

# Geološki model građe malog plinskog polja u Bjelovarskoj subdepresiji i njegov utjecaj na izračun rezervi pomoću programa Petrel™

---

**Drnasin, Antonio**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2017**

*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:169:994941>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-15**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Diplomski studij geologije

**GEOLOŠKI MODEL GRAĐE MALOG PLINSKOG POLJA U BJELOVARSKOJ  
SUBDEPRESIJI I NJEGOV UTJECAJ NA IZRAČUN REZERVI POMOĆU  
PROGRAMA PETREL™**

Diplomski rad

Antonio Drnasin

G-191

Zagreb, 2017.

## *Zahvala*

*Izrazitu zahvalnost dugujem svom mentoru izv.prof.dr.sc. Bruni Saftiću na ukazanom povjerenju i vođenju tijekom izrade ovog rada, te izuzetnom strpljenju i susretljivosti u svakom trenutku.*

*Posebna zahvala na nebrojenim satima predanog rada i truda u prenošenju znanja asistentu mag. geol. Davidu Rukavini, te nesebičnoj pomoći i savjetima koji su uvelike olakšali cijeli proces pisanja rada.*

*Posvećujem ovaj diplomski rad svojim roditeljima, Emilu i Nadi bez čije ljubavi ništa od ovog ne bi bilo moguće postići.*

*Također, neizmjerne sam zahvalan cijeloj svojoj široj obitelji i prijateljima na podršci, toplim riječima i ohrabrenju kroz cijeli put svoje naobrazbe.*

*Hvala Matei na motivaciji i potpori bez zadržke.*

*In conclusion, I would like to express my gratitude to Schlumberger Company for providing academic licenses for the Petrel E&P Software Platform to the University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering.*

*Without that act of generosity, creating this thesis would not be possible.*

GEOLOŠKI MODEL GRAĐE MALOG PLINSKOG POLJA U BJELOVARSKOJ  
SUBDEPRESIJI I NJEGOV UTJECAJ NA IZRAČUN REZERVU POMOĆU PROGRAMA  
PETREL™

ANTONIO DRNASIN

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

**Sažetak**

U okviru ovog rada izrađen je trodimenzionalni model podzemlja testnog polja unutar Bjelovarske subdepresije. Modelirano područje je smješteno u središnjoj Hrvatskoj i najvećim dijelom se nalazi u Bjelovarsko-bilogorskoj županiji. Ulazni podatci korišteni u ovom radu su strukturne karte koje su izrađene na temelju prijašnjih dubinsko-geoloških i geofizičkih istraživanja, te reinterpetacijom bušotinskih podataka. Izvorne strukturne karte su prvo skenirane, a potom digitalizirane uz pomoć računalnog programa ArcMap 10.1., a daljnja obrada podataka i završno modeliranje je izvršeno uz pomoć programa Schlumberger Petrel™ E&P Software Platform 2013. U modelu su prikazane plohe dvaju horizonata podloge neogena i krovine badena, oblik geološke strukture, te pružanje rasjeda koji omeđuju model. Izračunate su i količine plina u strukturi, tj. rezerve koje je moguće očekivati na tom prostoru. 3D prikaz daje zorniju sliku i omogućuje lakšu prostornu percepciju što može biti podloga za daljnja istraživanja ili pak kao početna točka za izradu budućih, složenijih modela.

Ključne riječi: Bjelovarska subdepresija, digitalizacija, izrada modela, Petrel™, ArcMap

Završni rad sadrži: 46 stranica, 43 slike, 2 tablice, 2 priloga i 21 referencu

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Voditelj: izv.prof. dr. sc. Bruno Saftić

Pomoć pri izradi: mag. geol. David Rukavina, asistent/znanstveni novak

Ocjenjivači:

1. Izv. prof. dr. sc. Bruno Saftić
2. Doc. dr. sc. Marko Cvetković
3. Doc. dr. sc. Iva Kolenković Močilac

Datum obrane: 27. rujna 2017., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

GEOLOGICAL MODEL OF A SMALL GAS FIELD RESERVOIR IN THE BJELOVAR SAG  
AND ITS INFLUENCE TO THE RESERVES ESTIMATE WITH THE PETREL™  
SOFTWARE

ANTONIO DRNASIN

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**

This thesis aims to make a three-dimensional model of a „test” field in the Bjelovar sag. Modeled area is located in the central Croatia, namely, in Bjelovarsko-Bilogorska County. Input data used include structural maps from previous geological and geophysical surveys, well data and their interpretation. Original structural maps were scanned and digitalized using ArcMap 10.1 software. Further work consisted of the subsurface data processing and modelling, completed in Schlumberger Petrel™ E&P Software Platform 2013. The result is a model which represents the shape and features of geological structure, consisting of the two horizons (Base Neogene and Top Badenian) and fault planes which delimit the structure. Using a 3D view of the model facilitates spatial perception, but can also be beneficial for future, perhaps more complex, modelling.

Keywords: Bjelovar Sag, digitalization, subsurface modelling, Petrel™, ArcMap

Thesis contains: 46 pages, 43 figures, 2 tables, 2 enclosures and 21 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of the Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Supervisor: PhD Bruno Saftić, Associate Professor

Technical support and assistance: MSc David Rukavina

Reviewers:

1. PhD Bruno Saftić, Associate Professor
2. PhD Marko Cvetković, Assistant Professor
3. PhD Iva Kolenković Močilac, Assistant Professor

Date of defense: 27<sup>th</sup> of September, 2017. Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

## SADRŽAJ:

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. GEOGRAFSKI POLOŽAJ</b> .....	<b>2</b>
<b>3. POVIJEST NAFTNOGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA</b> .....	<b>3</b>
3.1. Povijest istraživanja ugljikovodika u Bjelovarskoj subdepresiji .....	3
3.1.1. Naftno-plinsko polje Šandrovac .....	5
3.1.2. Polja Galovac-Pavljani i Grubišno Polje .....	5
<b>4. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE MODELIRANOG PODRUČJA</b> .....	<b>7</b>
4.1. Stratigrafski pregled.....	8
4.1.1. Podloga neogena.....	10
4.1.2. Formacija Moslavačka gora .....	10
4.1.3. Formacija Ivanić Grad .....	11
4.1.4. Formacija Kloštar-Ivanić .....	11
4.1.5. Formacija Bilogora.....	12
4.1.6. Formacija Lonja.....	12
4.2. Strukturno-tektonski i paleogeografski odnosi .....	13
<b>5. METODOLOGIJA</b> .....	<b>16</b>
5.1. Računalna platforma ArcGIS.....	16
5.2. Obrada i prikaz podataka u programu ArcMap 10.1. ....	16
5.3. Obrada i prikaz podataka u programu Petrel™ 2013 .....	19
<b>6. REZULTATI</b> .....	<b>30</b>
6.1. Izračun rezervi plinskog polja.....	38
6.2. Prikaz završnog izgleda geološkog modela .....	41
<b>7. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>44</b>
<b>8. LITERATURA</b> .....	<b>45</b>

## POPIS SLIKA:

<b>Slika 2-1.</b> Geografski prikaz područja (modificirano prema: MALVIĆ, 2011).....	2
<b>Slika 3-1.</b> Smještaj polja ugljikovodika u Bjelovarskoj subdepresiji (MALVIĆ, 2003).....	4
<b>Slika 4-1.</b> Regionalne tektonske jedinice u Panonskom bazenskom sustavu (MALVIĆ i SAFTIĆ, 2008; modificirano prema: ROYDEN, 1988).....	7
<b>Slika 4-2.</b> Podjela kronostratigrafskih i litostratigrafskih jedinica u zapadnom dijelu Dravske depresije (gdje pripada i Bjelovarska subdepresija); iz MALVIĆ i SAFTIĆ, 2008	8
<b>Slika 5-1.</b> Prikaz sučelja računalnog programa ArcMap 10.1. ....	17
<b>Slika 5-2.</b> Primjer skenirane strukturne karte .....	18
<b>Slika 5-3.</b> Primjer digitalizacije strukturne karte (prikaz linija stratoizohipsi i rasjeda) ..	18
<b>Slika 5-4.</b> Prikaz sučelja računalnog programa Petrel™ 2013 .....	19
<b>Slika 5-5.</b> Prikaz linija stratoizohipsi unesenih u program Petrel™ 2013 (zelena strelica označava smjer sjevera) .....	20
<b>Slika 5-6.</b> 3D prikaz linija stratoizohipsi (sa Z vrijednostima) horizonta podloga neogena .....	21
<b>Slika 5-7.</b> Prikaz stratoizohipsi i rasjeda „zalijepljenih“ na površinu (podloga neogena)	21
<b>Slika 5-8.</b> 3D prikaz linijastratoizohipsi (sa Z vrijednostima) horizonta krovina badena .	22
<b>Slika 5-9.</b> Prikaz stratoizohipsi i rasjeda „zalijepljenih“ na površinu (krovina badena) ..	22
<b>Slika 5-10.</b> Prikaz površina generiranih na temelju linija stratoizohipsi uz ekstrapolaciju na okolni prostor (podloga neogena) .....	23
<b>Slika 5-11.</b> Prikaz površina generiranih na temelju linija stratoizohipsi uz ekstrapolaciju na okolni prostor (krovina badena).....	24
<b>Slika 5-12.</b> Prikaz generiranih površina uz prikaz kontakta plin/voda (podloga neogena)	25
<b>Slika 5-13.</b> Prikaz generiranih površina uz prikaz kontakta plin/voda (krovina badena) ..	25
<b>Slika 5-14.</b> Početno generirani rasjedi (lijevo), prikaz transformacije u „fault sticks“ (desno) .....	26
<b>Slika 5-15.</b> Produženi rasjedi iz“Structural frameworka” .....	26
<b>Slika 5-16.</b> Prikaz trase rasjeda koji su predstavljeni kao skupina više „pillara“ (segmenti rasjeda); prije korekcije za model .....	27
<b>Slika 5-17.</b> Ispravljeni “pillari” i konačan izgled rasjeda korištenih u izradi modela .....	27
<b>Slika 5-18.</b> Označavanje granice modeliranog područja uz podjelu na dva segmenta.....	28
<b>Slika 5-19.</b> Prikaz generiranog „grida” (mreže) s „Top“, „Mid“ i „Base“ skeleton gridom.....	29

<b>Slika 6-1.</b> <i>Map based volume calculation dijaloški okvir</i> .....	30
<b>Slika 6-2.</b> <i>Vrijednosti poroznosti (šupljikavosti) unutar različitih zona i segmenata</i> .....	32
<b>Slika 6-3.</b> <i>Početno zasićenje (saturiranost) vodom, <math>S_{wi}</math></i> .....	32
<b>Slika 6-4.</b> <i>NTG – omjer efektivne (neto) i ukupne (bruto) produktivne debljine (interval između kontakta/plin voda do plohe podloge neogena)</i> .....	33
<b>Slika 6-5.</b> <i>NTG – omjer efektivne (neto) i ukupne (bruto) produktivne debljine (interval između podloge neogena i krovine badena)</i> .....	33
<b>Slika 6-6.</b> <i>GRV – prikaz volumena svake ćelije pojedinačno u <math>m^3</math> (interval između kontakta/plin voda i plohe podloge neogena)</i> .....	34
<b>Slika 6-7.</b> <i>GRV – prikaz volumena svake ćelije pojedinačno u <math>m^3</math> (interval između podloge neogena i krovine badena ili kontakta plin/voda i krovine badena)</i> .....	34
<b>Slika 6-8.</b> <i>NRV –efektivni volumen ležišta prikazan pomoću volumena svake pojedine ćelije u <math>m^3</math> (interval između kontakta/plin voda do plohe podloge neogena)</i> .....	35
<b>Slika 6-9.</b> <i>NRV – efektivni volumen ležišta prikazan pomoću volumena svake pojedine ćelije u <math>m^3</math> (interval između podloge neogena i krovine badena ili kontakta plin/voda i krovine badena)</i> .....	35
<b>Slika 6-10.</b> <i>NPV – prikaz volumen pora pomoću 3D prizmi u <math>m^3</math> (interval između kontakta/plin voda do plohe podloge neogena)</i> .....	36
<b>Slika 6-11.</b> <i>NPV – prikaz volumena pora pomoću 3D prizmi u <math>m^3</math> (interval između podloge neogena i krovine badena ili kontakta plin/voda i krovine badena)</i> .....	36
<b>Slika 6-12.</b> <i>GIIP - volumen plina pri standardnim površinskim uvjetima u <math>m^3</math> (interval između kontakta/plin voda do plohe podloge neogena)</i> .....	37
<b>Slika 6-13.</b> <i>GIIP - volumen plina pri standardnim površinskim uvjetima u <math>m^3</math> (interval između podloge neogena i krovine badena ili kontakta plin/voda i krovine badena)</i> .....	37
<b>Slika 6-14.</b> <i>Dijaloški okvir – Volume calculation (prikaz formula)</i> .....	40
<b>Slika 6-15.</b> <i>3D prikaz modela po podlozi neogena</i> .....	41
<b>Slika 6-16.</b> <i>3D prikaz modela po krovini badena</i> .....	41
<b>Slika 6-17.</b> <i>3D prikaz modela po podlozi neogena s označenim kontaktom plin/voda</i> .....	42
<b>Slika 6-18.</b> <i>3D prikaz modela po krovini badena s označenim kontaktom plin/voda</i> .....	42
<b>Slika 6-19.</b> <i>Završni prikaz modeliranog područja</i> .....	43
<b>Slika 6-20.</b> <i>Završni prikaz modela ležišta s označenim kontaktom plin/voda</i> .....	43



**POPIS TABLICA:**

<b>Tablica 6-1.</b> <i>Vrijednosti parametara korištenih u 3D modeliranju područja</i> .....	30
<b>Tablica 6-2.</b> <i>Izračun rezervi plina</i> .....	40

**POPIS PRILOGA:**

**Prilog I.** *Strukturna karta po krovini badena*

**Prilog II.** *Strukturna karta po podlozi neogena*

## **POPIS KORIŠTENIH KRATICA I STRANIH IZVEDENICA:**

**AAPG** – *American Association of Petroleum Geologists*

**GIIP** – *engl. „Gas Initially In Place“; volumen plina pri standardnim površinskim uvjetima*

**HCPV** – *engl. „Hydrocarbon Pore Volume“; volumen ugljikovodika pri ležišnim uvjetima*

**Bulk volume/Gross rock volume (GRV)** – *ukupni volumen ležišta ( $m^3$ )*

**Net (rock) volume (NRV)** – *efektivni volumen ležišta ( $m^3$ )*

**Net pore volume (NPV)** – *volumen pora/pornog prostora ( $m^3$ )*

**NTG, N/G** – *engl. „net to gross ratio“; omjer/odnos efektivnog (neto) i ukupnog (bruto) volumena ležišta, (odnosno  $NRV/GRV$ ), iznos je uvijek između 0 i 1; također može biti i odnos između efektivne (neto) i ukupne (bruto) produktivne debljine*

**SPE** – *Society of Petroleum Engineers*

**WPC** – *World Petroleum Council (forum koji se održava svake četiri godine se naziva World Petroleum Congress)*

## **POPIS UPOTRIJEBLJENIH OZNAKA I MJERNIH JEDINICA:**

**$B_{gi}$**  – *engl. FVF („Formation Volume Factor“); obujamski faktor za plin pri početnim ležišnim uvjetima ( $m^3/m^3$ );*

**$S_{wi}$**  – *prosječno početno zasićenje ležišta vodom (% ; dijelovi jedinice)*

**V** – *bulk volume/ukupni volumen ležišta ili kolektora ( $m^3$ )*

**$\Phi$**  – *prosječna šupljikavost/poroznost ležišta (% ; dijelovi jedinice)*

## 1. UVOD

Napretkom tehnologije geofizičkih istraživanja i informatizacijom otvaraju se nove mogućnosti obrade podataka koje dosad nisu bile dostupne, a danas mogu rezultirati boljim, odnosno točnijim rezultatima, ali također mogu upućivati i na neka nova saznanja, što u konačnici i je krajnji cilj svakog istraživanja.

Jedan od načina obrade podataka je i digitalizacija, a u ovom slučaju to se odnosi na digitaliziranje analognih strukturnih karata i modeliranje podzemne građe koje te karte opisuju, što je tema i okosnica ovog rada. U tu svrhu korišteni su računalni programi ArcMap 10.1. i Petrel™ E&P Software Platform 2013.

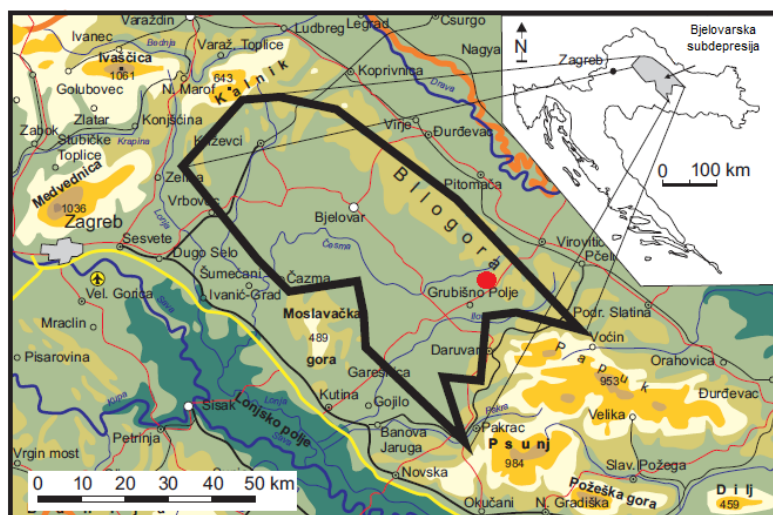
Strukturni podatci uzeti su iz testnog plinskog polja koje nije imenovano jer je samo tipski primjer i daljnjom obradom napravljen je trodimenzionalni model lokalne podzemne građe, te je uz pomoć softvera i u njemu sadržanih alata automatski izračunat volumen rezervi ležišta. Prikupljanjem i upotrebom većeg broja podataka u budućnosti mogu se napraviti složeniji i kompleksniji modeli koji mogu poslužiti kao smjernica sljedećim istraživanjima.

## 2. GEOGRAFSKI POLOŽAJ

Modelirano područje smješteno je u središnjoj Hrvatskoj i administrativno pripada Bjelovarsko-bilogorskoj županiji, a manjim dijelom zahvaća i Zagrebačku te Koprivničko-križevačku županiju. Testno polje se nalazi na obroncima Bilogore (**Slika 2-1**). Razmjerno je male veličine i iz tog razloga i po hrvatskim mjerilima spada u mala polja. Polje je isključivo plinsko.

Nadmorska visina cjelokupnog područja varira između 100 do 309 metara (vrh Bilogore), a teren je ispresijecan obradivim površinama i šumskim predjelima. Zagreb, glavni grad Hrvatske, udaljen je stotinjak kilometara zapadno, a veći gradovi u blizini su Daruvar, Virovitica i Bjelovar, te su svi povezani direktnim prometnim koridorima.

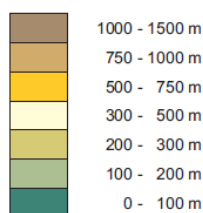
Područje geološki spada u Bjelovarsku subdepresiju koja pokriva površinu od otprilike 2900 km<sup>2</sup>, a proteže se između uzvišenja Papuka i Psunja (tzv. „*Slavonske planine*“) s jugoistočne strane, Moslavačke gore s jugozapadne, sve do Kalnika na sjeverozapadu i cijelim pružanjem Bilogore na sjeveroistoku. Bjelovarska subdepresija je dio veće cjeline, Dravske depresije u Panonskom bazenskom sustavu.



### LEGENDA:

● Testno plinsko polje

Nadmorska visina:



**Slika 2-1.** Geografski prikaz područja (modificirano prema: MALVIĆ, 2011)

### 3. POVIJEST NAFTNOGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA

Hrvatski dio Panonskog bazenskog sustava zauzima sami jugozapadni rub istoimenog bazena i na tom području postoji duga povijest istraživanja ugljikovodika koja započinju već sredinom 19. stoljeća. Također, i mnogo ranije su primijećene pojave (degradirane) nafte na površini, a toponimi određenih mjesta poput Peklenice u Međimurju još i danas upućuju na njenu povijesnu važnost (VELIĆ, 2007). Nafta i naftni proizvodi tijekom vremena postaju sve važniji u svakodnevnom životu i razvitku modernog, industrijaliziranog društva što je i bila podloga za daljnja, iscrpnija istraživanja za pridobivanjem „*crnog zlata*“.

Uz površinsko kartiranje i ostale geološke istražne radove poput izrade plićih i dubokih bušotina, četrdesetih godina dvadesetog stoljeća počinju se upotrebljavati geofizičke metode u svrhu što efikasnijeg pronalaska ležišta nafte i plina u jugozapadnom dijelu Panonskog bazena. Tako već tada dolazi do otkrivanja prvog naftnog polja Gojlo i početka njegove eksploatacije. U to vrijeme, od geofizičkih metoda korištena je gravimetrija. Uz to, izrađeno je i 12 istražnih bušotina ukupne dubine 14 381 metar na nekim perspektivnim područjima poput Bujavice, Janja Lipe, Gojla i dr. (VELIĆ, 2007).

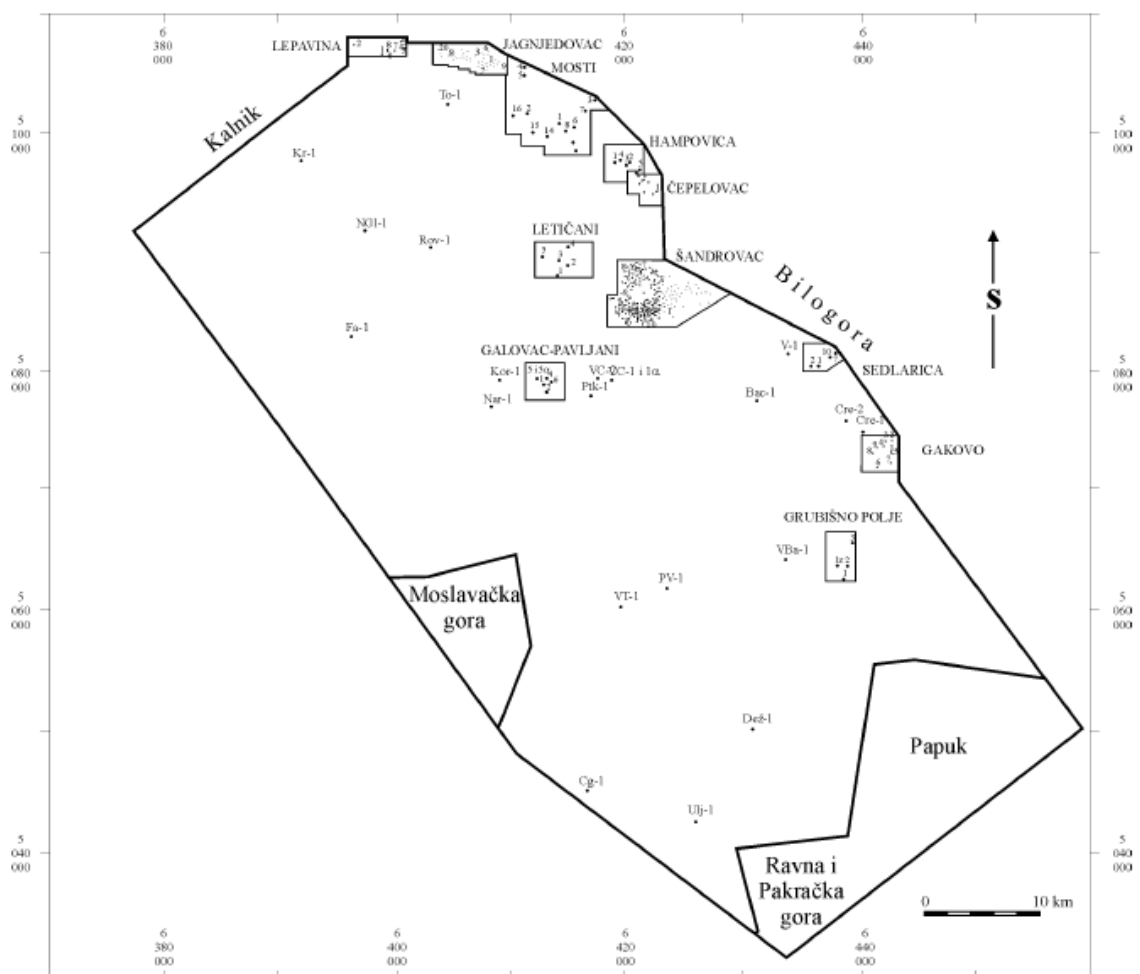
#### 3.1. Povijest istraživanja ugljikovodika u Bjelovarskoj subdepresiji

Početa istraživanja idu ukorak s ostatkom hrvatskog dijela Panonskog bazena te sežu u sredinu 19. stoljeća. U to vrijeme fokus je bio na prikupljanju površinskih podataka te su se razdiobom različitih litologija izrađivale skice i prve pregledne geološke karte područja. Tek sedamdesetak godina poslije obavljena su prva bušenja s ciljem otkrivanja ugljikovodika, no pokazala su se neuspješnima. Kasnije, prije i tijekom Drugog svjetskog rata istraživanja su financirali austrijski i njemački poduzetnici, a najperspektivnijim se područjem pokazala okolica Grubišnog Polja. Par godina nakon rata otkriveno je ležište Lepavina, a intenzivnijim bušenjem iza 1956. godine ostvaren je izuzetan uspjeh i otkriveno je više polja ugljikovodika. To su redom: Cabuna, Ferdinandovac, Jagnjedovac i Šandrovac (MALVIĆ, 2003).

