

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Preddiplomski studij naftnog rudarstva

**Primjena geostatističkih determinističkih metoda u kartiranju geoloških
varijabli**

Završni rad

Jerko Šimundža

N 2986

Zagreb, 2011.

Primjena geostatističkih determinističkih metoda u kartiranju geoloških varijabli

Jerko Šimundža

Završni rad je izrađen na: Sveučilištu u Zagrebu

Rudarsko- geološko- naftni fakultetu

Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

U završnom radu obrađena je tema geostatističkih determinističkih metoda kartiranja odabranih geoloških varijabli. Rad je podijeljen na tri dijela. U prvom dijelu je dan općeniti pregled kriginga i kokriginga u što su ušli glavni matematički izvodi uz osnovnu teoriju, te kratka povijest razvoja tih algoritama. U drugom dijelu je pisano o kriteriju odabira najprimjerenije metode kartiranja na istovrsnome skupu ulaznih podataka. U trećem dijelu rada načinjen je pregled istraživanja geostatističkim determinističkim metodama u hrvatskom dijelu Panonskoga bazenskoga sustava načinjenih do 2011. godine. Ukratko su prikazani rezultati takva kartiranja na poljima Savske (Ivanić, Kloštar) i Dravske depresije (Stari gradac, Molve, Beničanci). Tablično je prikazano područje uporabe određenih geostatističkih metoda po poljima i depresijama.

Ključne riječi: geostatistika, determinizam, kriging, kokriging, Savska depresija, Dravska depresija

Završni rad sadrži: 24 stranice (uključujući naslovnice), 1 tablicu, 10 slika i 10 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

Završni rad je pohranjen u knjižnici Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Doc. dr. sc. Tomislav Malvić, dipl. ing.

Ocjenjivači: :
1. Prof. dr. sc. Katarina Simon, dipl. ing.
2. Prof. dr. sc. Zdenko Krištafor, dipl. ing.
3. Doc. dr. sc. Tomislav Malvić, dipl. ing.

Datum obrane: 30. 03. 2012, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

POPIS TABLICA

Tablica 4.1. Tablični pregled starosti litologije i metoda kartiranja ležišta

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Primjer karte razdioba poroznosti u pješčenjačkom ležištu (polje Ivanić) interpolirane običnim krigingom (iz Malvić, 2008b)

Slika 4.1. Položajna karta depresija u području Panonskog bazena Republika Hrvatska (Malvić & Saftić, 2008)

Slika 4.2. Primjer karte razdioba poroznosti u pješčenjačkom ležištu (polje Ivanić) interpolirane običnim krigingom (Malvić, 2008b)

Slika 4.3. Strukturna karta (polja Kloštar) pješčenjačkog ležišta „T“ donjeg ponta (Balić et al., 2008)

Slika 4.4. Karta poroznosti interpolirana običnim krigingom (Balić et al, 2008)

Slika 4.5. Karta poroznosti polja Beničanci (Malvić, 2008a)

Slika 4.6. Karta poroznosti polja Stari Gradac (Malović & Đureković, 2003)

Slika 4.7. Karta poroznosti polja Molve izrađena kokrigingom (Malvić et al., 2009)

Slika 4.8. karta poroznosti pola Molve (Malvić et al., 2009)

Slika 4.9. Karta poroznosti polja Molve izrađena kokrigingom (Malvić et al., 2009)

SADRŽAJ:

1. UVOD.....	1
2. DETERMINISTIČKE GEOSTATIČKE METODE.....	3
2.1 KRIGING.....	3
2.2 KOKRIGING.....	5
3. KRITERIJ ODABIRA NAJPRIMJERENIJE METODE DETERMINISTIČKOG GEOSTATISTIČKOG KARTIRANJA.....	7
4. PREGLED DOSADAŠNJIH KARTIRANJA LEŽIŠTA UGLJIKOVODIKA DETER- MINISTIČKIM GEOSTATISTIČKIM METODAMA U REPUBLICI HRVATSKOJ (SAVSKA I DRAVSKA DEPRESIJA).....	8
4.1 SAVSKA DEPRESIJA.....	9
4.1.1. Polje Ivanić.....	10
4.1.2. Polje Kloštar.....	11
4.2. DRAVSKA DEPRESIJA.....	12
4.2.1. Polje Beničanci.....	13
4.2.2. Polje Stari Gradac-Barcs Nyugat.....	14
4.2.3. Polje Molve.....	14
4.3 TABLIČNI PRIKAZ KARTIRANIH LEŽIŠTA DETERMINISTIČKIH METODA PO POLJIMA I LEŽIŠTIMA.....	15
5. ZAKLJUČAK	16
6. LITERATURA.....	17

1.UVOD

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 determinističke geostatističke metode, a to su:

- metoda kriginga (deterministička metoda interpolacije);
- metoda kokriginga (deterministička metoda interpolacije s dvije ili više povezanih varijabli).

