

Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

Davorin Horvatinec

**RAČUNALNO GEOLOŠKO MODELIRANJE  
GORNJOPANONSKIH NAFTNO-PLINSKIH LEŽIŠTA U  
SAVSKOJ DEPRESIJI**



Zagreb, 2008.

**Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo**

**Davorin Horvatinec**

**RAČUNALNO GEOLOŠKO MODELIRANJE  
GORNJOPANONSKIH NAFTNO-PLINSKIH LEŽIŠTA U  
SAVSKOJ DEPRESIJI**

*Rad je napisan u Zavodu za geologiju i geološko inženjerstvo Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u Zagrebu, pod mentorstvom prof. dr. sc. Brune Saftića, dipl. ing. geologije i pod voditeljstvom dr. sc. Tomislava Malvića, dipl. ing. geologije kao voditelja izrade rada u INA-Industrija nafte d.d., te je predan na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2008./2009.*

Zagreb, 2008.

**SAŽETAK:** Načinjena je geostatistička analiza poroznosti odabranog ležišta naftnog polja Okoli.. Polje je smješteno otprilike 50 km jugoistočno od Zagreba, u zapadnom dijelu Savske depresije, najjužnije geotektonske provincije hrvatskoga dijela Panonskog bazena. Litološki sastav gornjomiocenskih ležišta naftnog polja Okoli uglavnom se sastoji od izmjene pješčenjaka i lapora. Pješčenjaci se odlikuju prilično visokom poroznošću (prosječno 18 %). Sedimentacijski sustav unutar kojeg su taloženi pješčenjaci panonske i pontske starosti u prostoru polja Okoli povezan je aktivnošću turbiditnih struja te postupnim smanjenjem razine vode koja je dosegla svoj minimum početkom ponts. Litostratigrafski pješčenjaci Okoli pripadaju formaciji Ivanić-Grad gornjopanonske starosti. Geostatistička analiza izvedena je stohastičkim metodama sekvencijskih Gaussovih simulacija. Simulacijom je dobiveno pedeset realizacija, tj. karata poroznosti promatranog ležišta te je sa statističke krivulje razdiobe realizacija na pravilnim udaljenostima izabrano šest karata, na osnovi čega je proračunat porni volumen promatranog ležišta koje je dio ležišne serije „c“.

**Ključne riječi:** poroznost, geostatistika, stohastičke simulacije, polje Okoli, Savska depresija

**SUMMARY:** In the selected reservoir of the Okoli field the porosity values are analysed by geostatistics. The Okoli field is located approx. 50 km on the SE from Zagreb, i.e. in the western part of the Sava depression. This depression is also the most southern geotectonic branch of the Croatian part of the Pannonian basin. The Upper Miocene reservoirs of the Okoli field are lithologically represented by monotonous alterations of sandstones and marls. The sandstones have the high porosity (about 18%). The depositional environment where the sandstone had been sedimented was characterised by turbidites and gradual decreasing of water level (with minimum in Early Pontian). Lithostratigraphic member Okoli sandstones is part of the formation Ivanić-Grad of Early Pannonian age. Geostatistical analysis is performed by stochastic approach using Sequential Gaussian Simulations. The simulation resulted in fifty realizations, i.e. porosity maps of selected reservoir. Six maps had been chosen from probability distribution curve in statistically regular distances and finally the reservoir pore volume had been calculated. The selected reservoir is a member of reservoir series “c”.

**Key words:** porosity, geostatistics, stochastic simulations, Okoli field, Sava depression

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. ZEMLJOPISNI POLOŽAJ I STRATIGRAFSKI ODNOSI.....	2
3. OPIS KORIŠTENIH RAČUNALNIH PROGRAMA.....	5
3.1. Računalni program „Variowin“.....	5
3.2. Računalni program „Petrel“.....	7
4. NEKE ČEŠĆE INTERPOLACIJSKE METODE.....	9
4.1. Metoda kriginga.....	9
4.2. Metoda kokriginga.....	11
4.3. Sekvencijske Gaussove simulacije.....	12
5. NAČINJENI VARIOGRAMSKI MODELI.....	15
5.1. Karta variogramske površine i eksperimentalni variogrami.....	15
5.2. Odabrani teorijski aproksimacijski modeli.....	16
6. GEOLOŠKI MODEL POLJA.....	18
7. PROCJENA POROZNOSTI SIMULACIJAMA U ODABRANOM LEŽIŠTU .....	22
7.1. Metoda sekvencijskih Gaussovih simulacija.....	22
7.2. Proračun volumena.....	24
8. ZAKLJUČAK.....	26
9. LITERATURA.....	28
9.1. Objavljeni radovi.....	28
9.2. Priručnici.....	29

# 1. UVOD

Geološki model je svaki skup geoloških podataka, suvislo prikazan kao jedna cjelina, koji opisuje odabrani prostor u podzemlju s odabranim geološkim varijablama. Odabrani skup varijabli mora biti dovoljan da se dobije jedan valjani geološki prikaz s jednoga dominantnog izvora podataka (sedimentološkoga, tektonskoga, naftogeološkoga i drugih) ili nekoliko njih ispravno povezanih. Takav model može biti napravljen preko karata, studija, korelacija i upotrebom drugih tehnika, radeći ručno, ali i upotrebom specijaliziranih računalnih programa. Geološki model koji je korišten pri sastavljanju ovog seminara izrađen je u računalnom programu Petrel™ tvrtke Schlumberger™. Program je namijenjen izrađivanju detaljnih geoloških modela na osnovi seizmičkih, karotažnih i geografskih podataka.

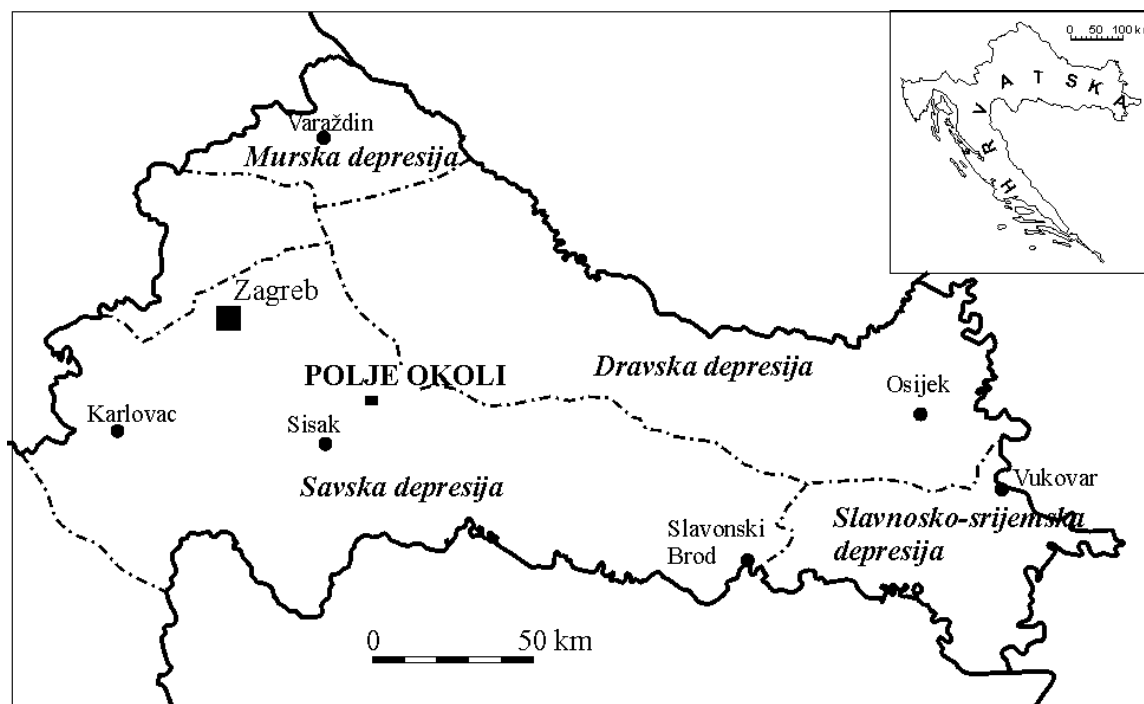
Rezultat rada programom Petrel je kvalitetno izrađen strukturno-tektonski i petrofizikalni model polja te izračun ukupnog volumena stijena i pornog volumena odabranog ležišta naftno-plinskog polja Okoli.

Cilj je predstavljala izrada što detaljnijeg 3D modela temeljenog na mreži (engl. „grid“) podataka, kojim bi se polje opisalo na razini upotrebljivoj za daljnje istraživanje ili razradbu.

Kartiranje je izvedeno upotrebom stohastičkih simulacija u programu Petrel. Upotrebi stohastičkih simulacija prethodilo je određivanje variogramskog modela koji je načinjen u programu Variowin™. U radu je također naglašena razlika između geostatističkih metoda kriginga, kokriginga i stohastičkih simulacija (točnije, upotrebljenih ***Gaussovih sekvencijskih simulacija***), ali i odluka o tome kada je bolje upotrijebiti koju od ovih metoda kod procjene poroznosti ležišta. Glavni cilj bio je pokazati prednosti stohastičkog pristupa u usporedbi s negeostatističkim metodama, pa čak i determinističkim geostatističkim metodama. Rezultati su pokazali da je upotrebom stohastičkih simulacija kvaliteta interpolacija i prikazivanja ležišta znatno poboljšana u odnosu na prikaze istih pri upotrebi neke druge metode. Na temelju toga primjera, ali i drugih radova nastalih u nas posljednjih godina u području primjene geostatistike u naftnoj geologiji, stohastičke simulacije sve više postaju najvažniji alat u opisivanju ležišnih svojstava na poljima ugljikovodika.

