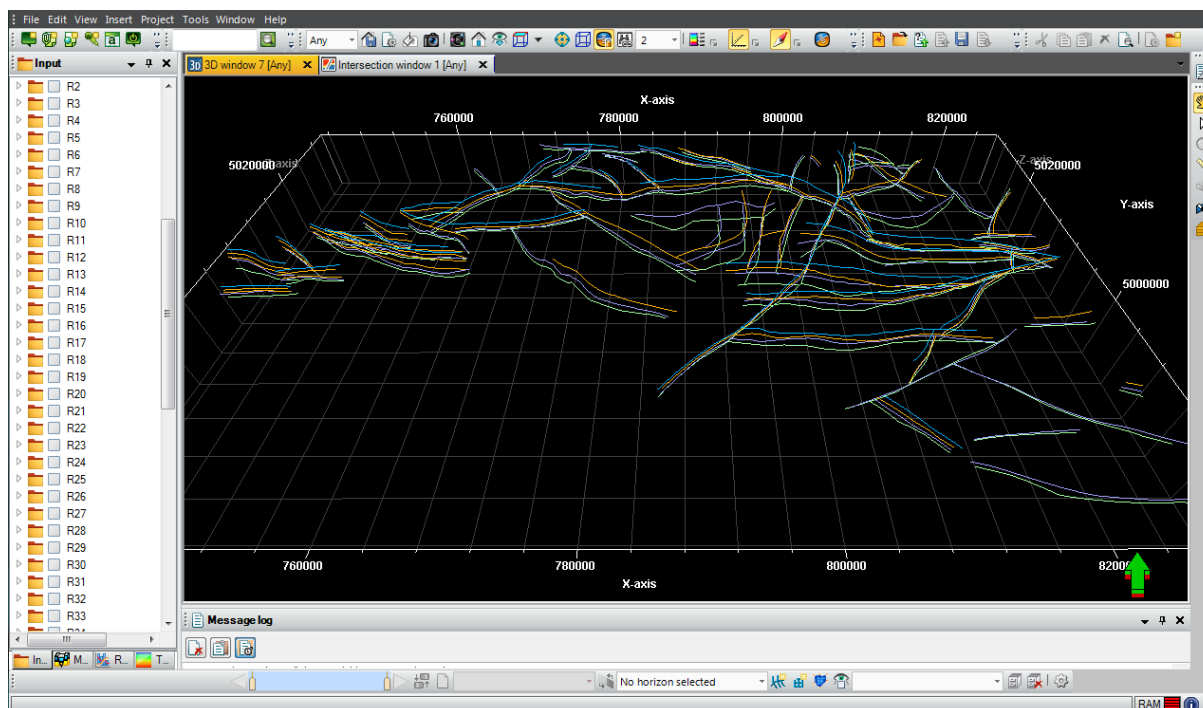
Slika 4-5. Površina modelirana od stratoizohipsa horizonta A.

Idući korak je „zalijepiti“ rasjede na odgovarajuće površine horizonata. Rasjedi su na strukturnim kartama prikazani kao linije na mjestima gdje ploha rasjeda presijeca površinu horizonta. Zbog toga se dubina te linije može izjednačiti s dubinom površine horizonta koju presijeca. Kako linijama rasjeda u ArcGIS-u nisu pridodane vrijednosti dubine Z, dubina tih linija određuje se njihovim „spuštanjem“ na odgovarajući horizont pomoću funkcije izjednačavanja dubina s površinom. Na primjer, dubine rasjeda sa strukturne karte A određuju se njihovim spuštanjem („lijepljenjem“) na površinu horizonta A (slika 4-6). Nakon što se ovaj jednostavan postupak provede za linije rasjeda na sva četiri horizonata, one dobiju svoju treću dimenziju, dubinu Z.



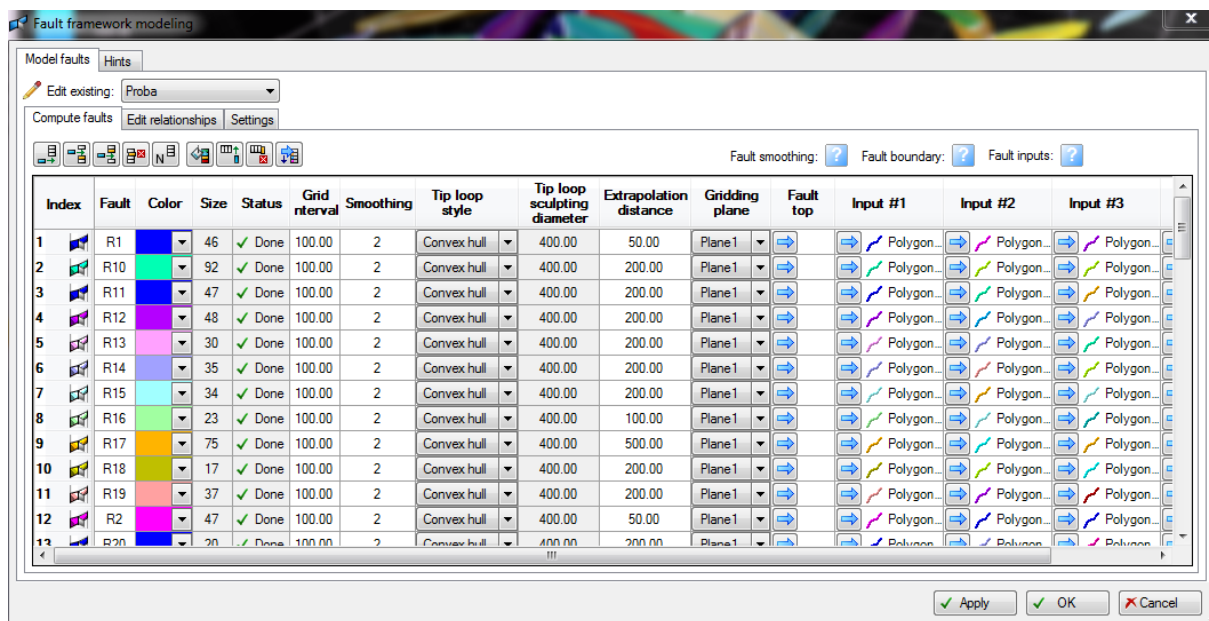
Slika 4-6. Rasjedi sa strukturne karte A nakon što su „zaliježeni“ na plohu horizonta A.

Isti rasjed može prolaziti kroz više horizonata, te tako imati više linija koje definiraju njegovu plohu. Određivanje koja linija pripada kojem rasjedu bio je idući korak. Vizualno je potrebno odrediti koje linije čine određeni rasjed (slika 4-7). Zatim bi se linije jednog rasjeda pohranile u odvojenu mapu unutar Petrela (eng. *folder*), i taj postupak dijeljenja u mape bi se nastavio dok svaka linija ne bi bila odvojena svojom mapom koja predstavlja taj rasjed radi lakšeg korištenja u daljnjem procesu. Sveukupno linije su podijeljene u 66 mapa, odnosno toliko se rasjeda nalazi na ovom području. Sada kada su linije rasjeda uredno organizirane u mape, sljedeći korak, modeliranje ploha rasjeda, uvelike je olakšan.

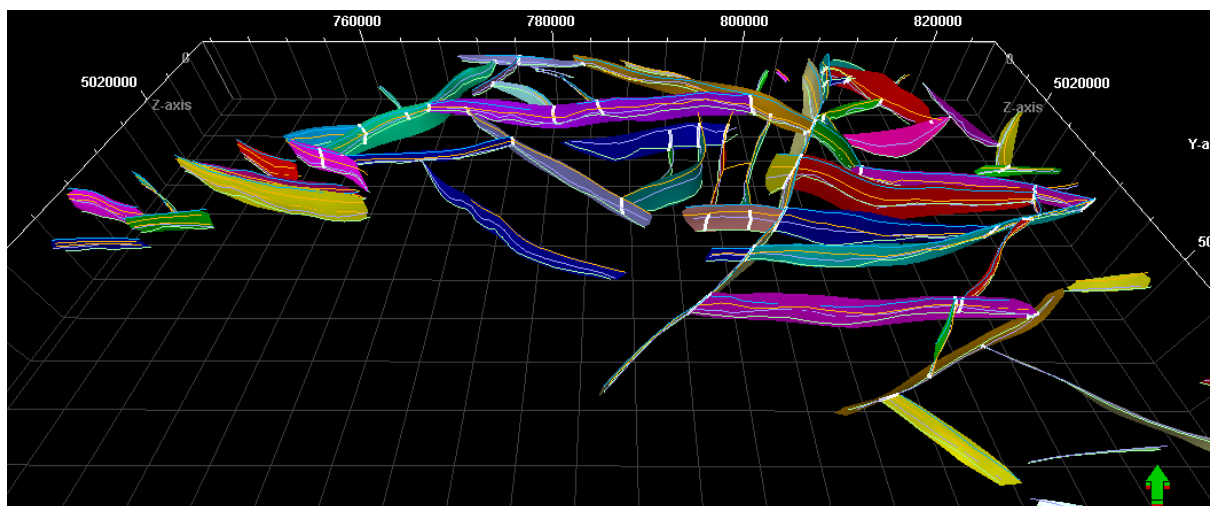


Slika 4-7. Sve linije sjecišta rasjeda s površinama horizonata. Linije su razdvajane u posebne mape za svaki rasjed (lijeva strana slike).

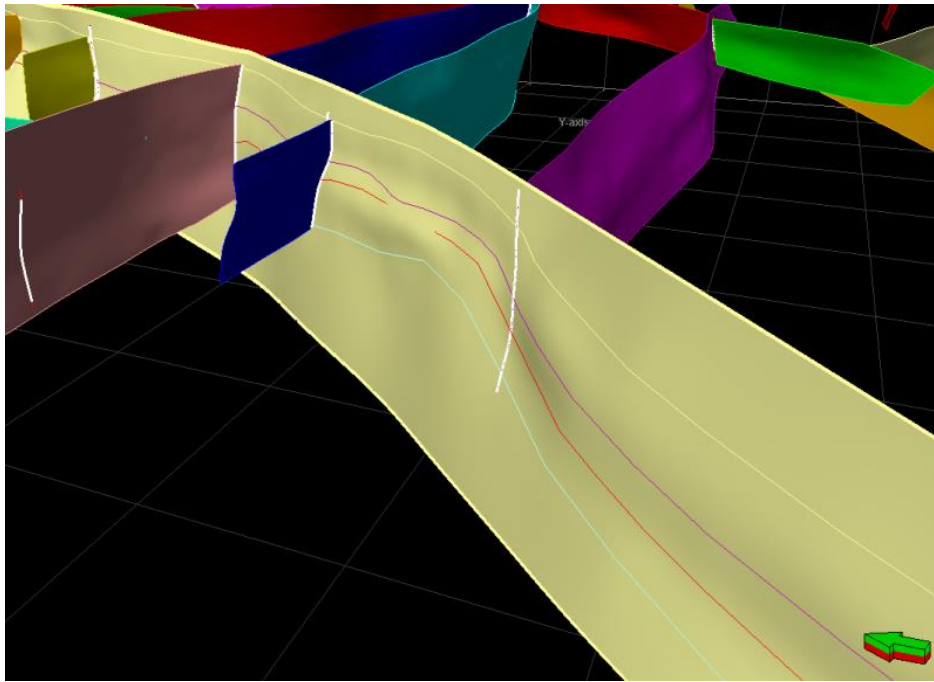
Potrebno je izraditi strukturni okvir (eng. *Structural framework*), što podrazumijeva definiranje geometrije i granicu strukturnog modela. Nakon toga, plohe rasjeda modelirane su pomoću alata unutar Petrela pod nazivom „*Fault framework modeling*“. Za svaki rasjed (od njih 66) u polja za unos (eng. *Input*) unošene su linije sjecišta tog rasjeda s horizontima (slika 4-8). Većina rasjeda sastojala se od tri do četiri linije. Minimalno su morale biti dvije linije da bi rasjed mogao biti uspješno modeliran, a broj linija za svaki rasjed nije mogao biti veći od četiri, jer je samo četiri horizonta koje rasjed može sjeći. Nakon što su sve linije unešene, a rasjedi imenovani oznakama R1 - R66, pritiskom na naredbu „OK“ Petrel će generirati trodimenzionalne modele ploha rasjeda ovog područja (slika 4-9).