Izniman pionirski teorijski rad u razvoju geostatističkih metoda započeo je (Matheron 1962, 1963, 1965), na koji se otada nadovezalo niz kvalitetnih radova, knjiga i škola (npr. Deutsch, 2002; Deutsch i Journel, 1997; Dubrule, 1988.; Hohn, 1988.; Isaaks i Srivastava, 1989; Journel i Huijbregts, 1978 te mnogi drugi). Geostatistika je skup široko korištenih metoda, primarno definiran kao napredni interpolacijski algoritam. U mnogim slučajevima geostatističke metode nude značajnije prednosti usporedivo sa drugim matematičkim pojednostavljenim interpolacijskim tehnikama. Najznačajnija prednost geostatistike je sama funkcija variograma. Postoji nekoliko prostornih interpolacijskih metoda pomoću kojih se može dobiti određeni broj podatkovnih točaka u odnosu na njihov relativni položaj prema lokaciji koja se istražuje. Ipak kriging je jedina metoda koja uzima u obzir prostornu anizotropiju podataka koji se procjenjuju kroz usmjerene variograme. Prostorna anizotropija podataka ukazuje da statističke vrijednosti izračunate na odabranim podacima nekog skupa će biti drugačije u odnosu na smijer promatranja (tipičan skup je ležište u polju). Štoviše, bez variograma bilo bi nemoguće procjeniti geološke značajke varijabli poput sekundarne poroznosti. Variogram je temeljni geostatistički uvjet za određivanje prostornih odnosa između čvrstih podataka, no i iskusni geolog može precizno definirati koeficijente težine između čvrstih podataka i njihov utjecaj na novu točku procjene.

Bušotinski i seizmički podaci mogu se primjeniti u bilo kojem geostatističkom modelu (mapiranje). Geostatističke tehnike se mogu svrstati u dvije vrste metoda, a to su deterministička i stohastička. Geološki model se može definirati kao deterministički ako isti ulazni rezultat daje isti izlazni rezultat, npr. za istu skupinu podataka koristeći iste interpolacijske metode područje unutar bušotine svaki put će biti kartiran na isti način. Model je stohastičan ako je podzemlje daleko od čvrstih podataka, opisano sličnim ali različitim

rješenjima svaki put. Čvrsti podaci se dobivaju izvođenjem mjerenja u kojima dolazi do izravnog kontakta s stjenom (karotaža, jezgrovanje). Čvrsti podatak je konačan neopterećen sigurnošću. Geostatistički deterministički pristup podrazumijeva različite metode kriginga i kokriginga. Stohastički pristup također obuhvaća različite metode koje predstavljaju ležište kroz skup realizacija. Stohastički pristup može biti daleko deskriptivniji od determinističkog. Ipak postoji i drugi dodatni izvor informacija ili izvor podatka koji može poboljšati bilo koju sliku ležišta neovisno o pristupu. Riječ je o seizmičkim vrijednostima. Kokriging je upravo deterministički pristup koji koristi seizmiku kao dodatan izvor informacija opisujući podzemlje detaljnije nego što je to moguće krigingom. Stohastičke simulacije temeljene na kokrigingu kao početnoj realizaciji također koriste seizmičke vrijednosti kao dodatan izvor informacija. Problem je vjerodostojnost seizmičkih vrijednosti, tj. mogu li se korelirati s podacima iz bušotine ili samo pokazuju trend.

2. DETERMINISTIČKE GEOSTATISTIČKE METODE

Postoje brojne geostatističke metode interpolacije u geologiji koje se dijele na determinističke kao što su kriging i kokriging, te na stohastičke simulacije. Glavna razlika determinističkih metoda u odnosu na simulacije je u tome što determinističke metode za jedan ulaz daju samo jedan izlaz, dok simulacije za jedan ulaz daju niz jednakovrijednih realizacija. U ovom radu su obuhvaćeni kriging i kokriging odnosno determinističke geostatističke metode.