Bjelovarska subdepresija, koja je dio veće cjeline - Dravske depresije, iako u „zrelom“ stupnju istraženosti danas ipak zaostaje u gustoći podataka za ostatkom navedenog prostora. Razlog tomu je označena slaba perspektivnost prostora, upravo zbog rubnog

položaja i manje debljine neogenskih naslaga (do 3000 m). Usprkos tomu, u zadnjih tridesetak godina otkriveno je više manjih polja. Postojeći podatci su većinom zastupljeni uz već otkrivena polja i iz tog razloga čine veoma nepravilnu mrežu te postoje područja gdje bi se širenjem istraživanja mogle pronaći nove isplative zalihe nafte i plina (MALVIĆ, 2003). Iz tog razloga, početkom devedesetih godina prošlog stoljeća započeto je s intenzivnijim seizmičkim istraživanjima u području Bjelovarske subdepresije i do 1995. godine snimljeno je više seizmičkih profila u ukupnoj duljini od 94,8 kilometara. (PEHARDA, 2007; VIDOVIĆ et al., 1996).

Sveukupno gledajući, polja ugljikovodika u subdepresiji su koncentrirana u dva područja, i to u njenom središnjem i rubnom dijelu. Polja u središnjem dijelu subdepresije su Letičani, Grubišno Polje, Galovac-Pavljani i Velika Ciglena (geotermijsko polje), a u rubnom dijelu se nalaze Lepavina, Mosti, Čepelovac, Šandrovac i drugi (Slika 3-1). Jedno od najvećih polja u Dravskoj depresiji, a samim time i Hrvatskoj je upravo polje Šandrovac (MALVIĆ, 2003).



Slika 3-1. Smještaj polja ugljikovodika u Bjelovarskoj subdepresiji (MALVIĆ, 2003)

### **3.1.1. Naftno-plinsko polje Šandrovac**

Pedesetih godina prošlog stoljeća na području Bilogore gravimetrijskim mjerenjima zamijećeno je više pozitivnih, zatvorenih anomalija kojima je posvećena posebna pozornost. Polje Šandrovac je bila jedna od njih i već pri izradi prve istražne bušotine 1962. godine u donjopontskim sedimentima otkriveno je ležište sa značajnim količinama ugljikovodika. Pet godina kasnije pokrenuta je proizvodnja i to s četrnaest bušotina, a broj se do kraja 1992. godine povećao na 292 bušotine (VELIĆ, 2007).

Polje je smješteno na južnim padinama središnjeg dijela Bilogore i pripada zapadno-bilogorskoj zoni Dravske depresije. Unutar polja je izdvojeno 17 slojeva, odnosno ležišta pješčenjaka koji su zasićeni ugljikovodicima, a postoji 10 eksploatacijskih objekata (ležišta). Ležište E je najveće, s dobrim ležišnim svojstvima rasprostranjenima po cijeloj strukturi. Polje je izrazito heterogeno i višeslojno, a tektonski odnosi su izuzetno komplicirani, te je brahiantiklinala koja predstavlja strukturno zatvaranje navedenih ležišta ispresijecana mnogobrojnim rasjedima čime su ležišta odijeljena u ukupno 54 tektonska bloka. Donjopontske, naftonosne naslage se sastoje od izmjene smeđosivih i sivih lapora s malo pjeskovitog udjela, i pješčenjaka koji mogu sadržavati laporovitu komponentu.

U Šandrovcu je do 1998. godine pridobiveno 7,61 milijuna m<sup>3</sup> nafte, a najveća količina pridobivena u primarnoj fazi tijekom jedne godine je iznosila više od 400 000 m<sup>3</sup>. Kao i u svakom ležištu u zreom stadiju, i ovdje se ukupni udio crpljene vode povećava te je s početnih 12,6 % udio sada na 70 %. S obzirom da još uvijek postoje znatne rezerve nafte, a također i velike količine CO<sub>2</sub>, postoji mogućnost za primjenu tercijarnih metoda (*EOR*, „*Enhanced Oil Recovery*“) u budućnosti (VELIĆ, 2007).

### **3.1.2. Polja Galovac-Pavljani i Grubišno Polje**

#### **Plinsko polje Grubišno Polje**

Na istražnom lokalitetu Grubišno Polje prva bušotina naziva Gr-1 izbušena je u siječnju 1940. godine. Potom su uslijedile još dvije, Gr-2 i Gr-3 (izbušene 1961. i 1965. godine) čije su lokacije određene na temelju tadašnjih saznanja i prijašnjih istraživanja, a to se prvenstveno odnosi na gravimetrijska mjerenja u periodima prije 1940. godine i između 1962.-1965. godine. Gustoća gravimetrijskog snimanja je bila 1 točka/km<sup>2</sup>, a provedena su i seizmička mjerenja (VIDOVIĆ et al., 1996).



Sve tri navedene bušotine su se pokazale negativnima/suhima („*dry well*“), odnosno u njima nije utvrđena prisutnost ugljikovodika. Istražna bušotina Gr-1 probušila je metamorfnu podlogu, koja je zapravo dio „*temelnog gorja*“. Bušotinom Gr-2 je utvrđena redukcija debljine stijena miocenske starosti gdje nedostaju i bioklastični vapnenci badenske starosti. Bušotinom Gr-3 je istraženo sjeverno krilo antiklinale, ali također nisu nađeni ugljikovodici (PEHARDA, 2007).

Postupno se opseg istraživanja širi na okolni prostor te se „*mreža*“ i količina podataka povećava, pa je ponovnim gravimetrijskim mjerenjima između 1975. i 1981. godine gustoća povećana na 10 točaka/km<sup>2</sup> (VIDOVIĆ *et al.*, 1996). To je uvelike olakšalo prepoznavanje gravimetrijskih maksimuma, tj. pozitivnih anomalija u gravitacijskom polju određenog prostora, što upućuje na izgled i raspored struktura u podzemlju.

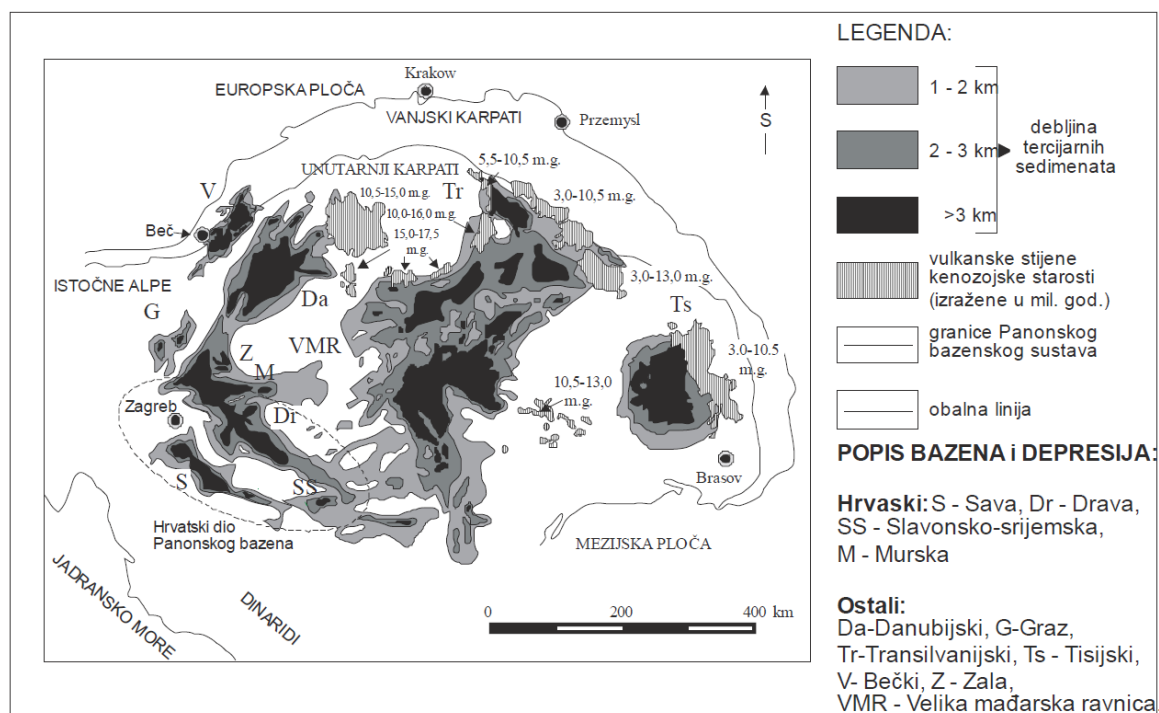
Daljnijim, temeljitijim seizmičkim mjerenjima otkriveno je tjeme strukture koje je smješteno zapadnije od bušotina izrađenih šezdesetih godina prošlog stoljeća (Gr-1, Gr-2, Gr-3) te je 1993. godine, novom bušotinom Gr-1 Zapad otkriveno plinsko ležište. Bušotinom Gr-2 Zapad ležište je potvrđeno i stavljeno u proizvodnju (MALVIĆ, 2003).

### **Naftno polje Galovac-Pavljani**

Temeljem ranijih istraživanja i mjerenja te novim snimanjem seizmike omogućena je reevaluacija nekih dijelova Bjelovarske subdepresije. Na području između sela Galovac te Novi i Stari Pavljani koje je otprije označeno kao perspektivno 1991. godine izrađena je duboka istraživačka bušotina Pavljani-1 (Pav-1). Bušotinom je otkriveno ležište nafte u stijenama podloge neogena, te badenskim brečama i konglomeratima. Kasnije su uslijedila nova bušenja od kojih su dvije bušotine bile negativne (Pav-2 i Pav-5), a ostale (Pav-4, Pav-5 $\alpha$  i Pav-6) su probušile najplići dio ležišta i potvrdile nalazište nafte (MALVIĆ, 2003).

#### 4. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE MODELIRANOG PODRUČJA

Panonski bazenski sustav, odnosno jednostavnije rečeno Panonski bazen je tektonska jedinica najvećeg reda, a omeđuju ga tektonske ploče i to redom: Europska sa sjevera, Mezijska s istoka, Jadranska mikroploča s juga te Alpe koje čine zapadnu granicu prostora (Slika 4-1). To je pretežno ravničarski prostor okružen masivima Karpata, Dinarida i Alpi.



**Slika 4-1.** Regionalne tektonske jedinice u Panonskom bazenskom sustavu (MALVIĆ i SAFTIĆ, 2008; modificirano prema: ROYDEN, 1988)

Hrvatski dio Panonskog bazena odnosi se na njegov jugozapadni rub i sastoji se od otprilike 30 000 km<sup>2</sup> istraživačkog prostora s velikim potencijalom za akumulacije ugljikovodika u komercijalnim količinama, što je i dokazano iscrpnim istraživanjima, a kasnije i potvrđeno brojnim otkrićima naftnih i plinskih polja i ležišta (VELIĆ, 2007).

Depresije hrvatskog dijela Panonskog bazena razlikuju se po specifičnostima u sastavu i građi te geotektonskom razvoju. Najmanja je Slavonsko-srijemska, a potom slijede Murska, Savska i Dravska (koja se može još podijeliti na zapadnu i istočnu). Bjelovarska subdepresija je dio Dravske depresije i to njenog zapadnog dijela. Granicu između depresija čine brdsko-gorski masivi koji su pretežito izgrađeni od paleozojsko-mezozojskih magmatskih i metamorfnih stijena ili rjeđe sedimenata jednake starosti.

#### 4.1. Stratigrafski pregled

Bjelovarska subdepresija, kao i cijeli hrvatski dio Panonskog bazena izgrađena je od dvaju različitih kompleksa stijena. Prva skupina se odnosi na stijene u podini (podlozi) neogena, odnosno kompleks magmatsko-metamorfni i manjim udjelom sedimentnih stijena paleozojsko-mezozojske starosti. Drugi kompleks stijena obuhvaća stijene bazenske ispune, odnosno sedimentnog pokrova pretežno neogenske i kvartarne starosti. Također, te stijene se uvelike razlikuju i po litoškom sastavu. Starije naslage su zastupljene s već spomenutim paleozojskim magmatitima i metamorfitima, te mezozojskim karbonatima dok su mlađe naslage uglavnom klastične, no postoje i biogeni sedimenti poput litotamnijskih vapnenaca (VELIĆ, 2007; VELIĆ et al., 2015).

STAROST	LITOSTRATIGRAFSKE JEDINICE DRAVSKE POTONINE		Regionalni EK markeri
K E N O Z O I K T E R C I J A R N E O G E N M I O C E N D. J A N O N D. J A N O N I P A L E O Z O I K	KVARTAR		
	P L I O C E N D A C U R O M A N I	FORMACIJA LONIA	
	G. PONT	FORMACIJA BILOGORA	D'
	DONJI PONT	FORMACIJA KLOŠTAR-IVANIĆ	cabunski član cabunski lapor A D <sub>1</sub>
			brezinski lapor pepelanski pješčenjaci D <sub>2</sub>
			lepsičko-graberski lapor graberski čl. graberski lap. D <sub>3</sub> R <sub>v</sub>
			poljanski pješčenjaci D <sub>4</sub>
			lepsički lapor Z'
	GORNI JANON	FORMACIJA IVANIĆ-GRAD	zagrebački član okolski pješčenjaci Rs4 R <sub>5</sub> D <sub>5</sub>
			lipovački lapor Rs5
	FORMACIJA MOSLAVAČKA GORA	koprivnički pješčenjaci križevački član Rs7	
		član Mosti čeralijski član Pt/Tg	
MEZOZOIK I PALEOZOIK	STIJENE U PODLOZI TERCIJARNOG SISTEMA		

**Slika 4-2.** Podjela kronostratigrafskih i litostratigrafskih jedinica u zapadnom dijelu Dravske depresije (gdje pripada i Bjelovarska subdepresija); iz MALVIĆ i SAFTIĆ, 2008

Litostratigrafsku nomenklaturu za područje hrvatskog dijela Panonskog bazena definirao je inicijalno ŠIMON (1973). Litostratigrafske jedinice zapadnog dijela Dravske depresije prikazane su na **slici 4-2**. Općenito, počevši od najveće prema najmanjoj, litostratigrafske jedinice se dijele na supergrupu, grupu, formaciju, član i sloj. Granice između formacija i članova nisu samo litološke, često ih predstavljaju elektrokarotazni markeri ili reperi, a raspoznajemo ih kao karakteristične oblike krivulja specifične otpornosti, odnosno prema ponavljanju nizova otklona jednakih vrijednosti otpornosti (VELIĆ, 2007).

EK-markeri osim karotazne i litološke istovjetnosti su karakterizirani i širokom lateralnom rasprostranjenosti, tj. bočnim kontinuitetom. U jugozapadnom dijelu Panonskog bazena najstariji reporni horizont (koji se još naziva i uvjetni) predstavljen je diskordancijom između neogensko-kvartarnih sedimenata i starijih stijena u podlozi. „Uvjetni“ se koristi jer se ne radi o sloju već o diskordanciji, odnosno kontaktu dviju litološki jako različitih masa. Uvjetni reporni horizont se označava s „Tg“ (*temeljno gorje*) ako su u podlozi magmatsko-metamorfne stijene paleozojske starosti, a ako su u podlozi sedimentne stijene paleozojsko-mezozojske starosti koristi se oznaka „Pt“ (*podloga tercijara*).

Ostali reporni horizonti u Dravskoj depresiji su:

Rs7 : dijeli članove Mosti i Križevci unutar formacije Moslavačka gora, tj. dijeli naslage sarmata i panona

Rs5 : dijeli formacije Moslavačka gora i Ivanić-Grad; dijeli gornji i donji panon

Z' : dijeli formacije Ivanić-Grad i Kloštar Ivanić; dijeli gornji panon i donji pont

Δ : približno dijeli formacije Kloštar-Ivanić i Bilogora; dijeli donji i gornji pont

α' : dijeli formacije Bilogora i Lonja ; dijeli g. pont od pliocena (dacija, romanija) i kvartara

Neogenski sedimenti zapadnog dijela Dravske depresije podijeljeni su na pet formacija koje su u daljnjem tekstu opisane i poredane od starijih prema mlađima. Naglasak je stavljen na područje istraživanja, odnosno na Bjelovarsku subdepresiju.

#### 4.1.1. Podloga neogena

„*Temeljno gorje*“ (Tg) označava magmatsko-metamorfni kompleks stijena u jugozapadnom dijelu Panonskog bazena paleozojsko-mezozojske starosti. Navedene stijene su predstavljene granitnim i gabroidnim intruzijama te raspucanim i izmijenjenim metamorfnim stijenama, nastalima zbog tih intruzija. Stijene su regionalno metamorfozirane do nivoa amfibolitskog facijesa, a litološki spadaju u različite škriljavce i gnajseve. Starost je bilo teško odrediti s preciznošću iz više razloga, pa se pokušalo i s posrednim metodama (radiometrijsko određivanje starosti moslavačkog granita koja je za različite uzorke određena na  $90 \pm 5$ , 64 i 62 milijuna godina). Također, prema PANDŽIĆU (1979), ofiolitske stijene u jugozapadnom dijelu Panonskog bazena su nastajale i kroz cijeli mezozoik, čime je naznačeno da dio magmatsko-metamorfnog kompleksa stijena može biti i mezozojske starosti. U vršnom dijelu, te stijene su gotovo svugdje izuzetno trošene i kataklazirane, što je dovelo do pojave sekundarne poroznosti, negdje i jako značajne. To je uvelike pogodovalo stvaranju ležišta, te su primjer za takav razvoj nakupljanja ugljikovodika naftna polja Galovac-Pavljeni i Letičani, te plinsko polje Grubišno Polje (MALVIĆ, 2003).

Sedimentne stijene mezozojske starosti označene kao „*podloga tercijara*“ također odgovaraju podlozi neogena, a litološki su predstavljene vapnencima i dolomitima, koji mogu biti kataklazirani i trošeni do stupnja breča i konglomerata. Starost stijena je srednjetercijaska (MALVIĆ, 2003).

#### 4.1.2. Formacija Moslavačka gora

Diskordantno na paleozojsko-mezozojske magmatite, metamorfite i sedimente naliježu sedimentne stijene donjeg i srednjeg miocena (ponegdje i magmatske stijene, odnosno vulkaniti), što označava početak transgresije na cjelokupnom području Bjelovarske subdepresije. Formacija Moslavačka gora podijeljena je na dva člana, stariji član Mosti (donji miocen do donjeg panona) i mlađi član Križevci (donji panon). Granicu između njih čini EK-marker  $Rs_7$ . U naftnogeološkom pogledu, značaj tih naslaga je izuzetno velik, te se sedimenti odlikuju vrlo dobrim rezervoarskim svojstvima. Prema ROYDEN (1988), pretpostavlja se da se početak ekstenzijske tektonike u starijem miocenu odvio u razdoblju otnanga i karpata. U badenu ti ekstenzijski pokreti sve više jačaju i zastupljeni su na cijelom području subdepresije. Razvija se nekolicina „*pull apart*“ bazena i u njima se talože naslage značajnih debljina. Ova faza je isključivo marinska, te i sedimentacija prati

takav slijed događaja (VRBANAC, 1996; RÖGL 1996, 1998). Samo su najistaknutije forme na tom prostoru, a odnose se na više gore poput Kalnika, Papuka, Psunja i Moslavačke gore, ostale iznad morske razine i zapravo postale otoci. U priobalju se taloži siliciklastični materijal, a drugi bitan izvor materijala je karbonatni detritus nastao od grebenschkih organizama, mahom crvenih algi i briozoa. Taloži se krupnoklastični materijal: breče, konglomerati i pješčenjaci. Na kraju badena pokreti slabe i energija vode se smanjuje te je rezultat smanjenje veličine čestica koje se talože, a sedimenti su predstavljeni sitnozrnatim pješčenjacima, te laporom i vapnencom. Sarmat je zastupljen s izrazito malom debljinom naslaga te ga je većinom nemoguće odijeliti od starijeg badena. Započinje oplićavanje koje se nastavlja i u starijem panonu te sve više napreduje zapunjavanje taložne sredine. Preostaju većinom zaštićeni plićaci i brakični prostori (VRBANAC, 1996; RÖGL 1996, 1998; MALVIĆ, 2003).

#### **4.1.3. Formacija Ivanić Grad**

Sedimenti ove formacije u starijim bušotinama su često označeni imenom „*Banatica naslage*“, također zbog karakterističnog fosilnog školjkaša *Congeria Banatica*. Granica u podini je određena EK-markerom  $R_{s5}$ , a u krovini prema formaciji Kloštar-Ivanić s elektrokarotaznim markerom  $Z'$ . U mlađem panonu taložni okoliš je slatkovodni, s različitim dubinama vodenog stupca (VRBANAC, 1996; RÖGL 1996). Formacija je predstavljena starijim lipovačkim laporom, te mlađim zagrebačkim članom i/ili njegovim bočnim ekvivalentom okoljskim pješčenjacima. Boja lipovačkog lapora je od sive do smeđe, različite tvrdoće. Zagrebački član predstavljen je stijenama različitog litološkog sastava, al najčešći su lapori ili pjeskoviti lapori, a ponekad može doći u izmjeni s pješčenjakom ili laporovitim pješčenjakom. Okolski pješčenjaci su predstavljeni kao sitnozrnati, dobro konsolidirani pješčenjaci (MALVIĆ, 2003).

#### **4.1.4. Formacija Kloštar-Ivanić**

Starost formacije približno odgovara starijem pontu. Sedimenti se imenuju „*Abichi naslagama*“ također po specifičnoj fosilnoj zajednici školjkaša, imena *Paradacna abichi*. Naslage poredane po starosti, od starijih prema mlađima idu od lepsičkog lapora, poljanskih pješčenjaka, graberskog lapora do pepelanskih pješčenjaka i cabunskog lapora. Ako je zastupljenost nepropusnih sedimenata dominantna, svi nabrojani članovi prelaze u jedan, lapor Kloštar-Ivanić. Granice su određene EK-markerom  $Z'$  u podini te

elektrokarotažnim markerom  $\Delta$  u krovini gdje čini granicu s formacijom Bilogora. U litološkom sastavu prisutna je izmjena različitih tipova pješčenjaka i lapora (MALVIĆ, 2003).