Slika 4-8. Sučelje prozora „Fault framework modeling“.

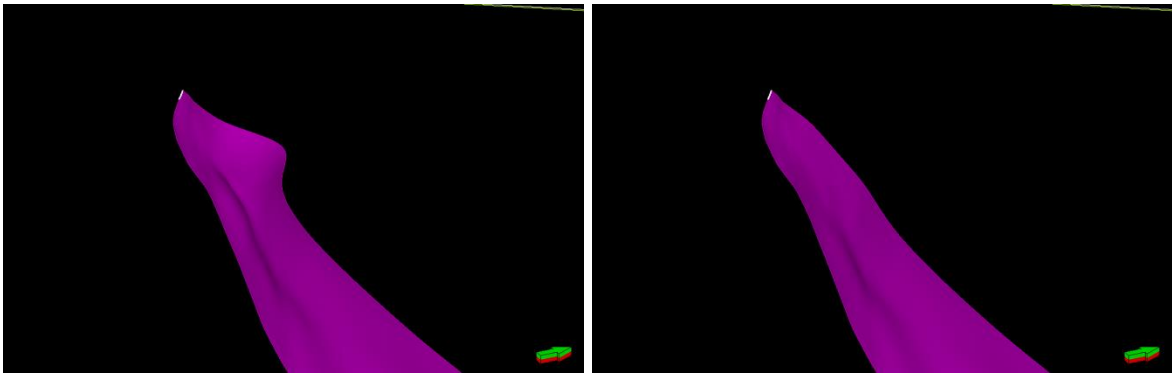


Slika 4-9. Trodimenzionalni prikaz ploha rasjeda na području Slavonsko-srijemske depresije. Prikazane su i linije pomoću kojih su rasjedi modelirani.

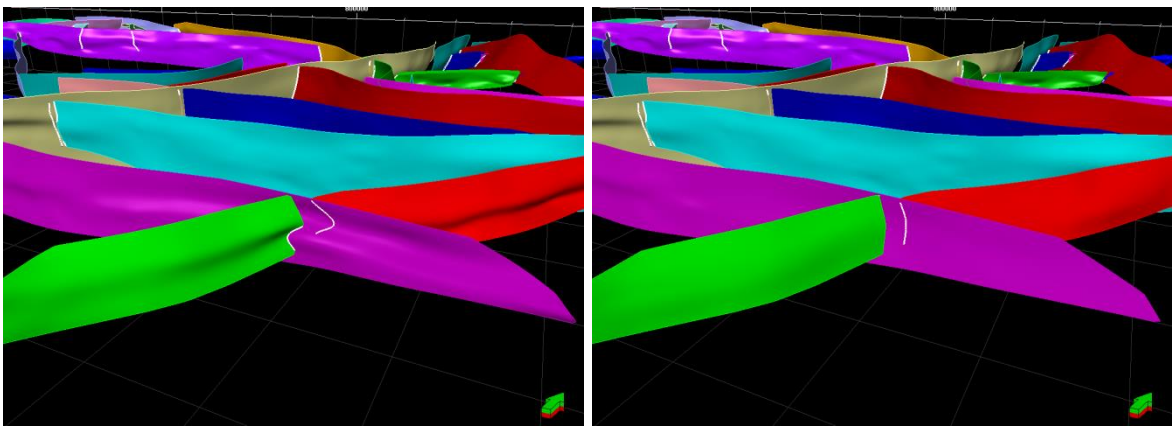


Slika 4-10. Rasjedi dviju generacija. Prikazane su i linije sjecišta mlađeg rasjeda s horizontima koje su poslužile za njegovo modeliranje.

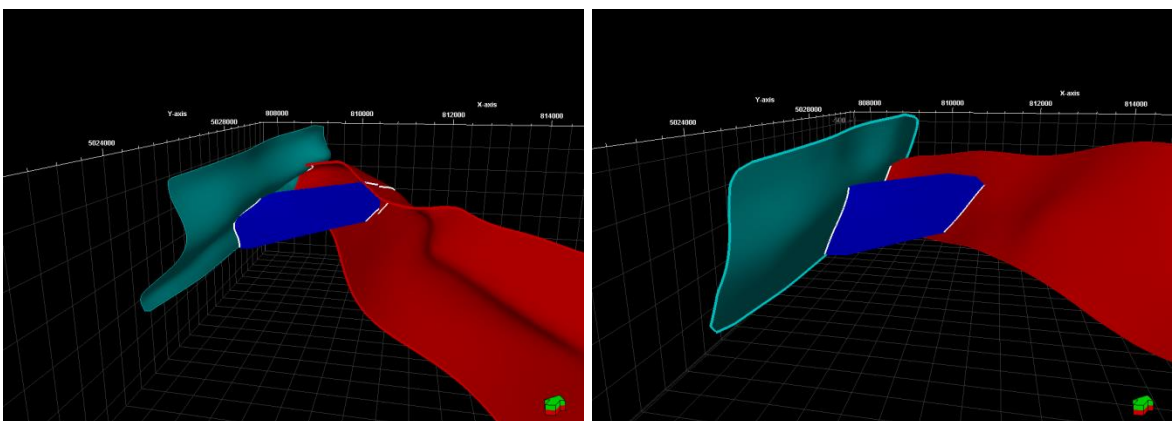
Nakon prvotnog modeliranja svih rasjeda, potrebno je bilo ispraviti one koji su pogrešno generirani. Pojavljivao se cijeli niz različitih pogrešaka. Kako su neki rasjedi imali prezakrivljene plohe (slika 4-11 (a)), bilo ih je potrebno izravnati. Da bi se takav rasjed ispravio, uglavnom je bilo dovoljno pronaći liniju koja najviše odudara od ostalih. Ta bi se linija pomoću alata „*Make/edit polygons*“ ispravila kako bi manje odudarala, te bi se rasjed ponovo generirao pomoću alata „*Fault framework modeling*“. Postupak ažuriranja linija bi trajao sve dok rasjed ne bi poprimio zadovoljavajući izgled (slika 4-11 (b)). No situacija nije uvijek bila jednostavna. Ukoliko bi ta linija bila previše isprepletena s linijama iznad i ispod, nekad ju je bilo potrebno potpuno izbrisati da bi rasjed poprimio prirodan izgled. Na slikama 4-12 i 4-13 se također nalaze primjeri ispravljanja loše generiranih rasjeda.



Slika 4-11 (a i b). Lijevo (a) je rasjed koji je generiran s nepoželjnim „nosom“ i neravan u središnjem dijelu, desno (b) isti rasjed generiran nakon što su linije koje ga čine ispravljene.

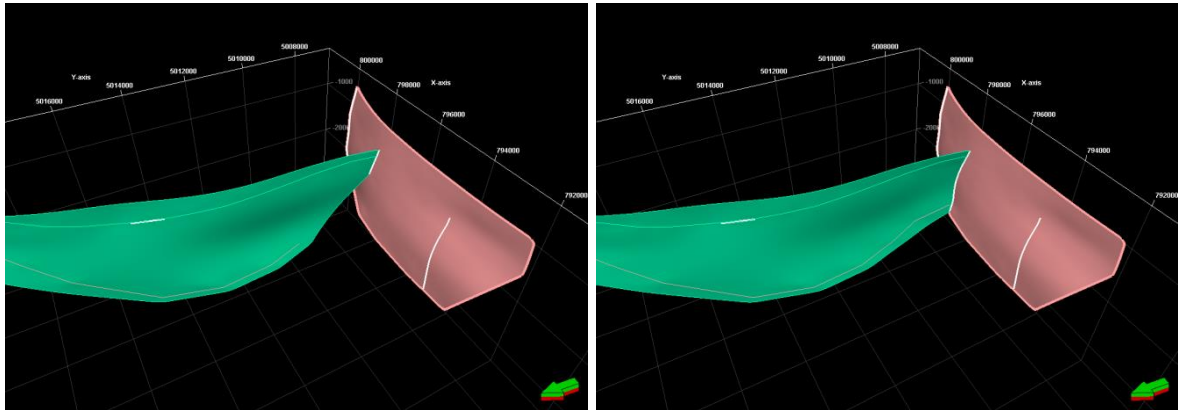


Slika 4-12 (a i b). Na slikama su prikazana dva rasjeda, mlađi i stariji, prije (a) i poslije (b) izravnavanja.



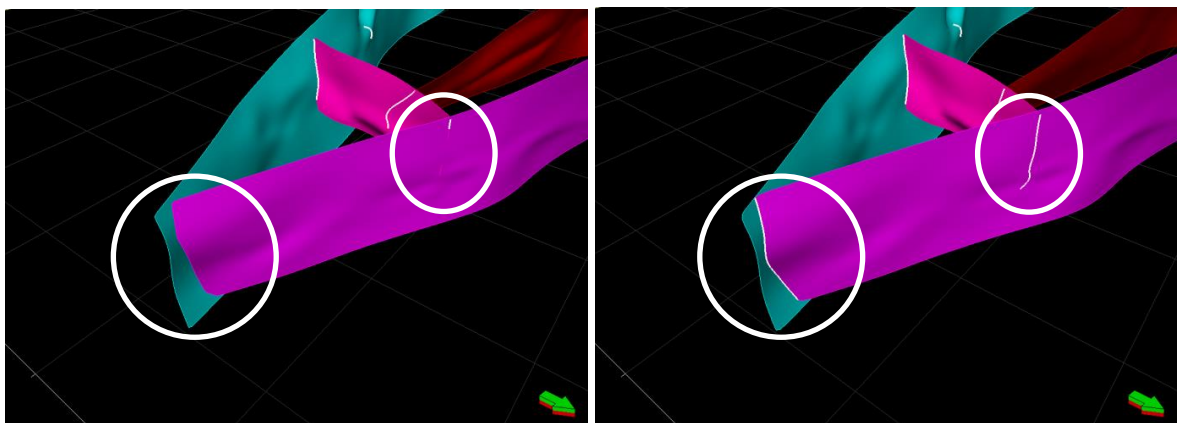
Slika 4-13 (a i b). Lijevo (a) su prikazani pogrešno generirani rasjedi, a desno (b) isti rasjedi nakon ispravljanja.

Sljedeći problemi koji se javljaju su nepotpuni ili krivo definirani kontakti rasjeda. Primjer nepotpunog kontakta između dva rasjeda nalazi se na slici 4-14 (a). Rješenje je bilo produžiti alatom „*Make/edit surface*“ najnižu liniju koja čini stariji (zeleni) rasjed kako bi on potpuno nalijegao na mlađi (ružičasti) rasjed.