2.1. KRIGING

Metoda kriginga predstavlja najpoznatiji geostatistički postupak ili algoritam. 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 (λ) 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 način određene su 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 knjigama, ta ista pravila se koriste u Hrvatskoj, (npr. u radovima Malvić 2008 a, b, c).

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 (Malvić, 2008c). 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 1:

$$\begin{bmatrix} \gamma(Z_1 - Z_1) & \gamma(Z_1 - Z_2) & \dots & \gamma(Z_1 - Z_n) \\ \gamma(Z_2 - Z_1) & \gamma(Z_2 - Z_2) & \dots & \gamma(Z_2 - Z_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \gamma(Z_n - Z_1) & \gamma(Z_n - Z_2) & \dots & \gamma(Z_n - Z_n) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \dots \\ \lambda_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(x_1 - x) \\ \gamma(x_2 - x) \\ \dots \\ \gamma(x_n - x) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Gdje su:

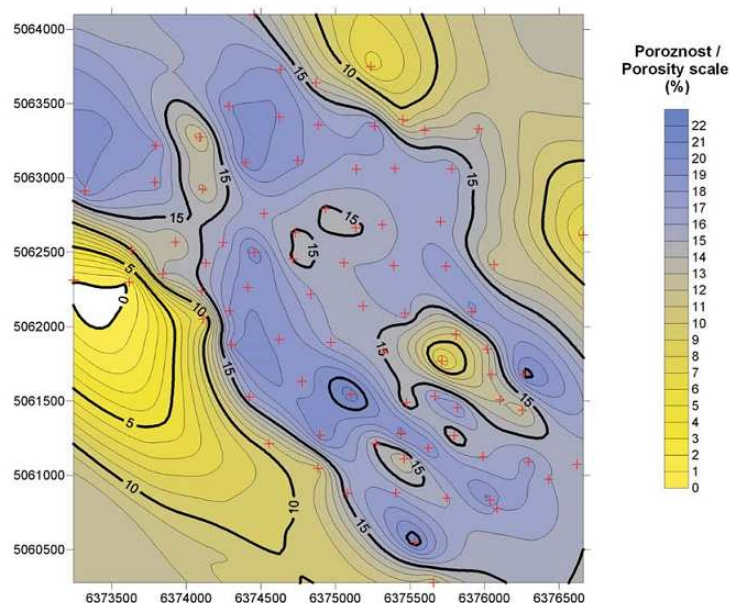
γ – vrijednost semivariograma;

λ – težinski koeficijent;

$Z_1 \dots Z_n$ – mjerene vrijednosti u točkama.

Sve ostale tehnike kriginga imaju dodane neke „faktore ograničenja” (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.

Primjer karte razdioba poroznosti običnim krigingom u hrvatskom dijelu Panonskog bazena dan je na slici 2. 1



Slika 2.1. Primjer karte razdioba poroznosti u pješčenjačkom ležištu (polje Ivanić) interpolirane običnim krigingom (Malvić, 2008b)

2.2. KOKRIGING

Kokriging predstavlja snažnu nadogradnju geostatističke metode 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 nego li 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). 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. 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 geologiji ležišta ugljikovodika). 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 pridijeli 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 2:

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

gdje su:

r_s - Spearmanov koeficijent;

d_i - razlika vrijednosti rangova;

n - broj podataka.

3. KRITERIJ ODABIRA NAJPRIMJERENIJE METODE DETERMINISTIČKOG GEOSTATISTIČKOG KARTIRANJA

Odabir između upotrebe kriginga ili kokriginga radi se na temelju nekoliko kriterija. Ako postoji mali ili ograničen broj bušotinskih podataka (10-15), tada odabir preteže na stranu determinizma (Malvić, 2008a, c). Metodom kriginga dobit će se vrlo pouzdano rješenje. 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.

Upotrebljavajući metodu kokriginga, primarna i sekundarna varijabla promatraju se na istoj lokaciji, tj. sekundarna varijabla interpolirana je na istoj lokaciji gdje postoje i mjereni podaci. Rezultati kokriginga značajno su bolji od onih dobivenih metodom kriginga te daju bolju sliku međubušotinskog prostora, naravno ako je uporabljena sekundarna varijabla ispravno primjenjena. Čak se može ustvrditi da u slučaju kada je omogućeno korištenje sekundarnih izvora podataka (seizmika), bolje koristiti kokriging nego li posebnu skupinu stohastičkih geostatističkih metoda iz razloga što takve simulacije mogu precijeniti lokalnu varijabilnost (Malvić, 2008c). Postoji tehnika po imenu kros-validacija čija je namjena provjera kvalitete procjene odabira valjane metode kartiranja. Kros-validacija je numerički relativno jednostavna (Davis, 1996) i široko korištena tehnika za provjeru kvalitete procjene. Temelji se na „uklanjanju„ vrijednosti izmjerene na odabranoj lokaciji i ponovnoj novoj procjeni na istom mjestu. Postupak se ponavlja za sve bušotine te se na kraju računa vrijednost srednje pogreške procjene (engl. “ Mean Square Error – MSE “). Nedostatak metode je djelomična neosjetljivost na broj tako analiziranih bušotina.