#### **4.1.5. Formacija Bilogora**

Formacija Bilogora otprilike odgovara starosti mlađeg pontu, a te taložine nazivamo još i „*Rhomboidea naslagama*“ prema fosilnom školjkašu *Congeria rhomboidea*. Ova formacija nije podijeljena na niže jedinice, odnosno članove. S naslagama formacije u podini, Kloštar-Ivanić približno je odvojena EK-markerom  $\Delta$ , a od formacije Lonja koja je smještena u krovini odvojena je elektrokarotažnim markerom  $\alpha'$ . Mehanizam taloženja je sličan kao i u starijem pontu te se nastavlja kao u prethodnom razdoblju, tj. u slatkovodnom, jezerskom i deltnom okolišu (VRBANAC, 1996; RÖGL 1996, 1998). Debljina sedimenata je uglavnom veća negoli u formaciji Kloštar-Ivanić, posebice u prostoru Bilogore, iz čega se da zaključiti da se izdizanje tog masiva tada još nije počelo odvijati. U starijim sedimentima formacije zastupljeni su glinoviti lapori, te u manjoj mjeri slabovezani pješčenjaci, dok su mlađi sedimenti predstavljeni laporovitom glinom i glinom te pješčenjacima i pijeskom, ali uz dominaciju nepropusnih taložina. Najveća debljina sedimenata formacije je na prostoru Velike Ciglene i iznosi više od 600 metara, dok je prosječna debljina između 300 i 400 metara (MALVIĆ, 2003).

#### **4.1.6. Formacija Lonja**

Najmlađe naslage, koje pripadaju formaciji Lonja odvojene su u podini od formacije Bilogora s EK-markerom  $\alpha'$ , a gornju granicu čine recentne naslage, tj. današnja površina terena. Naslage po starosti približno pripadaju razdobljima pliocen i kvartar. U pliocenu cijeli prostor Panonskog bazena (a time uključujući i njegov rubni, jugozapadni dio) je podijeljen na brojna slatkovodna jezera (VRBANAC, 1996; RÖGL 1996, 1998) koja se postupno zapunjavaju i već u pleistocenu se taloženje odvija gotovo isključivo u fluvijalnim sredinama. Prevladavaju taložine pijeska i gline, a u dubljim jezerima nalaze se naslage siltita, lapora, pa i karbonata. Općenito se radi o jezerskom klastičnom okolišu, a taloženje je u deltamata Gilbertovog tipa. Također, postoje i varijacije te se u nekim dijelovima subdepresije talože laporovite gline, a u drugim pjeskoviti lapori. Gline su mjestimično pjeskovite, ili s proslojcima pijeska. Samo je u središnjem dijelu subdepresije prisutna izmjena šljunka, pijeska i gline s proslojcima lignita, koji može biti od

centimetarskih do metarskih dimenzija. Konsolidiranost naslaga ovisi o dubini, i općenito raste s povećanjem, te su u mlađim dijelovima nekonsolidirani sedimenti, a na samoj površini ili tik uz nju nalaze se holocenski prapor, ilovača, humus, šljunak i pijesak, a dominira glina. (MALVIĆ, 2003).

Debljine u formaciji se kreću od minimalno desetak metara, do preko 700 metara. Najmanje debljine naslaga izmjerene su na sjeverozapadu, sjeveru i sjeveroistoku, a najveće su smještene u središnjem dijelu Bjelovarske subdepresije (MALVIĆ, 2003).

#### **4.2. Strukturno-tektonski i paleogeografski odnosi**

Panonski bazenski sustav spada u skupinu pozadinskih bazena (engl. „*back-arc basins*“). Otnang je razdoblje u kojem započinje postanak bazena procesom subdukcije i konvergencijom Apulijske ploče pod Dinaride, odnosno pod Europsku ploču. Također, istovremeno je stvarana južna i sjeverna granica, odnosno perijadransko-varđarski lineament i Vanjski Karpati dok su se u prostoru između otvorile brojne ekstenzije uz lijeve i desne transkurentne rasjedne sustave (engl. „*sinistral and dextral slike-slips*“). Rezultat toga je bio nastanak bazena (engl. „*pull-apart*“) i manjih jedinica, depresija i subdepresija (ROYDEN, 1988; MALVIĆ, 1998, 2003).

U otnangu je počela prva transtenzija koja osnažuje tijekom karpata, a transgresija u početku nije prekrila cijelo područje, što se može vidjeti u sedimentnom zapisu koji nije cjelovit, niti su svi prvi miocenski sedimenti jednake starosti na različitim područjima. Ekstenzija se nastavlja u badenu i sarmatu, a do srednjeg badena nastupa opća transgresija te je razvijen marinski okoliš od današnje Austrije do Rumunjske s prostorom Karpata i Apusena koji su u to vrijeme bili otoci (STEININGER et al., 1978). Tri velike morske površine, Indopacifik, Centralni Parathetys (odnosno Panonski bazen) i Mediteran su tada činili jednu cjelinu što je potvrđeno i nalaskom brojnih istovrsnih fosilnih zajednica i vrsta. Tijekom mlađeg dijela srednjeg badena uslijedila je promjena facijesa i veza između Centralnog Parathetysa i Mediterana se prekida, što se također dogodilo i s Indopacifikom tijekom sarmata (STEININGER et al., 1978). Također, na velikom dijelu područja se talože evaporiti i odvija se postupni prijelaz iz ekstenzijske u postekstenzijsku, odnosno transpresijsku fazu. ROYDEN (1988) smatra da je u starijem panonu završena glavna ekstenzijska faza dok, PAVELIĆ (2001) uzima mlađi baden kao granicu između faza, barem za područje sjeverne Hrvatske.



Dominantni čimbenik u transpresijskoj fazi postaje termijska subsidencija (hlađenje litosfere i tonjenje prostora), koja je jača u središnjem dijelu prostora, a Istočne Alpe postaju glavno izvoriste materijala na području sjeverne Hrvatske i JZ dijela Mađarske (ROYDEN, 1988). Mlađi panon i pont su obilježeni taloženjem u brakičnom i slatkovodnom jezerskom okolišu s turbiditnim mehanizmom prijenosa materijala. U pliocenu i kvartaru sedimentacija se odvija u jezerskim i riječnim okolišima. Tektonski, kompresijske sile jačaju i stvaraju reversne i navlačne odnose (MALVIĆ, 1998, 2003).

Bjelovarska subdepresija, zasebna geotektonska jedinica, od ostatka Dravske depresije razlikuje se po svojim geografskim i geološkim osobitostima, a uzrok tome ponajviše predstavljaju kvartarno-pliocenski pokreti koji su zaslužni za izdizanje Bilogore i postupno odvajanje subdepresije od okolnog prostora. Područje je s druge strane, sa Savskom depresijom odvojeno Moslavačkom gorom (MALVIĆ, 2003).

Prema MALVIĆ 1998: *„otvaranje tog prostora posljedica je aktivnosti glavnog transkurentnog rasjednog sustava, zajedno s pratećim drugim rasjednim sustavima poprečnim ili dijagonalnim na smjer središnjeg dravskog rasjeda“*. Vrsta okoliša i starost prvih miocenskih naslaga u subdepresiji je diskutabilna zbog nedostatka ili nepouzdanosti podataka (površinskih i bušotinskih), no gdje god postoje, označavaju početak ekstenzijske faze. Sa sigurnošću je ipak utvrđeno da su naslage karpata taložene u marinskoj sredini, zbog prije navedenog osnaživanja transgresije u tom razdoblju (MALVIĆ, 1998). Okoliš taloženja su pretežito predstavljale aluvijalne lepezne delte (PAVELIĆ, 2001).

Stariji baden je označen kao vrijeme produbljavanja okoliša na cijelom prostoru te se taloženje odvija uz snažnu tektoniku, a izvor materijala je lokalni (MALVIĆ, 2003). Srednji i mlađi baden označavaju promjenu u sedimentaciji, talože se sitniji klastiti, ali i karbonatni sedimenti. To upućuje na završetak ekstenzijske i početak transpresijske faze, a okoliš postupno prelazi u brakični te se kao takav nastavlja i kroz sarmat, dok prisutnost karbonata ukazuje na smanjenje tektonske aktivnosti (PAVELIĆ, 2001). Također, debljina sarmata u Bjelovarskoj subdepresiji je najmanja od svih razdoblja u miocenu, što se podudara s razvojem u cijelom hrvatskom dijelu Panonskog bazena, a ukazuje na smanjen donos materijala. (MALVIĆ, 1998, 2003).

Postekstenzijsko (transpresijsko) razdoblje traje tijekom panona i ponta, okoliš se promijenio iz brakičnog u jezersko-riječni (slatkovodni) i u to vrijeme su taložene izmjene pješčenjaka i lapora, s čestim proslojcima ugljena i lignita. Tijekom pliocena se taloženje

odvijalo u rijekama, močvarama i malim jezerima, cijeli prostor se zapunjava, a tektonska aktivnost jača, što je prouzročilo aktivaciju novih i reaktivaciju starih rasjednih sustava, u kojem dolazi do izdizanja Bilogore (PRELOGOVIĆ, 1975). U kvartaru se nastavljaju jednaki uvjeti, te zbog kompresije s juga dolazi do rotacije prostora suprotno od kazaljke na satu (MALVIĆ, 1998, 2003).

Bjelovarska subdepresija se odlikuje manjim maksimalnim debljinama neogensko-kvartarnih sedimenata (do 3000 metara), dok je ta debljina u najdubljem dijelu Dravske depresije i do 7000 metara. Razlog tome je što područje subdepresije nije bilo na putu glavnog donosa materijala, pa se i same debljine naslaga uvelike razlikuju. Naslage taložene u ekstenzijskoj fazi su predstavljene konglomeratima, brečama i krupnozrnatim pješčenjacima. U prijelaznoj fazi, između ekstenzije i transpresije većinom su taloženi vapnenci i lapori, dok su tijekom transpresijske faze taložene izmjene pješčenjaka i lapora (MALVIĆ, 2003). Prema MALVIĆ, 1998: „Zbog toga što Bjelovarska depresija ne pripada središnjem dijelu bazenskog sustava, niti je blizu glavnog navlačnog pojasa geotermijski gradijent i prosječni toplinski tok su između ta dva krajnja slučaja, tj. geotermijski gradijent iznosi u prosjeku  $4,9^{\circ}$  do  $5,3^{\circ}$  C/100m.“

## 5. METODOLOGIJA

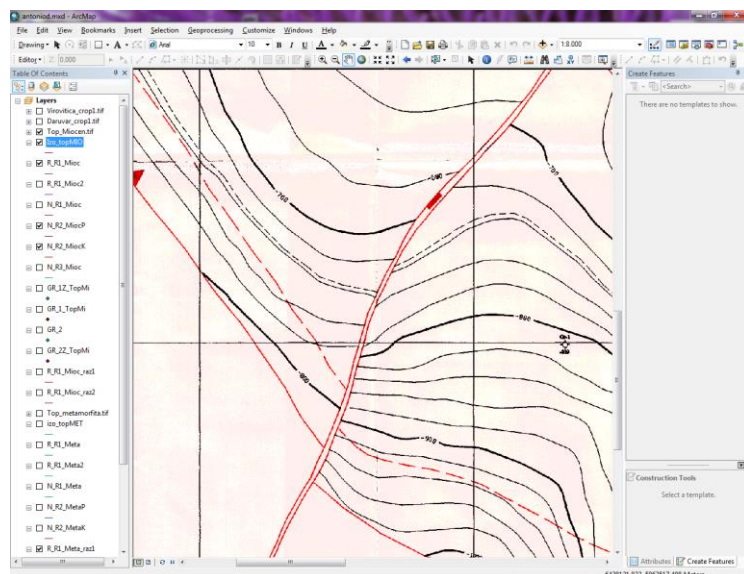
Osnovna materija korištena pri izradi ovog rada, odnosno ulazni podatci su bile strukturne karte dvaju horizonata testnog plinskog polja na području Bjelovarske subdepresije, što je bila polazna točka za kasnije modeliranje područja. Karte korištene za modeliranje su karta paleoreljefa po podlozi neogena i strukturna karta po krovini badenskih naslaga. Karte su digitalizirane unutar računalnog programa ArcMap 10.1. Nakon digitalizacije karata uslijedila je druga faza obrade podataka; koja je uključivala izradu modela i izračun rezervi, što je izvršeno u programu Petrel™ E&P Software Platform 2013

### 5.1. Računalna platforma ArcGIS

ESRI („*Environmental Systems Research Institute*“) je kompanija osnovana 1969. godine i do danas je postala glavni međunarodni „opskrbljivač“ GIS („*Geographic Information System*“) programskih paketa. Jedan od njih je i ArcGIS računalna platforma koja je izdana na tržište 1999. godine. Sastoji se od više aplikacija i programa, a u ovom radu je korištena njena glavna komponenta ArcMap 10.1 koja se odlikuje širokom primjenom prilikom obrade i/ili izrade raznih geografskih podataka. Pomoću ArcMap-a je moguće pregledavanje, uređivanje, stvaranje i analiziranje različitih geoprostornih podataka, a također se može koristiti za pretraživanje podataka unutar seta više podataka, odnosno baze, te za izradu karata raznovrsnih namjena.

### 5.2. Obrada i prikaz podataka u programu ArcMap 10.1.

Program ArcMap 10.1. u ovom radu je upotrijebljen za digitalizaciju strukturnih karata koje su već ranije skenirane i spremljene u *.tif* formatu (*engl. „Tagged Image File Format“*). Svaka od tih karata se odlikuje iznimnom veličinom upravo zbog njene rezolucije i količine podataka. Naredbom „*Add data*“ karte su unesene u program i sljedeći postupak koji je bilo potrebno izvršiti je georeferenciranje. To je postupak pridruživanja geografskih koordinata u određenoj kartografskoj projekciji pojedinim točkama određenog objekta, a u ovom slučaju točkama na karti. Odnosno, potrebno je odrediti prostornu referencu da bi karte koje digitaliziramo i daljnji podatci s njih bili pravilno smješteni u prostor.

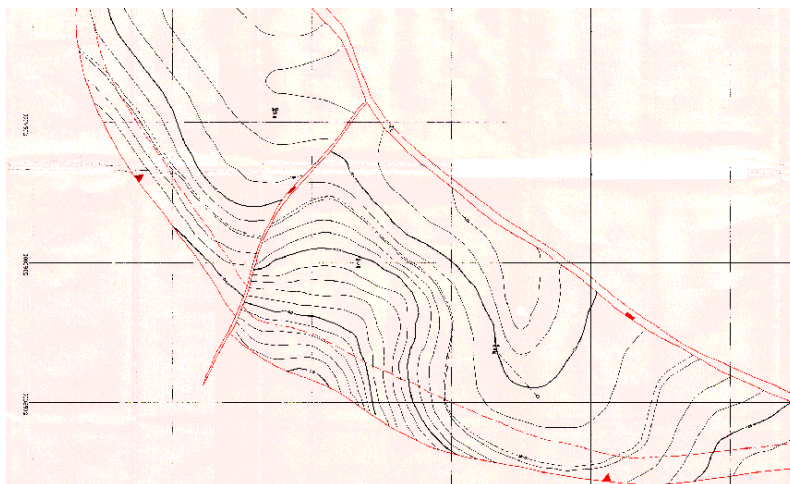


**Slika 5-1.** Prikaz sučelja računalnog programa ArcMap 10.1.

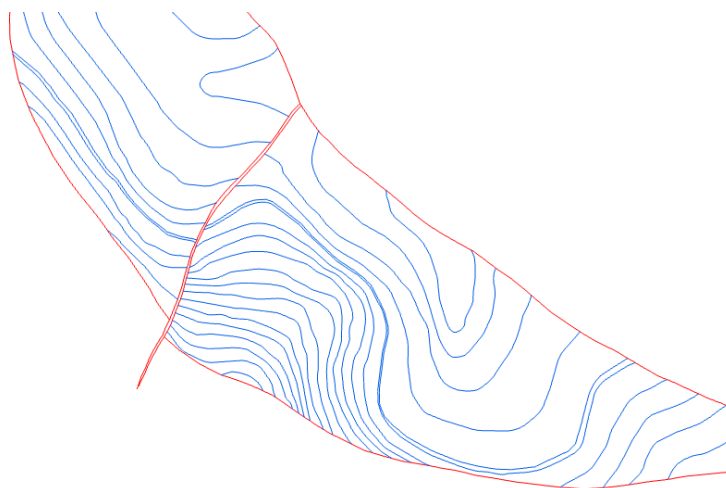
Za tu svrhu uzet je referentni koordinatni sustav MGI Balkan 6 („*Militar Geographische Institut*“), a u programu se nalazi i odabire kroz naredbu „*Coordinate System Manager – Geodetic Catalog*“. MGI Balkan 6 je naziv elipsoida koji se koristi kao referentni koordinatni sustav, a prikladan je za uporabu na području Bosne i Hercegovine, središnje i istočne Hrvatske te zapadne Srbije. Još jedan razlog zbog kojeg je nužan navedeni postupak je i to da prebacivanjem podataka iz jednog programa u drugi prostorna orijentacija karata ostaje zabilježena i nepromijenjena.

Nakon toga je bilo potrebno izraditi jedinstvenu geo-bazu podataka („*Geodatabase*“) koja će sadržavati sve one elemente koji postoje na strukturnim kartama, a želimo ih prenijeti u digitalni oblik, poput stratoizohipsa, odnosno izobata (u slučaju paleoreljefa) i rasjeda. Geo-baza također mora biti u istom referentnom koordinatnom sustavu koji smo koristili i za georeferenciranje. Nadalje, određena je veličina poligona („*area*“) koja označava područje digitalizacije i kasnije modeliranja, a samim time i granicu interesnog područja. Granica je jednaka za obje karte, jer prikazuju isti dio podzemlja, samo na različitim dubinama.

U ovom slučaju, na svakoj karti su digitalizirane linije stratoizohipsi i ocrti rasjeda. Da bi razdvojili i razlikovali te podatke, podijelili smo ih u zasebne klase. Svakom podatku je digitalizacijom dodijeljena njegova klasa (engl. „*Feature Class*“), a zbroj svih iznosi deset klasa digitaliziranih podataka. Dvije su za linije stratoizohipsi, a osam za ocrte rasjeda, po četiri na svakom horizontu.



**Slika 5-2.** *Primjer skenirane strukturne karte*



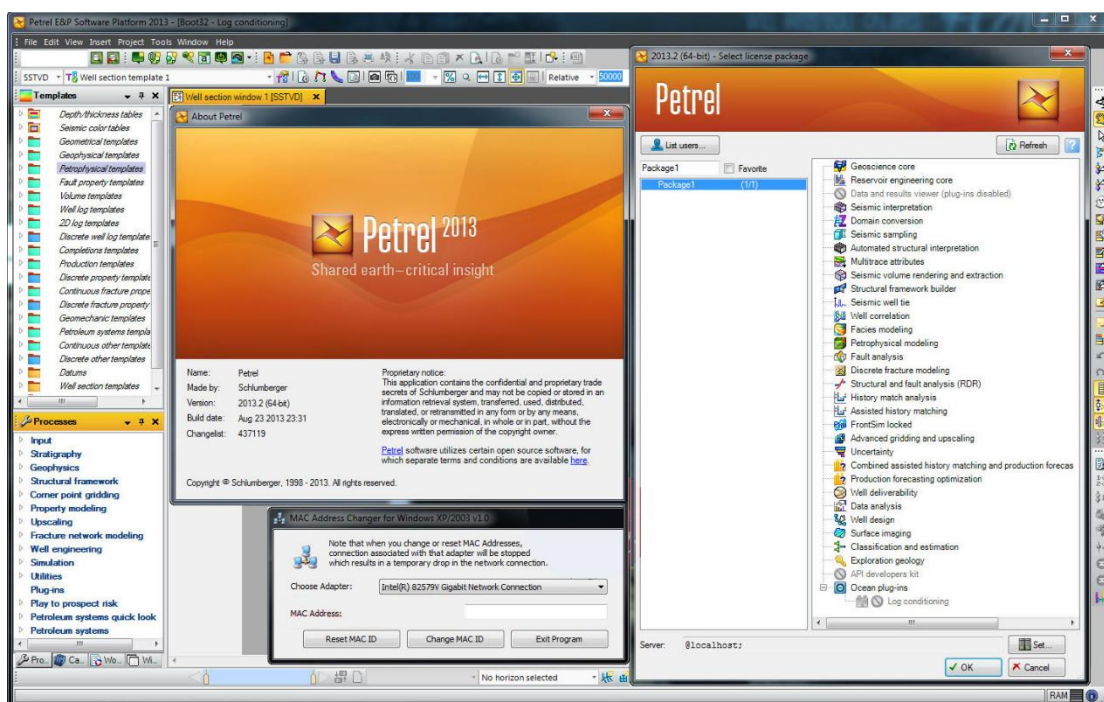
**Slika 5-3.** *Primjer digitalizacije strukturne karte (prikaz linija stratoizohipsi i rasjeda)*

Postupak digitalizacije započinje učitavanjem georeferencirane strukturne karte (**Slika 5-2**), te se odabere klasa koju želimo uređivati, primjerice poprečni normalni rasjed s pružanjem sjeveroistok-jugozapad (radni naziv N\_R2\_MiocK), na strukturnoj karti po plohi krovine badena. Poželjno je da zumiranje u radnom prozoru bude veće, da bi digitalizirane linije što bolje pratile linije na karti. Također, u slučaju iscrtavanja linija stratoizohipsi treba biti pažljiv pri upisu Z vrijednosti (koje označavaju dubinu; apsolutnu ili relativnu) jer se u protivnom mogu dogoditi greške pri izradi modela i rezultati rada mogu biti upitni. Kod iscrtavanja rasjednih linija dubinska vrijednost Z je nula, i ta varijabla se kod rasjeda naknadno dodjeljuje u programu Petrel™. Linije rasjeda i stratoizohipsi se međusobno ne smiju sjeći ili dodirivati, jer takve pogreške mogu prouzročiti probleme u obradi i daljnjem radu.

Primjer iscrtanih linija stratoizohipsi i rasjeda se može vidjeti na **Slici 5-3**. Nakon što je proces digitalizacije završen podaci s karata se spremaju u *.shp* („*shapefile*“) formatu. U takvom obliku se mogu učitati (pomoću naredbe „*import*“) u Petrel i prikazati te kasnije obrađivati što je i prikazano na **Slikama 5-5 do 5-9**.

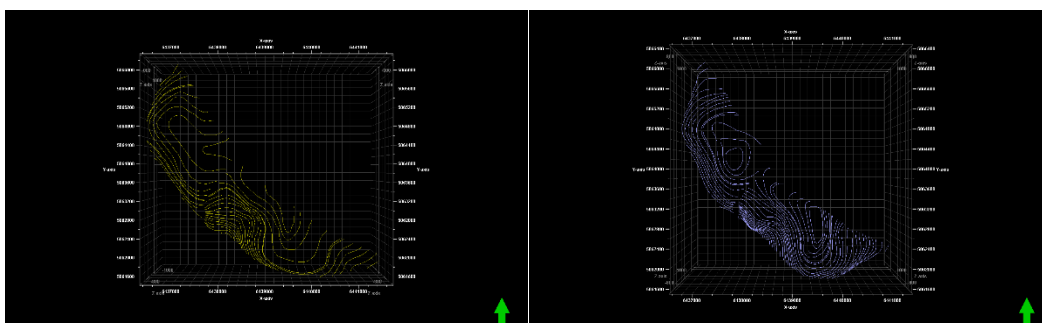
### 5.3. Obrada i prikaz podataka u programu Petrel™ 2013

Petrel™ E&P 2013 je programska platforma koja je razvijena unutar Schlumberger-a, velike servisne kompanije koja je svjetski poznata po svojim tehnološkim i informatičkim rješenjima na području naftne industrije. Petrel™ omogućuje korisnicima obradu i interpretaciju seizmičkih podataka („*processing and interpretation*“), korelaciju bušotinskih podataka, izradu trodimenzionalnih potpovršinskih modela, računanje volumena i rezervi, izradu karata, te služi za istraživanje i razradu ležišta ugljikovodika. S obzirom na njegovu široku primjenu, koristan je za znanstvenike i inženjere u više polja, počevši od geoznanstvenika poput geologa i geofizičara do inženjera naftnog rudarstva i drugih specijaliziranih zanimanja unutar već spomenute naftne industrije. U ovom slučaju program je korišten za izradu 3D modela podzemlja i izračun volumena rezervi. Na **Slici 5-4**. se vidi prikaz sučelja računalnog programa Petrel™ 2013.