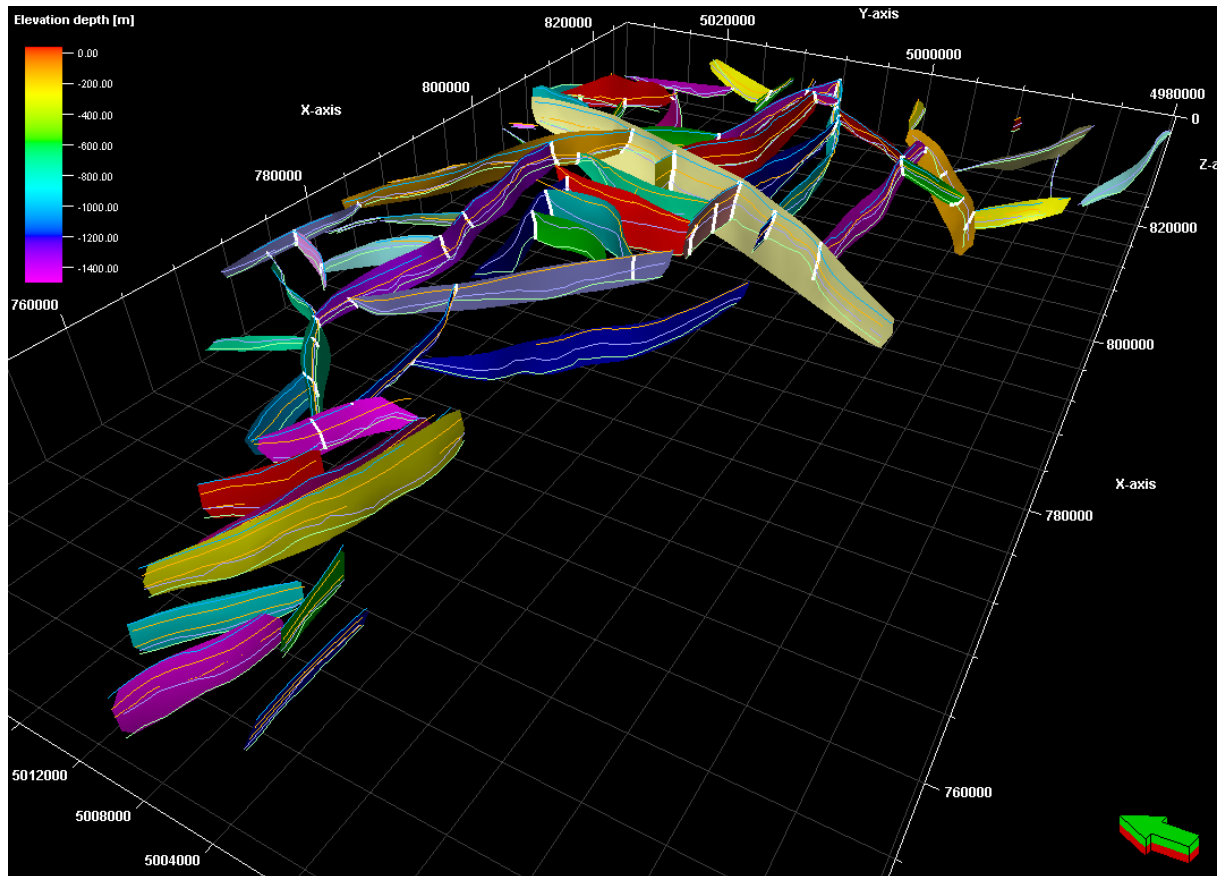
Slika 4-14 (a i b). Lijevo (a) slika prikazuje mlađi rasjed s nepotpunim kontaktom sa starijim rasjedom. Desno (b) je prikaz istih rasjeda nakon popravljavanja kontakta.

U nekim bi slučajevima pogreške vezane za nepotpune kontakte rasjeda bilo jednostavnije ispraviti koristeći „*Extrapolation distance*“ opciju. Koristeći tu opciju određujemo koliko će Petrel ekstrapolirati rasjed od linija iz kojih je modeliran. Povećavanje te udaljenosti ploha rasjeda proširila bi se u svim smjerovima, ispravljajući na taj način loše kontakte među njima (slike 4-15 (a i b)).



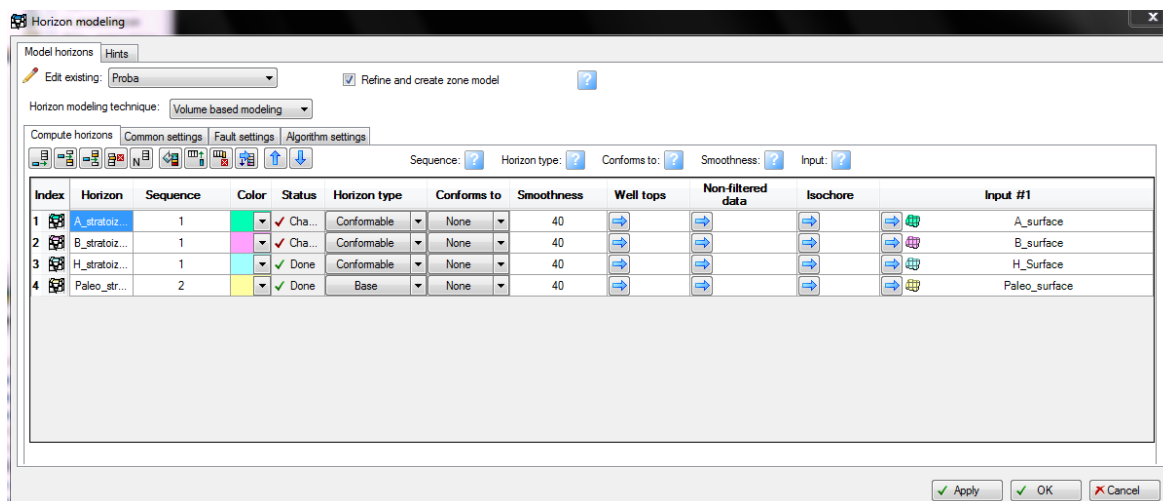
Slika 4-15 (a i b). Primjer popravljavanja kontakta među rasjedima povećanjem udaljenosti ekstrapolacije. Bijela linija na kontaktu znači da je kontakt potpun.

Ponekad bi Petrel pogrešno protumačio odnose među rasjedima, odnosno krivo bi postavio koji je rasjed glavni (eng. *major*), a koji sporedni (eng. *minor*). Takve krive odnose moguće je ručno podesiti unutar alata „*Fault framework modeling*“.



Slika 4-16. Uspješno modelirani rasjedi nakon što su greške ispravljene.

Jednom kada su sve pogreške zadovoljavajuće ispravljene, a svi rasjedi uspješno modelirani, moguće je početi s modeliranjem horizonata. Taj se zadatak izvodi pomoću alata pod nazivom „*Horizon modeling*“, u koji se kao ulazni podatci unesu iste plohe horizonata generirane od stratoizohipsi nekoliko koraka prije (slika 4-17).



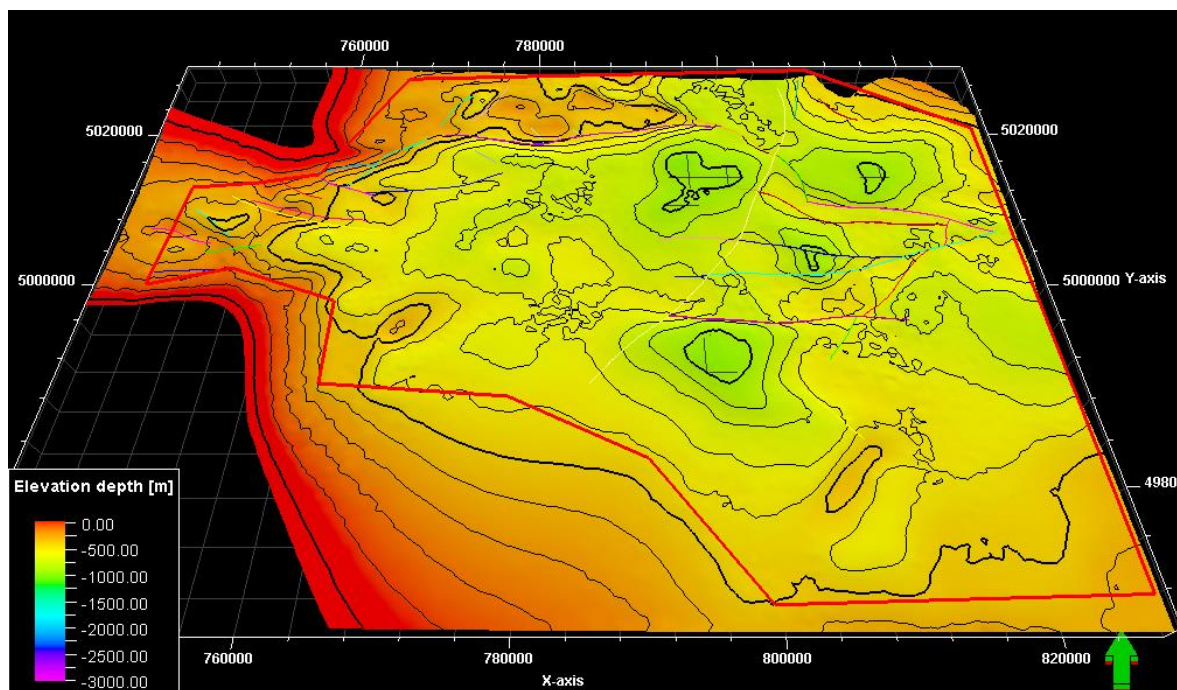
Slika 4-17. Sučelje prozora „Horizon modeling“.

Kao najviši unešen je horizont A, dok ispod njega dolaze horizonti B, H i Tg. Najniži horizont je paleoreljef (Tg), te je on postavljen kao baza (eng. *base*) modela, dok su ostali označeni kao konformni (eng. *conformable*). Izrada modela izvodi se VBM (*Volume base modeling*) metodom, te je također uključena opcija „*Refine and create zone model*“. Uključivanjem te opcije Petrel će osim horizonata modelirati i zone, odnosno trodimenzionalne modele ispune među horizontima, te same horizonte detaljnije izračunati. Negativna strana uključivanja ove opcije je značajno dulje vrijeme potrebno za proces kalkulacije modela. Jednom kada je proces završen imamo modelirane površine horizonata i formacije s vidljivim svim strukturama, pomacima rasjeda i isklinjenjima.

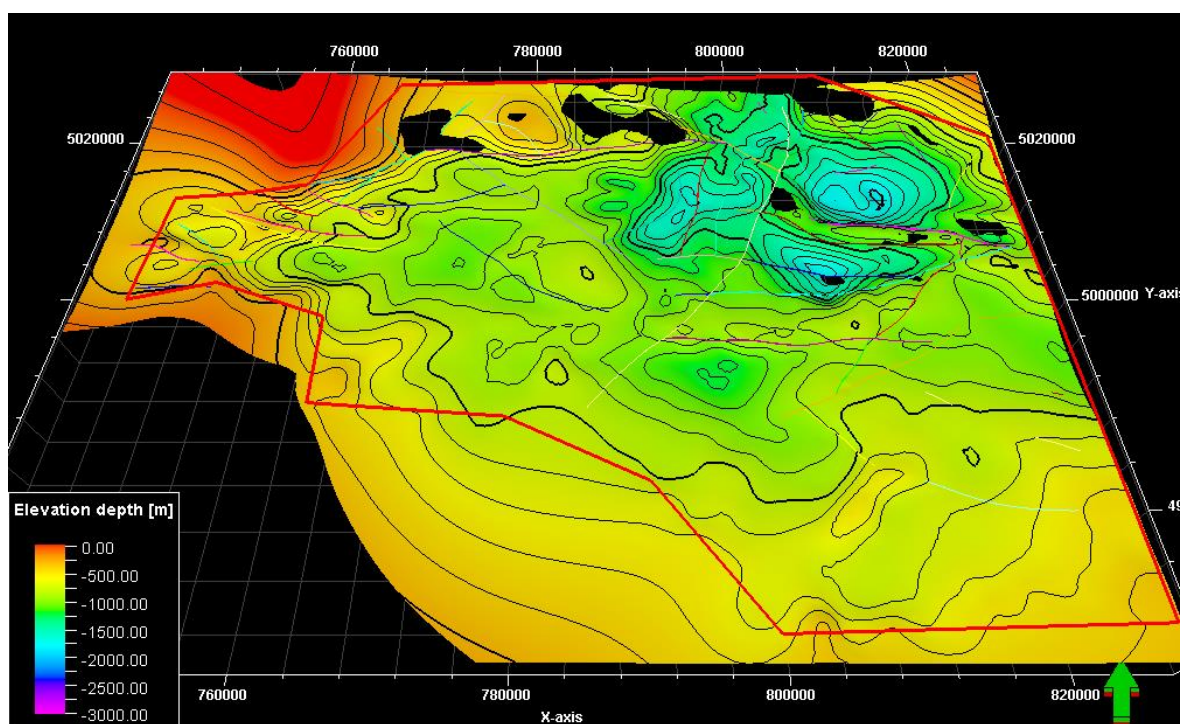
5. REZULTATI

Konačni rezultat modeliranja strukturnih karata u Petrelu je trodimenzionalni model Slavonsko-srijemske depresije. Ovako obrađeni model omogućava prikaz rasjeda, formacija i horizonata (odnosno EK markera) u tri dimenzije, kao i prikaze istih u obliku karata i profila. Prilikom VBM modelinga program ekstrapolira podatke izvan kartiranog područja, koji je na slikama prikazan crvenim okvirom. Iz tog razloga područje koje je izvan okvira kartiranog područja ne smatra se točnim i nužno je ne uzimati ga u obzir kada se razmatra kartirano područje.