Princip kros-validacije je sljedeći, u 15 točaka mjeri se na primjer, dubina mora, zatim zanemari se jedno mjerenje i u toj točki načini se interpolacija temeljena na preostalih 14 točaka. Dobit će se ponovo neki broj, koji će biti drugačiji od mjenenog. Ako ta razlika nije velika (5–10 %) primijenjena je dobra metoda i može se njome kartirati cijelo područje između tih 15 točaka. Ako je razlika velika odabrana metoda nije primjerena za kartiranje.

4. PREGLED DOSADAŠNJIH KARITRANJA LEŽIŠTA UGLJIKOVODIKA DETERMINISTIČKIM GEOSTATISTIČKIM METODAMA U REPUBLICI HRVATSKOJ (SAVSKA I DRAVSKA DEPRESIJA)

Geostatističke determinističke metode kriging i kokriging su jedne od metode kartiranja na području Savske i Dravske depresije (slika 4.1), točnije na poljima Ivanić, Okoli, Kloštar, Stari gradac, Molve, Beničanci. Razlog sve veće zastupljenosti u odnosu na ostale determinističke metode interpolacije, u koje spadaju jednostavnija matematička odnosno ručna interpolacija, je u tome što za daju preciznija krajnja rješenja.



Slika 4.1. Položajna karta depresija u području Panonskog bazena Republika Hrvatska (Malvić & Saftić, 2008)

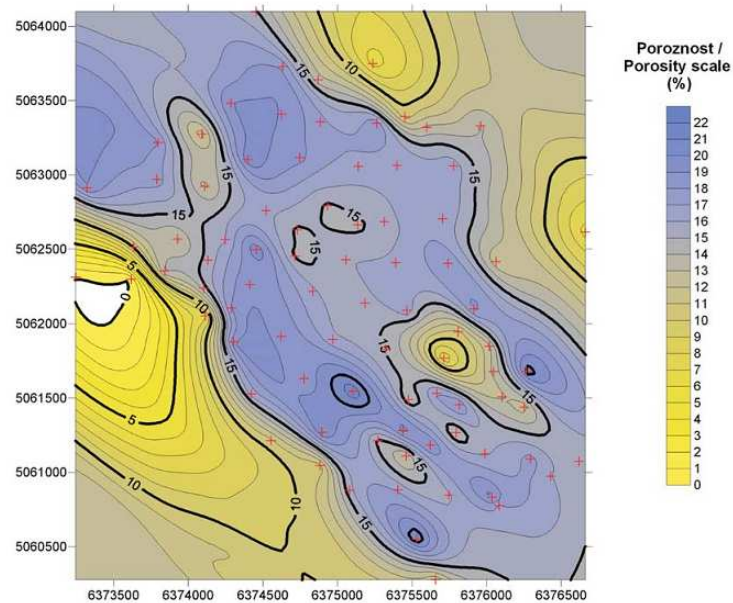
4.1 SAVSKA DEPRESIJA

Variogramске анализе те употреба геостатистичке интерполације данас представљају стандардни алат у хрватској геологији. У подручју Савске депресије налазе се поља Иванић и Клоштар на којима су се примјенјивале геостатистичке методе картоирања. На овим пољима постигнута је врло поуздана интерполација података крингом и кокрингом из разлога што је постојао велики

ulazni skup vrijednosti prikupljen na tim naftnim poljima, a ponegdje je koreliran i sekundarni podatak te primijenjen kokriging. Starost tih ležišta kreće se od donjega panona do donjeg ponta (gornji mocen). Litološki sastav analiziranih ležišta obuhvaća pješčenjake. Metode koje su se koristile za izradu karata na ovim poljima bile su obični kriging na polju Ivanić, Kloštar, te indikatorski kriging na polju Kloštar.