## 2. ZEMLJOPISNI POLOŽAJ I STRATIGRAFSKI ODNOSI

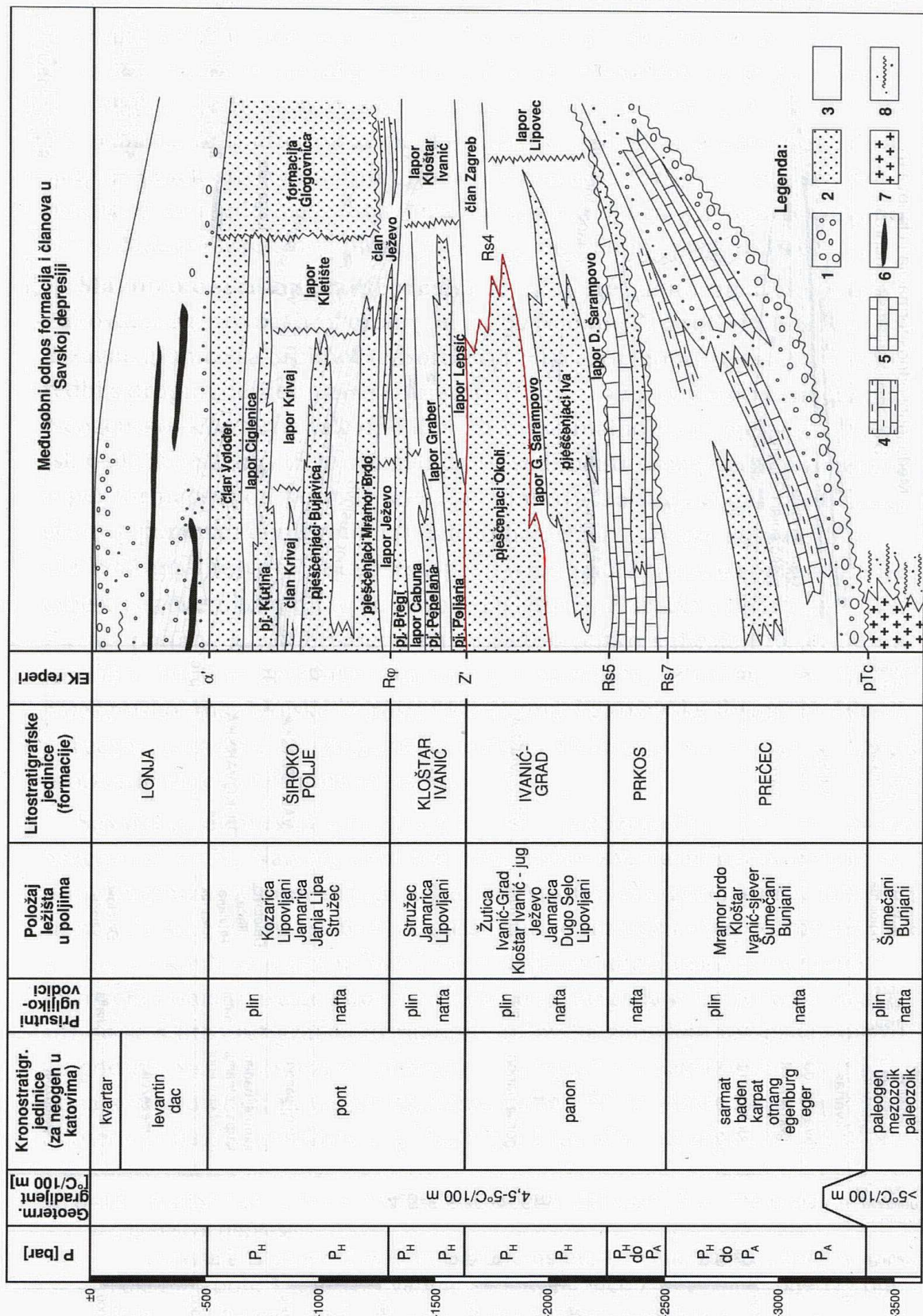
Naftno-plinsko polje Okoli nalazi se otprilike 50 km jugoistočno od Zagreba, na području općine Ivanić-Grad. Struktura polja pripada zapadnom dijelu prostora regionalne geotektonske jedinice Savske depresije (**slika 1**).



*Slika 1: Zemljopisni smještaj polja Okoli*

U litostratigrafskom smislu, analizirana ležišta pripadaju formaciji Ivanić-Grad grupe Sava, a gornjepanonske su starosti. Formacija je omeđena u podini EK (elektro-karotažnim) - markerom  $Rs_5$ , a u krovini EK-markerom  $Z'$ .

Ugljikovodici unutar ležišne serije „c“ polja Okoli nađeni su u pješčenjacima miocenske starosti. Kvalitetan stratigrafski stup naslaga Savske depresije s međusobnim odnosom formacija i članova Savske depresije prikazan je na **slici 2**. Posebno su crvenom bojom istaknuti pješčenjaci Okoli. Pješčenjaci su kvarcno-tinčastog sastava, srednje do sitno zrnasti te srednje do slabo vezani.



Slika 2: Stratigrfske jedinice, litoški sastavi položaj važnijih ležišta u Savskoj depresiji

(iz VELIĆ, 2007)



*Legenda slike 2: 1=šljunci i konglomerait; 2=pijesci i pješčenjaci; 3=gline i lapori; 4=glinoviti vapnenci; 5=vapnenci; 6=ugljen; 7=granit; 8=gnajs*

Ležišne stijene polja Okoli stratigrafski su razvrstane u 4 ležišne serije:

- plinska ležišta serije „p“ pliocenske starosti
- plinska ležišta serije „a“ donjopontske starosti
- plinsko-kondenzatna ležišta serije „b“ gornjopanonske starosti
- plinsko-kondenzatna i naftna ležišta serije „c“ gornjopanonske starosti

Dubina tih ležišta je između 2300 m i 2350 m, a ista su omeđena rasjedima ili bočnom promjenom facijesa. Naftno-plinsko polje Okoli obuhvaća kao glavne ležišne stijene naslage gornjega panona unutar kojih je na temelju sedimentoloških i palinoloških analiza izdvojeno pet litofacijesa :

- tamnosivi homogeni lapori taloženi u okolišima unutarnjega šelfa;
- dobro sortirani pješčenjaci - pješčana tijela debljine do 17 m, širine do 200 m i dužine do 4,5 km - s interkalacijama siltita i lapora koja su interpretirana kao talozi priobalnih okoliša u progradacijskom taložnom sustavu obalnoga lica;
- lapori s laminama ugljena i proslojcima litoarenita taloženi na plimnim ravnicama;
- silitni lapori proslojeni sitnozrnastim pješčenjacima taloženi u niskoenergijskom okolišu unutarnjega šelfa;
- dobro sortirani, litoarenitni pješčenjaci - pješčana tijela taložena kao pješčani prudovi na obalnome licu. (DALIĆ, 1996)

### 3. OPIS KORIŠTENIH RAČUNALNIH PROGRAMA

#### 3.1. Računalni program „Variowin“

Ovdje su objašnjene variogramске osnove i variogramски modeli.

Variowin<sup>TM</sup> se sastoji od četiri programa u kojima se radi odvojeno jer je rezultat jednog programa ulazni podatak za drugi program. Za potrebe ovog seminara korištena su tri programa: Prevar 2D, Vario 2D i Model.( izvor: PANNATIER, Y. 1996.)

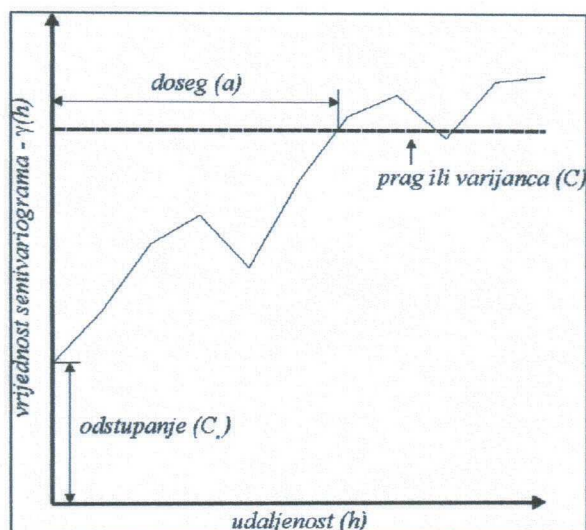
Programom Prevar 2D određuje se matrica udaljenosti za sve parove podataka, Vario 2D izrađuje variograme, a Model izabire odgovarajući variogramски model.

Podatci koji se unose u Variowin moraju biti posebno priređeni. Mora postojati naziv svojstva koje se promatra, broj varijabli te naziv varijabli. Vrijednosti koje se unose moraju biti apsolutne, a ne relativne. Tako priređeni podatci unose se u Prevar 2D kojim se stvaraju ulazni podatci za program Vario 2D. Variogramски model dobiva se programom Model, a kao ulazni podatak koristi se rezultat porograma Vario 2D (kako je to npr. prikazano u radu MALVIĆ, T. & SAFTIĆ, B., 2008)

Variogram je osnovni geostatistički alat. Služi za određivanje prostorne zavisnosti, a time i bolje definiranje međusobne povezanosti točkastih podataka koji se žele zajednički kartirati. Rezultat izrade variograma je eksperimentalni variogram, koji se nadalje aproksimira teoretskim modelom. Takav model ulaz je za metodu kriginga, kokriginga ili simulacija.

Variogram je određen s nekoliko parametara koji odražavaju njegovu kvalitetu i prostornu vezu između podataka. Eksperimentalna variogramска krivulja prikazana je na **slici 3**. Na takvoj krivulji može se očitati sljedećih pet veličina (koje su u hrvatskom prijevodu prikazane u radu MALVIĆA, 2003):

- odstupanje(*engl. „nugget“*),
- prag ili varijanца (*engl. „sill“*),
- doseг (*engl. „range“*),
- udaljenost ili korak (*engl. „distance“*) i
- odmak (*engl. „lag“*).



Slika 3: Parametri semivariograma (iz MALVIĆ, 2003)

**Odstupanje ( $C_0$ )** predstavlja slučajnu komponentu regionalizirane varijable, odnosno pojavu kada krivulja siječe os Y u nekoj pozitivnoj vrijednosti ( $C_0$ ). To je obilježje gotovo svih variograma, a upućuje na razliku u vrijednostima vrlo bliskih uzoraka koji se u praksi smatraju uzorcima s jedinstvene lokacije. Odstranjuje se smanjenjem površine ili povećanjem broja uzoraka, no u praksi se ono vrlo često ne može eliminirati.

**Prag ( $C$ )** je razlika pojedinačnih vrijednosti i srednje vrijednosti skupova podataka, što je ujedno definicija varijance. Nakon dosezanja praga (ako ga posjeduje), krivulja semivariograma često će prestati pravilno rasti te će nastaviti oscilirati oko njega.

**Doseg ( $a$ )** je vrijednost na kojoj semivariogram prvi put presijeca prag, a nakon toga ne postoji prostorna korelacija ili ovisnost podataka( $c$ ).