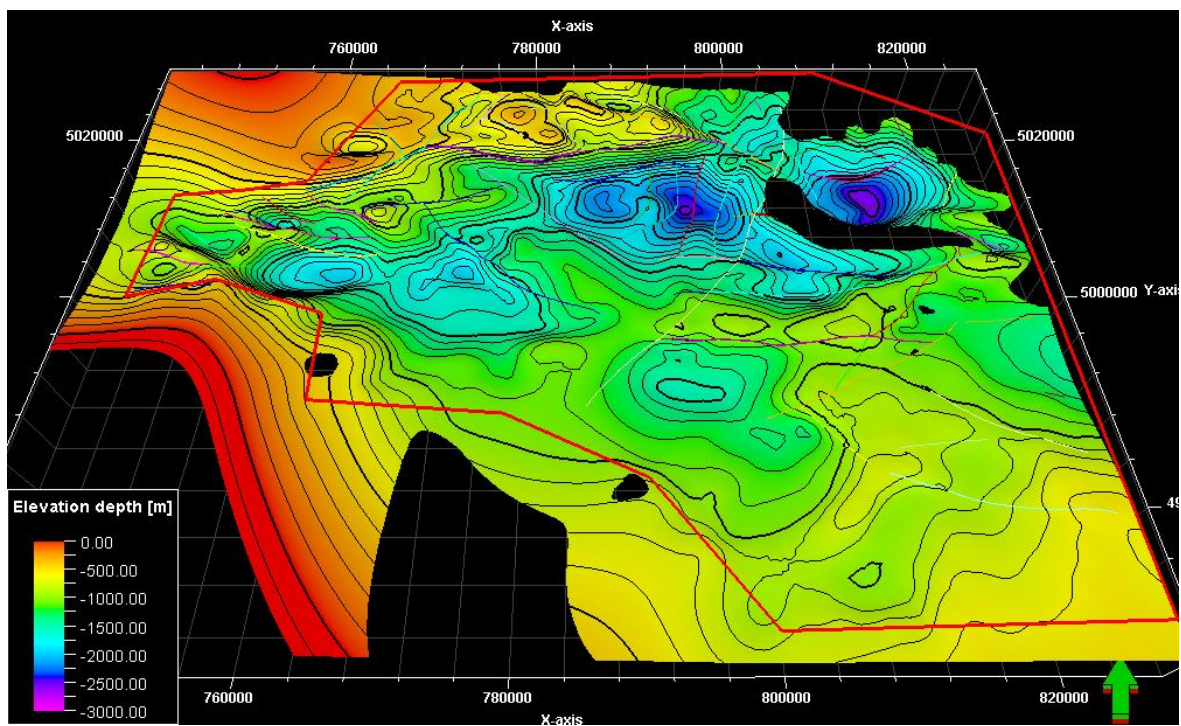
Slike od 5-1 do 5-4 prikazuju četiri modelirana horizonta. Vidljivi su pomaci terena uz rasjede, a crveni okvir predstavlja, kao što je već rečeno, granicu kartiranog područja.



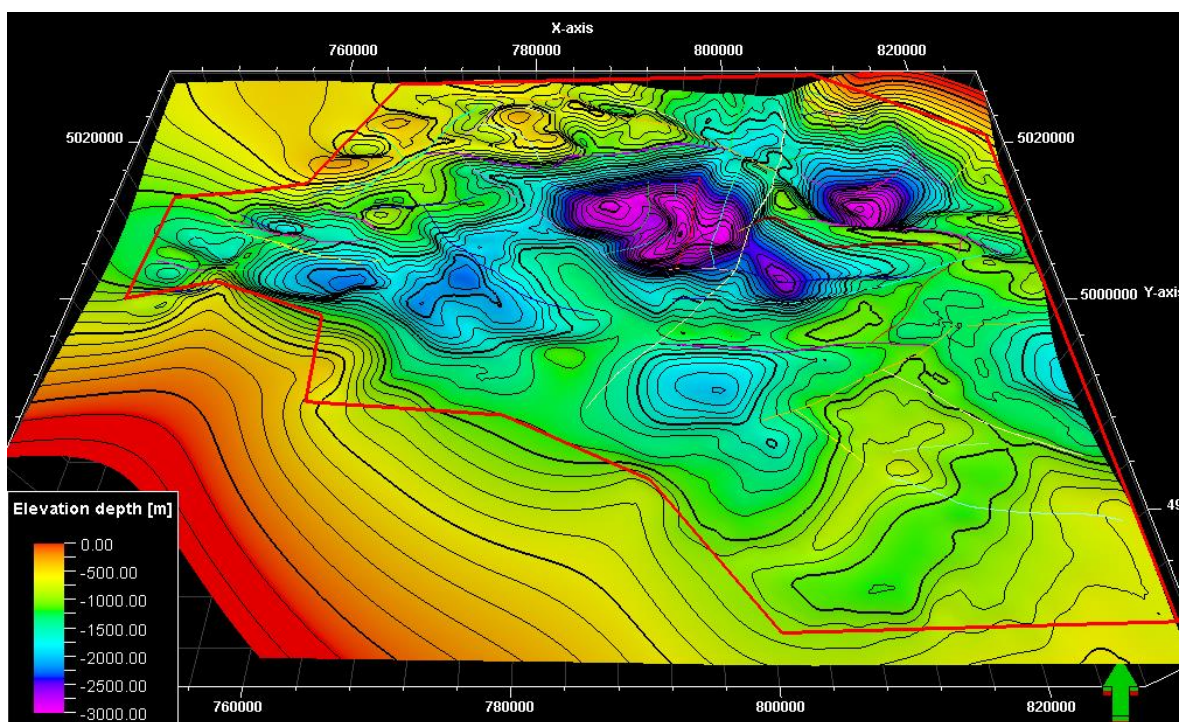
Slika 5-1. Ploha EK markera A.



Slika 5-2. Ploha EK markera B.



Slika 5-3. Ploha EK markera H.

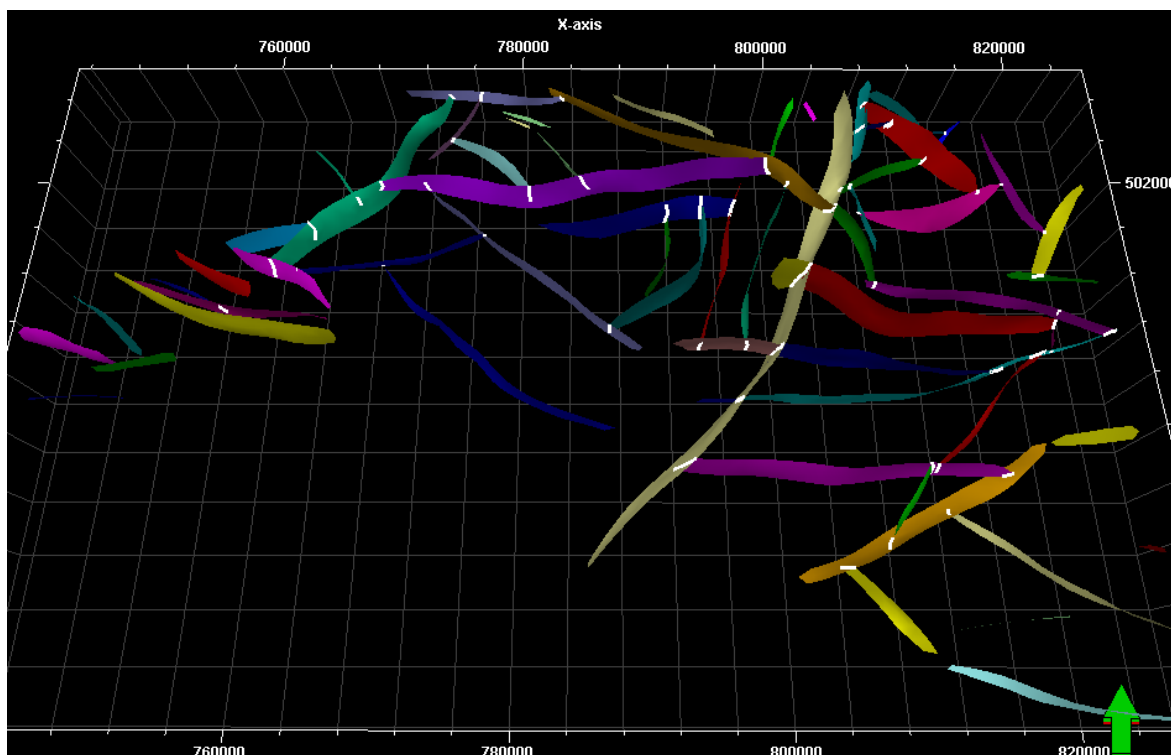


Slika 5-4. Ploha EK markera Tg.

6. DISKUSIJA

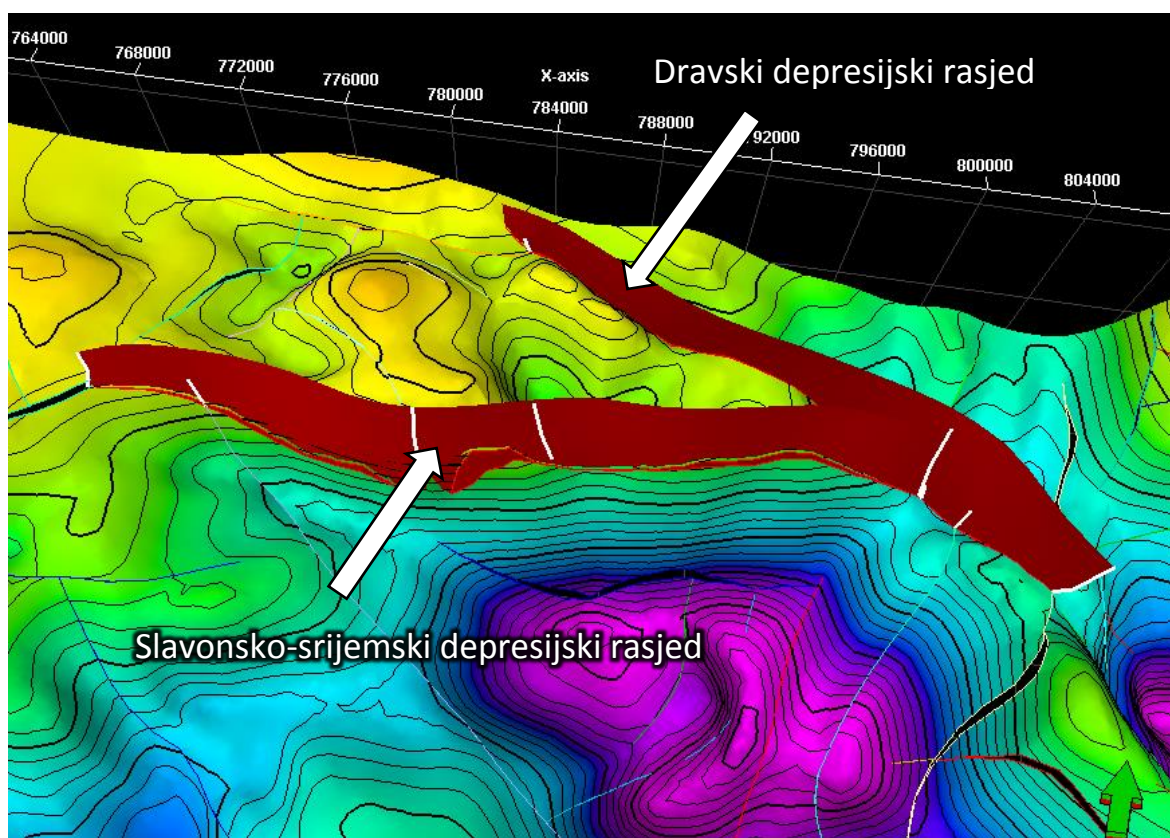
U ovom poglavlju nalazi se kratak pregled najistaknutijih struktura i pokušana je uspostava uzročno-posljedične veze između tektonike i izgleda promatranog područja.