4.1.1. Polje Ivanić

Polje Ivanić dio je Savske depresije. Ležišta su dio klastičnog taložnog sustava s krajnjim članovima pješčenjak i lapor. Starost kartiranog ležišta gornji panon. Na ovom polju primjenjivale su se različite metode, ali ni jedna od tih metoda nije se pokazala toliko preciznom u procjeni poroznosti kao što se pokazao obični kriging (**slika 4.2**). Zbog toga je obični kriging najbolja metoda za kartiranje u pješčenjačkim ležištima koja dolazi u obzir na ovom polju, ali i cijeloj depresiji.

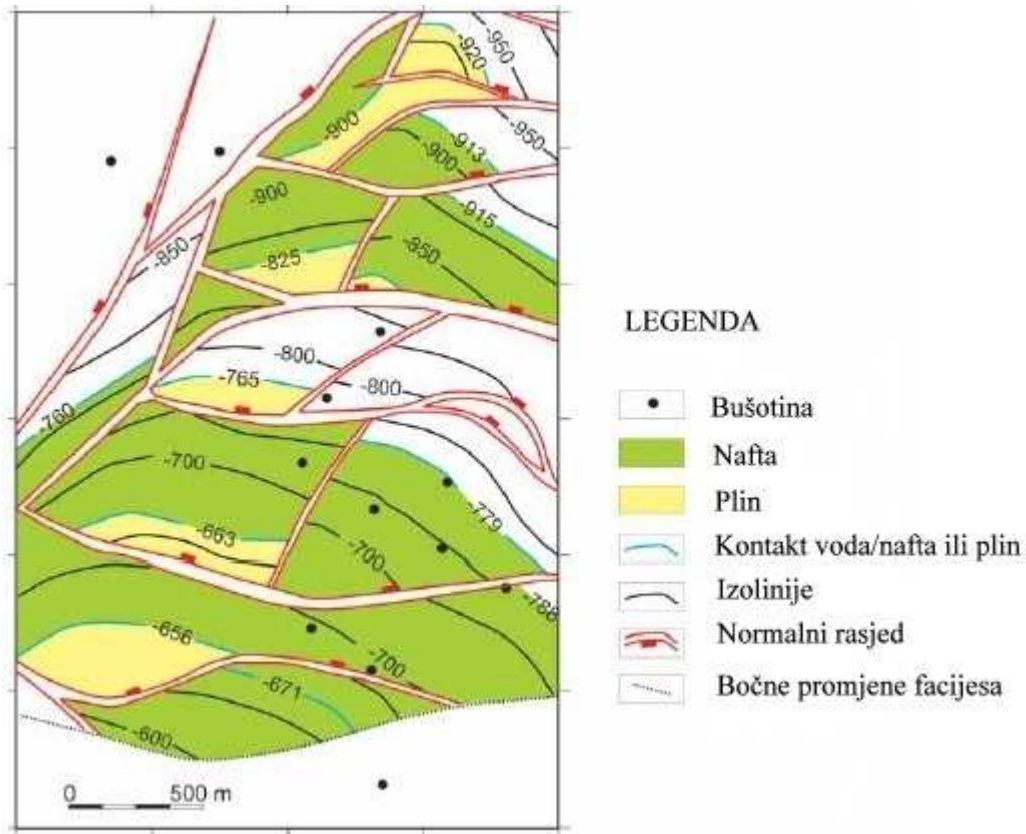


Slika 4.2. Primjer karte razdioba poroznosti u pješčenjačkom ležištu (polje Ivanić) interpolirane običnim krigingom (Malvić, 2008b)

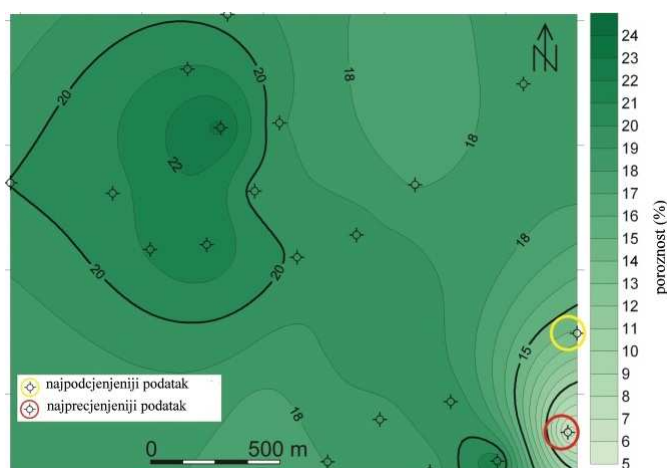
4.1.2. Polje Kloštar

Polje Kloštar nalazi se u sjeverozapadnom dijelu Savske depresije i predstavlja jedno od najvećih polja te depresije, gdje se proizvodi već 50 godina. Najveća ležišta su pješčenjačka,