**Udaljenost ( $h$ )** je vrijednost na kojoj se međusobno uspoređuju podatci. Svaka udaljenost čini jednu klasu. Toj se vrijednosti može dodijeliti tolerancija nazvana odmak (engl. „lag“). To znači da granicama klase dodajemo vrijednost odmaka šireći tako klasu. Time se povećava broj parova i dobiva se bolji rezultat.

### 3.2. Računalni program „Petrel“

Za pronalazak i pridobivanje ugljikovodika potreban je precizan geološki model strukture ležišta te raspodjele ležišnih varijabli poput raspodjele poroznosti, zasićenosti ležišta vodom, kontakta nafta-voda, promjene facijesa i dr.

Može se reći da se računalnim programom *Petrel*<sup>TM</sup> tvrtke *Schlumberger*<sup>TM</sup> objedinjuju stručna znanja nekoliko područja znanosti koja se upotrebljavaju kod izrade geološkog modela. Program *Petrel* trenutno je jedan od najboljih komercijalnih programa za izradu geoloških modela, posebno geoloških modela ležišta ugljikovodika. U njemu se mogu objediniti podatci dobiveni seizmikom, karotažom, bušenjem, te podatci o zemljopisnom smještaju, geodetske koordinate i sl. Novi podatci mogu se jednostavno dodavati u postojeći model, čime se dobiva nova i poboljšana slika o odnosima u podzemlju, koja na taj način sadrži sve manje nesigurnosti pri usmjeravanju radova tijekom razrade i proizvodnje. Važnost dobrog modela vidljiva je kod procjene različitih parametara, odnosno petrofizikalnih veličina vezanih uz odabrana ležišta.

Unutar modela potrebno je oblikovati 3D mrežu te zadati granice modela pomoću kojih program formira tzv. *skeleton*. U hrvatskom prijevodu to je *kostur strukturnog modela polja*, odnosno to je osnovni element s kojim se započinje modeliranje, a njegova uloga je da podijeli područje unutar granica polja na ćelije. Na oblikovani kostur modela nanose se površine i horizonti te je moguće konstruirati trodimenzionalni prikaz različitih profila i karata.

Sve kasnije operacije (poput izračuna debljine, volumena, poroznosti i sl.) programski se izvode u pojedinačnim ćelijama unutar dobivenog modela. Također se mogu računati volumeni odabranih ležišta, a na temelju ranije priređene 3D mreže. Uz volumen, na taj se način mogu procijeniti i druge ležišne varijable poput poroznosti, plinskog faktora, kontakta između ugljikovodika i vode te druge veličine. S obzirom na to da je svaka ćelija triangulirana, moguće ih je razgraničiti po točno određenim granicama (izvor: „*Petrel*<sup>TM</sup> Workflow tools“).

Kako su polja i ležišta većinom ispresijecana rasjedima moguće je odvojiti poligone koji odgovaraju tektonskim blokovima, ako se radi o regionalnim rasjedima, te odrediti blokove unutar samog poligona polja, ako se radi o manjim lokalnim rasjedima, koji još uvijek imaju značajnu ulogu u modeliranju samog polja. Ako se radi o velikom broju rasjeda, potrebno je

odlučiti koji su rasjedi bitni za modeliranje, jer bi veliki broj rasjeda dodatno usložnjavao i usporavao modeliranje.

U konačnici, korištenjem ovog programa, moguće je točnije izračunati rezerve pojedinih ležišta te bolje shvatiti promjene u bušotinama i ležištima tijekom proizvodnje.

## 4. NEKE ČEŠĆE INTERPOLACIJSKE METODE

Postoje brojne interpolacijske metode koje se upotrebljavaju u geologiji, ali i drugim znanostima. S obzirom na to da je ovaj rad usmjeren na geostatistiku, objašnjene su samo geostatističke metode, a to su:

- metoda kriginga (deterministička metoda interpolacije);
- metoda kokriginga (deterministička metoda interpolacije s dvije ili više povezanih varijabli);
- stohastičke simulacije, odnosno Gaussove sekvencijske simulacije (metoda procjene).

Izniman pionirski teorijski rad u razvoju geostatističkih metoda započeo je MATHÉRON (1962, 1963, 1965), na koji se otada nadovezao niz kvalitetnih radova, knjiga i škola (npr. DEUTSCH, 2002; DEUTSCH i JOURNAL, 1997; DUBRULE, 1988.; HOHN, 1988; ISAAKS i SRIVASTAVA, 1989; JOURNAL i HUIJBREGTS, 1978 te mnogi drugi). Danas geostatistika predstavlja nezaobilazan alat u modeliranju ležišta ugljikovodika i niza drugih mjerenja u geoznanostima.

Geostatističke metode mogu se, prema broju rješenja, podijeliti u dvije skupine:

1. determinističke metode koje daju samo jedan izlaz (poput kriginga ili kokriginga);
2. stohastičke metode (poput simulacija) koje za jedan ulaz daju niz jednakovrijednih realizacija.

### 4.1. Metoda kriginga

**Metoda kriginga** predstavlja geostatistički postupak. Prethodi joj određivanje prostorne zavisnosti, odnosno variogramska analiza.

Postupak kriginga smatra se naprednom metodom za procjenu vrijednosti regionalizirane varijable u odabranim točkama mreže. Pojam mreže češće se u praksi zamjenjuje engleskim izrazom *grid*. Pod pojmom *regionalizirane varijable* podrazumijeva se vrijednost distribuirana u prostoru, poput debljine sedimenata, šupljikavosti, tlaka u ležištu itd. Regionalizirana varijabla često je i *slučajna varijabla* jer mreža točkastih uzoraka za bilo

koju geološku varijablu nikada ne može u potpunosti sa sigurnošću predstavljati reprezentativni uzorak za neki volumen stijena koji se analizira iz razloga što je volumen analiziranih uzoraka premalen u odnosu na istraživani volumen stijena. Pod pojmom “slučajna” misli se na to da su vrijednosti te varijable raspodijeljene prema funkciji razdiobe, poput normalne ili uniformne razdiobe, ali na nekoj slučajnoj lokaciji njena se vrijednost ne može sa sigurnošću predvidjeti, već tek interpolirati ili procijeniti.

Procjena načinjena krigingom podrazumijeva da su zadovoljeni određeni kriteriji. Prema njima, procjena mora biti nepristrana te načinjena tako da je varijanca razlike između stvarnih i procijenjenih vrijednosti u odabranim točkama najmanja moguća. To se još naziva i varijanca kriginga. Nakon završetka procjene na odabranom području, algoritam kriginga također računa predviđenu i stvarnu pogrešku procjene. Te se vrijednosti mogu usporediti s mjerenom vrijednošću na kontrolnoj točki koja je upotrebljena kao ulazni podatak. Na taj se način određuje pouzdanost procjene te kvaliteta odabranog prostornog modela. Prilikom procjene krigingom svakome podatku uključenom u postupak dodijeljen je određeni težinski koeficijent ( $\lambda$ ) kojim je procijenjen njegov utjecaj na ukupni račun. Odnosi između postojećih vrijednosti i točke u kojoj se ona procjenjuje izražavaju se vrijednostima kovarijance ili variograma. Na taj su način određene zavisnosti i utjecaji pojedine lokacije s obzirom na njezinu udaljenost od točke čija se vrijednost procjenjuje. Osnovna pravila kojima su definirane jednadžbe kriginga opisana su u mnogim radovima, a ta ista pravila pri upotrebi u hrvatskom dijelu Panonskoga bazena npr. u radu MALVIĆA (2005.).

Rezultat matematičkih jednadžbi i izvoda kriginga moguće je napisati u obliku matričnih jednadžbi. Unutar dviju od tih matrica vrijednosti su izražene vrijednošću variograma ili kovarijance, odnosno ovise o udaljenosti uspoređenih lokacija. Treća matrica sadrži težinske koeficijente koji se na kraju procjenjuju iz prve dvije spomenute matrice.

Kriging kao metoda sadrži više podvarijanti, odnosno tehnika. To su jednostavni kriging (*engl. „Simple Kriging”*), obični kriging (*engl. „Ordinary Kriging”*), indikatorski kriging (*engl. “Indicator Kriging”*), univerzalni kriging (*engl. „Universal Kriging”*) i disjunktivni kriging (*engl. „Disjunctive Kriging”*). Kod jednostavnog kriginga, kao osnovne tehnike, matrična jednadžba napisana u punome obliku glasi kao **jednadžba. 4.1:**

$$\begin{bmatrix} \gamma(Z_1 - Z_1) & \gamma(Z_1 - Z_2) & \dots & \gamma(Z_1 - Z_n) \\ \gamma(Z_2 - Z_1) & \gamma(Z_2 - Z_2) & \dots & \gamma(Z_2 - Z_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \gamma(Z_n - Z_1) & \gamma(Z_n - Z_2) & \dots & \gamma(Z_n - Z_n) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \dots \\ \lambda_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(x_1 - x) \\ \gamma(x_2 - x) \\ \dots \\ \gamma(x_n - x) \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Gdje je:

$\gamma$  – vrijednost semivariograma

$\lambda$  – težinski koeficijent

$Z_1 \dots Z_n$  – mjerena vrijednost u točkama

Sve ostale tehnike kriginga imaju dodane neke „faktore ograničenja” unutar sebe (*engl. „constraint”*). Time je u potpunosti zadovoljen uvjet da ih se može nazvati najboljim linearnim nepristranim procjeniteljima (*engl. „Best Linear Unbiased Estimator” – BLUE*). Drugim riječima, kod jednostavnog kriginga nije ispunjen uvjet da je procjena *nepristrana* (*engl. „unbiased”*), dok je kod ostalih podmetoda taj uvjet zadovoljen.

## 4.2. Metoda kokriginga

**Kokriging** predstavlja snažnu nadogradnju geostatističkih metoda kriginga. Kriging koristi prostornu korelaciju na skupu prostorno raspršenih kontrolnih točaka. Kokrigingom se računa korelacija između primarne varijable i zavisne sekundarne varijable. Smatra se kako je sekundarna varijabla gušće uzorkovana negoli primarna, a u isto vrijeme u određenoj zavisnosti s primarnom varijablom. Stoga može pomoći i poboljšati njezinu procjenu.