U području prevladavaju rasjedi pravca pružanja sjeverozapad-jugoistok, tzv. dinarski pravac pružanja. Na prijelazu iz oligocena u miocen izdižu se okolna područja i nastaju Dinaridi, Alpe, Karpati vršeći snažan pritisak na Panonsku masu koja tone. Međutim stare stijene pružaju otpor pritiscima, a kako su čvrste i više se ne mogu borati, dolazi do njihova pucanja čime su stvoreni pojedini blokovi. Na taj način nastaju u južnom Panonskom bazenu dominantni pravci pružanja rasjeda, dinarski rasjedi. Česti su i rasjedi koji se pružaju od sjever-sjeveroistoka do jug-jugozapada i takvi su po svom djelovanju mlađi. Oni presjecaju dinarske, ali uglavnom ne remete dinarsko pružanje struktura. Jedan od najvećih je svakako onaj koji se proteže od Županje prema Vukovaru i nastavlja se dalje u istočnu Dravsku depresiju prema Dalju. Moguće je da ovaj pravac rasjeda predstavlja krajnji zapadni odraz Karpatskog luka (HERNITZ, 1980) (slika 6-1).



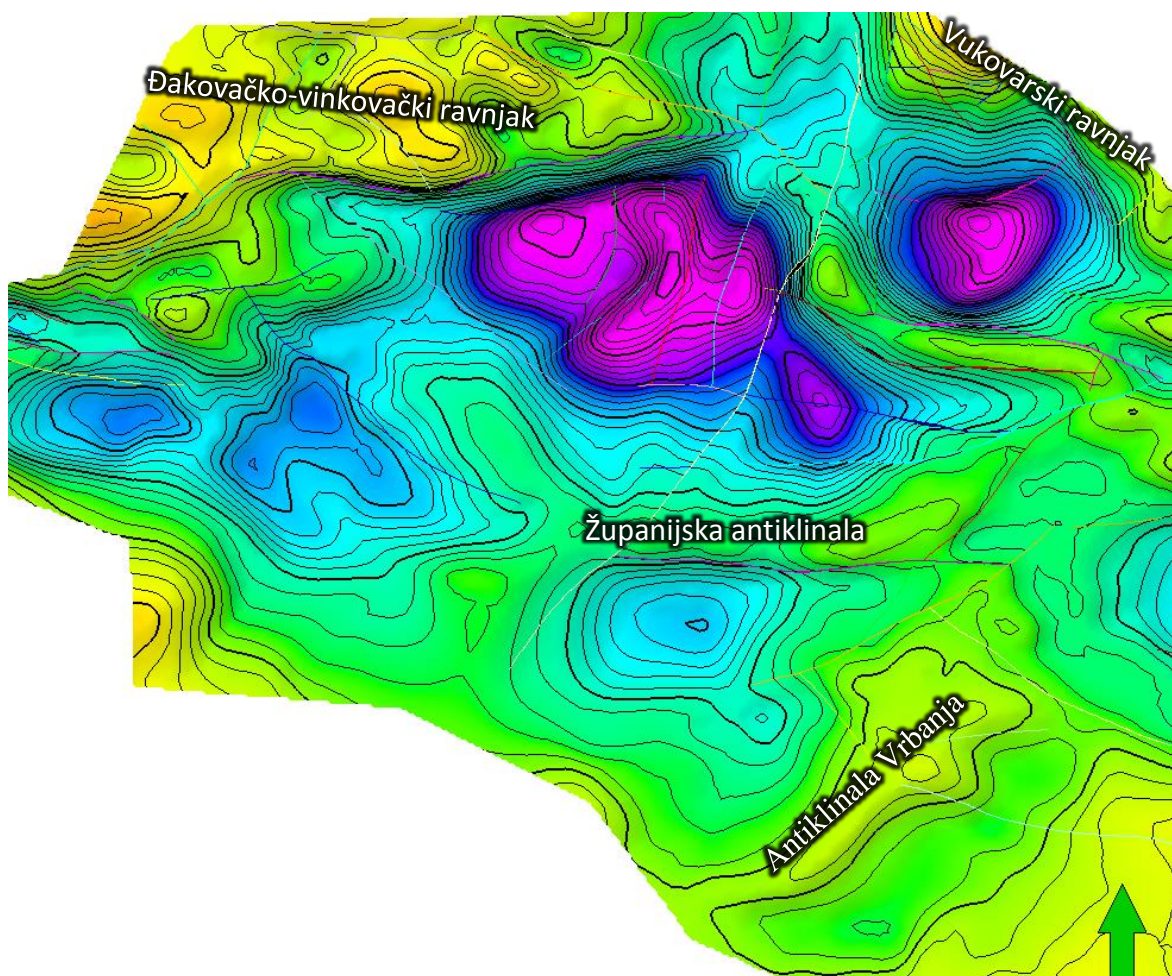
Slika 6-1. Pregledan prikaz sustava rasjeda Slavonsko-srijemske depresije.

Dva su rasjeda koji su odigrali najznačajniju ulogu u spuštanju depresija na ovom području (slika 6-2). Prvi od njih naziva se Slavonsko-srijemski glavni depresijski rasjed i pod njegovim utjecajem nastaje istoimena depresija. Radi se zapravo o sustavu rasjeda duž kojih je došlo do stupnjevito g spuštanja. Drugi bitan rasjed u ovom području naziva se Dravski glavni depresijski rasjed i odigrao je jednaku ulogu kao i prethodni, samo za istočnu Dravsku depresiju. Dva se rasjeda sijeku u točki blizu Vinkovaca. Kako zadiru u podlogu neogena, a bili su aktivni kroz cijelo vrijeme neogena do u kvartar, oni presijecaju cijeli kompleks naslaga. Između ta dva rasjeda ostala je povišena struktura Đakovačko-vinkovačkog ravnjaka, horsta prekrivenog neogenskim i kvartarnim naslagama. Ima oblik šiljastog trokuta, koji se proteže od zapada prema istoku i čiji se vrh nalazi kod Vinkovaca. Ondje se dotiču Slavonsko-srijemska depresija koja se nalazi na jugu i istočni dio Dravske depresije na sjeveru. Jezgru horsta čine stare stijene magmatsko-metamorfno g kompleksa, granitognajsi, kao i u Krndiji (HERNITZ, 1980).



Slika 6-2. Glavni depresijski rasjedi.

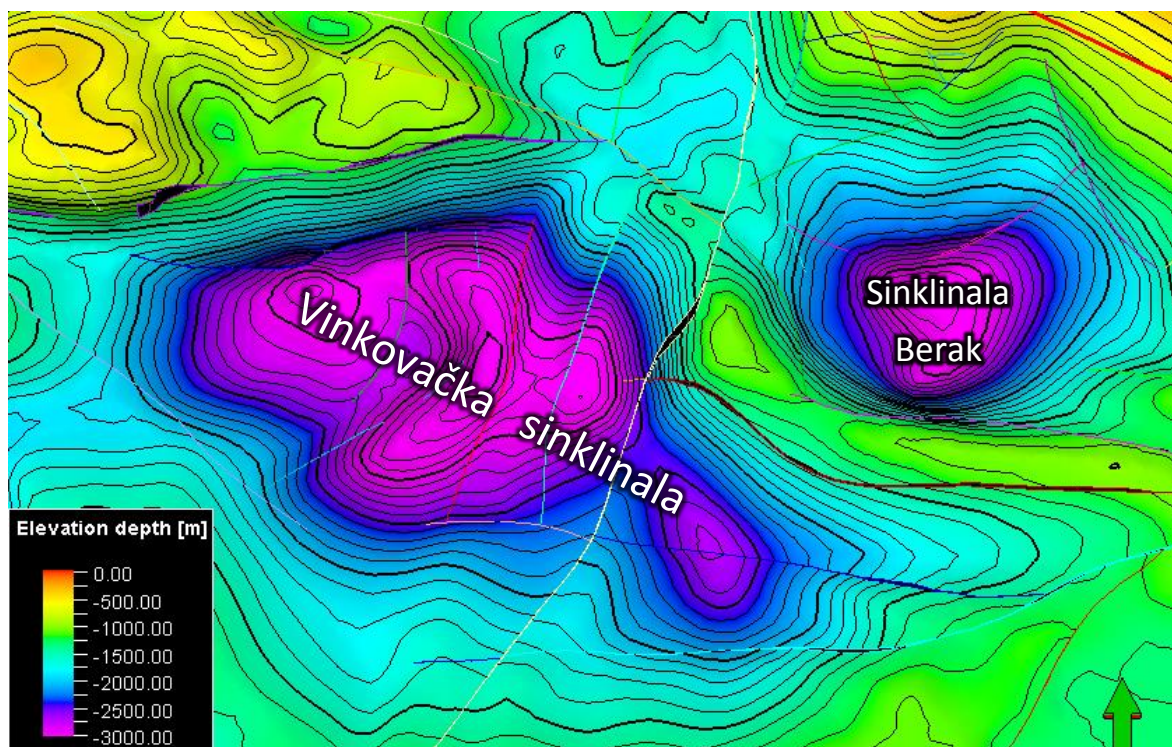
Pregled područja s označenim najvećim strukturama nalazi se na slici 6-2. Kako su na plohi paleoreljefa sve strukture najizraženije, pri prikazivanju svih struktura bit će korišten taj horizont.



Slika 6-3. Pregledni prikaz struktura Slavonsko-srijemske depresije.

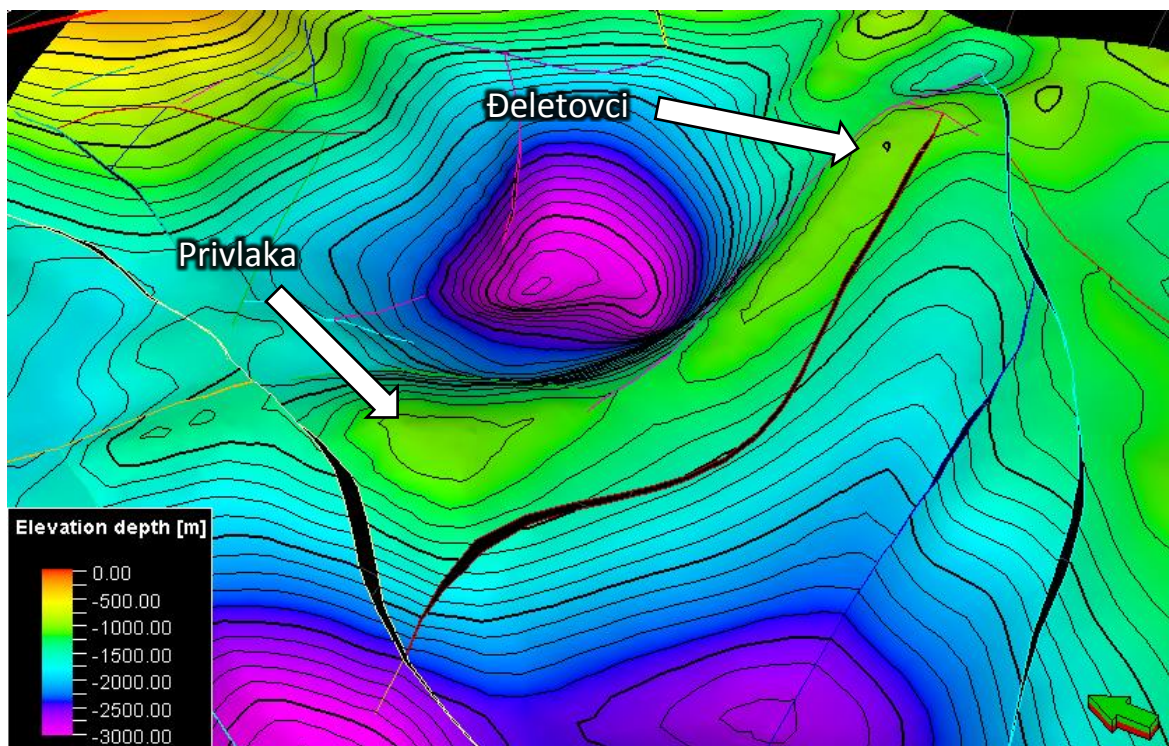
Na plohi paleoreljefa (prikazanoj na slici 6-2 i prilogu I) vrlo su jasno uočljivi Đakovačko-vinkovački ravnjak kao uzvišena površina na sjeverozapadnom dijelu kartiranog područja i Vukovarski ravnjak kao povišenje na sjeverozapadu područja. Južno od oba ravnjaka nalaze se dvije najveće uleknine. Dublja je ona jugozapadno od Vinkovaca i doseže -3500 m (u daljnjem tekstu: Vinkovačka sinklinala ili uleknina). Asimetrična je i grana se na nekoliko manje dubokih uleknina koje donekle odjeljuju rasjedi. Djelovanjem tektonike stvoreno je nekoliko manjih blokova, međutim glavni rasjedi koji su uvjetovali spuštanje nalaze se na bokovima. Sjeverni i istočni rubovi su znatno strmiji od južnih i zapadnih, a te osnovne konture zadržane su na plohama svih markera, čak i onih najplićih (HERNITZ, 1980). Sljedeća jako izražena uleknina nalazi se kod Beraka, južno od Vukovara,