starosti gornjega panona i donjega panta. Analize na ovom polju bile su fokusirane na najvećem naftnom pješčenjačkom ležištu „T“ (slika 4.3) starosti ranog panta, koristeći skup od 25 osrednjenih bušotinskih vrijednosti poroznosti. One su kartiranje običnim (slika 4.4), ali i indikatorskim krigingom.



Slika 4.3. Strukturna karta (polja Kloštar) pješčenjačkog ležišta „T“ donjeg panta (Balić et al., 2008)



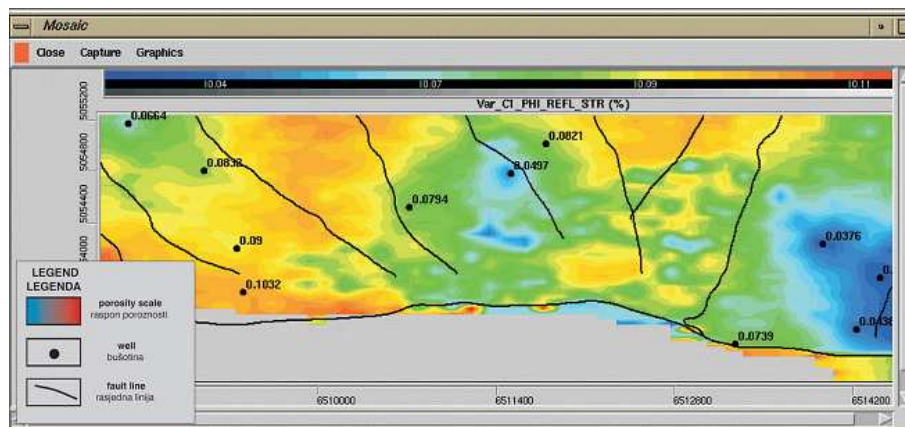
Slika 4.4. Karta poroznosti interpolirana običnim krigingom (Balić et al., 2008)

4.2. DRAVSKA DEPRESIJA

U području dravske depresije analizirana su polja Stari Gradac-Barcs Nyugat (Malvić, 2006), Molve (Malović et al., 2009) i Beničanci (Malović & Đureković, 2003) Na ovim poljima primjenjivani su podjednako kriging i kokriging. Starost polja analiziranih ležišta bila je paleozojska, mezozojska (trijas) i kenozojska (baden). Litoliški sastav je također raznolik, pa stoga nailazi se na klastite (breče), dolomite, metavulkanite i kvarcite. Na polju Stari Gradac kartirala se poroznost običnim krigingom, zatim u polju Molve poroznost kokrigingom te u Beničancima također poroznost krigingom i kokrigingom.

4.2.1. Polje Beničanci

Polje Beničanci smješteno je u Dravskoj depresiji čije se ležište sastoji od krupnih klastita (breča). Starost ležišta je baden. Metoda koja je korištena na ovom ležištu je bila kokriging (**slika 4.5**) te obični kriging. U ovome ležištu nailazimo na teškoće u predviđanju petrofizikalnih parametara radi česte litološke heterogenosti. Postoji nekoliko modela koji mogu pomoći kod opisivanja takvih ležišta. Jedan od njih uključuje seizmičku analizu. Iz nekoliko seizmičkih atributa odabrana je snaga refleksije korištena kao sekundarni izvor informacija u interpolaciji poroznosti metodom kokriginga. Upotrebom sekundarne informacije ostvarena je bolja i pouzdanija procjena distribucije poroznosti u ležištu.