Značajnost ili jakost veze primarne i sekundarne varijable najčešće se računa korelacijom, bilo linearnim (**Pearsonov koeficijent korelacije**) ili nelinearnim koeficijentom korelacije (**Spearmanov koeficijent korelacije**). (izvor: PAVLIĆ, 1988)

**Pearsonov koeficijent korelacije** koristi se u slučajevima kada između varijabli promatranog modela postoji linearna povezanost i neprekidna normalna distribucija. Vrijednost Pearsonovog koeficijenta korelacije kreće se od +1 (savršena pozitivna korelacija) do -1 (savršena negativna korelacija). Predznak koeficijenta upućuje na to je li korelacija pozitivna ili negativna, ali ne upućuje na snagu korelacije. Pearsonov koeficijent korelacije bazira se na usporedbi stvarnog utjecaja promatranih varijabli jedne na drugu u odnosu na maksimalni mogući utjecaj dviju varijabli. Označava se malim latiničnim slovom *r*. Za izračun



koeficijenta korelacije potrebne su tri različite sume kvadrata: suma kvadrata varijable  $X$ , suma kvadrata varijable  $Y$  i suma umnožaka varijabli  $X$  i  $Y$ .

**Spearmanov koeficijent korelacije** ili **produkt rangova korelacije** koristi se za mjerenje povezanosti između varijabli u slučajevima kada nije moguće primijeniti Pearsonov koeficijent korelacije. Zasniva se na tome da se izmjeri dosljednost povezanosti između poredanih varijabli, a oblik povezanosti (npr. linearni oblik koji je preduvjet za korištenje Pearsonovog koeficijenta) nije bitan. Spearmanov koeficijent koristi se, primjerice, kada među varijablama ne postoji linearna povezanost, a nije moguće primijeniti odgovarajuću transformaciju kojom bi se povezanost prevela u linearnu (npr. veza između seizmičkog atributa i bušotinskog podataka u naftnoj geologiji). Spearmanov koeficijent korelacije kao rezultat daje približnu vrijednost koeficijenta korelacije koji se tretira kao njegova dovoljno dobra aproksimacija. Prilikom korištenja Spearmanovog koeficijenta, vrijednosti varijabli potrebno je rangirati i na takav način svesti na zajedničku mjeru. Najjednostavniji način rangiranja je da se najmanjoj vrijednosti svake varijable pridjeli rang 1, sljedećoj po veličini rang 2 i tako sve do posljednje kojoj se pridjeljuje maksimalan rang. Izračunavanje koeficijenta radi se korištenjem vrijednosti pridijeljenih rangova. Spearmanov koeficijent označava se oznakom  $r_S$ , a predstavljen je **jednadžbom 4.2**:

$$r_S = 1 - 6 \sum_{i=1}^n \frac{d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (4.2)$$

gdje je:

$r_S$  - Spearmanov koeficijent

$d_i$  - razlika vrijednosti rangova

$n$  - broj različitih serija

### 4.3. Gaussove sekvencijske simulacije

Gaussove sekvencijske simulacije temelje se na stohastičkom pristupu. Stohastičke simulacije općenito obuhvaćaju nekoliko različitih metoda, a svima je zajedničko da analizirano svojstvo prikazuju kroz skup realizacija. U velikom broju slučajeva stohastički pristup može dati bolji opis od determinističkog, posebno u slučajevima kada nam je dostupna samo jedna varijabla. Na primjer, čest takav slučaj je kada nam bušotinski podatci predstavljaju primarnu varijablu iz koje se procjenjuje poroznost ležišta (a kako je to

prikazano u ovome radu). Međutim, ako postoji i neki drugi izvor podataka (poput seizmike) tada će i deterministički i stohastički pristup dati poboljšane slike ležišta s naglaskom na to da će se kao deterministička metoda koristiti kokriging koji seizmiku može upotrijebiti kao sekundarni izvor informacija. Također i stohastička simulacija može svoje „nulto“ rješenje temeljiti na metodi kokriginga, odnosno seizmičke podatke upotrijebiti kao sekundarni izvor podataka. U svakom takvom slučaju važno je potvrditi značajnu korelaciju između primarnih i sekundarnih podataka, tj. varijabli (MALVIĆ, 2008).

**Simulacije** uglavnom prikazuju stvarnu varijabilnost kartirane regionalizirane varijable u podzemlju. Ako se simulacija naziva i **uvjetnom**, podrazumijeva se da su mjereni podatci u potpunosti poštovani. Simulacije pružaju vizualnu i kvantitativnu mjeru nesigurnosti vezanu uz varijablu koja se procjenjuje. Postoje i inačice koje koriste sekundarnu varijablu, a nazivaju se "kosimulacijama" (poput kokriginga).

Nadalje, simulacije se, poput metode kriginga, smatraju metodom za lokalnu procjenu (*engl. local estimators*). No za razliku od determinističkog kriginga, na simuliranim rješenjima može se očitati globalno ponašanje mjerenih vrijednosti te njihova (ponovno globalna) statistika opisana histogramom i kovarijancom.

Simulacijom se može izračunati (dobiti) bilo koji broj statistički jednako vjerojatnih realizacija (koje se u ovoj primjeni najčešće prikazuju pomoću karata), a svaka od njih matematički je jednako "točna". No, kada se promotre sve zajedno (npr. njih 100), lako je odrediti područja s najvećim lokalnim razlikama svake od njih pojedinačno, odnosno to su područja najveće lokalne promjene ili nesigurnosti u procjeni. (izvor: AMERICAN ASSOCIATION OF PETROLEUM GEOLOGISTS, 2006)

Gaussove simulacije dobile su ime prema razdiobi podataka kojom se procjenjuju. Njihova razdioba je Gaussova (normalna), kakva se npr. vrlo često upotrebljava za opisivanje poroznosti. Takav je algoritam ograničen na kontinuirane varijable. Budući da je najvažniji uvjet da su varijable normalno raspodijeljene i nezavisne, ovdje dolazi i do najozbiljnijeg problema u vezi dobivenih podataka, a taj je da promatrana regionalizirana varijabla često ne sadrži nezavisna mjerenja. Problem se može zanemariti ako nema velik utjecaj na rezultat ili je „maskiran“ dobrim variogramskim modelom.

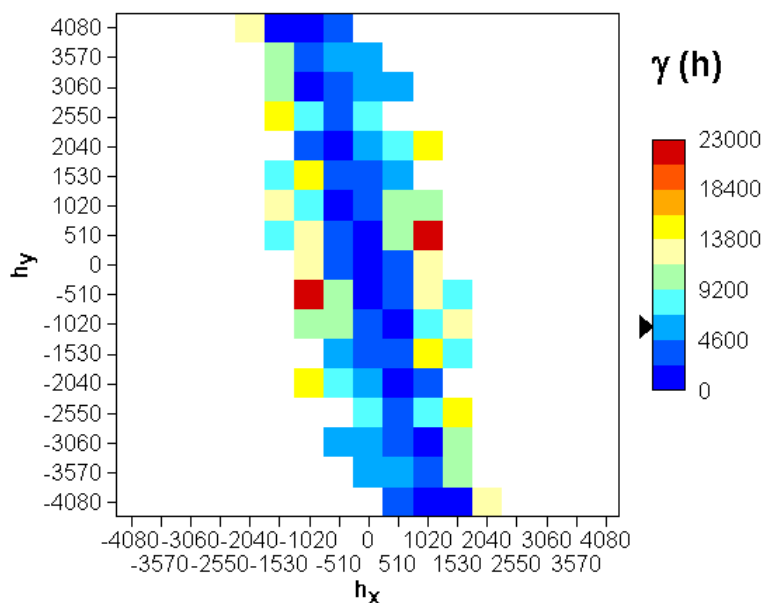
***Odabir između upotrebe kriginga, kokriginga ili simulacija*** vrši se na temelju nekoliko kriterija. Ako postoji mali ili ograničen broj bušotinskih podataka (10-15), tada odabir preteže na stranu determinizma. Metodom kriginga dobit će se vrlo pouzdano rješenje, dok se kod simulacija zbog premalog broja podataka ne može jasno ocrtati statistička nesigurnost. Ipak, ako postoji mali ili ograničen broj bušotinskih podataka, ali i dodatni izvor podataka, poput seizmike, tada se treba odlučiti je li bolje odabrati kokriging ili simulacije. Upotrebljavajući metodu kokriginga, primarna i sekundarna varijabla promatraju se na istoj lokaciji, tj. sekundarna varijabla interpolirana je na istoj lokaciji gdje postoje i mjereni podatci. Rezultati kokriginga značajno su bolji od onih dobivenih metodom kriginga te daju bolju sliku međubušotinskog prostora. Upotrebljavajući simulacije u ovom slučaju, realizacije koje će se dobiti bit će temeljene na prethodno provedenom kokrigingu (kao nultom rješenju) jer i same koriste veći broj varijabli kao ulaz. Simulacije će i ovdje prikazati većinu nesigurnosti vezanih uz međubušotinski prostor, posebno na mjestima koja su udaljena od mjerenih podataka. Promatrajući rezultate dobivene kokrigingom i simulacijama, može se zaključiti da su rezultati dobiveni kokrigingom primjereniji za prikazivanje poroznosti ležišta od rezultata dobivenih simulacijama zbog činjenice da simulacije uvelike opisuju nesigurnost rezultata dobivenih procjenom u međubušotinskom prostoru, tj. nesigurnost se raspršuje po čitavom području koje istražujemo te se time malo gubi na vjerodostojnosti rezultata.

Iz ovoga se može zaključiti da su simulacije bolje primjenjive ako postoje samo primarni podatci, tj. samo bušotinski podatci. Međutim, u slučaju da je omogućeno korištenje sekundarnih izvora podataka (seizmika), tada je bolje koristiti kokriging iz razloga što simulacije mogu precijeniti lokalnu varijabilnost.(MALVIĆ, 2008).