maksimalne dubine -3200 m (u daljnjem tekstu: sinklinala Berak). Primjećuje se da je uvjetovana rasjedima, isto kao i prethodna sinklinala.



Slika 6-4. Označene su dvije najdublje sinklinale Slavonsko-srijemske depresije.

Jedna od markantnijih struktura u depresiji zasigurno je horst jugoistočno od Vinkovaca, otprilike između dvije prethodno opisane uleknine (profil strukture se nalazi u prilogu V). U njezinom se središnjem dijelu podloga neogena uzdiže na -1100 metara. Bokovi strukture na sjeveru, zapadu i jugu vrlo su strmi te predstavlja jedan od najstrmijih lokaliteta istočne Slavonije s nagibima ploha paleoreljefa većim od 35°. Prema tome, struktura je morfološki vrlo istaknuta te vrlo jasno i oštro ocrтана na kartama. Postanak ovog horsta vjerojatno je vezan za snažni prodor gabroidne magme (HERNITZ, 1980). Vjerojatno je u donjem, a dijelom i u gornjem neogenu bio kopno jer na njegovim obodima isklinjuje Vukovarska formacija, dok Vinkovačka nedostaje na središnjem tjemenu dijelu. Upravo je u ovoj strukturi 1982. godine kod mjesta Đeletovci nabušeno najveće naftno polje Slavonsko-srijemske depresije. Nešto sjeverozapadnije u istoj strukturi na polju Privlaka nalazi se drugo najproduktivnije nalazište ugljikovodika, dok se istočno od Đeletovca nalazi naftno polje Ilača.



Slika 6-5. Vinkovački horst. Označene su lokacije nalazišta ugljikovodika.

U svakom slučaju predio u široj okolini Vinkovaca karakteriziran je najizraženijim kontrastima u morfološkoj građi Slavonsko-srijemske depresije. Sjeverno, te zapadno i južno od spomenutog horsta nalaze se vrlo duboke uleknine. Na sjeveru između vukovarske i vinkovačke strukture nalazi se sinklinala Berak koncentričnih kontura, a zapadno i južno se proteže široka, razvedena i poprečnim rasjedima ispresjecana sinklinala Vinkovci. Između Dravske i Slavonsko-srijemske depresije, a ujedno između Đakovačko vinkovačkog i Vukovarskog ravnjaka, nalazi se strukturno sedlo. Zbog toga je to jedan od zanimljivijih strukturnih oblika kroz neogen, koji je zadržao svoje osnovne značajke sve do danas. Na plićim markerima (A i B) mnogo je blažih kontura, međutim odraz dubokog sedla vidljiv je donekle i u današnjoj topografiji pa se Bosut i Vuka približavaju na svega 3,5 km da bi se dalje nizvodno razišli obilazeći Vukovarski ravnjak (HERNITZ, 1980).

U središnjem dijelu depresije postoji sustav rasjeda koji su uvjetovali stvaranje dugačkog horsta koji se pruža od Đakova, preko Županje prema Ilincima i Šidu, a nastavlja se dalje na istok prema fruškogorskom horstu. Ovaj lanac s južne strane omeđuje duboku Vinkovačku sinklinalu. Taj Županjski horst dijeli Slavonsko-srijemsku depresiju na sjeverni manji, dublji dio i južni prostraniji, ali plići koji prelazi u bosansku Posavinu te se uzdiže prema Vučjaku i Trebovcu. Rasjedi s južne strane uvjetovali su spuštanje uleknina

Berava i Orašje. Prema sjeverozapadu od Županje pruža se izdužena terasa, a jugoistočno, između Brčkog i Vrbanje, nalazi se izdužena i na bokovima razvedena antiklinala Vrbanja. Njezino je protezanje od jugozapada prema sjeveroistoku, te razdvaja ulekninu Orašje od relativno plitke uleknine Drenovci. Dalje prema istoku, odnosno južno od Tovarnika, nalazi se duboka i široka sinklinala Adaševci, karakterizirana vrlo blagim oblicima (HERNITZ, 1980).

Strukture Vukovarske formacije također su vrlo izražene i bliske onima na plohi paleoreljefa, iako su okarakterizirane nešto blažim nagibima. Ploha markera H, odnosno krovina Vukovarske formacije, prikazana je u prilogu II. Konfiguracija podloge i sinsedimentacijska tektonika imale su odlučujući utjecaj na debljine, a samim time i na izgled plohe markera H. Iznosi dubina u Slavonsko-srijemskoj depresiji su u prosjeku 500 m plići nego u susjednoj Dravskoj. Dna u sinklinalama Vinkovci i Berak nalaze se na -2500 m, a ostale uleknine su znatno pliće. Također, primjetno je i isklinjavanje Vukovarske formacije na Vinkovačkom horstu koji se pruža između dvije uleknine. Taj je predio u vrijeme taloženja ove formacije vjerojatno egzistirao kao otok (HERNITZ, 1980).

Osnovno obilježje plohe markera B, kao što je vidljivo u prilogu III, jesu znatno blaži nagibi u usporedbi s nižim razinama. Njegova površina pokriva gotovo cijelu površinu, osim dijelova Vinkovačko-đakovačkog ravnjaka, Vukovarskog ravnjaka i nekih manjih dijelova struktura (Vinkovački horst). Ne postoje više bitne razlike u dubinama između Dravske i Slavonsko-srijemske depresije. Zanimljiva je usporedba međusobnih dubinskih odnosa nadubljih struktura. Sinklinala Berak, koja je na karti paleoreljefa bila 300 m plića od vinkovačke, dopire do -1800 metara, dok razvedena vinkovačka sinklinala do -1600 m kod Jarmine, a -1700 kod Otoka (HERNITZ, 1980).

Marker A, prikazan u prilogu IV, je prvi od spominjanih markera koji bez izuzetka pokriva cijelo istražno područje. Izostali su mnogi rasjedi ili su im skokovi premali da bi bili primjećeni u toku interpretacije seizmičkih profila. Glavne su strukture zadržale svoja bitna obilježja, ali su mnogi detalji zatomljeni što je posljedica daljnje tendencije zaravnavanja, a time i vrlo blagih ocrta pojedinih oblika. Najdublje sinklinale još su uvijek relativno duboke i dosežu -900 m. Antiklinala Bosut i Đakovačko-vinkovački ravnjak potpuno su prekriveni te čine „buried hill“ strukture (HERNITZ, 1980).

6.1. Izračunavanje statističke vrijednosti odstupanja modela od karata

Prilikom izrade digitalnog modela istraživanih područja, zbog prirode zadatka izvorne karte donekle su izmjenjene. Površine horizonata bile su zaglađivane, rasjedi su bili ispravljani, površine ekstrapolirane i sl. Svi su ti procesi kumulativno stvorili određeno nepodudaranje izvornih podataka s krajnjim rezultatom. Kako bi se odredio iznos podudarnosti dobivenog trodimenzionalnog modela Slavonsko-srijemske depresije u usporedbi s izvornim ručno interpoliranim kartama, izračunata je statistička vrijednost odstupanja. Odstupanje je izračunato koristeći razlike u iznosima dubina ploha na određenim koordinatama. Za kontrolne točke uzete su, iz praktičnih razloga, točke koje se nalaze na stratoizohipsama izvornih karata. Razlozi su ti što te točke već postoje od ranije (pomoću njih su modelirane površine) i nalaze se na istim dubinama što olakšava računanje. Za neki horizont (npr. paleoreljef) nasumično bi bila odabrana stratoizohipsa (dubine npr. -1800) i njezine točke bile bi projicirane na iste koordinate površine paleoreljefa dobivenog modela. Iznos dubine na tako dobivenim točkama bi se do nekoliko postotaka razlikovao od prvotnih -1800 m. Za svaki horizont na ovaj način je obrađeno petnaest linija stratoizohipsa, te je koristeći te iznose pomoću formule 5-1 izračunat postotak odstupanja.

Formula po kojoj je izračunavan postotak odstupanja modela od strakturnih karata glasi:

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

gdje je X vrijednost odstupanja koja pomnožena sa 100 daje postotak odstupanja, Z(A) vrijednost očitane dubine pojedine točke na izvornim ručno interpoliranim strakturnim kartama, a Z(B) vrijednost očitane dubine pojedine točke na dobivenim modelima.

Vrijednosti očitanih dubina moraju biti postavljene kao apsolutne vrijednosti zbog toga što dubine imaju negativan predznak. Srednje vrijednosti postotka odstupanja modela od ručno interpoliranih strakturnih karata, zaokružene na 4 decimale, prikazani su u tablici 5-1. Primjetno je da plići horizonti imaju manje vrijednosti odstupanja od dubljih. To je moguće objasniti time što su njihove konture znatno blaže, manje rasjeda ih presijeca, te su njima slabije bili utjecani. Točke blizu rasjeda, gdje su površine zbog djelovanja istih deformirane, pokazuju veće vrijednosti odstupanja od točaka koje se nalaze na zaravnjenim

dijelovima terena. Iz tih je razloga obrada podataka manje utjecala na pliće horizonte nego one dublje, na kojima su skokovi rasjeda veći, a plohe razvedenije.

Tablica 6-1. *Srednje vrijednosti postotka odstupanja modela od ručno izrađenih strukturnih karata.*

Ploha EK – markera	Srednja vrijednost odstupanja (%)
A	0,973
B	1,110
H	1,513
Tg	1,507

7. ZAKLJUČAK

U sklopu ovog diplomskog rada uspješno su digitalizirane strukturne karte i karta paleoreljefa iz doktorske disertacije Zvonimira Hernitza pod nazivom „Dubinski strukturno-tektonski odnosi u području istočne Slavonije“ (HERNITZ, 1980), s prihvatljivim postotkom statističke vrijednosti odstupanja.