Slika 5-4. Prikaz sučelja računalnog programa Petrel™ 2013

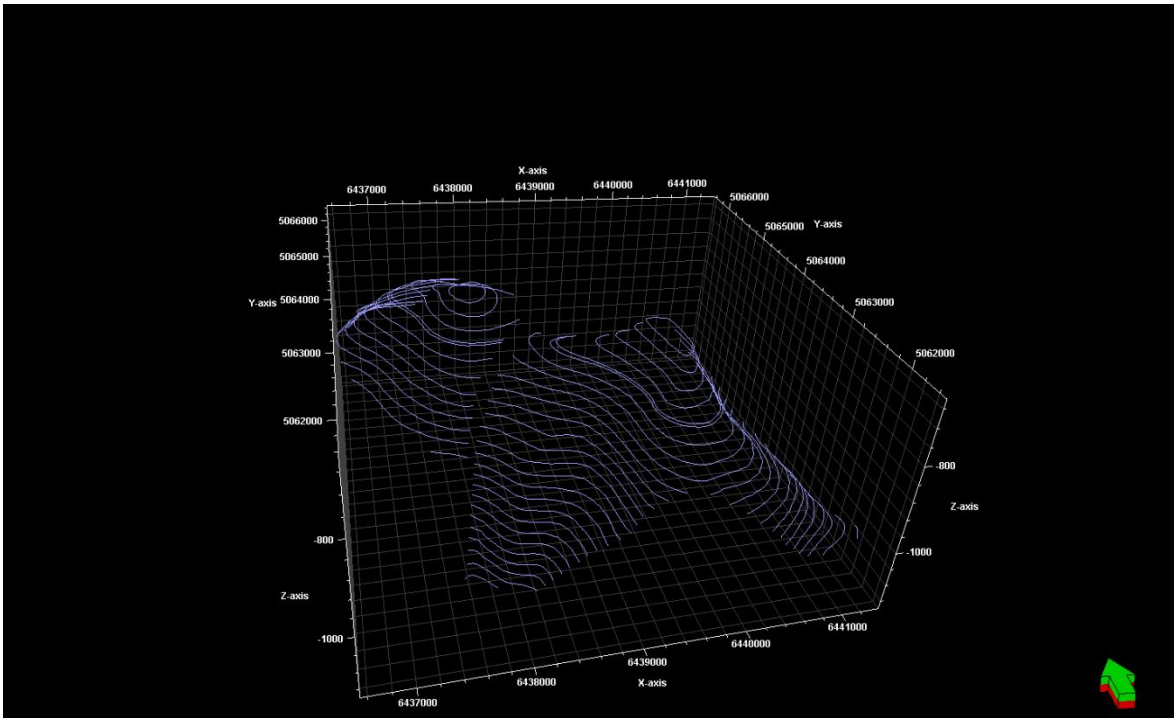
Druga faza izrade rada nastavlja se unosom podataka u program Petrel™, a to su shapefile-ovi stratoizohipsi i izobata (**Slika 5-5**) i rasjeda koje smo već otprije digitalizirali i uredili da bi bili spremni za proces modeliranja. Stratoizohipsama smo u programu ArcMap 10.1. dodali „Z“ vrijednosti (odnosno njihovu treću dimenziju) i primjenom alata „*Make/edit surface*“ moguće je odmah generirati njihovu površinu. Kao primjer možemo uzeti linije stratoizohipsi krovine badena prikazanih na **Slici 5-7**, i modeliranu površinu krovine badena (**Slike 5-11 i 5-13**). Na svim kartama površina moguće je vidjeti: zelenu strelicu koja označava smjer sjevera,  $x$  i  $y$  koordinate pripadajućeg referentnog koordinatnog sustava (i  $z$  vrijednost koja označava dubinu), te u gornjem lijevom kutu raspon boja koje odgovaraju dubinama na karti, kao i brojčanu oznaku dubine na stratoizohipsama.



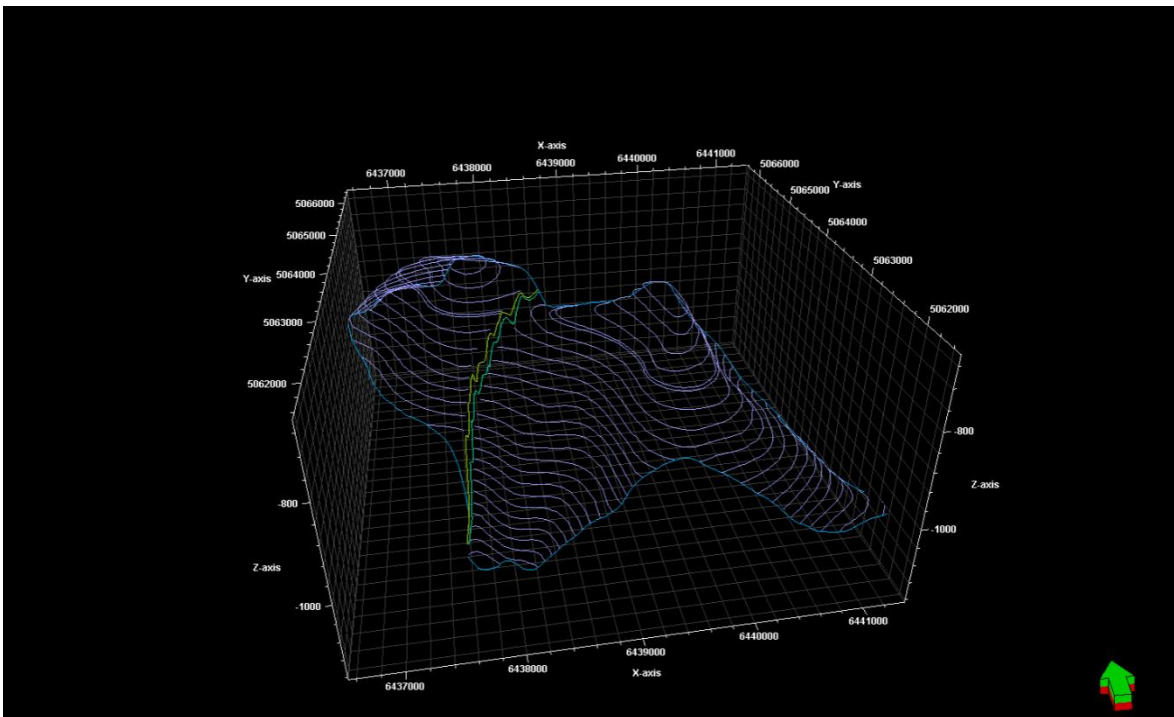
**Slika 5-5.** Prikaz linija stratoizohipsi unesenih u program Petrel™ 2013 (zelena strelica označava smjer sjevera)

Nakon što su od linija stratoizohipsi napravljene površine, trebalo je rasjede „pridružiti“ tim kartama. To se postiglo postupkom njihovog transliranja na pripadajuće karte površina. Ulazni podaci za rasjede su također spremljeni kao „*shapefile*“, ali kao poligoni, bez „Z“ vrijednosti. Pridruživanje rasjeda na površinu se izvodi pomoću alata „*Calculations*“ s time da se  $Z$  vrijednost izjednači s vrijednošću na površini karte ( $Z = A$ ). Linije stratoizohipsi prije pridruživanja rasjeda prikazane su na **Slici 5-6 i 5-8**, a prikaz „zalijepljenih“ rasjeda na površine moguće je vidjeti na primjerima podloge neogena (**Slika 5-7**) i krovine badena (**Slika 5-9**). Tako ocrtane plohe i rasjedi koji su pridruženi tim površinama će kasnije služiti u daljnjoj obradi kao jedan od ulaznih podataka za izradu završnog modela.

Izradom površina ekstrapoliran je dio terena na kojem nisu postojali podatci, odnosno linije stratoizohipsa su išle samo do sjecišta s rasjedima i iza tog prostora točnost je upitna (**Slike 5-10 do 5-13**).

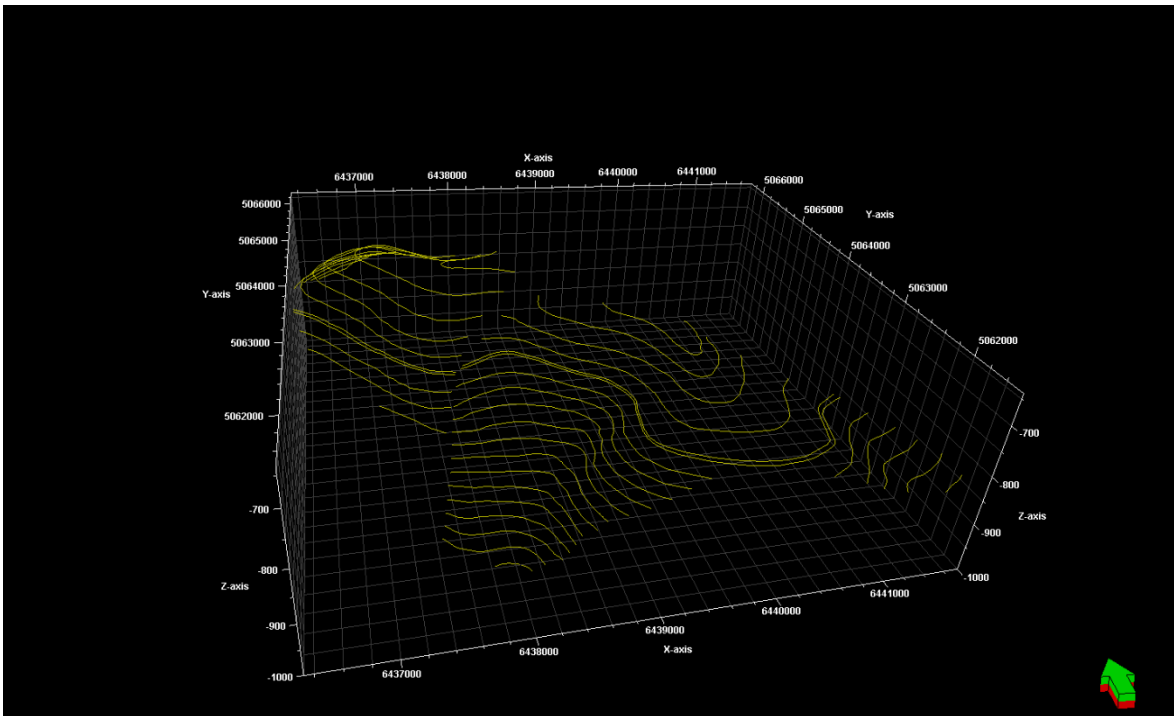


Slika 5-6. 3D prikaz linija stratoizohipsi (sa Z vrijednostima) horizonta podloga neogena

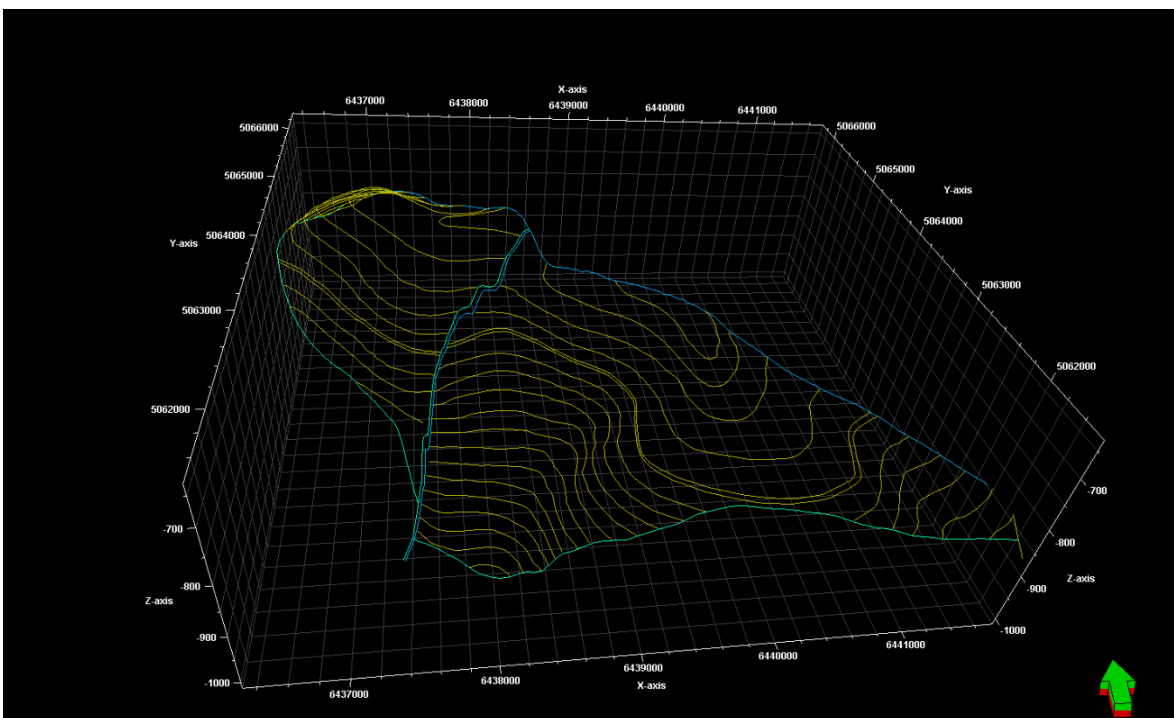


Slika 5-7. Prikaz stratoizohipsi i rasjeda „zalijepljenih“ na površinu (podloga neogena)

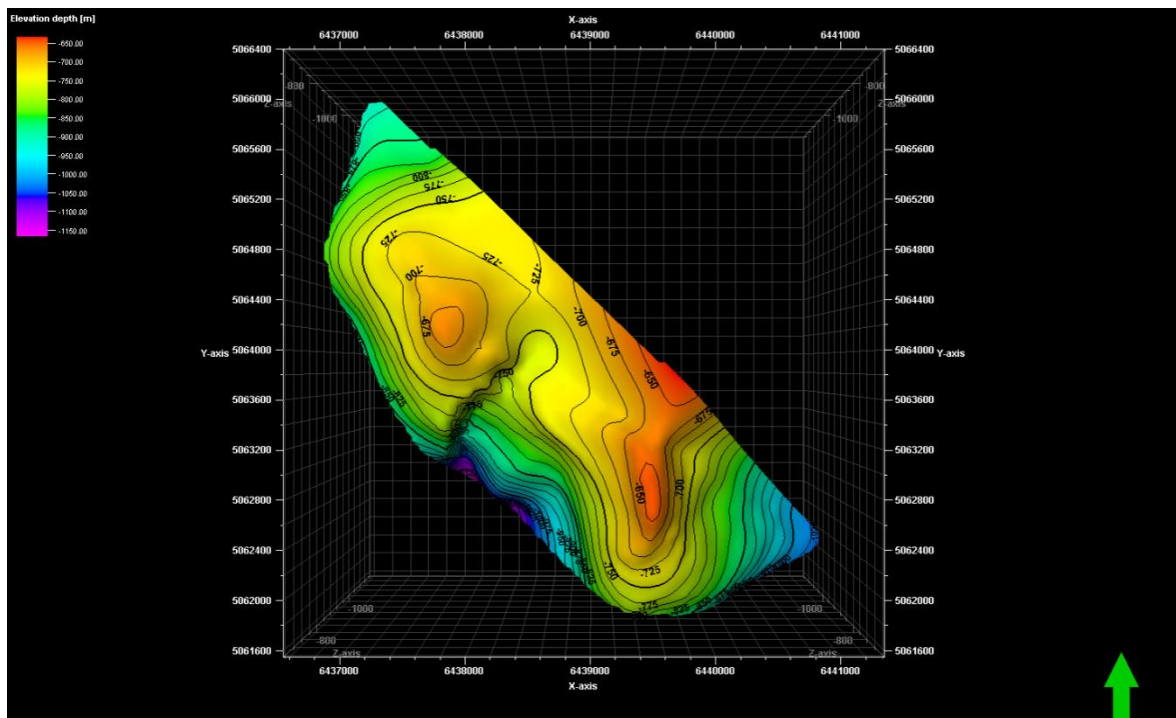




Slika 5-8. 3D prikaz linijastratoizohipsi (sa Z vrijednostima) horizonta krovina badena



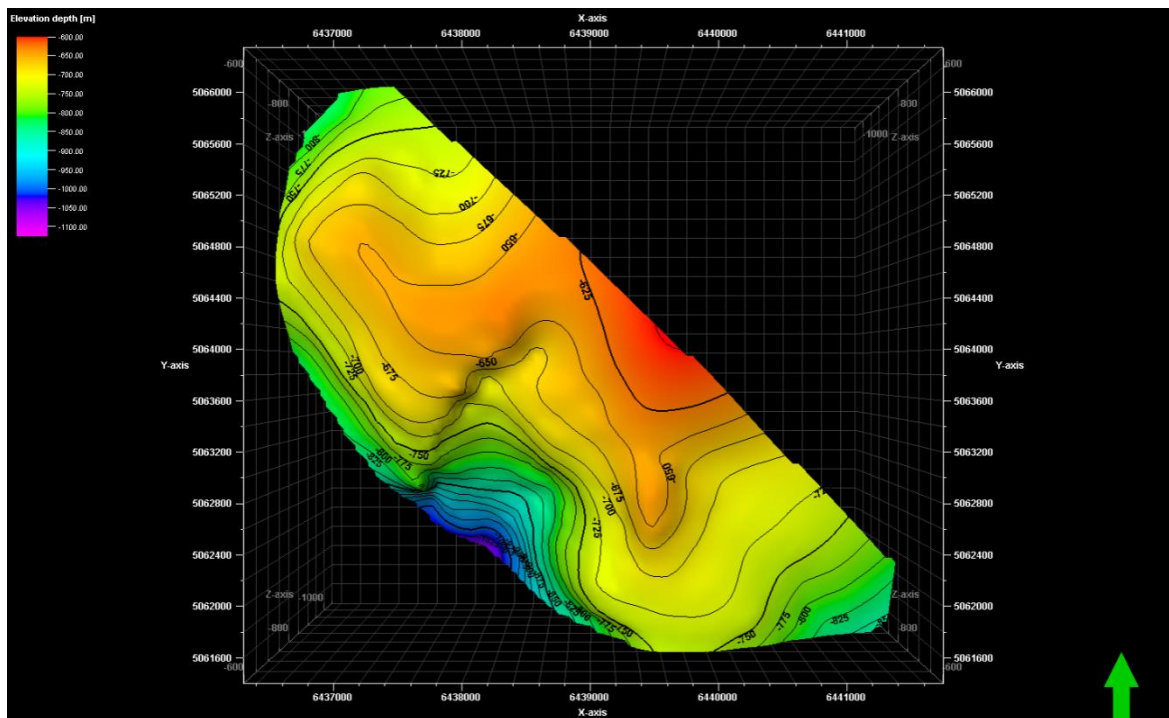
Slika 5-9. Prikaz stratoizohipsi i rasjeda „zalijepljenih“ na površinu (krovina badena)



**Slika 5-10.** Prikaz površina generiranih na temelju linija stratoizohipsi uz ekstrapolaciju na okolni prostor (podloga neogena)

Razlog iz kojeg je provedena ekstrapolacija (postavka „influence radius“ izražena u „grid nodes“ unutar alata „make/edit surface“) je zbog toga što prilikom „lijepljenja“ rasjeda, ukoliko ne postoji površina na nekom dijelu na koji će se rasjed naljepiti, program automatski izbriše dio te linije i rasjed postaje diskontinuiran, odnosno bez pridružene Z vrijednosti. Zbog ekstrapolacije na **slici 5-12** i **5-13** moguće je vidjeti treći vrh (antiklinalnu formu), koju će se kasnijom obradom maknuti postavljanjem granice poligona prema položajima rasjeda i taj dio više neće stvarati probleme u interpretaciji.

Na prvotnim strukturnim kartama u središnjem dijelu polja se nalazi antiklinala kojoj je generalni smjer pružanja, odnosno njena duža os orijentirana sjeverozapad-jugoistok, te je cijelom svojom dužinom ograničena rasjedima. Zapravo, forma prati pravac pružanja rasjeda i na jugozapadu je ograničena reversnim, dok je na sjeveroistoku ograničena normalnim rasjedom sa spuštenim sjeveroistočnim krilom. Na karti se vide dva vrha, i to svaki u svom bloku (odnosno segmentu), a međusobno su presječeni poprečnim rasjedom generalnog pružanja sjeveroistok-jugozapad dok mu je nagib paraklaze prema jugoistoku. To znači da je sjeverozapadni blok (inače kasnije nazvan „segment 2“) uzdignutiji u odnosu na njegov susjedni, jugoistočni blok („segment 1“). Na finalnim, digitaliziranim strukturnim kartama u **prilozima I** i **II** su također prikazane navedene forme.

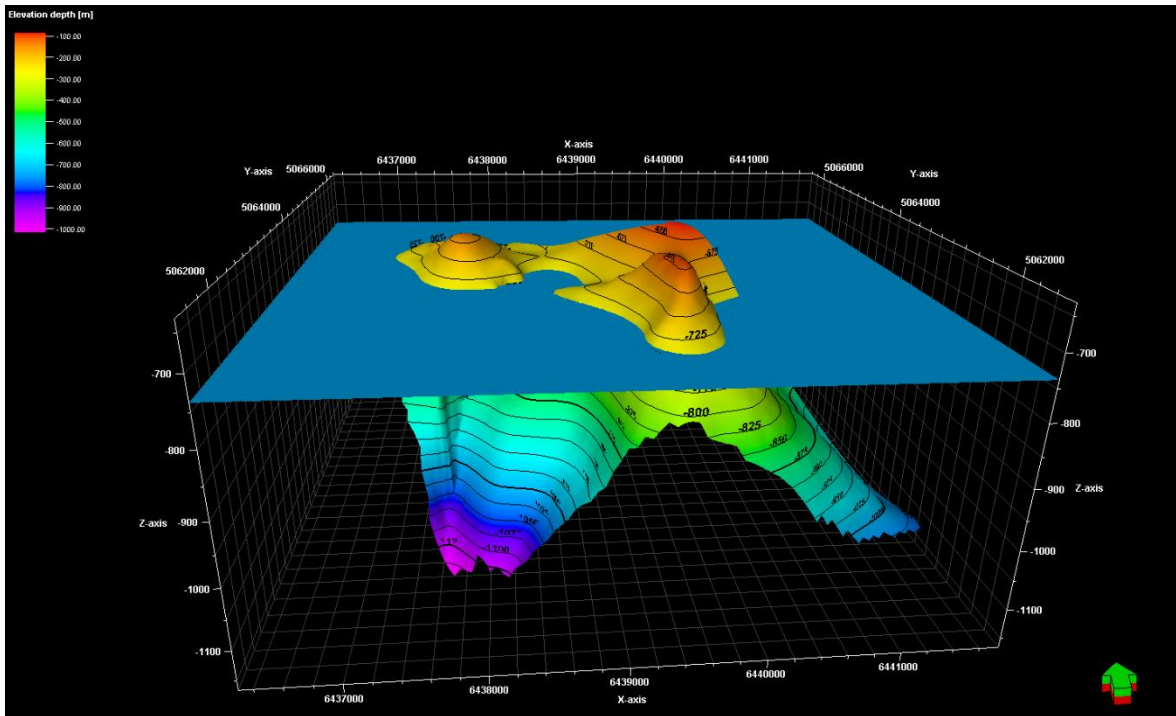


**Slika 5-11.** Prikaz površina generiranih na temelju linija stratoizohipsi uz ekstrapolaciju na okolni prostor (krovina badena)

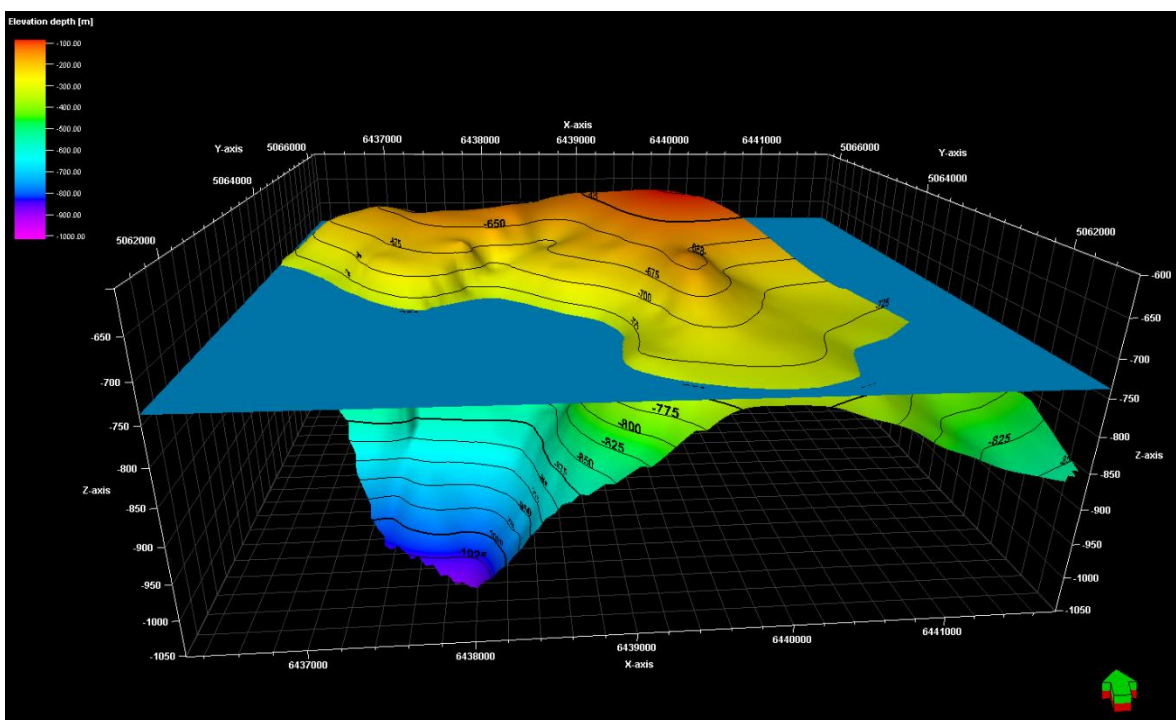
Ležište pripada strukturnom tipu zamke prema A.I. Levorsenu, a prema I.O. Brodu može se okarakterizirati kao ležište masivnog tipa s heterogenom litološkom građom. Kontakt plin/voda nalazi se na apsolutnoj dubini od -737 metara i, unatoč rasjedu između blokova, pretpostavljeno je da je cijelo ležište jedna hidrodinamička cjelina (PEHARDA, 2007).