## 5. NAČINJENI VARIOGRAMSKI MODELI

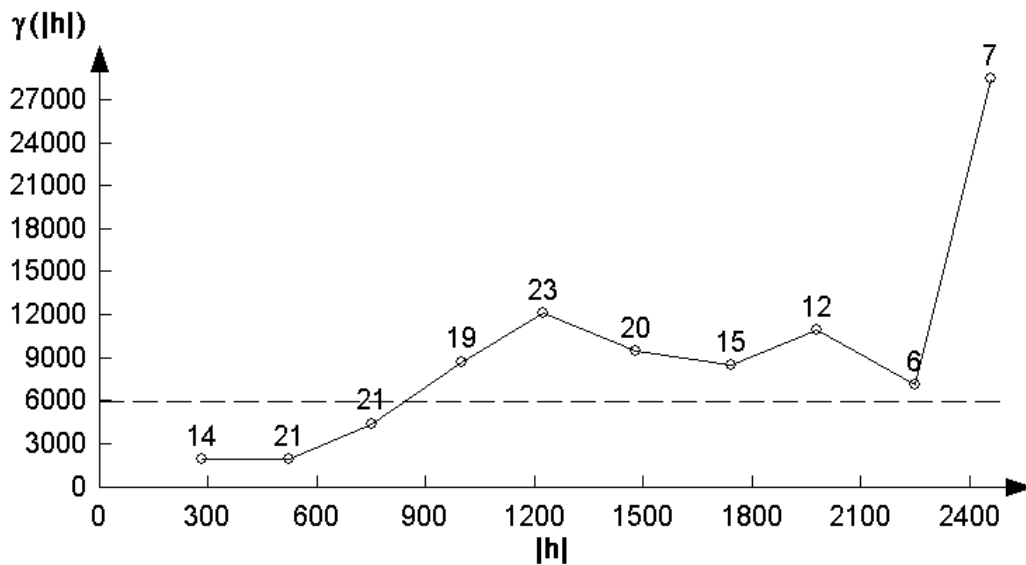
### 5.1. Karta variogramске površine i eksperimentalni variogrami

Na **slici 4** prikazana je karta variogramске površine na kojoj su vidljiva dva pravca pružanja variogramskih osi. Postoji glavna i sporedna os. Glavna os postavljena je smjerom sjever/sjeverozapad – jug/jugoistok (plave ćelije na **slici 4**). Sporedna os postavljena je smjerom sjeveroistok-jugozapad (crvene ćelije na **slici 4**). Kako bi se mogla izraditi ova karta korišteni su podatci dobiveni bušotinskim mjerenjima.

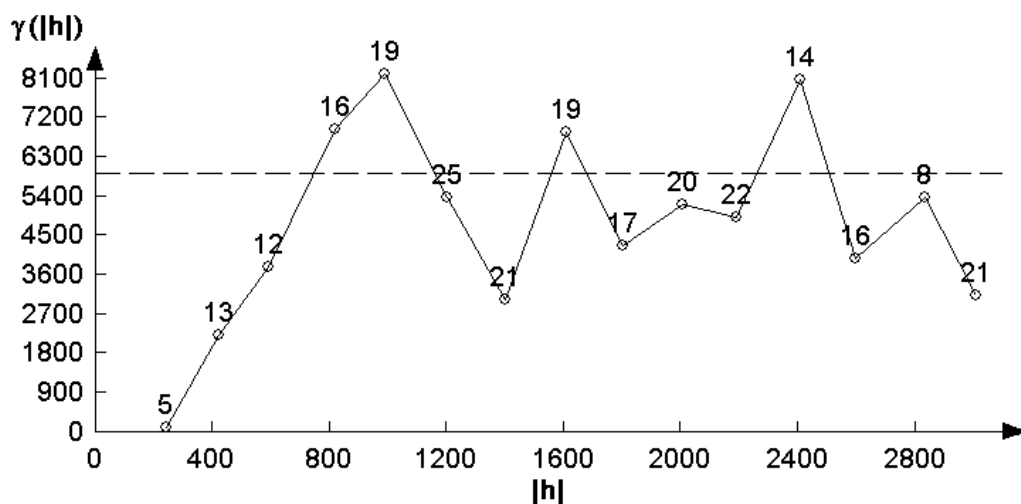


*Slika 4: Smjer glavne i sporedne variogramске osi izračunat programom Prevar 2D.*

Za konstruiranje eksperimentalnih variograma korišteni su podatci o položaju glavne, odnosno sporedne variogramске osi koji su očitani s karte variogramске površine. Variogrami su pouzdani zbog toga što se po variogramskom razredu koristilo više od 10 parova podataka, što se smatra minimumom za pouzdan izračun pojedinoga variogramskog razreda. Variogramski doseg za glavnu os je oko 850 metara, a za sporednu os oko 750 metara. Što se tiče variogramskog odstupanja, ono se ne može očitati na variogramu, pa je smatrano da ga nema. Eksperimentalni variogramski model glavne osi prikazan je na **slici 5**, a eksperimentalni variogramski model sporedne osi na **slici 6**.



Slika 5: Variogram glavne osi izračunat programom Vario 2D (usmjereni variogram)

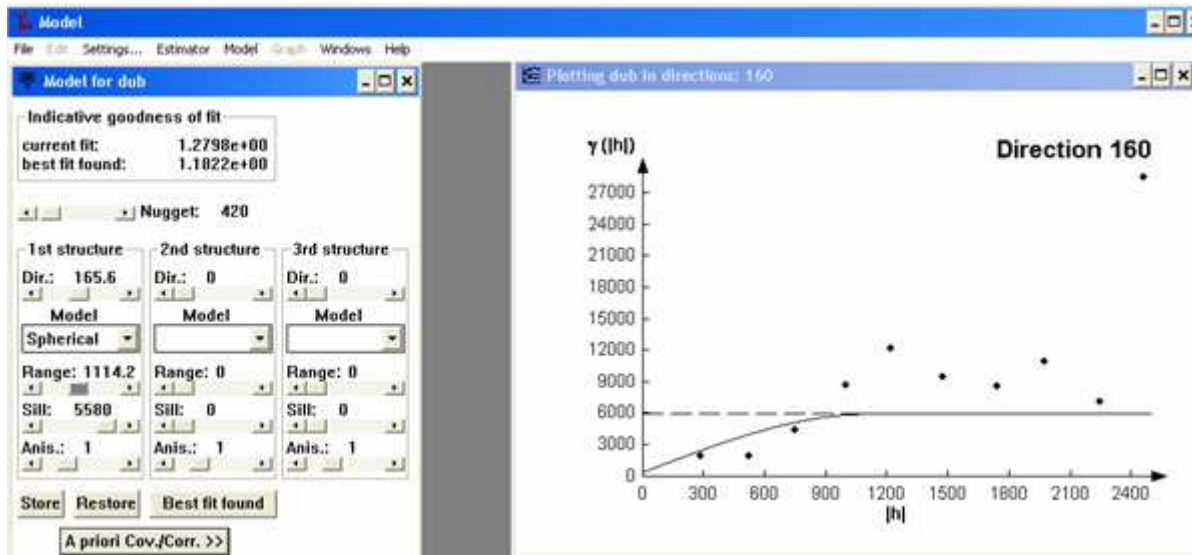


Slika 6: Variogram sporedne osi izračunat programom Vario 2D (usmjereni variogram)

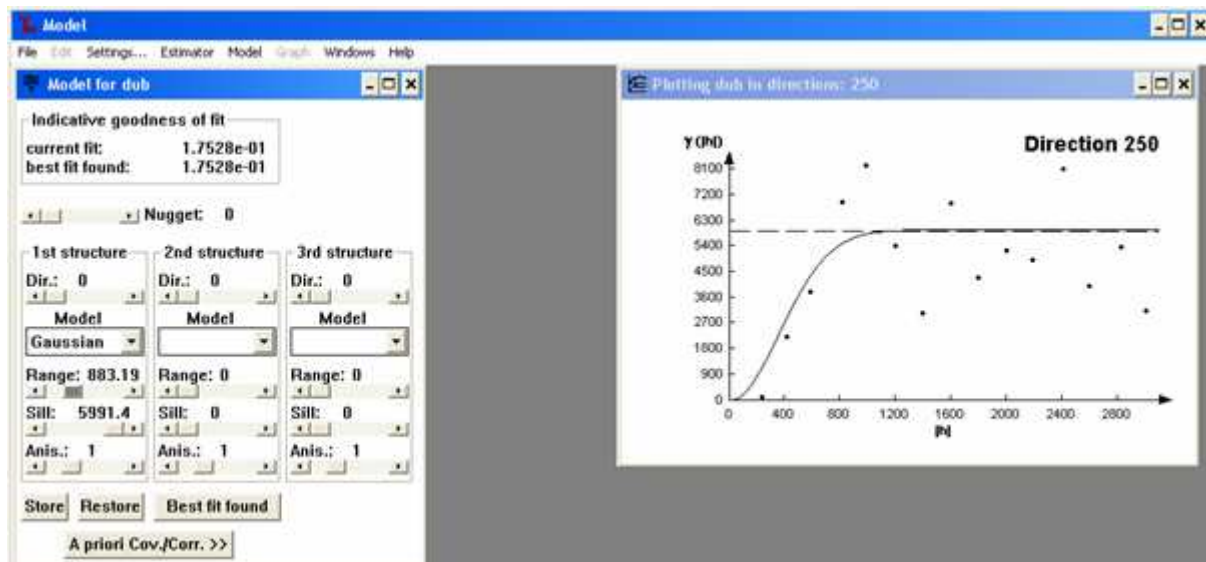
## 5.2. Odabrani teorijski aproksimacijski modeli

Postoji nekoliko variogramskih aproksimacijskih modela, a odabire se model koji najbolje opisuje ponašanje eksperimentalnog variograma. Nije nužno da se za glavnu i sporednu os koristi isti aproksimacijski model. Ako se promotre **slike 7 i 8**, može se vidjeti da za glavnu i sporednu os nije korišten isti aproksimacijski model. Eksperimentalni variogram na glavnoj

osi opisan je sfernim teorijskim aproksimacijskim modelom, a eksperimentalni variogram na sporednoj osi Gausovim modelom. Dosezi koji se dobiju odabirom teorijskih aproksimacijskih modela koriste se kao ulazni podatci kod interpolacije metodom kriginga i Gausovih sekvencijskih simulacija.