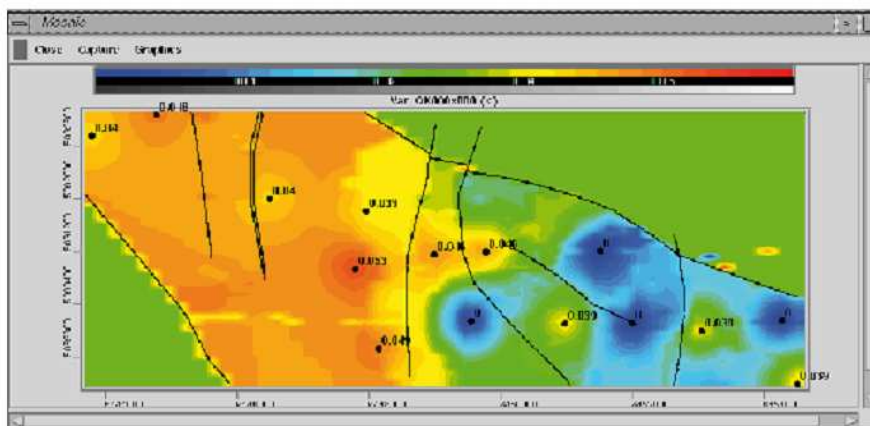
Slika 4.5. Karta poroznosti polja Beničanci (Malvić, 2008a)

Dobiveno rješenje kolociranim kokrigingom prikazuje znatno heterogeniju sliku nego li karte poroznosti načinjene običnim krigingom i inverznom udaljenošću (Malvić, 2008a). Zbog relativno maloga broja ulaznih vrijednosti (14) na karti se još uvijek relativno lako prepoznaju

lokacije bušotina, no više nije izrazito naglašen koncentrični efekt linija jednakih vrijednosti u njihovoj okolini. Također, u međubušotinskom prostoru vrlo je naglašeno obilježje seizmičkoga atributa odnosno heterogenost. Točnost metode testirana je i računom kros-validacije, a rezultat kokriginga bio je najniži u usporedbi s ostalim dvjema kartama (MSE kokriging inverzna udaljenost < kriging = 2,19 < 2,78 < 2,97). Omjer MSE/n kod kokriginga iznosi 0,16 (0,2 kod IDW; 0,21 kod kriging).

4.2.2. Polje Stari Gradac-Barcs Nyugat

Polje Stari Gradac ima heterogeno ležište čiji litološki sastav se kreće od klastita, dolomita, kvarcita i metavulkanita. Starost ležišta tako se kreće od badena pa sve do ordovicija, a ovdje su prikazani rezultati kartiranja poroznosti u dijelu ležišta koje pripada donjem trijasu (**slika 4.6**). Metoda kojom se radilo kartiranje bila je obični kriging. Točnost rezultata bila je određena geološkim evaluacijama oblika izolinija poroznosti te rezultatima kros-validacije.

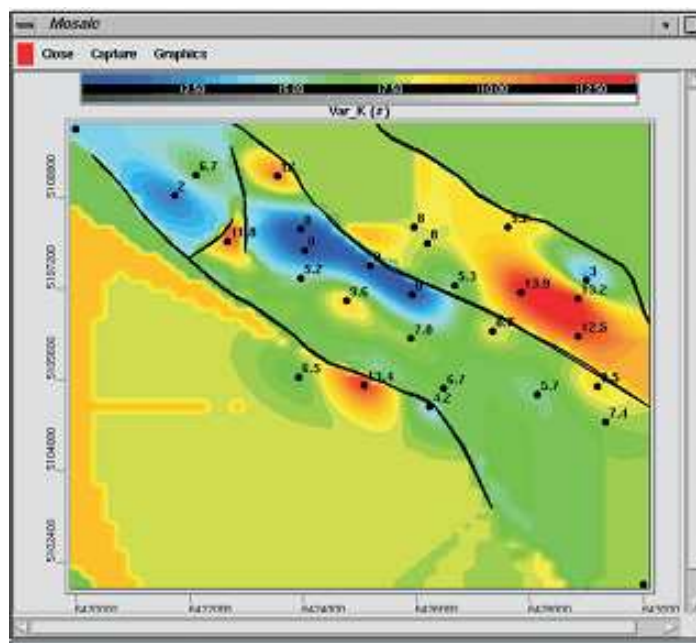


Slika 4.6. Karta poroznosti polja Stari Gradac (Malvić & Đureković, 2003)