Sljedeći korak u postupku je bio grupirati rasjede u jednu mapu (engl. „*folder*“) da bi ih kasnije mogli spojiti i dobiti jednu plohu. Isti rasjedi prolaze kroz oba horizonta (podloga neogena i krovina badena) te će nam te dvije linije, odnosno dva poligona pomoći u definiranju i modeliranju plohe rasjeda.

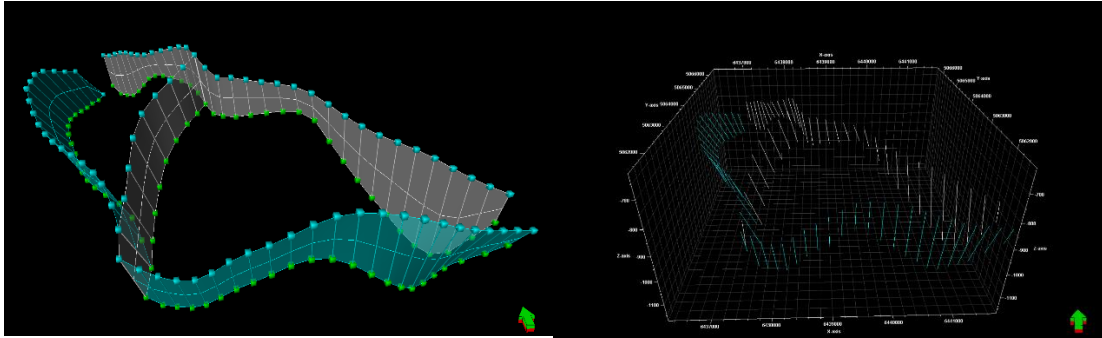
Nadalje, slijedila je izrada strukturnog okvira (engl. „*Structural framework*“) kojim su definirani oblik i granice strukturnog modela. Unutar alata „*fault framework modelling*“ modelirane su plohe rasjeda, za svaki rasjed su unesene dvije linije (s dva već spomenuta horizonta) što je minimalan broj linija da bi se uopće mogla dobiti ploha. Također, moguće je postaviti i odnose rasjeda (koji je glavni, a koji sporedni) i na taj način program će modelirati koji će rasjed presjeći drugi. Izgled rasjeda iz strukturnog okvira je prikazan na **slici 5-14.**



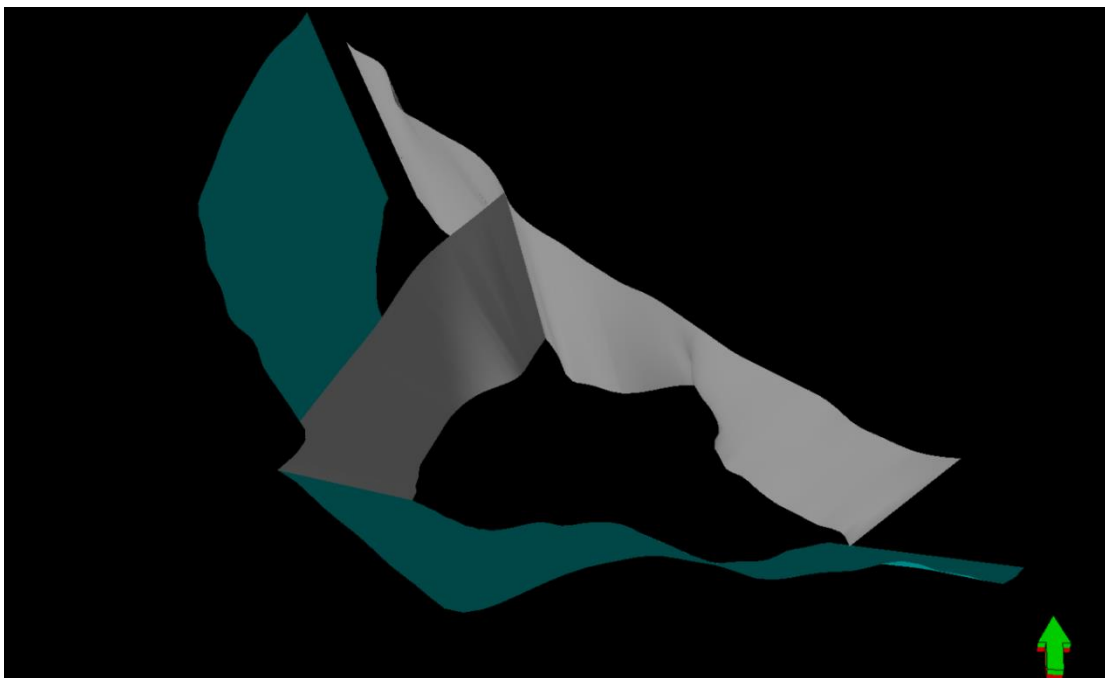
Slika 5-12. Prikaz generiranih površina uz prikaz kontakta plin/voda (podloga neogena)



Slika 5-13. Prikaz generiranih površina uz prikaz kontakta plin/voda (krovina badena)



**Slika 5-14.** Početno generirani rasjedi (lijevo), prikaz transformacije u „fault sticks“ (desno)

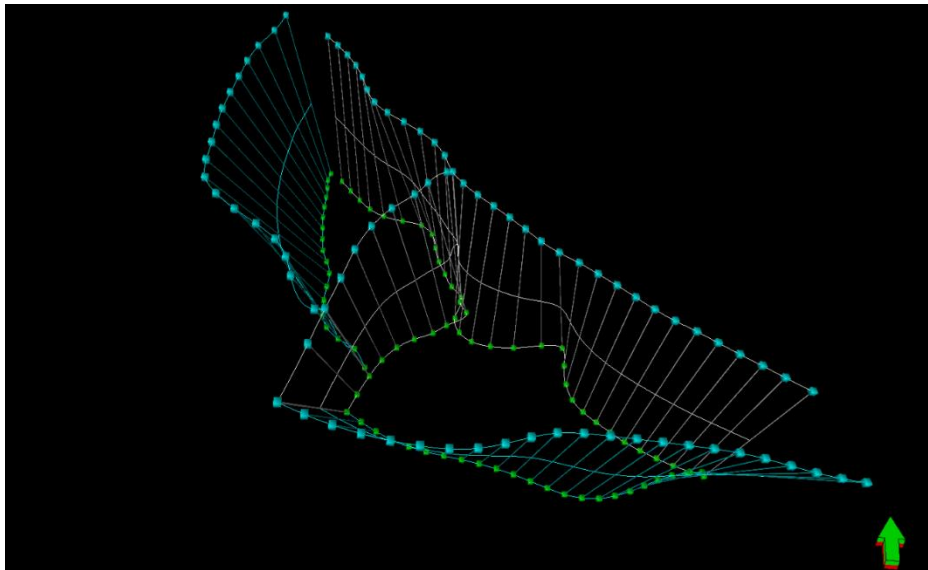


**Slika 5-15.** Produženi rasjedi iz “Structural frameworka”

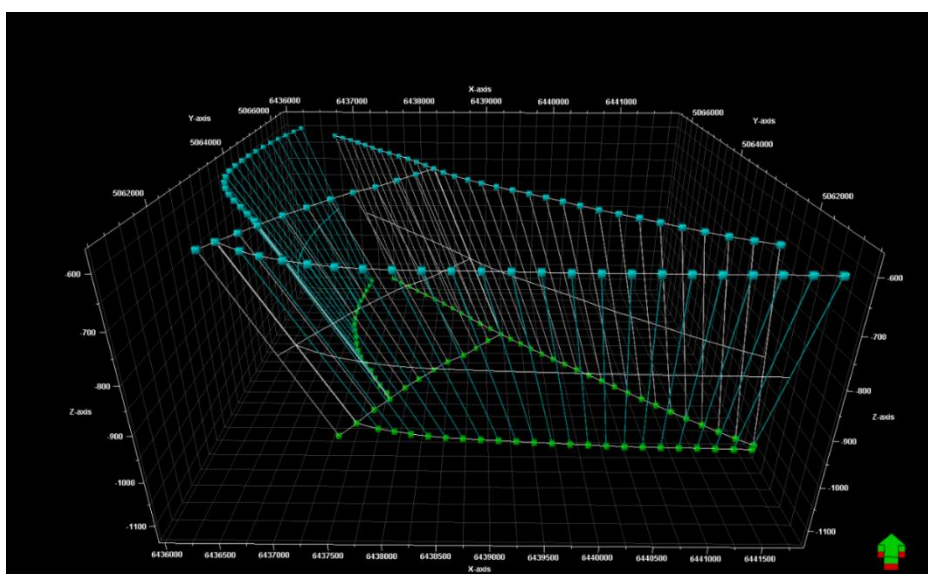
Nakon generiranja rasjeda i prvotnog izgleda ploha (Slika 5-15 i 5-16), rasjedima su pridružene maksimalna i minimalna Z vrijednost koje su iznosile -600 i -1100 metara. Kako rasjedne plohe nisu bile zadovoljavajuće za izradu modela (Slika 5-16), prvo ih je trebalo ručno urediti i izravnati, a u završnim fazama obrade korišten je i alat „*smoothing*“. Kad su sve rasjedne plohe bile poravnate i kontakti jasno definirani, s takvim ulaznim podacima se moglo krenuti u izradu 3D modela (Slika 5-17). Prije toga potrebno je bilo napraviti sljedeći korak u procesu strukturnog modeliranja, a to je izrada preliminarnog modela horizonata (engl. „*horizon modeling*“). Potrebno je bilo odabrati pripadajući model rasjeda (engl. „*fault framework model*“) i unutar okvira „*horizon modeling*“ definirati

ulazne podatke, odnosno površine horizonata je potrebno staviti u međusobni odnos, npr. „base ili conformable“.

U ovom slučaju, za potrebe jednostavnije izrade modela, izrađen je i treći (pomoćni) horizont kojemu je postavljena Z vrijednost na -1100 metara (što je najniža vrijednost na strukturnim kartama) te je time omogućeno obuhvaćanje i dodjela vrijednosti parametara (poput poroznosti) na cijelom prostoru. Njemu je dodijeljena značajka „base“ horizonta, dok su horizonti podloga neogena i krovina badena postavljeni kao „conformable“.



**Slika 5-16.** Prikaz trase rasjeda koji su predstavljeni kao skupina više „pillara“ (segmenti rasjeda); prije korekcije za model

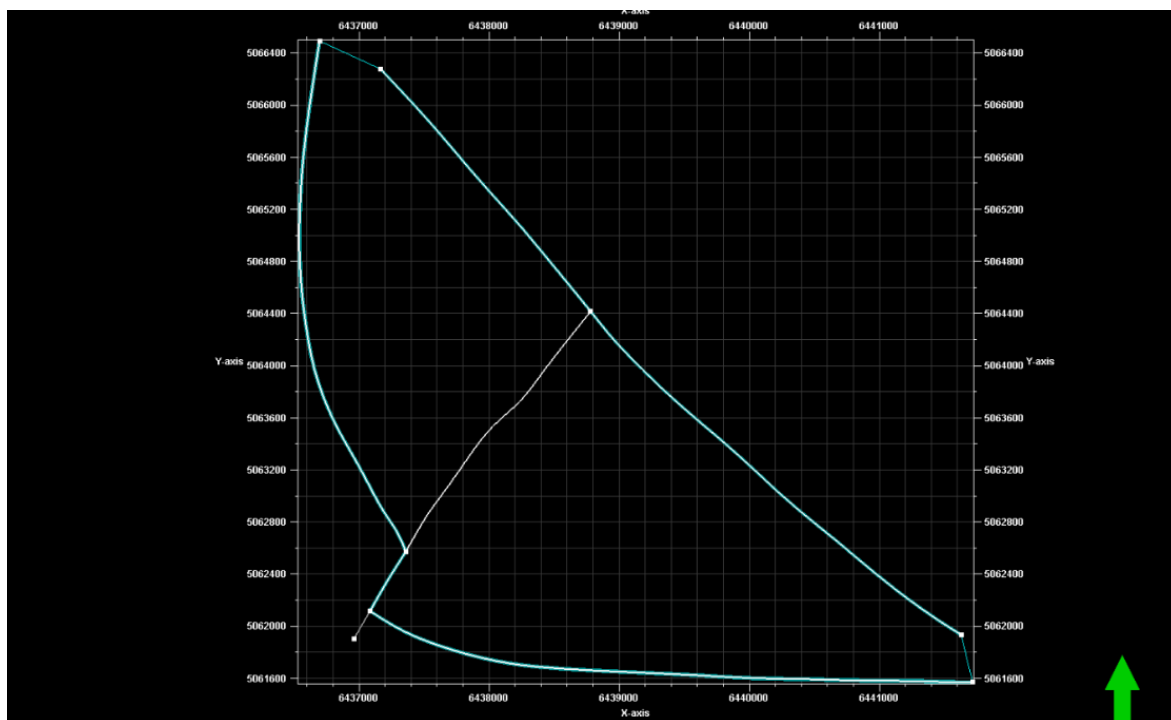


**Slika 5-17.** Ispravljani „pillari“ i konačan izgled rasjeda korištenih u izradi modela

U procesu „*horizon modeling*“ kreirani su horizonti koji moraju biti postavljeni u pravilnom stratigrafskom odnosu da bi izrada preliminarnog modela bila valjana.

Sljedeći korak u izradi je proces koji se naziva „*corner point gridding*“. To je proces izrade strukturnog modela podzemlja i podijeljen je u tri postupka: „*fault modeling*“, „*pillar gridding*“ i „*make horizons*“.

Unutar alata „*fault modeling*“ definiraju se rasjedi unutar geološkog modela koji će poslužiti kao osnova za izradu „*3D grida*“, odnosno 3D mreže (slika 5-19), a samim time će činiti i njenu granicu „*boundary*“, što je prikazano na slici 5-18.



**Slika 5-18.** Označavanje granice modeliranog područja uz podjelu na dva segmenta

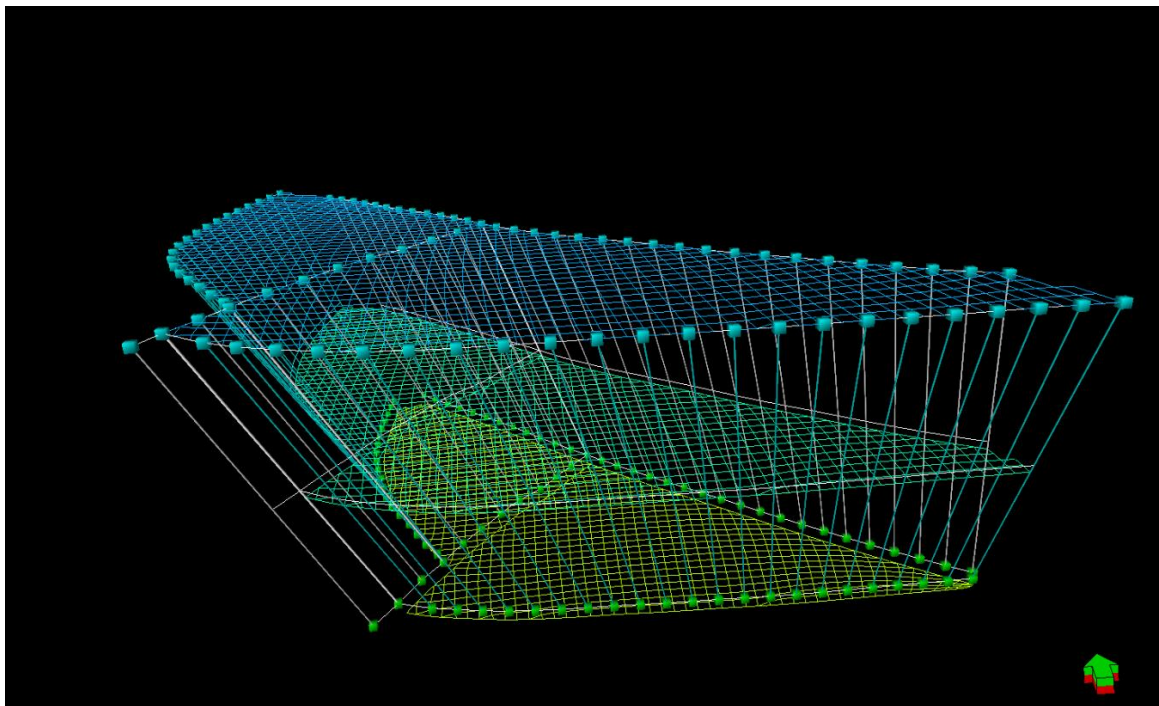
„*Pillar gridding*“ je postupak u kojem se generira trodimenzionalna mreža iz već izrađenog „*fault modela*“. Jednostavno rečeno, mreža predstavlja model koji je podijeljen 3D prizmama koje se nazivaju ćelije (ili mrežne ćelije), i svaka predstavlja, ovisno o svojstvu koje se odabere, recimo: tip stijene, različite vrijednosti svojstava, od permeabilnosti, poroznosti, zasićenja vodom i dr.

Rezolucija mreže se također može podešavati, pri čemu viša rezolucija označava veći broj ćelija i njenu veću kompleksnost, što je dobro za kvalitetu rezultata, ali buduće modeliranje

može iziskivati puno vremena za procesuiranje podataka na računalu, dok se kod jednostavnijih izračuna s nižom rezolucijom može testirati više različitih mogućnosti u relativno kratkom vremenu. Trodimenzionalna mreža predstavlja jednu verziju geometrije ležišta, ali kao što je već navedeno, može sadržavati neograničen broj različitih svojstava, ovisno o količini podataka koje korisnik posjeduje i može uključiti u model.

Korak „*make horizons*“ definira vertikalnu slojevitost trodimenzionalne mreže u kojem ulazne podatke mogu predstavljati primjerice interpretirane seizmičke sekcije (profili), bušotinski podaci, ili u ovom slučaju, konstruirane površine horizonata.

Nakon što je model izrađen, moguće ga je poboljšavati, raditi preinake i koristiti različite setove alata za poboljšanje rezultata.



**Slika 5-19.** Prikaz generiranog „grida“ (mreže) s „Top“, „Mid“ i „Base“ skeleton gridom



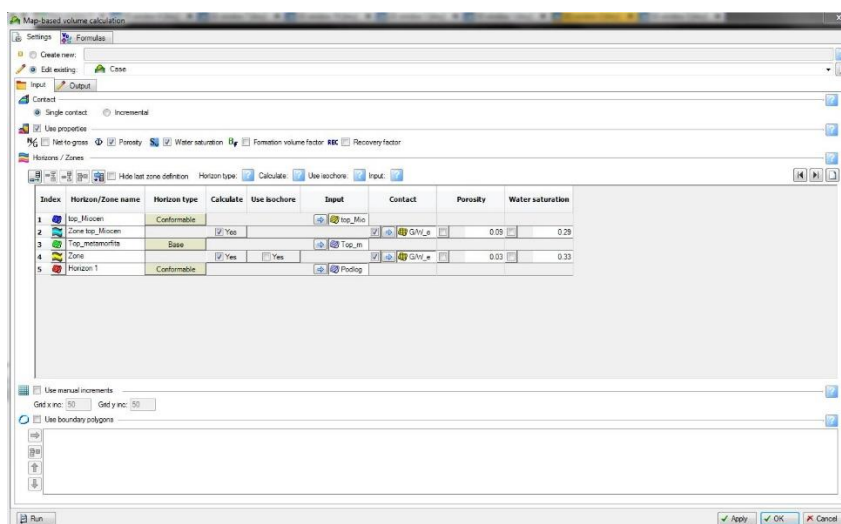
## 6. REZULTATI

U izradi modela ležišta korištene su vrijednosti svojstava prikazane u **Tablici 6-1**. Pomoću rasjeda smo odredili granicu („*boundary*“) modeliranog područja (**Slika 5-18 i 5-19**) i podijelili ga na dva bloka („*segment*“) zbog drugačijih svojstava i vrijednosti poroznosti, početnog zasićenja vodom (**Slika 6-2 i 6-3**) i obujamskog faktora za plin pri ležišnim uvjetima. Također, vrijednosti su se razlikovale i u različitim zonama (koje su bile određene dvama facijesima: „*metamorfiti*“ i „*vapnenci*“).

Pod okvirom „*Utilities*“ može se pronaći alat „*Volume calculations*“ u kojem započinje kalkulacija rezervi ležišta.