Digitalizacija starih karata i modeliranje Slavonsko-srijemske depresije omogućava daljnju obradu i analizu starih, ali kvalitetnih podataka. Računalni programi poput ArcGIS-a i Petrela daju mogućnosti koje nisu postojale 1980. godine kada su izvorne karte rađene. Podatke u ovakvom, digitalnom obliku mnogo je lakše nadalje koristiti u geološkom, naftnogeološkom, hidrogeološkom i geomorfološkom smislu. Također mogućnosti prikaza i analize podataka gotovo su neograničene. Strukturni odnosi u Slavonsko-srijemskoj depresiji kao geološkoj cjelini lakše su razumljivi prikazani u 3D obliku. Jasno su vidljivi skokovi rasjeda, različite generacije rasjeda, razne geološke strukture i potencijalne zamke za ugljikovodike. Uočljiv je i utjecaj potpovršinskih struktura na izgled površine. Slavonsko-srijemska depresija po istraženosti zaostaje za ostalim depresijama. Iako je s ekonomskog i naftnogeološkog stajališta istočna Dravska depresija zanimljivija, i u Slavonsko-srijemskoj depresiji postoje svi uvjeti za nakupljanje ugljikovodika u količinama povoljnijim za profitabilnu eksploataciju. Ovi i slični podatci mogu poslužiti kao ishodište za neka buduća istraživanja.

8. LITERATURA

BOŠKOV-ŠTAJNER, Z., MARINOVIĆ, Đ., 1971. Stratigraphy of oil and gas fields in the territory of Yugoslavia. Rap. 8th World Petroleum Congress, Moscow, Nafta, Zagreb.

BOŠKOV-ŠTAJNER, Z., PLENIČAR, M., REŠČEC, T., RIJAVEC, L., 1968. Stratigraphic Units of the Southern Part of Pannonian Basin in the Territory of Yugoslavia. Bull. scient., Zagreb.

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

GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D., 1912. Iz prapornih predjela Slavonije. Vijesti Geol. povjerenstva, 2, 28-30, Zagreb.

GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D., 1920. Morfološke prilike srijemskog lesa. Glasnik Geogr. društva, 5, 17-53, Beograd.

HERNITZ, Z., 1980. Dubinski strukturno – tektonski odnosi u području istočne Slavonije. Doktorska disertacija. Zagreb: Rudarsko – geološko – naftni fakultet.

KRANJEC, V., HERNITZ, Z., PRELOGOVIĆ, E., BLAŠKOVIĆ, I., 1970. Dubinsko litofacijelno kartiranje područja istočne Slavonije i bosanske Posavine. Zbornik radova Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, 165-174, Zagreb.

KRANJEC, V., HERNITZ, Z., VELIĆ, J. 1976. Composition and maximum thicknesses of Older Pannonian and Sarmatian deposits in the Drava River Depression (Pannonian Basin). Bull. scient., Yugosl., Zagreb.

PILAR, Đ., 1876. Podravina, Đakovština i Dilj-gora. Rad JAZU, Zagreb.

POLJAK, J., 1912. Prethodni izvještaj o geologijskom snimanju u opsegu listova Orahovica-Beničanci i Našice-Kutjevo. Vijesti geol. povjerenstva, Zagreb.

POLJAK, J., 1923. Prilog geološkom i morfološkom poznavanju Krndije. Glasnik Hrv. prir. društva 35, 21-45, Zagreb.

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 str.

ŠANDOR, F., 1912. Istraživanja prapora iz Vukovara, Bilo Gore i sa Rajne. *Vijesti Geol. povjerenstva*, Zagreb.

ŠIMON, J., 1966. Litostratigrafske jedinice tercijarnog kompleksa ist. Slavonije i korelacija s istim jedinicama Savske i istočnog dijela Dravske potoline. *Fond struč. dok.*, INA-Naftaplin, Zagreb.

ŠIMON, J., 1973. O nekim rezultatima regionalne korelacije litostratigrafskih jedinica u jugozapadnom području Panonskog bazena. *Nafta*, 24/(12).

TOMLJENOVIĆ B., CONTOS L., 2001. Neogene–Quaternary structures in the border zone between Alps, Dinarides and Pannonian Basin (Hrvatsko zagorje and Karlovac Basins, Croatia).— *Int. J. Earth. Sci.*, 90, 560–578.

VELIĆ, J., 2007. *Geologija ležišta nafte i plina*. Zagreb: Rudarsko – geološko – naftni fakultet, 342.

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

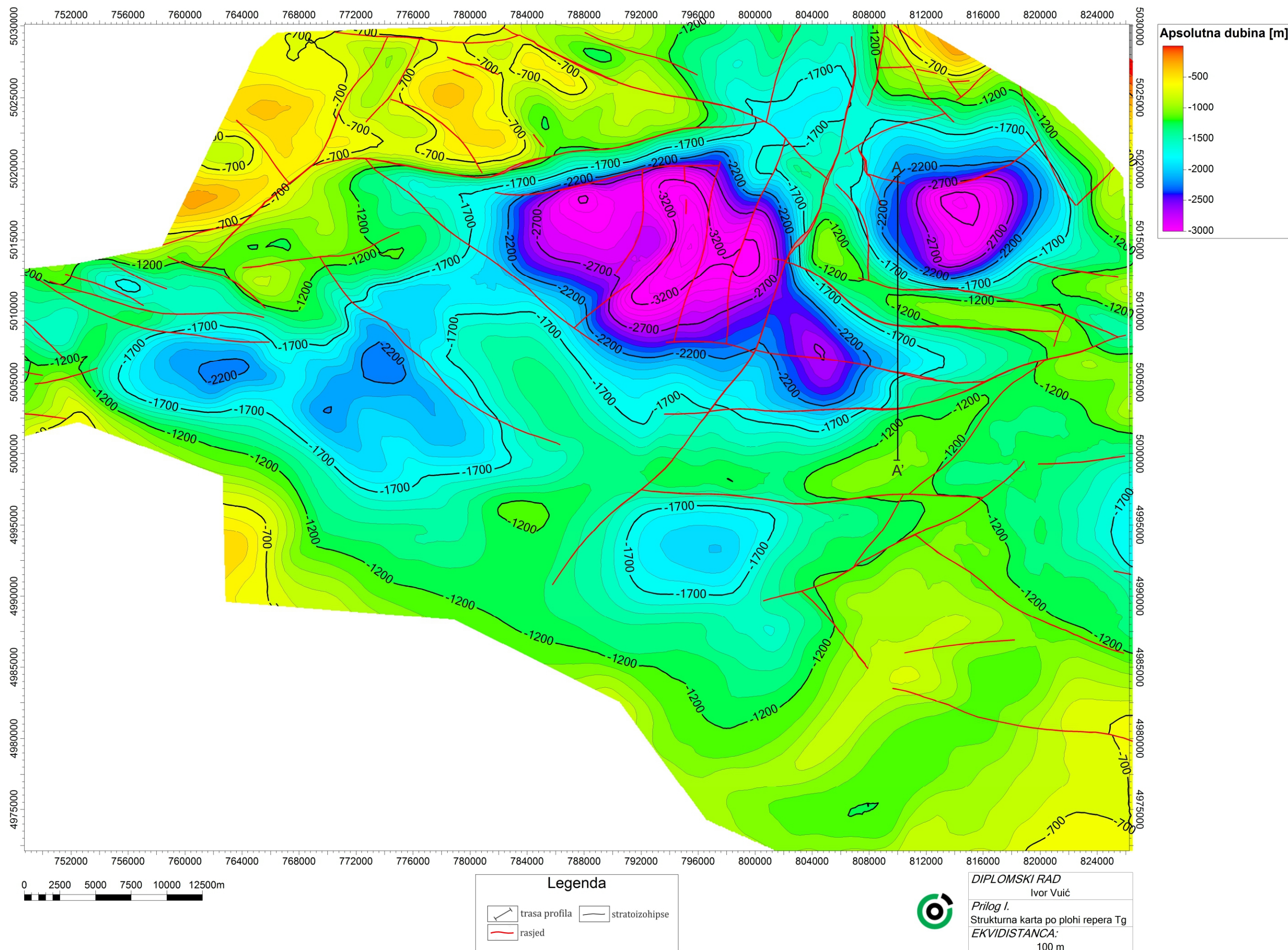
Internetski izvori:

URL: <http://www.software.slb.com/products/platform/Pages/petrel.aspx>

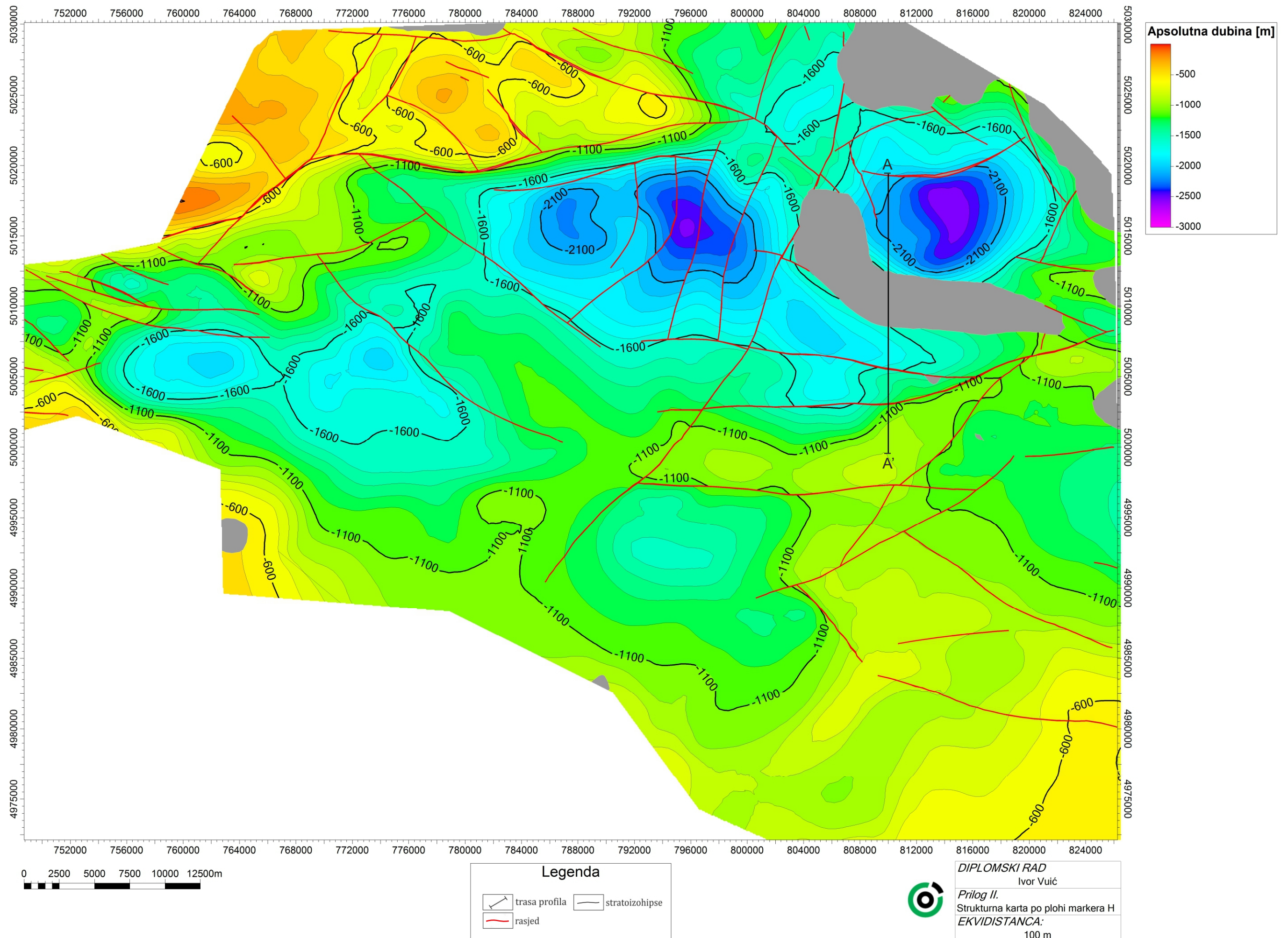
URL: <http://www.esri.com/software/arcgis>

URL: <http://www.rgn.hr/hr/istrazivanje/racunalni-programi/popis-racunalnih-programa>