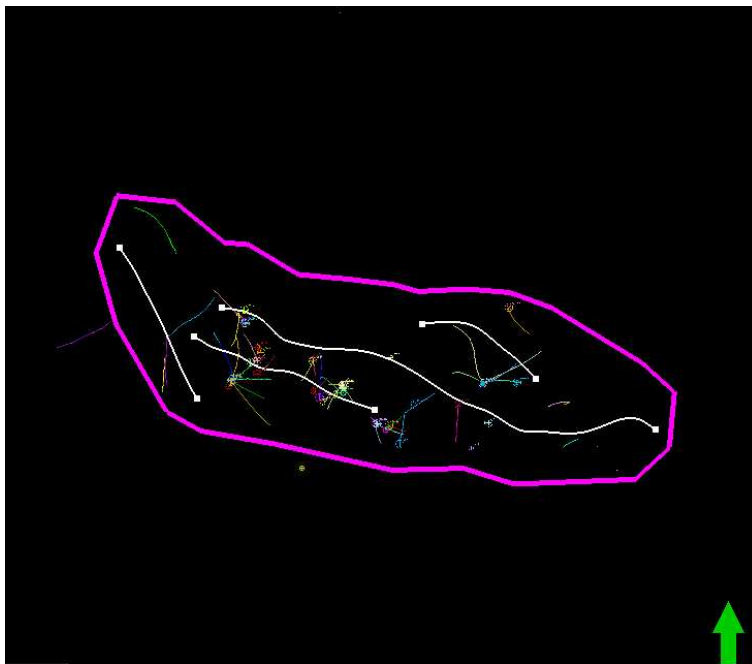
*Slika 7: Sferni teorijski aproksimacijski model glavne osi izračunat programom Model.*



*Slika 8: Gausov teorijski aproksimacijski model sporedne osi izračunat programom Model.*

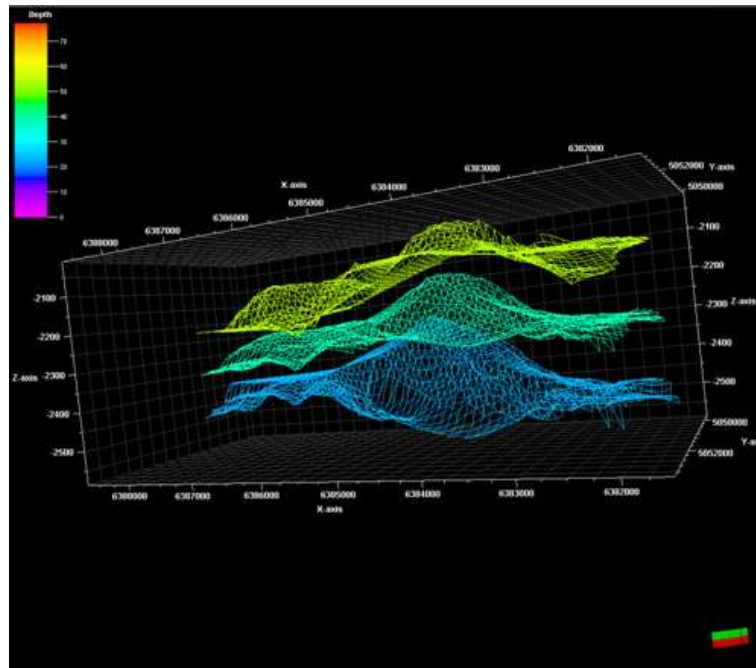
## 6. GEOLOŠKI MODEL POLJA

Kako bi se unutar programa moglo izvoditi geološko modeliranje, potrebno je ograničiti područje interesa. Kao što je prikazano na **slici 9**, unutar područja interesa postoji dosta rasjeda, od čega četiri velika koja su uvelike pridonijela oblikovanju strukture Okoli te određivanju granica analiziranog područja. Pružanje rasjeda je prikazano samo u onoj mjeri u kojoj ima značaj za spomenutu ležišnu seriju „c“, tj. seizmičkim istraživanjima se saznalo da se paraklaze rasjeda protežu kroz seriju „c“ unutar točaka koje omeđuju rajede.



*Slika 9: Položaj rasjeda dobivenih seizmičkom interpretacijom te unesenih u geološki model*

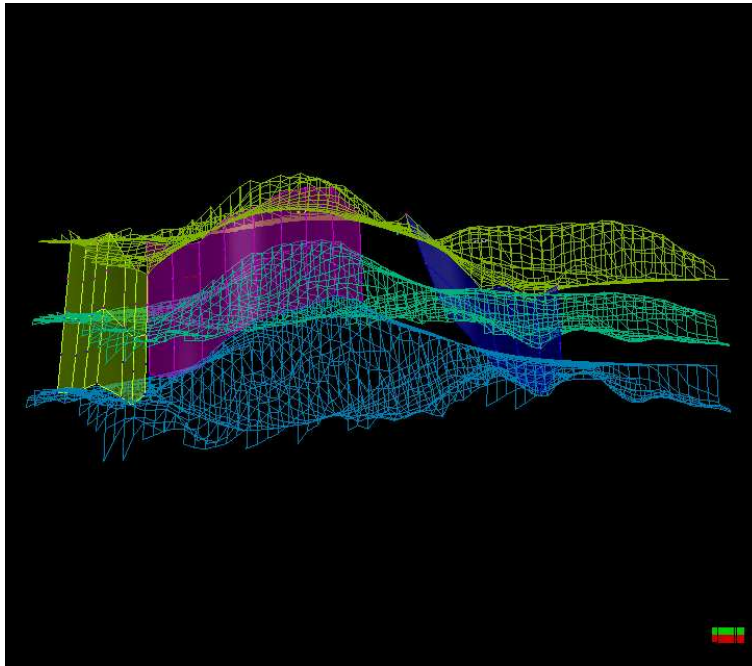
Sljedeći važan čimbenik za stvaranje geološkog modela računalno je određeni kostur modela polja (engl. „*skeleton*“), kakav je prikazan na **slici 10**.



**Slika 10:** Izgled kostura modela (vidljiva je krovinska središnja i podinska ploha)

Ovakav model predstavlja računalni volumen u kojem je moguće izvoditi sve programske operacije na ležišnim varijablama (poput određivanja veličina prostornih ćelija, volumena cijeloga ležišta, oblika krovine i podine i sl.). Unutar kostura modela također se označavaju paraklaze najvažnijih rasjeda koji su oblikovali strukturu i ležište, kako je to prikazano na **slici 11**.





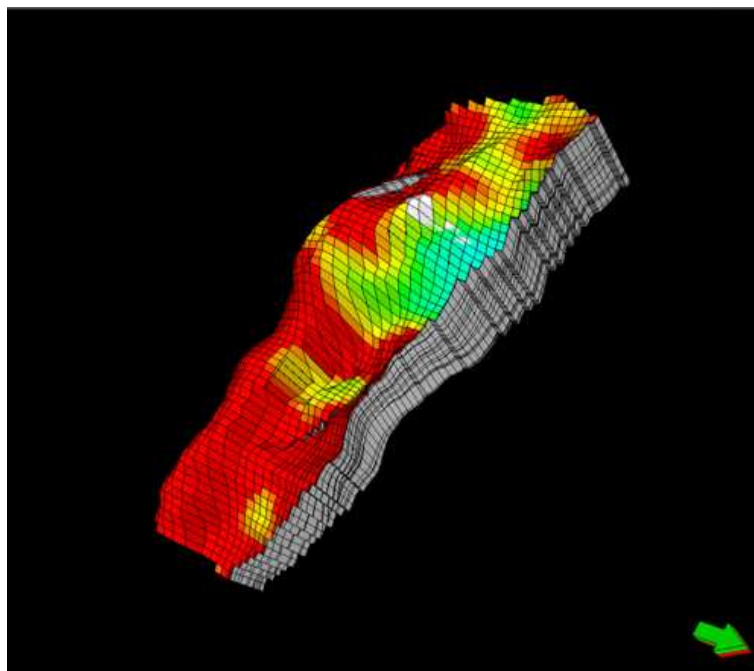
*Slika 11: Prikaz skeletona s najvažnijim rasjedima strukture Okoli*

Unutar strukturnog modela ležište se dijeli na ćelije kojima je prikazan (aproksimiran) volumen. Podjela analiziranog ležišta na ćelije prikazana je na **slici 12**.

Podjela ležišta na ćelije predstavlja diskretizaciju modeliranog prostora. To je numerički postupak za opisivanje ležišta zbog činjenice da je ležište heterogeno i anizotropno pa su parametri koji definiraju ležište u prostoru promjenjivi. Isto tako, granice ležišta obično imaju složenu geometriju. Osim toga, postoje i promjene u vremenu koje nastaju tijekom eksploatacije (propusnost, volumeni crpljenja itd.).

Diskretizacijom se pretpostavlja da su unutar svakog elementa (ćelije) svojstva homogena, a same granice (ćelija i ležišta općenito) pojednostavljene su tako da program automatski može izvršavati računske operacije unutar svakog takvog elementa (tj. ćelija na koje je podijeljeno ležište). Diskretni elementi (tj. ćelije) ne moraju biti iste veličine, što znači da se njihov broj može povećavati (mreža se progušćuje) na dijelu prostora koji je od većeg interesa. To su obično dijelovi na kojima se značajnije mijenjaju vrijednosti ležišnih varijabli. Najčešće su to prostori između dva rasjeda gdje je u principu poželjno da postoji više ćelija u koje će se interpolirati svojstva kako bi se dobila što točnija slika o izgledu analiziranog ležišta ili polja. S obzirom na to da se kompletni oblik modela sastoji od krovinske, središnje i podinske plohe, potrebno je odgovarajuću plohu kreirati kao središnju, a potom iz nje ekstrapolirati krovinsku i podinsku mrežu. Krovinska i podinska ploha imaju isključivo geometrijsko značenje unutar kostura modela jer krovinska ploha odgovara krovini najplićeg ležišta, a

podinska ploha podini najdublje ležišta unutar polja ili ležišne serije. Obzirom da su dubinske razlike od najplićeg do najdublje dijela polja velike te da zbog utjecaja rasjeda krovine i podine ležišta nisu paralelne, može se dogoditi iskrivljenje ćelija. Stoga se središnja ploha kostura modela može shvatiti kao vrsta korekcijskog faktora pomoću kojeg računalni program lakše učitava podatke u prostor koji se obrađuje. Time se dobiva općenita slika strukture. Također, prilikom izrade, provjerava se kvaliteta kostura. Nakon unosa dodatnih podataka o dubinama slojnih ploha, granicama facijesa, kontaktima fluida te odnosu propusnih i nepropusnih dijelova ležišta, dobiva se detaljan geološki model polja.