**Tablica 6-1.** Vrijednosti parametara korištenih u 3D modeliranju područja

Segment	Litofacijes (Zona)	Poroznost $\Phi$ (-)	Prosječno zasićenje vodom $S_{wi}$ (%)	Obujamski faktor za plin $B_{gi}$ ( $m^3/m^3$ )
1	vapnenci (1)	8,6	27,4	0,012516
	metamorfiti (2)	4,0	37,1	0,012516
2	vapnenci (1)	9,8	25,9	0,012312
	metamorfiti (2)	2,0	30,0	0,012312



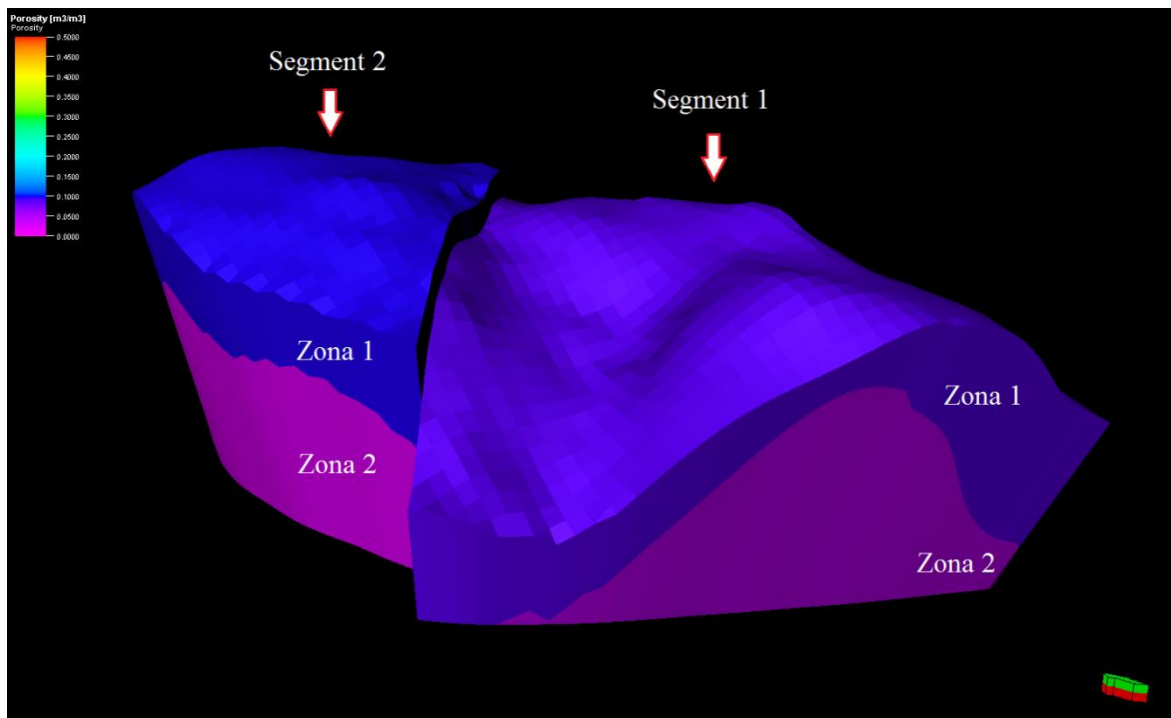
**Slika 6-1.** Map based volume calculation dijaloški okvir

Svi dostupni parametri su uneseni unutar alata „*Map based volume calculation*“ (**Slika 6-1**), označena je ploha kontakta plin/voda (program će računati volumene samo iznad tog dijela plohe) i određeni su „*properties*“ odnosno svojstva koja je moguće dobiti s obzirom na ograničenost podataka, dok su formule korištene pri izračunu u programu prikazane na **slici 6-14**.

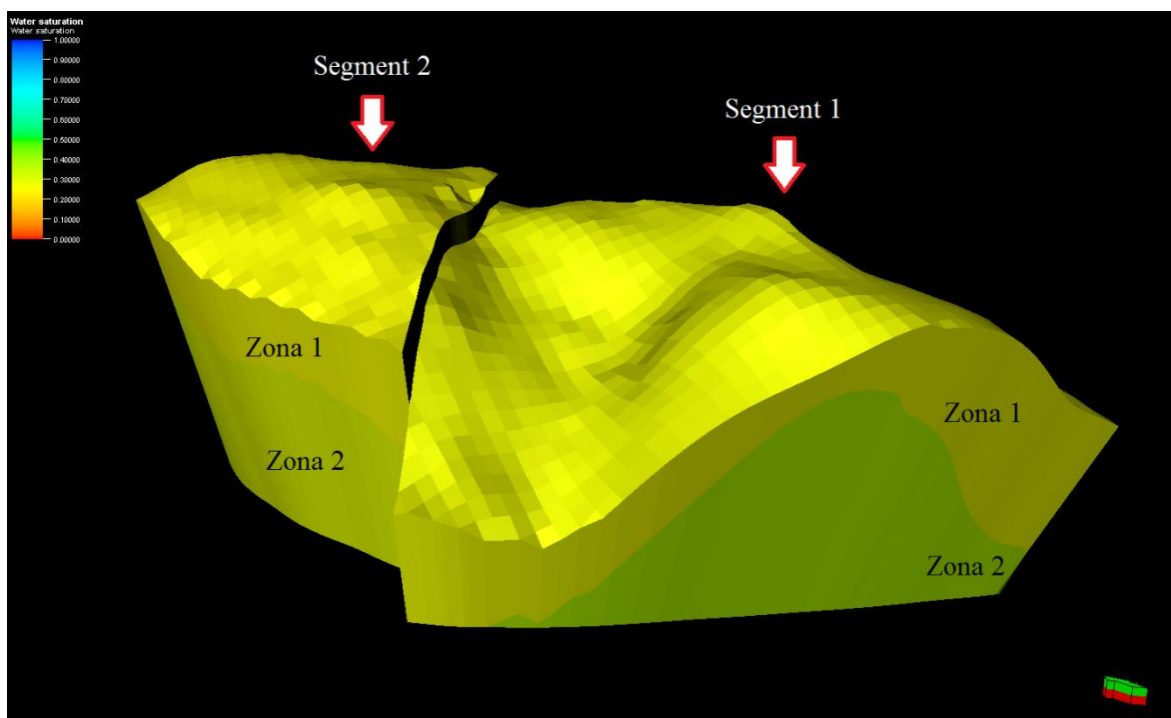
Rezultati, tj. „*properties*“ koji su dobiveni uključuju trodimenzionalne prikaze NTG parametra (**Slika 6-4 i 6-5**), odnosno, „*net to gross ratio*“ što označava odnos efektivne (neto) debljine i ukupne (bruto) produktivne debljine ležišta (PERIĆ, 2007). Sljedeći parametar se odnosi na ukupni volumen ležišta (engl. GRV – „*gross rock volume*“, odnosno „*bulk volume*“), prikazan na horizontu podloga neogena (**Slika 6-6**), kao i na horizontu krovina badena (**Slika 6-7**). Efektivni volumen ležišta (engl. NRV – „*net rock volume*“) prikazan je na **slici 6-8 i 6-9**, a označava prostor u kojem su pore propusnih slojeva ispunjene fluidima.

„*Net pore volume*“ odnosno NPV označava volumen pora koji je ispunjen ugljikovodicima, a vidi se na **slikama 6-10 i 6-11**. Parametar GIIP (engl. „*Gas initially in place*“) označava zadnju vrijednost koja je dobivena modeliranjem testnog polja i odnosi se na volumen ugljikovodika (u ovom slučaju plina) pri standardnim površinskim uvjetima. To ne znači da su to rezerve koje su pridobive, već znači da ukoliko bi iscrpak bio 100%, toliki volumen bi plin zauzeo, što je naravno nemoguće. GIIP je prikazan na **slikama 6-12 i 6-13**.

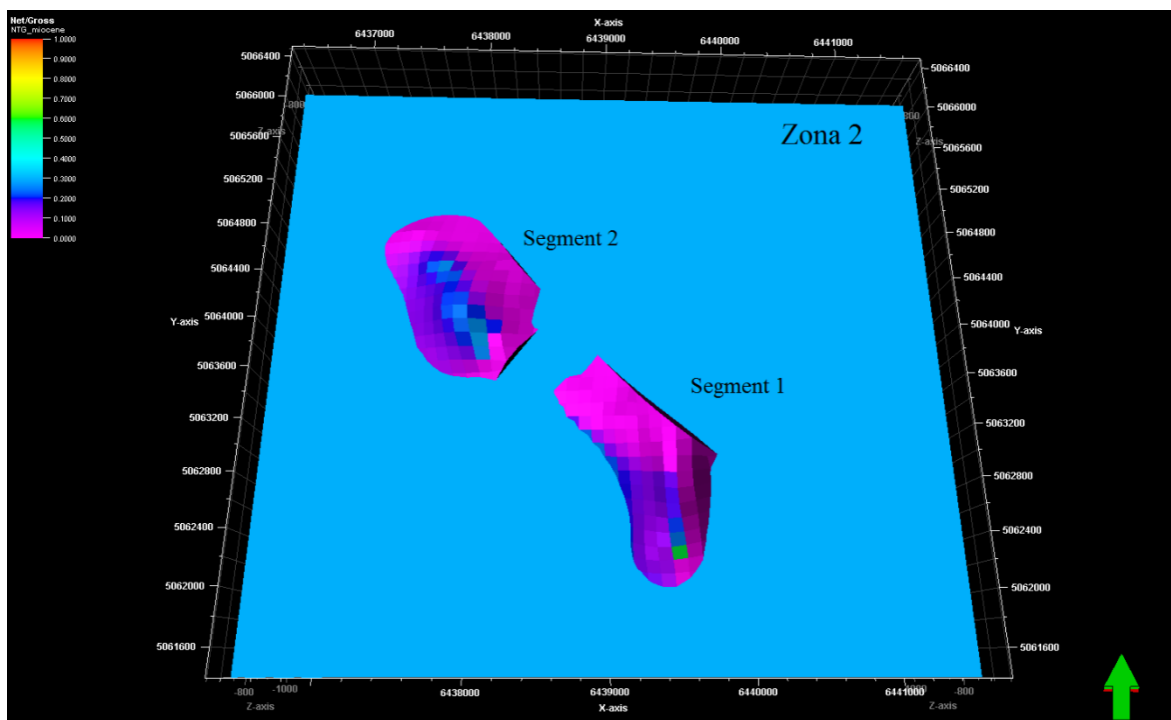
Rezultati su vizualno prikazani u obliku određenog broja 3D prizmi od kojih svaka pojedinačno ima određenu vrijednost izraženu u m<sup>3</sup> (GRV, NRV, NPV i GIIP), odnosno svaka prikazuje dio volumena na točno određenom području, dok su kod NTG-a ćelije odnosno 3D prizme izražene vrijednošću između 0 i 1.



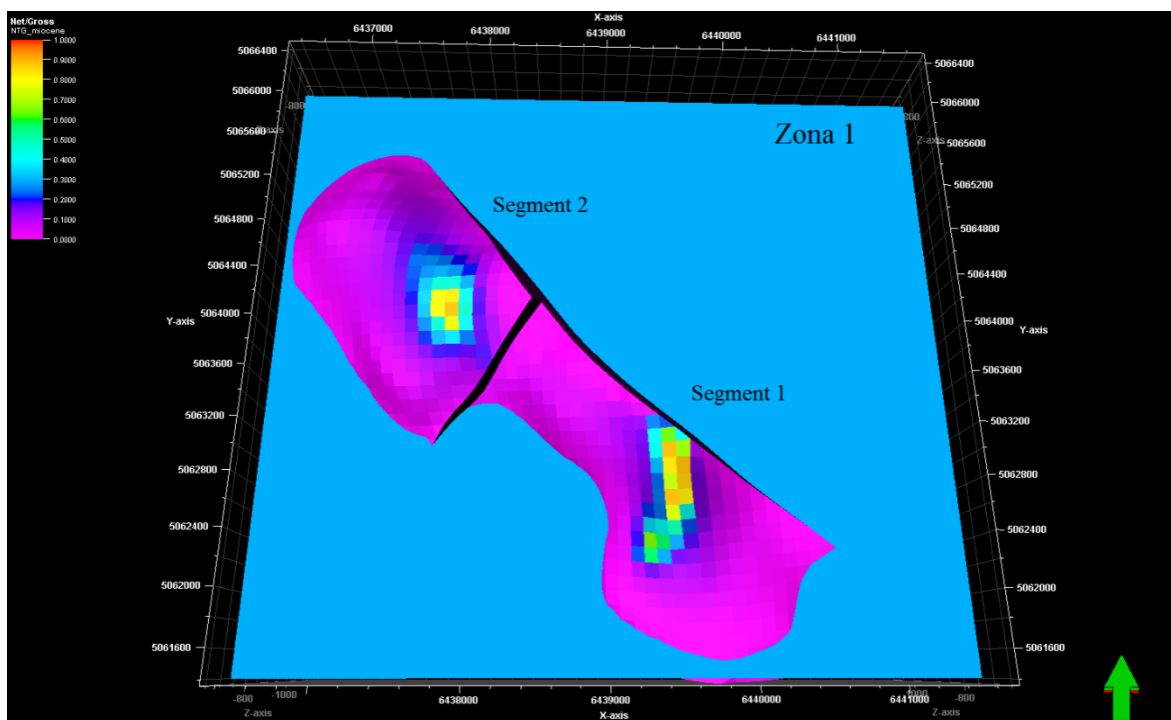
**Slika 6-2.** Vrijednosti poroznosti (šupljikavosti) unutar različitih zona i segmenata



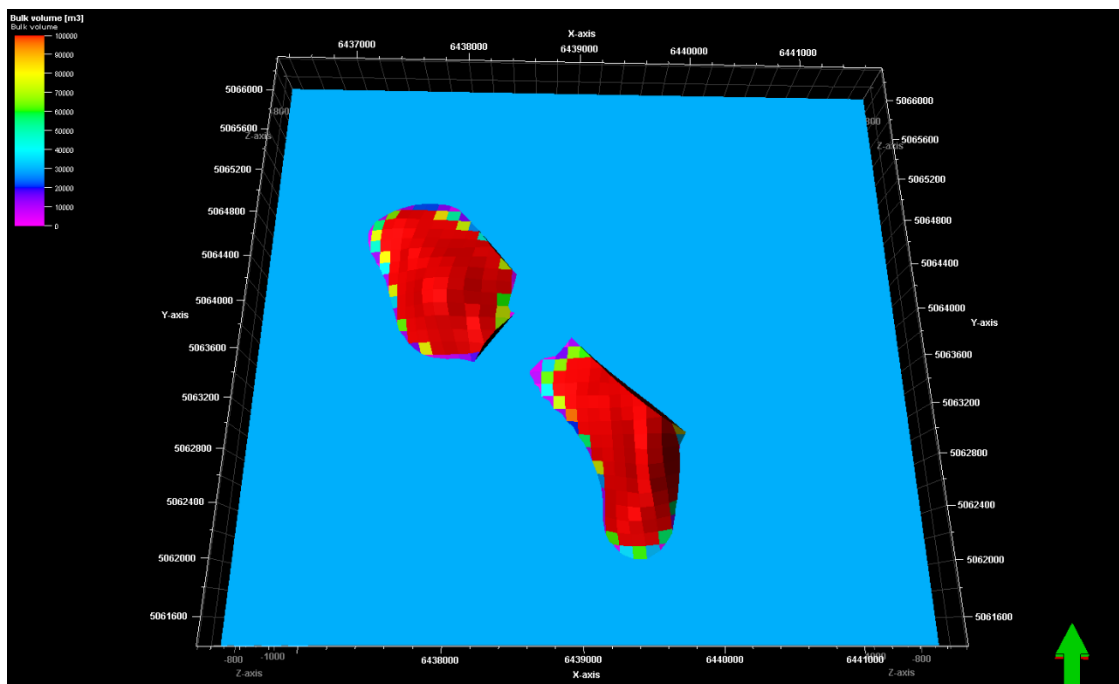
**Slika 6-3.** Početno zasićenje (saturiranost) vodom,  $S_{wi}$



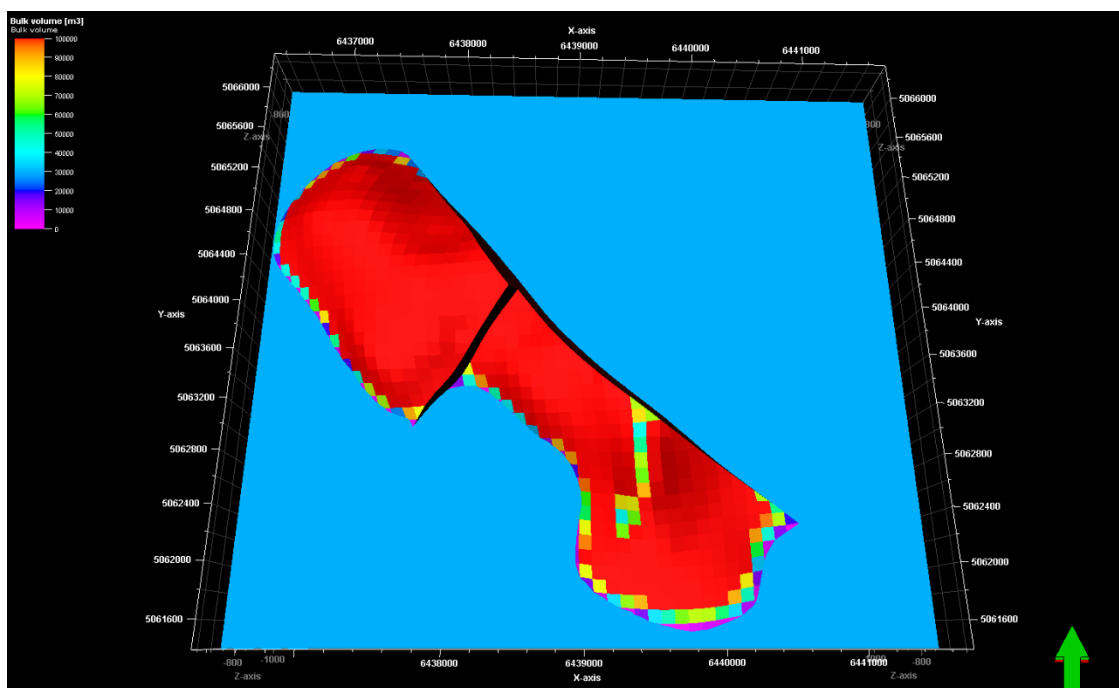
**Slika 6-4.** NTG – omjer efektivne (neto) i ukupne (bruto) produktivne debljine (interval između kontakta/plin voda do plohe podloge neogena)



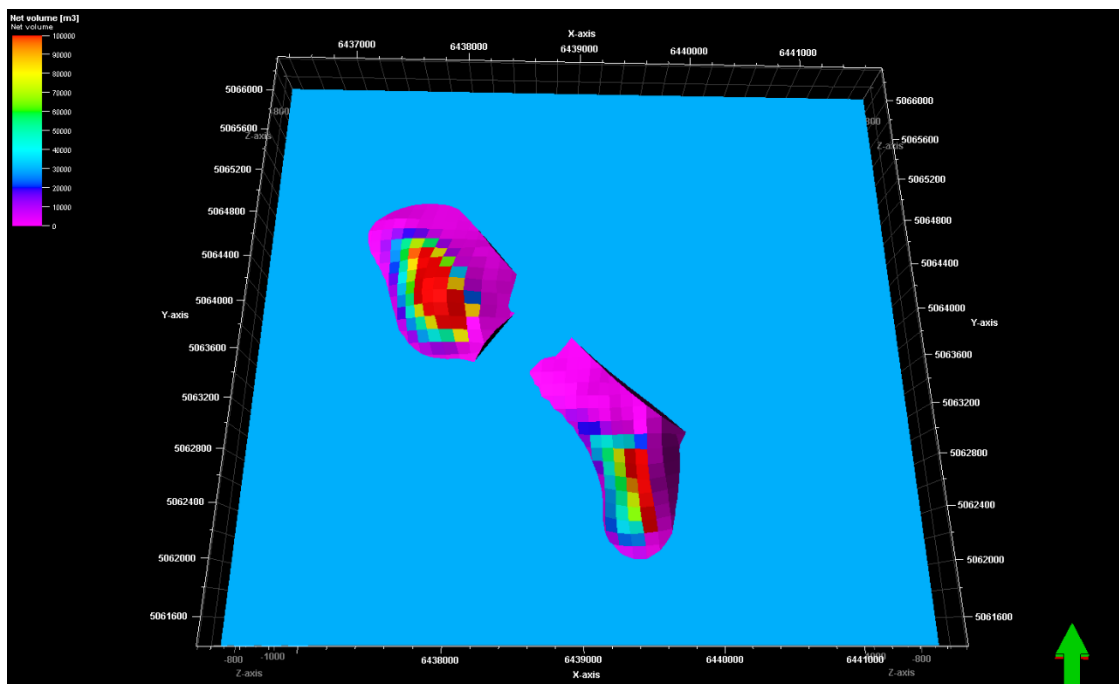
**Slika 6-5.** NTG – omjer efektivne (neto) i ukupne (bruto) produktivne debljine (interval između podloge neogena i krovine badena)



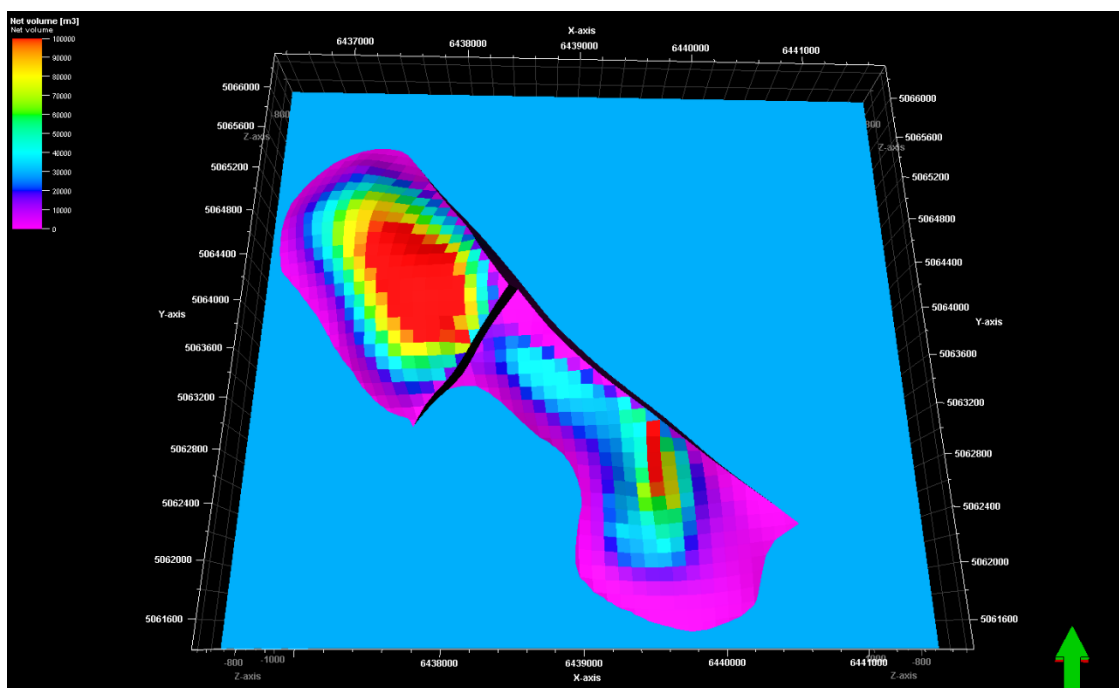
**Slika 6-6.** GRV – prikaz volumena svake ćelije pojedinačno u  $m^3$  (interval između kontakta/plin voda i plohe podloge neogena)



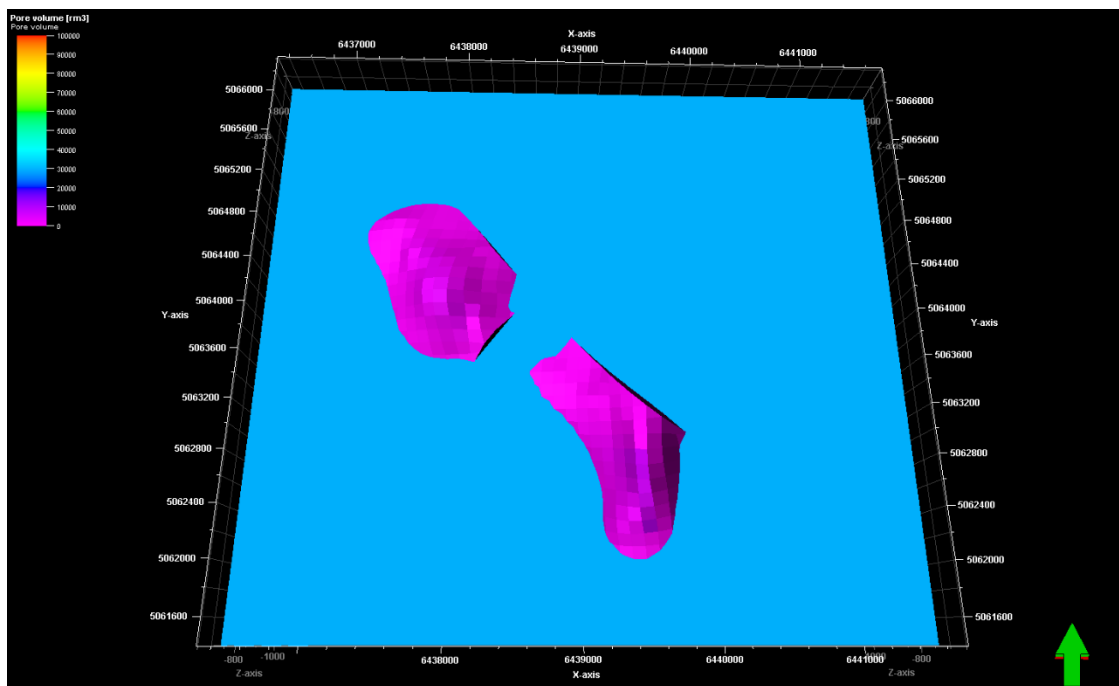
**Slika 6-7.** GRV – prikaz volumena svake ćelije pojedinačno u  $m^3$  (interval između podloge neogena i krovine badena ili kontakta plin/voda i krovine badena)