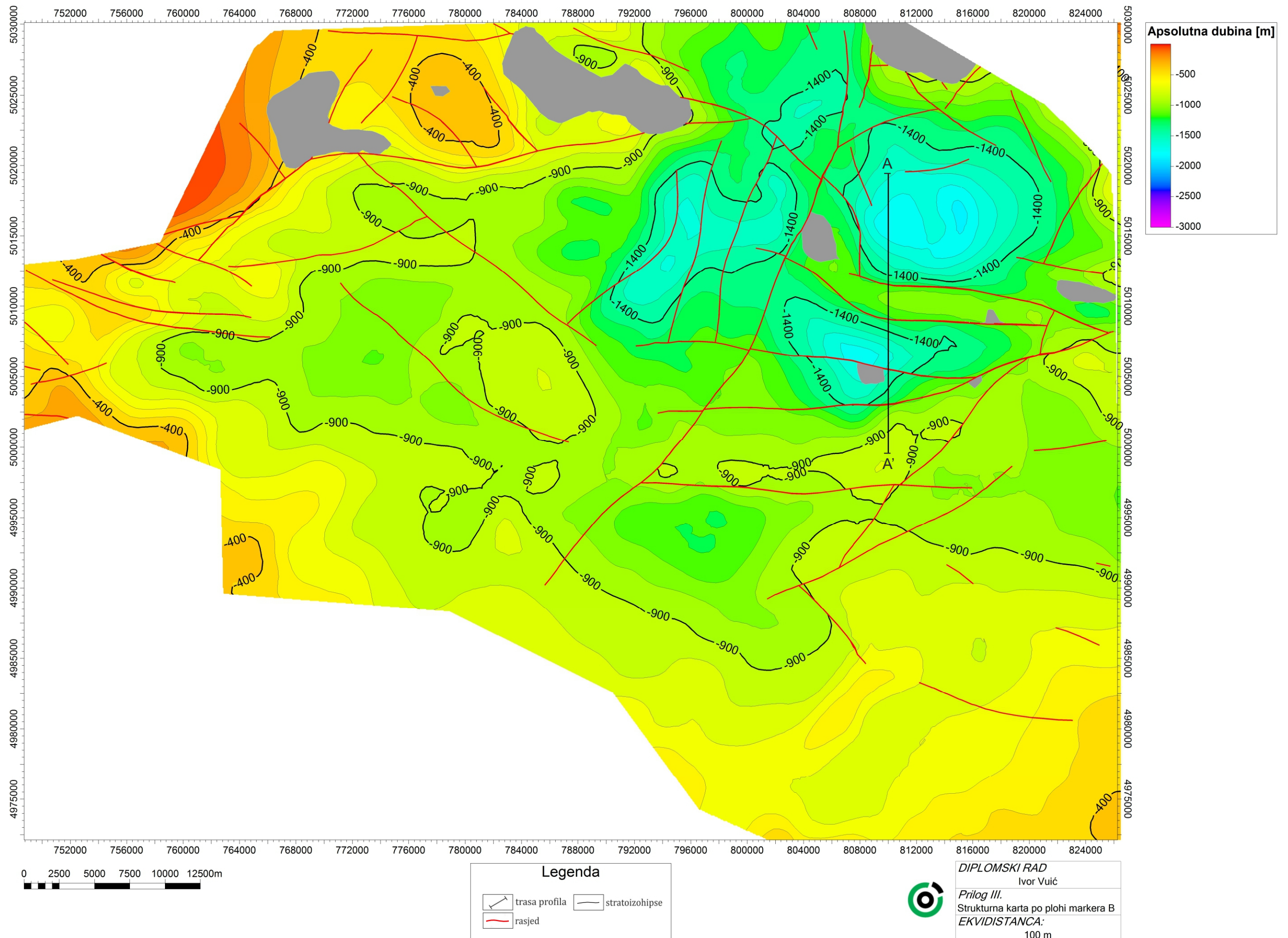
STRUKTURNA KARTA PO PLOHI REPERA Tg



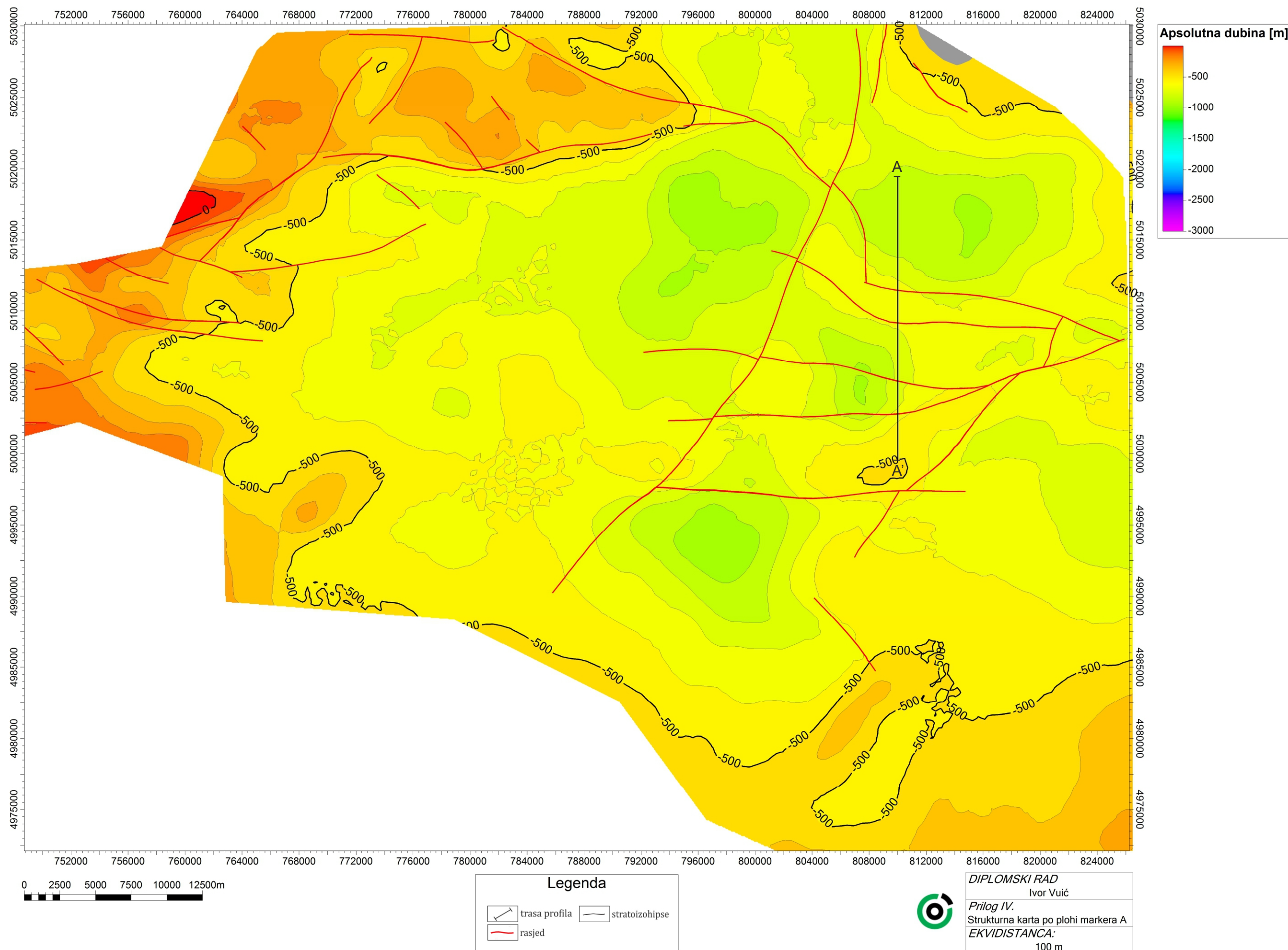
STRUKTURNA KARTA PO PLOHI MARKERA H

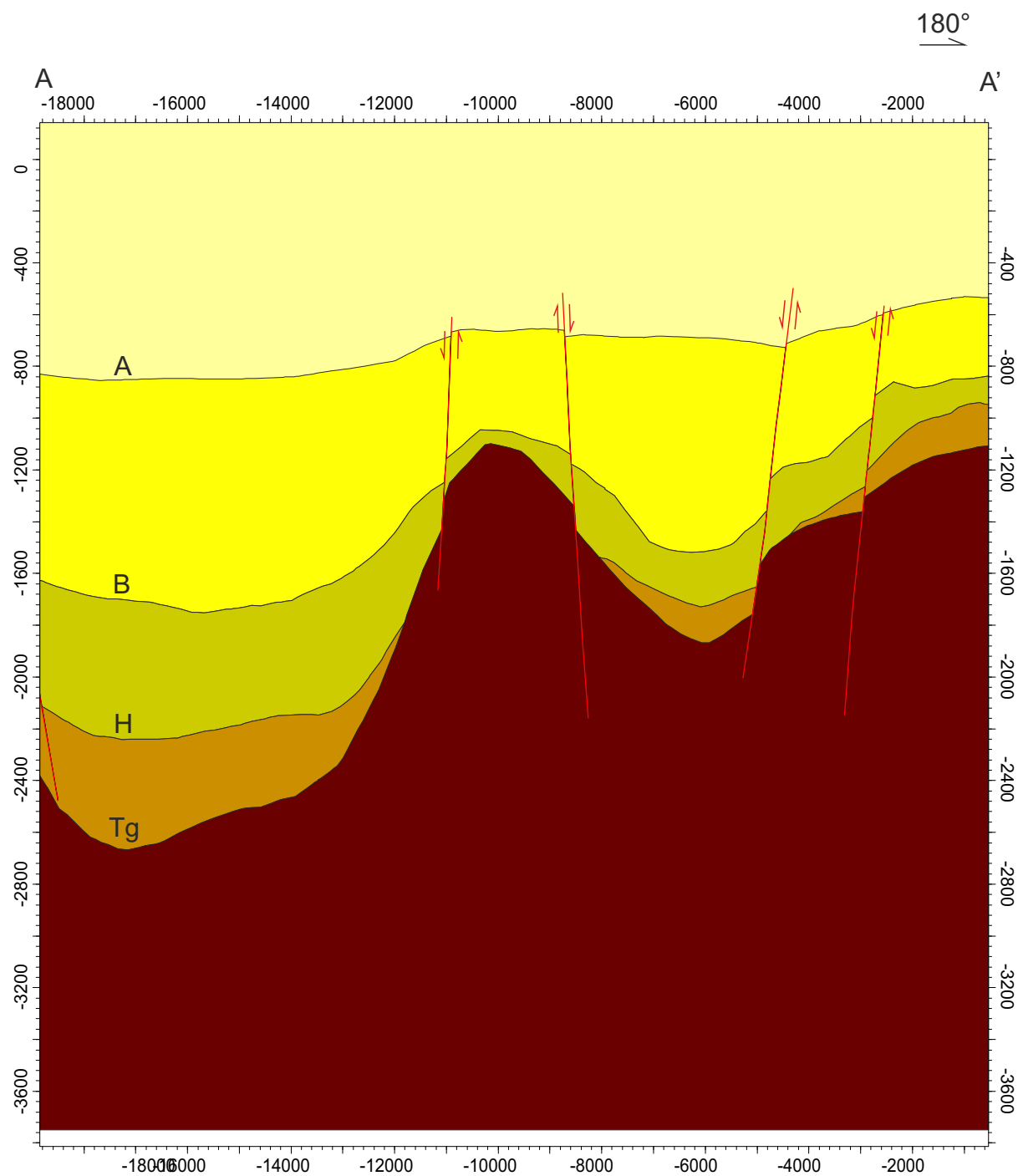


STRUKTURNA KARTA PO PLOHI MARKERA B



STRUKTURNA KARTA PO PLOHI MARKERA A





Legenda

- | | |
|---|----------------------|
|  | Formacija Vuka |
|  | Formacija Vera |
|  | Vinkovačka formacija |
|  | Vukovarska formacija |
|  | Podloga neogena |

DIPLOMSKI RAD
Ivor Vuić

Prilog V.
Profil A-A'