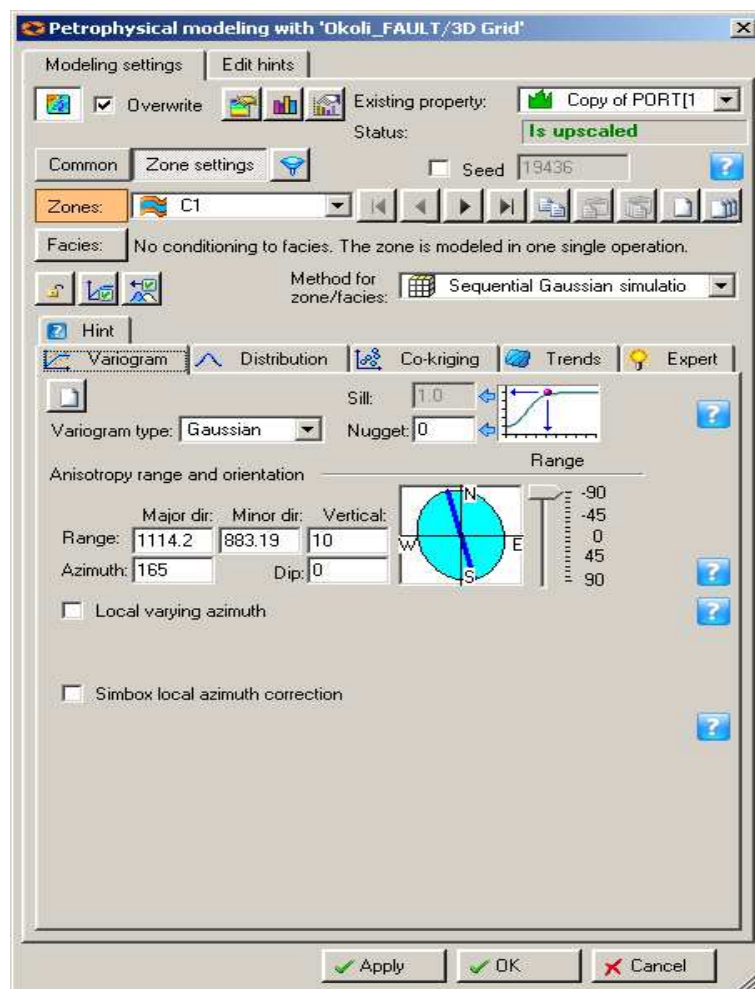
*Slika 12: Podjela analiziranog ležišta na ćelije*

## 7. PROCJENA POROZNOSTI SIMULACIJAMA U ODABRANOM LEŽIŠTU

Za potrebu ovog zadatka iz geološkog modela izdvojeno je samo jedno ležište serije „c“ polja Okoli. Cilj zadatka je izračunati poroznost spomenutog ležišta u programu Petrel koristeći metodu *Gaussovih sekvencijskih simulacija*. Drugi zadatak je izračunavanje volumena odabranog ležišta.

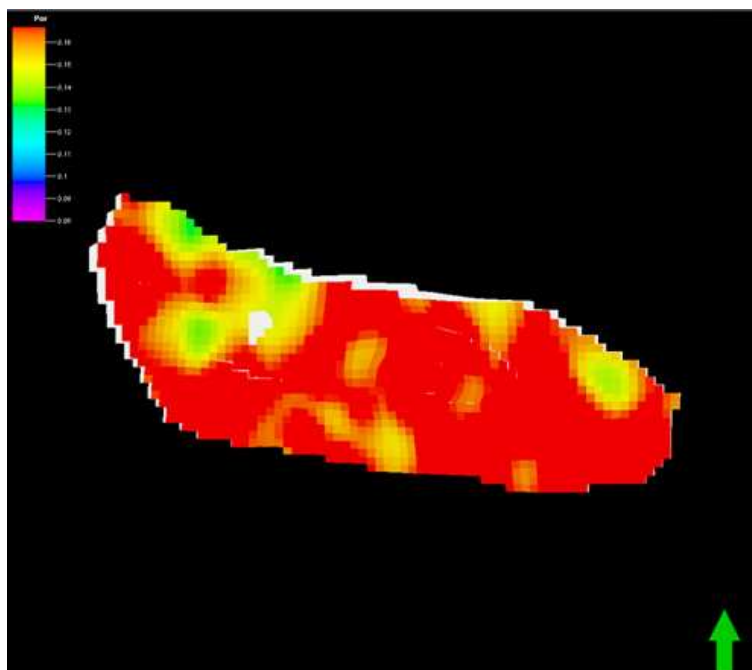
### 7.1. Metoda Gaussovih sekvencijskih simulacija

Ulaz za izračun simulacija poroznosti je variogramski model koji je prikazan u prethodnom poglavlju. Njegov oblik, prilagođen kao ulaz u program Petrel™, prikazan je na slici 13.



Slika 13: Variogramski model korišten kod simulacija u Petrelu™

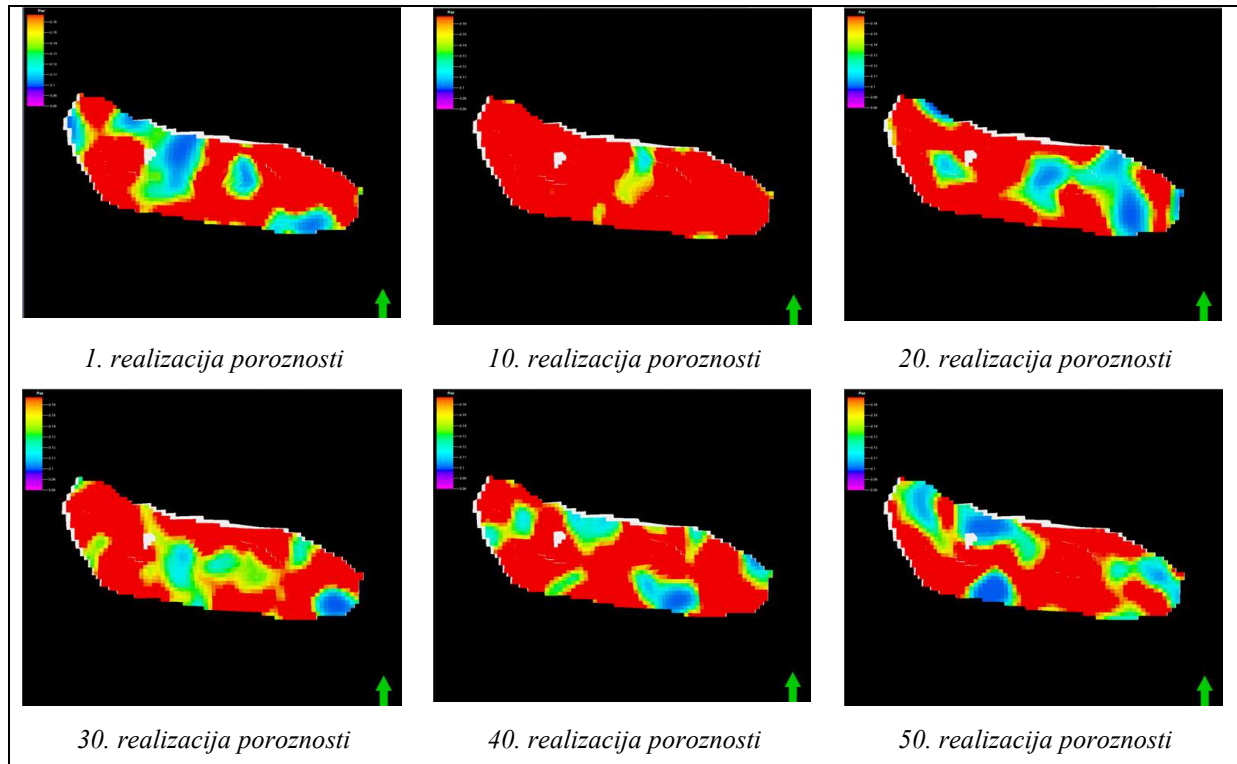
Kod izrade karte poroznosti simulacijama je izrađeno 50 karata, odnosno realizacija poroznosti. Sve karte se međusobno pomalo razlikuju, ali svaka od njih ima jednaku vjerojatnost da baš ta karta poroznosti prikazuje najprimjereniju raspodjelu poroznosti u ležištu. Stoga se za potrebu izrade karte, koja je reprezentativna, između većeg broja izrađenih karata, izabralo njih nekoliko čija je aritmetička sredina dala kartu poroznosti koja se smatra najboljom aproksimacijom. U prikazanom slučaju, između 50 dobivenih karata, izabrane su 3 čije su realizacije bile dobivene kao 1., 25. i 50., te statistički predstavljaju rješenja s kraja i sa sredine dobivenih karata. Karta koja je rezultat njihove aritmetičke sredine izračunate u svakoj ćeliji prikazana je na **slici 14**. Ta karta trebala bi biti vrlo nalik tzv. nultom rješenju simulacije, tj. rješenju koje bi se dobilo krigingom.



*Slika 14: Karta poroznosti odabranog ležišta  
(aritmetička sredina za svaku ćeliju iz 50 realizacija)*

Vrijednosti poroznosti na kartama prikazane su legendom u bojama, gdje je najmanja vrijednost od 0 % prikazana rozom, a najveća od 18 % crvenom bojom (skala u boji u lijevoj gornjem kutu slike). Međutim, samo jedna takva karta prilično uopćava prikaz nesigurnosti vezan uz raspodjelu poroznosti, posebno ako je prikazana simulacijama, a ne determinističkim rješenjem. Stoga je ponovno odabrano 6 realizacija, svaka jednako vjerojatna, koje su **shematski** prikazane na **slici 15**.

Njihovom usporedbom moguće je uočiti mjesta na kojima kartirana poroznost najviše varira, tj. gdje je uz njezino kartiranje vezana najveća nesigurnost. Općenito, na tim se kartama vrijednost poroznosti kreće u granicama od 8 % do 18 %.