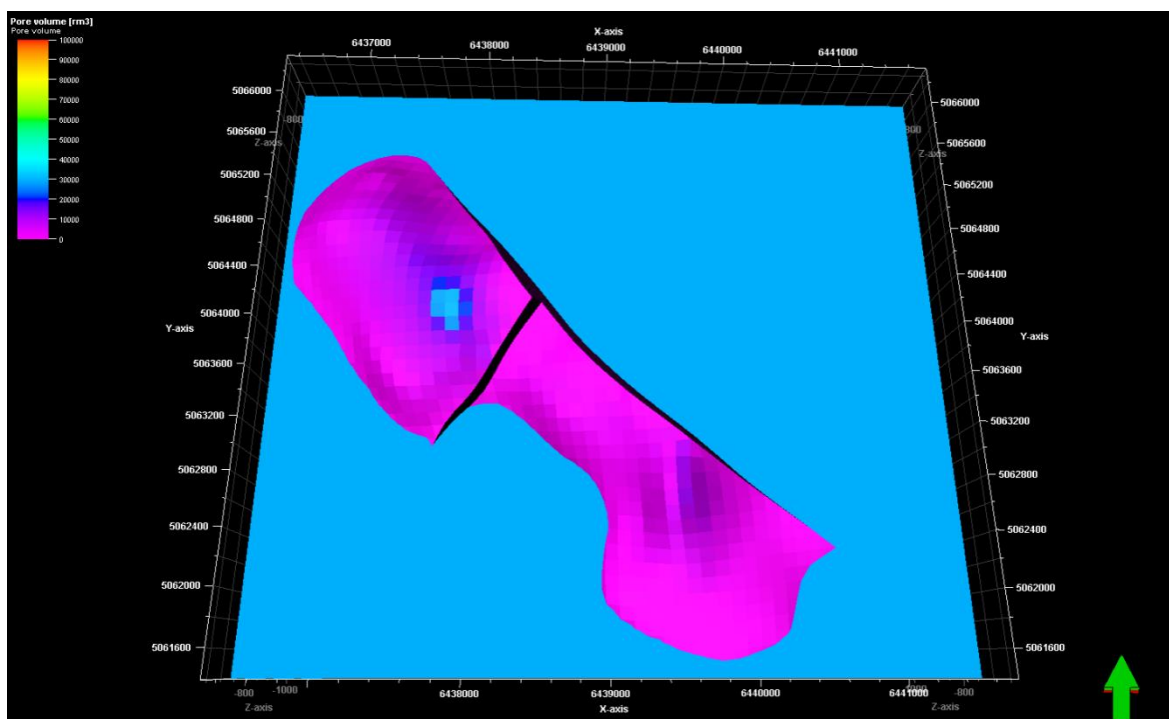
**Slika 6-8.** NRV – efektivni volumen ležišta prikazan pomoću volumena svake pojedine ćelije u  $m^3$  (interval između kontakta/plin voda do plohe podloge neogena)



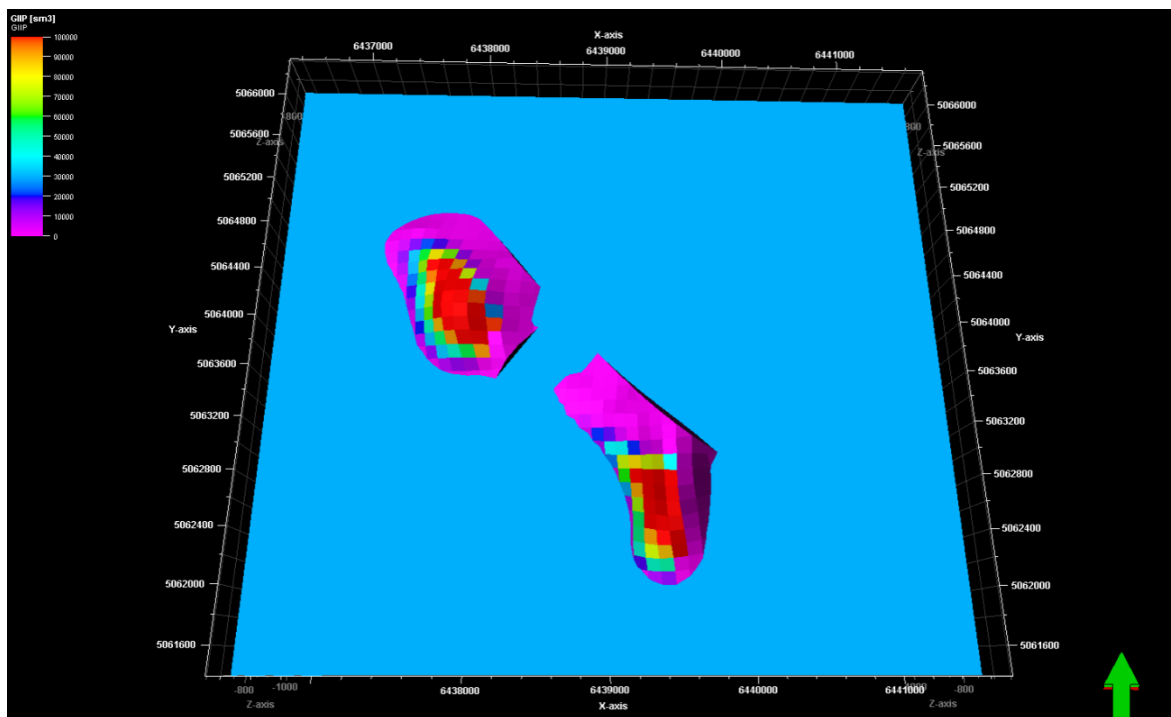
**Slika 6-9.** NRV – efektivni volumen ležišta prikazan pomoću volumena svake pojedine ćelije u  $m^3$  (interval između podloge neogena i krovine badena ili kontakta plin/voda i krovine badena)



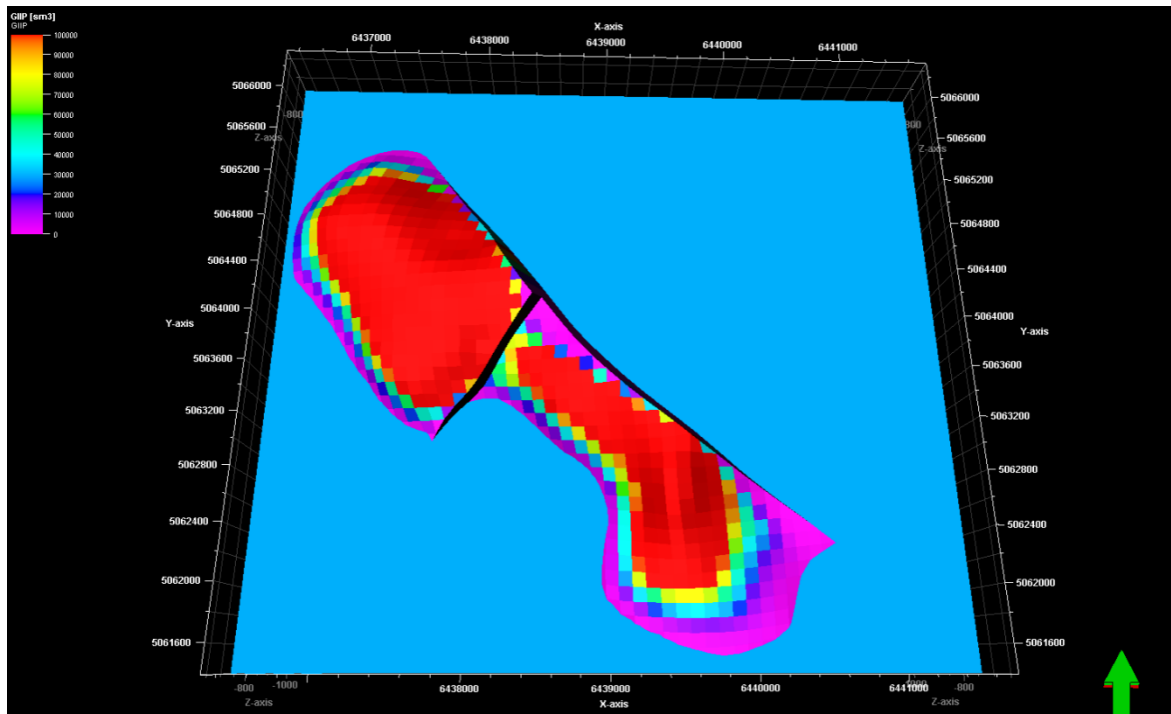
Slika 6-10. NPV – prikaz volumen pora pomoću 3D prizmi u  $m^3$  (interval između kontakta/plin voda do plohe podloge neogena)



Slika 6-11. NPV – prikaz volumena pora pomoću 3D prizmi u  $m^3$  (interval između podloge neogena i krovine badena ili kontakta plin/voda i krovine badena)



**Slika 6-12.** *GIP - volumen plina pri standardnim površinskim uvjetima u m<sup>3</sup> (interval između kontakta/plin voda do plohe podloge neogena)*



**Slika 6-13.** *GIP - volumen plina pri standardnim površinskim uvjetima u m<sup>3</sup> (interval između podloge neogena i krovine badena ili kontakta plin/voda i krovine badena)*



## 6.1. Izračun rezervi plinskog polja

U Hrvatskoj klasifikacijski sustav podjele rezervi ugljikovodika vrijedi prema dokumentu naziva „Pravilnik o prikupljanju podataka, načinu evidentiranja i utvrđivanja rezervi mineralnih sirovina te o izradi bilance tih rezervi“ (NN 48/1992). U svijetu postoji i koristi se čitav niz klasifikacijskih sustava, odnosno načina kategorizacija rezervi ugljikovodika, a kao preporučeni svjetski standard smatra se podjela koju su dogovorile i usvojile organizacije SPE, WPC i AAPG. Rezerve možemo podijeliti prema vrsti u: dokazane (*proven*), vjerojatne (*probable*) i moguće (*possible*); ili u primarne i sekundarne, ili, npr kao razrađene i nerazrađene (VELIĆ et al., 2015).

Prema VELIĆ et al. (2015): „*dokazane rezerve su dobro određene bušenjem te potvrđene geološkom i ekonomskom vjerojatnošću. Dokazane razrađene rezerve su ekonomski pridobive s postojećim tehnološkim metodama. Vjerojatne rezerve su procijenjene na temelju geološkog rješenja, a predstavljaju produžetak postojećeg ležišta. Vjerojatnost njihove proizvodnje je 50%. Moguće rezerve mogu se pretpostaviti na temelju geološkog rješenja uz vjerojatnost od 25%.“*

Također, prema važećem Pravilniku, rezerve prema stupnju istraženosti i poznavanju kakvoće možemo svrstati u utvrđene i potencijalne rezerve. Utvrđene se dijele na kategorije A, B i C<sub>1</sub>, a potencijalne na kategorije C<sub>2</sub>, D<sub>1</sub> i D<sub>2</sub>. Također, rezerve ugljikovodika kategorije A, B i C<sub>1</sub> se razvrstavaju u bilančne i izvanbilančne. U bilančne rezerve spadaju utvrđene količine ugljikovodika koje se poznatom tehnikom i tehnologijom mogu rentabilno eksploatirati, a u izvanbilančne spadaju one utvrđene rezerve koje se poznatom tehnikom i tehnologijom ne mogu eksploatirati (nepridobive) i one koje se poznatom tehnikom i tehnologijom ne mogu rentabilno eksploatirati (nerentabilne) (VELIĆ et al., 2015).

U izračunu rezervi plina u ovom radu korištena je volumetrijska metoda, a izračunate su rezerve C<sub>1</sub> kategorije koje su prikazane kao GIIP vrijednost u **Tablici 2**. Formule koje su korištene prilikom izračuna prikazane su kao izrazi od (6-1) do (6-5). Ukupne rezerve iznose 128 123 203 m<sup>3</sup>, a podijeljene su na dva segmenta i dvije zone. Unutar Segmenta 1 utvrđene rezerve u Zoni 1 (litofacijes „vapnenci“) iznose 25 688 319 m<sup>3</sup>, a unutar Zone 2 istog segmenta (litofacijes „metamorfiti“) 4 884 112 m<sup>3</sup>. U Segmentu 2, unutar Zone 1 utvrđene rezerve iznose 92 549 879 m<sup>3</sup>, a u Zoni 2 ta je vrijednost 4 980 893 m<sup>3</sup>.

Formule korištene pri izračunu volumena i rezervi ležišta:

$$NRV = GRV * N/G \quad (6-1)$$

$$NPV = GRV * N/G * \phi \quad (6-2)$$

$$HCPV = NPV * S_{gi} \quad (6-3)$$

$$S_{gi} = 1 - S_{wi} \quad (6-4)$$

$$GIIP = HCPV / B_{gi} \quad (6-5)$$

Gdje su:

$GRV =$  ukupni volumen ležišta ( $m^3$ )

$NRV =$  efektivni volumen ležišta ( $m^3$ )

$N/G =$  omjer efektivne i produktivne debljine ležišta (-)

$NPV =$  volumen pora ( $m^3$ )

$\Phi =$  poroznost (šupljikavost) stijene (%)

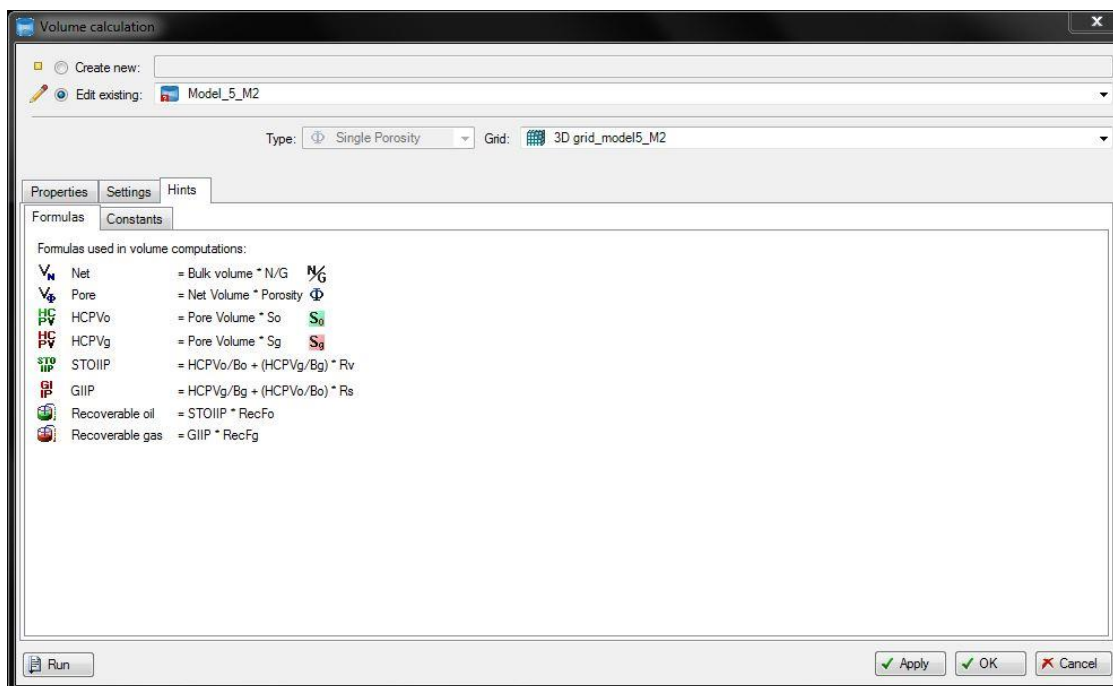
$HCPV =$  volumen plina pri ležišnim uvjetima ( $m^3$ )

$S_{gi} =$  početno zasićenje plinom (%)

$S_{wi} =$  početno zasićenje vodom (%)

$GIIP =$  volumen plina pri standardnim površinskim uvjetima ( $m^3$ )

$B_{gi} =$  obujamski faktor za plin pri početnim ležišnim uvjetima ( $m^3/m^3$ )



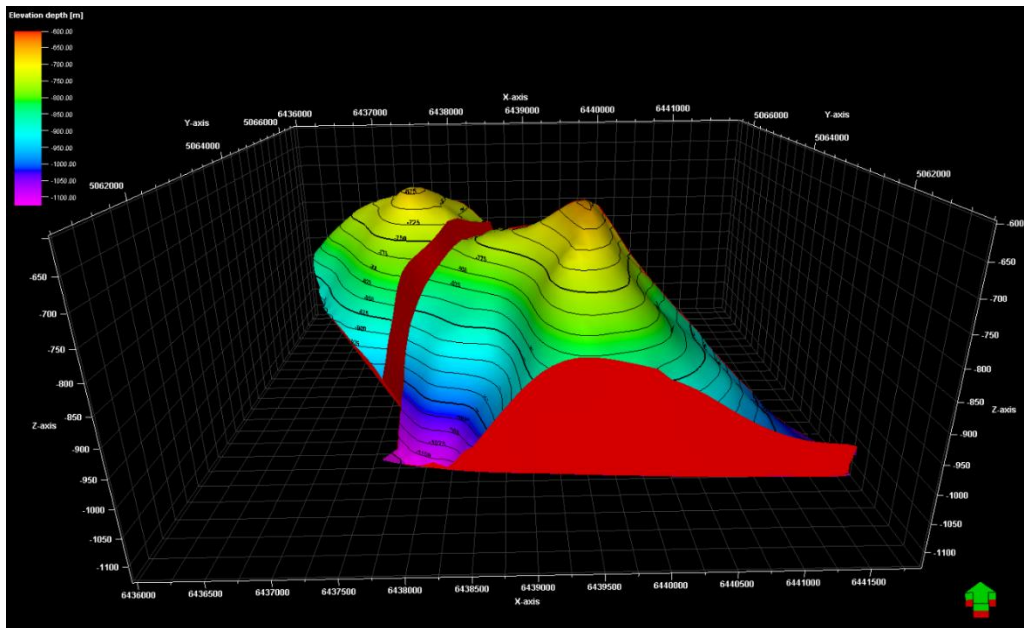
Slika 6-14. Dijaloški okvir – Volume calculation (prikaz formula)

Tablica 6-2. Izračun rezervi plina

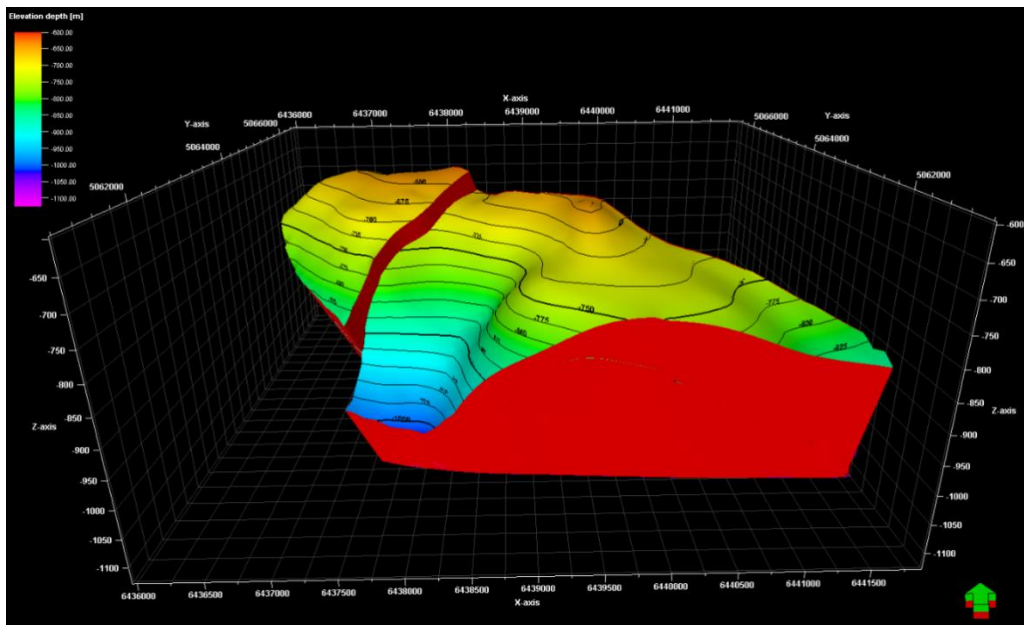
Segment	Zona	Ukupni volumen GRV (m <sup>3</sup> )	Efektivni volumen NRV (m <sup>3</sup> )	Volumen pora NPV (m <sup>3</sup> )	Vol. plina pri lež. uvj. HVCP (m <sup>3</sup> )	Vol. plina pri stand. uvj. GIIP (m <sup>3</sup> )
Segment 1	Zona 1	78 837 695	5 149 513	442 858	321 515	25 688 319
Segment 1	Zona 2	39 280 294	2 429 632	97 185	61 130	4 884 112
Segment 2	Zona 1	155 883 160	15 691 345	1 537 752	1 139 474	92 549 879
Segment 2	Zona 2	34 955 244	4 380 340	87 607	61 325	4 980 893
	<b>Ukupno</b>	<b>308 956 393</b>	<b>27 650 830</b>	<b>2 165 402</b>	<b>1 583 444</b>	<b>128 103 203</b>

## 6.2. Prikaz završnog izgleda geološkog modela

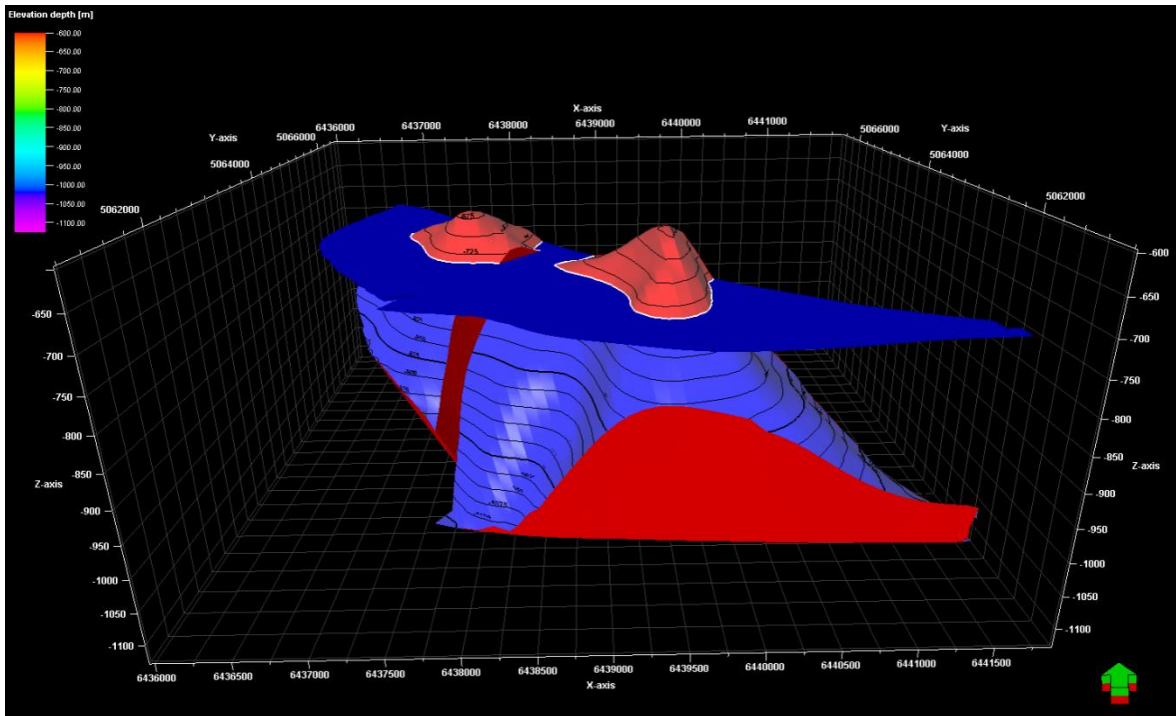
U ovom dijelu rada prikazani su rezultati modeliranja testnog ležišta u Bjelovarskoj subdepresiji. Trodimenzionalna vizualizacija prikazuje izgled modela na horizontu podloga neogena (Slika 6-15), te na horizontu krovina badena (Slika 6-16). Također, prikazan je izgled modela s presjekom na -737 metara, odnosno na kontaktu plin/voda na već spomenutim horizontima (Slika 6-17 i 6-18)