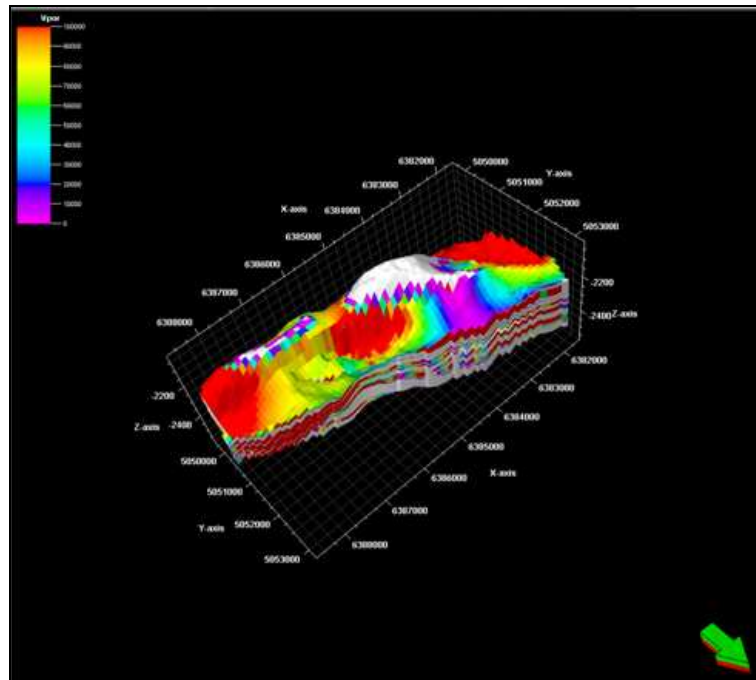


*Slika 15: Statistički odabranih i uspoređenih 6 realizacija razdiobe poroznosti*

## 7.2. Proračun volumena odabranog ležišta

Proračun volumena ležišta temelji se na rezultatima simulacija. Ukupni volumen toga ležišta, određen strukturnim modelom, iznosi  $123 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Porni volumen ležišta, dobiven preko aritmetičke sredine svih realizacija po ćelijama, je  $21 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Raspodjela volumena poroznosti u ležištu prikazana je na **slici 16**, na kojoj je rozom bojom prikazana vrijednost  $0 \text{ m}^3$ , a crvenom od  $100.000 \text{ m}^3$ . Ovdje se mora uzeti u obzir da se raspodjela poroznosti od  $0 \text{ m}^3$  pa do  $100.000 \text{ m}^3$  odnosi na svaku pojedinačnu ćeliju te se njihovim zbrajanjem dobiva porni volumen ležišta.

Područje označeno bijelom bojom u vršnom dijelu ovog modela je područje u kojem je stupanj nesigurnosti prilično velik, odnosno područje gdje nije bilo dovoljno podataka da se načini procjena temeljena na variogramskom modelu, pa je taj dio ležišta ostao izvan proračuna. Razlog tome je i to što variogramski doseg vjerojatno nije dovoljno velik.



*Slika 16: Raspodjela pornog volumena u ležišnoj seriji "c"*

## 8. ZAKLJUČAK

Ovim radom objašnjeno je geološko modeliranje odabranog ležišta serije „c“ naftno-plinskog polja Okoli u smislu izrade karata poroznosti toga ležišta. Geološki model napravljen je na temelju interpretacije i reinterpetacije podataka dobivenih mjerenjima u bušotini te seizmičkim mjerenjima.

Kao ulazne vrijednosti preuzete su dubine krovinske i podinske plohe ležišta određene na 18 bušotina. Prema tim podacima debljina odabranog ležišta kreće se u granicama od 8 do 19 metara. Također je preuzet položaj te karakter pomaka četiri najveća rasjeda koji sijeku slojeve serije „c“. Tim podacima bilo je moguće načiniti kostur modela (*skeleton*) polja Okoli.

Mjereni karotažni podatci poroznosti i zasićenja bili su dostupni u bazi Sektora za razradu INA-Naftaplina. Te su vrijednosti programski unesene u model kao osrednjeni podatci po pojedinačnom ležištu.

Na taj su način priređeni podatci prostorno raspoređeni po ćelijama modela ležišta. Naglasak je stavljen na vrijednosti poroznosti, kao najvažnije ležišne varijable. Poroznost je procijenjena po cijelom ležištu upotrebom algoritma sekvencijskih Gaussovih simulacija. Na taj je način dobiven niz realizacija koje prikazuju na koje sve načine poroznost može biti procijenjena u ležištu.

Razlike između pojedinačnih rješenja mogu biti vrlo velike, što je više nego opravdalo upotrebu simulacija kao naprednog alata za procjenu ležišnih varijabli. Usporedbom dobivenih karata mogu se procijeniti dijelovi polja u kojima je varijabilnost najveća. Zanimljivo je kako je vrlo velika varijabilnost opažena na samome tjemenu strukture, što s obzirom na broj podataka te taložni model nije bilo očekivano.

Nadalje, kao rješenje za raspodjelu poroznosti u promatranom ležištu je odabrano rješenje na temelju izabranih 6 jednakovrijednih karata poroznosti. Razlog tome je činjenica da je u dinamičkom modelu lakše pratiti promjene ležišnih uvjeta na temelju više karata nego na temelju jedne koja daje prosječnu vrijednost raspodjele poroznosti koja je u ovom slučaju rezultat triju jednakovrijednih karata.

Dobiveni model naglašava sve prednosti izradbe računalnog geološkog modela. Kada postoji dovoljan broj podataka (bušotinskih, karotažnih i seizmičkih), takav model može biti vrlo precizan.

Nadalje, vrlo brzo se može kartirati po odabranim varijablama te načiniti kvalitetne grafičke prikaze, što bi kod "ručne" geološke interpretacije uzelo znatno više vremena (nekoliko redova veličine duže trajanje).

Kod računalnih geoloških modela je, naravno, nužan i oprez. Inženjer je dužan paziti na pouzdanost i kvalitetu ulaznih mjerenja, njihovo unošenje u računalni program kada se izvode razne metode aproksimacije, te posebno kod njihovoga "osrednjavanja" po ćelijama.

Također, veličina ćelija treba biti pažljivo odabrana, a u pravilu što je veći broj ulaznih podataka, to mora biti veći broj ćelija. Unos rasjeda u model treba pažljivo planirati te poseban oprez posvetiti tomu da oblik i pružanje rasjedne plohe što više odgovara onima nacrtanim u "ručnom" modelu. Današnji računalni programi uglavnom ne podržavaju reverzne rasjedne pomake, a često prilikom pretvaranja njihovih pružanja u numerički oblik, dolazi do značajnog iskrivljenja paraklaza na računalu.



## 9. LITERATURA

### 9.1. Objavljeni radovi

1. DEUTSCH, C.V. (2002): Geostatistical Reservoir Modeling.– Oxford University Press, 376 p.
2. DEUTSCH, C.V. & JOURNEL, A.G. (1997): GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide (Applied Geostatistics Series), Second Edition.– Oxford University Press, 369 p.
3. DUBRULE, O. (1998): Geostatistics in Petroleum Geology.– AAPG Education Course Note, Series #38, AAPG and Geological Society Publishing House, 210 p.
4. HOHN, M.E. (1988): Geostatistics and Petroleum Geology.– Van Nostrand Reinhold, 264 p. ISAAKS, E. & SRIVASTAVA, R. (1989): An Introduction to Applied Geostatistics. – Oxford University Press Inc., 580 p.
5. JOURNEL, A.G. & HUIJBREGTS, C.J. (1978): Mining Geostatistics.– Academic Press, p. 600.
6. MALVIĆ, T. (2003): One dimensional variogram and statistical analysis in reservoir units of the Bjelovar sag, Croatia (Jednodimenzionalna variogramaska i statistička analiza u ležišnim jedinicama Bjelovarske uleknine). Nafta, 54, 7-8, 267-274, Zagreb.
7. MALVIĆ, T. (2005): Results of geostatistical porosity mapping in Western Drava Depression fields (Molve, Kalinovac, Stari Gradac) [Rezultati geostatističkog kartiranja poroznosti polja zapadnog dijela Dravske depresije (Molve, Kalinovac, Stari Gradac)]. Nafta, 56, 12, 465-476, Zagreb.
8. MALVIĆ, T. (2008.): Kriging, kokriging or stochastic simulations and the choice between deterministic or sequential approaches – Geologia Croatica, 61/1, 37-47, Zagreb

9. MALVIĆ, T. & SAFTIĆ, B. (2008): Dubinsko kartiranje (vježbe).- Fakultetska skripta. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 48 stranica, Zagreb.
10. MATHÉRON, G. (1962): *Traité de géostatistique appliquée.*– Tome 1, Editions Technip, 334 p.
11. MATHÉRON, G. (1963): Principles of geostatistics.– *Econ. Geol.*, 58/8, 1246–1266.
12. MATHÉRON, G. (1965): *Les Variables Régionalisées et leur Estimation.*– Masson & Cie, 306 p.
13. DALIĆ, N. (1996): Okoliši taloženja i oblici sedimentnih tijela pješčenjaka Iva naftno-plinskog polja Okoli (gornji panon). Magistarski rad. Prirodoslovno matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1-46.
14. VELIĆ, J. (2007): Geologija ležišta nafte i plina. – Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 342 str.
15. PAVLIĆ, I. (1988): Statistička teorija i primjena. – Tehnička knjiga, Zagreb, 343 str.
16. AMERICAN ASSOCIATION OF PETROLEUM GEOLOGISTS (2006): *Stochastic Modeling And Geostatistics: Principles, Methods, and Case Studies, Volume II.* – Tulsa, Oklahom, 409 p.

## 9.2. Priručnici

1. PETREL™ WORKFLOW TOOLS: *Introduction course v2004 Preprint, Norveška, 527 p.*
2. PANNATIER, Y. (1996): *Variowin: Software for Spatial Data Analysis in 2D.* – Springer, Netherlands, 91 p.

## ZAHVALE

Zahvaljujem kompaniji INA-Naftaplin, a posebno direktoru Sektora za razradu mr. sc. Mariju Weisseru što je omogućio korištenje podataka potrebnih za izradu ranijega seminara iz kolegija Dubinsko kartiranje, a koji su poslužili i za izradu ovoga novog studentskog rada.

Zahvaljujem gospodinu Yvanu Pannatieru, autoru programa Variowin 2.21, što je svima omogućio slobodno korištenje programa za variogramsko modeliranje.

Zahvaljujem svom mentoru prof. dr. sc. Bruni Saftiću, dipl. ing. geologije, na korisnim savjetima, a posebnu zahvalu upućujem dr. sc. Tomislavu Malviću, dipl. ing. geologije, na srdačnoj suradnji i strpljenju, bez čije bi pomoći bilo vrlo teško sastaviti ovaj rad.