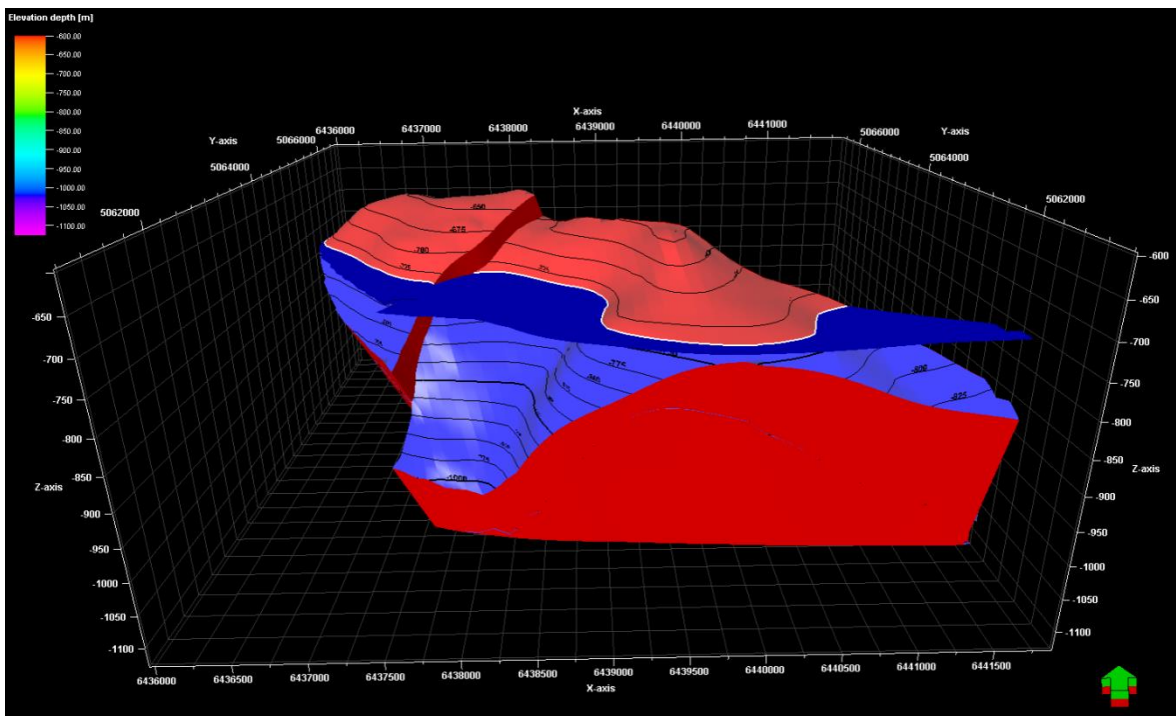
Slika 6-15. 3D prikaz modela po podlozi neogena



Slika 6-16. 3D prikaz modela po krovini badena

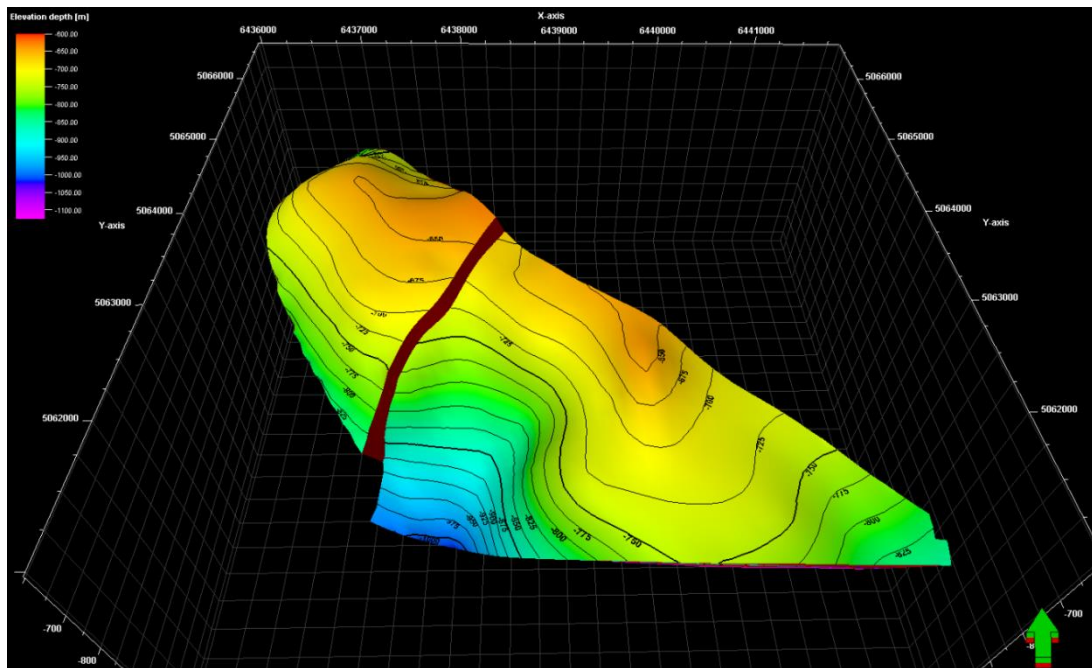


Slika 6-17. 3D prikaz modela po podlozi neogena s označenim kontaktom plin/voda

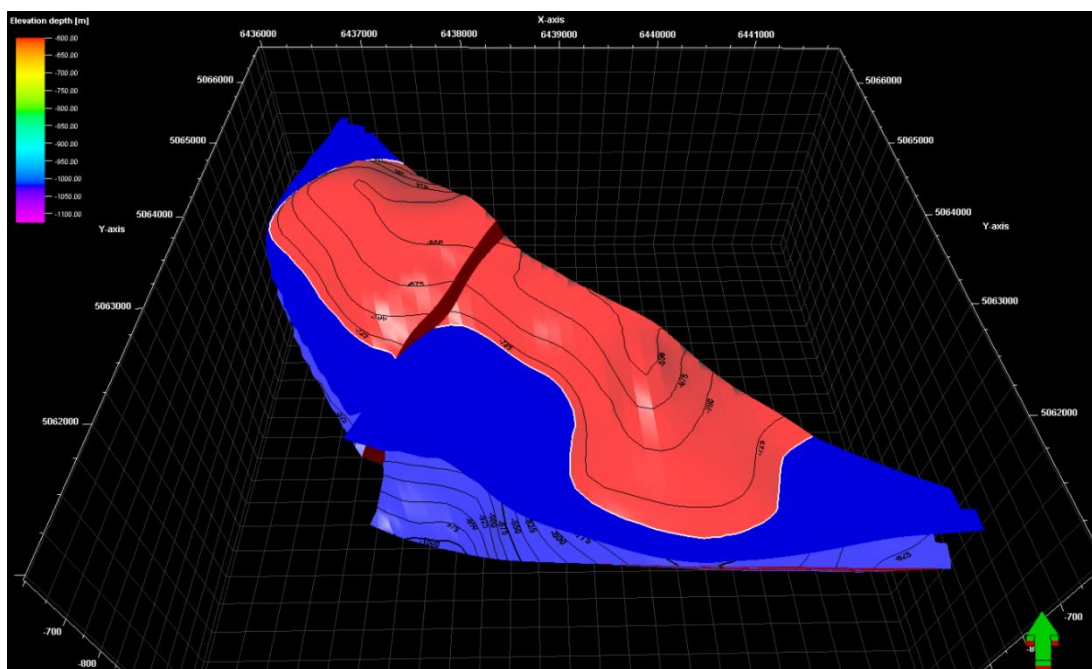


Slika 6-18. 3D prikaz modela po krovini badena s označenim kontaktom plin/voda

Na modelu su vidljivi rasjedi koji omeđuju strukturu i koji je sijeku (poput poprečnog rasjeda pružanja SI-JZ). Također, vidljiva su dva vrha na izduženoj antiklinali koji zapravo čine dva bloka (segmenta) ležišta (**Slika 6-19**). Na **slici 6-20** vidimo kontakt plin/voda iznad kojeg je smješteno ležište. U **prilozima I i II** prikazane su digitalizirane strukturne karte i na njima izgled antiklinala te njeno pružanje. Prikazan je i normalni rasjed čije je podinsko, sjeverozapadno krilo uzdignuto.



**Slika 6-19.** Završni prikaz modeliranog područja



**Slika 6-20.** Završni prikaz modela ležišta s označenim kontaktom plin/voda

## 7. ZAKLJUČAK

Cilj ovog diplomskog rada bio je digitalizirati strukturne karte, na temelju njih izraditi trodimenzionalni model podzemlja i uz korištenje određenih parametara poput poroznosti, inicijalnog zasićenja vodom te obujamskog faktora za plin (**Tablica 6-1**) izračunati volumen i rezerve ležišta (**Tablica 6-2**) te prikazati konačan izgled digitaliziranih strukturnih karata krovine badena i podloge neogena (**Prilog I i II**).

Dobiven je inicijalni model podzemlja (**Slike 6-15 do 6-20**) te su izračunate rezerve, koje iznose 1 583 444 m<sup>3</sup> pri ležišnim uvjetima (HCPV), odnosno 128 103 203 m<sup>3</sup> pri standardnim površinskim uvjetima (GIIP). Uvođenjem više različitih parametara, npr. podacima dobivenim iz novih bušotina, ili novim seizmičkim mjerenjima (i izradom seizmičkih profila) model se može nadograđivati, reinterpreirati i ispravljati da bi se dobili kvalitetniji i vrijedniji podatci. Na taj način bi se mogle ponovno izračunati rezerve i provjeriti njihova točnost, a također s više ulaznih podataka se može odrediti optimalni način, količina i brzina crpljenja ležišta. Također, poznavanjem ležišnih uvjeta može se odrediti i režim iscrpljivanja ležišta i procijeniti koji se postotak iscrpka može postići.

Na kraju se može reći, posjedujući što više podataka, model postaje sve pouzdaniji. Naravno, treba uzeti u obzir i ekonomski aspekt i isplativost same investicije, jer svaki sljedeći korak u istraživanju znači dodatna ulaganja. To u krajnjem slučaju zapravo i je presudan parametar za nastavak ili odustajanje od daljnjeg istraživanja i/ili eksploatacije bilo kojeg ležišta, a podložan je rapidnim promjenama na tržištu koje se konstantno mijenja. Upravo je u donošenju ovakvih odluka zato bitno imati dobar model ležišta u softveru za modeliranje kakav je Petrel, jer se na taj način može brže reagirati na bilo koju vrstu promjena (prirodnih, tehničkih ili ekonomskih) i postići istovremeno i veća točnost, sigurnost i ekonomičnost.

## 8. LITERATURA

### Objavljeni radovi

MALVIĆ, T. (1998): Strukturni i tektonski odnosi, te značajke ugljikovodika širega područja naftnoga polja Galovac-Pavljani. Magistarski rad. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 111 str.

MALVIĆ, T. (2003): Naftnogeološki odnosi i vjerojatnost pronalaska novih zaliha ugljikovodika u Bjelovarskoj uleknini. Doktorska disertacija. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 123 str.

MALVIĆ, T. (2011): Geological maps of Neogene sediments in the Bjelovar Sub-depression (northern Croatia). *Journal of Maps*, 2011, 304-317.

MALVIĆ, T., SAFTIĆ, B. (2008): Dubinsko kartiranje. Fakultetska skripta. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 46 str.

PERIĆ, M. (2007): Englesko-hrvatski enciklopedijski rječnik istraživanja i proizvodnje nafte i plina.. INA, Industrija nafte d.d., Zagreb. 1038 str.

PANDŽIĆ, J. (1979): Podloga tercijara jugozapadnog dijela Panonskog bazena. Zbornik radova IV. god. znanstv. skupa I. sekc. ZSN JAZU – Stub. Toplice 1978, 33-44.

PAVELIĆ, D. (2001): Tectonostratigraphic Model for the North Croatian and North Bosnian sector of the Miocene Pannonian Basin System. *Blackwell Science, Basin Research*, 13, 359-376.

PRELOGOVIĆ, E. (1975): Neotektonska karta SR Hrvatske. *Geol. vjesnik*, 28, 97-108.

PRELOGOVIĆ, E., JAMIČIĆ, D., ALJINOVIĆ, B., SAFTIĆ, B., DRAGAŠ, M. (1995): Dinamika nastanka struktura južnog dijela Panonskog bazena. Zbornik radova 1. hrvat. geol. kongr. Opatija, knjiga 2, 481-486, Institut za geol. istraživanja, Zagreb.

RÖGL, F. (1996): Stratigraphic correlation of the Parathethys Oligocene and Miocene. *Mitteilungen Ges. Geol. Soc. Bergbaustudenten, Österreich*, 41, 65-73.

RÖGL, F. (1998): Palaeogeographic Consideration for Mediterranean and Paratethys Seaways (Oligocene to Miocene). *Ann. Naturhist. Mus. Wien*, 99A, 279-310.



ROYDEN, L., H.(1988): Late Cenozoic Tectonics of the Pannonian Basin System. AAPG Memoir 45 (Chap 3.) – The Pannonian Basin (ed. Royden, L. H. & Horváth, F.). AAPG, Tulsa, 27-48.

STEININGER, F., RÖGL, F., MÜLLER, C. (1978): Geodynamik und paläogeographische Entwicklung des Badenien. Chronostratigraphie und Neostratotypen Miozän der Zentralen Paratethys, Bd. VI, Verlag der Slowak. Akad. der Wissenschaften, Bratislava, 110-127.

ŠIMON, J. (1973): O nekim rezultatima regionalne korelacije litostratigrafskih jedinica u jugozapadnom području Panonskog bazena. Nafta, 24/12, 623 – 630.

VELIĆ, J., (2007): Geologija ležišta nafte i plina. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 342 str.

VELIĆ, J., MALVIĆ, T., CVETKOVIĆ, M. (2015): Geologija i istraživanje ležišta ugljikovodika. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 144 str.

VIDOVIĆ, M., RUKAVINA, M., SYRINEK, M., BIJELIĆ, J., MILINOVIĆ-KOLUNDŽIĆ M. (1996): Bright Spot, AVO Inversion and Synthetic on Grubišno Polje Locality. Geologia Croatica 49/2, 317-322.

VRBANAC, B (1996): Paleostrukturalne i sedimentološke analize gornjopanonskih naslaga formacije Ivanić-Grad u Savskoj depresiji. Doktorska disertacija. Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološki odsjek, Sveučilište u Zagrebu, 303 str.

### **Neobjavljeni radovi**

PEHARDA, J., (2007): Studija o utjecaju na okoliš eksploatacije plina na eksploatacijskom polju Grubišno Polje. Fond. struč. dokum. Industrija nafte d.d., SD Naftaplin, Zagreb.

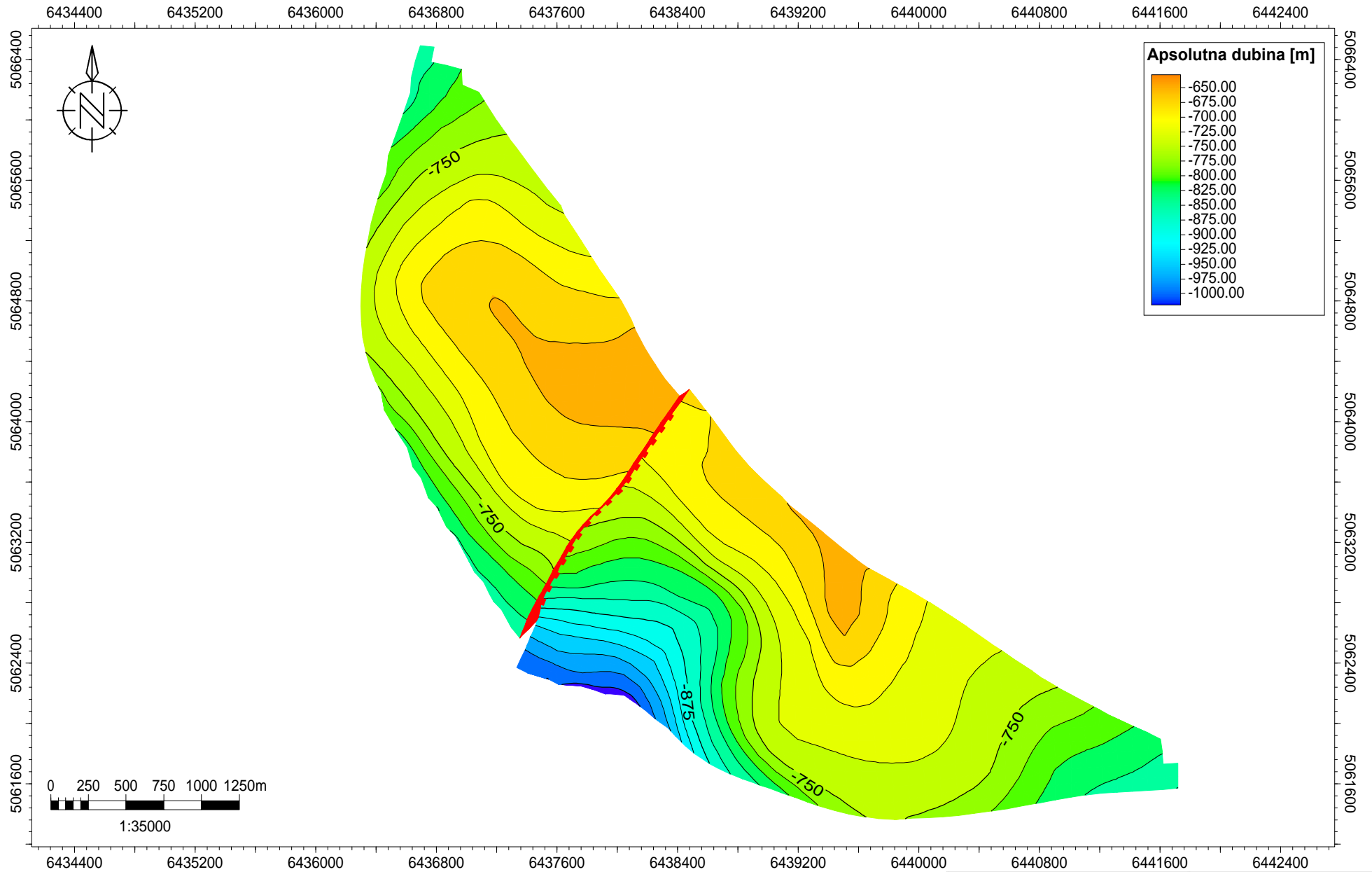
### **Internet izvori**

<http://www.esri.com/arcgis/about-arcgis> 2. rujna 14:00 sati

<https://www.software.slb.com/products/petrel> 3. rujna 09:30 sati

[http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/1992\\_08\\_48\\_1248.html](http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/1992_08_48_1248.html) 5.rujna 12:30 sati

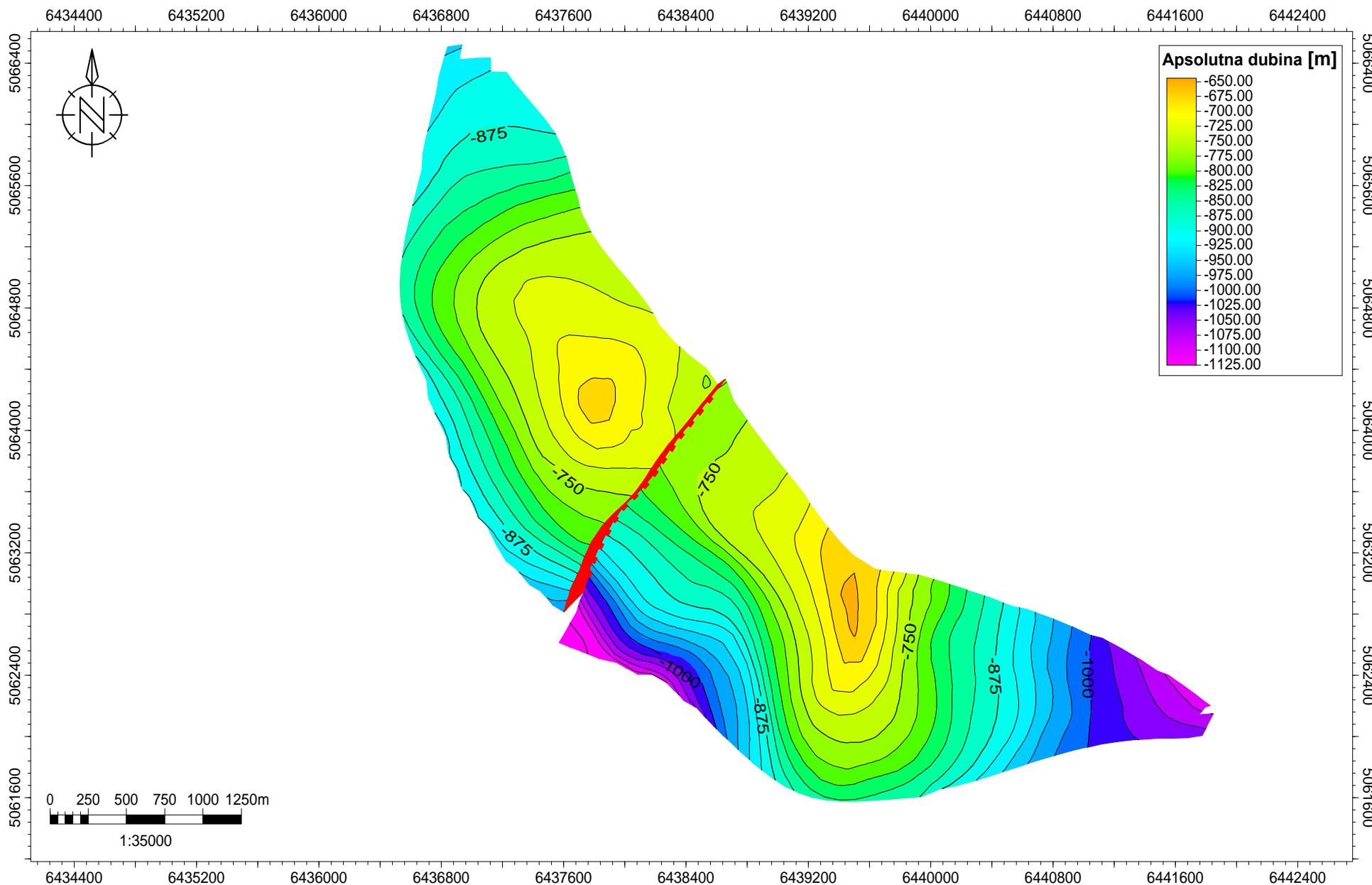
# STRUKTURNA KARTA PO KROVINI BADENA



## Legenda

- područje modeliranja
- stratoizohipse
- rasjed

# STRUKTURNA KARTA PO PODLOZI NEOGENA



## Legenda

- područje modeliranja
- stratoizohipse
- rasjed