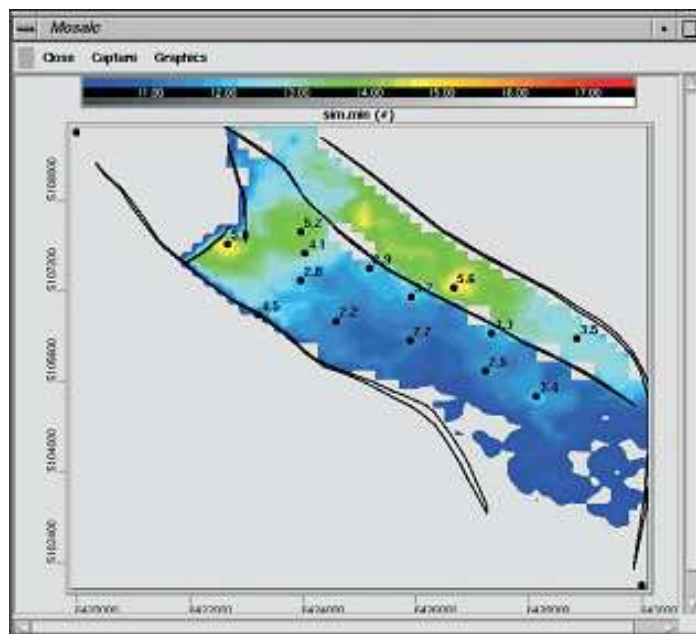
4.2.3. Polje Molve

Polje Molve obilježeno je geološki vrlo heterogenim ležištem čiji litološki sastav varira od klastita (breča), dolomita (kataklaziranih), kvarcita (kompaktnih, metmorfoziranih pješčenjaka) i metavulkanita. Starost ležišta kreće se od badena, gornjeg trijasa, donjeg trijasa, sve do ordovicija. U tom polju kartirano je kokrigingom, a seizmički atribut snage refleksije korišten je kao sekundarni podatak. No, zbog heterogenosti ležišta vrlo je teško bilo korelirati seizmičke attribute i parametre ležišta u svakom litofacijesu pojedinačno pa je to načinjeno

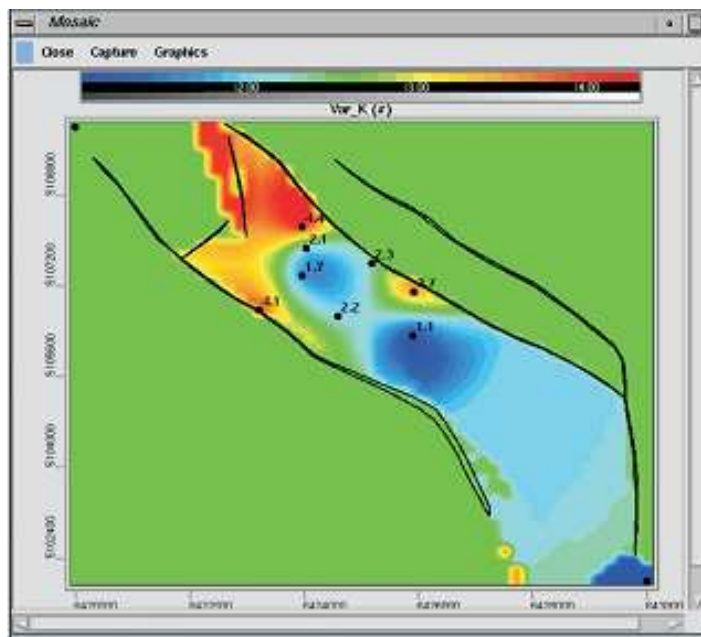
samo u jednom od njih (**slika 4.7**). U ostalim litofacijesima (**slike 4.8 i 4.9**) korišten je običan kriging.



Slika 4.7. Karta poroznosti polja Molve izrađena kokrigingom (Malvić et al., 2009)



Slika 4.8. Karta poroznosti pola Molve (Malvić et al., 2009)



*Slika 4.9. Karta poroznosti pola Molve izrađena kokrigingom,
(Malvić et al., 2009)*

4.3 TABLIČNI PRIKAZ KARTIRANIH LEŽIŠTA DETERMINISTIČKIM METODAMA PO POLJIMA I DEPRESIJAMA

Tablica 4.1. prikazuje kratak pregled depresija te polja unutar tih depresija, njihovu starost, litologiju, te metode kojima se kartirala poroznost na istoimenim poljima. Polja koja su napravljena unutar Savske depresije su polja Ivanić i Kloštar. Ležišta su starosti gornjeg miocena, a litološki to su pješčenjaci. Polja analizirana u Dravskoj depresiji su Stari Gradac, Molve i Beničanci. Starost ležišta u polju Stari Gradac i Molve je u rasponu od srednjeg miocena do plaeozoika. U Sarome Gradacu je geostatistikom kartiran samo dio ležišta u badenskim klastitima, dok su u polju Molve kartirani svi litofacijesi, tj. breče, dolomiti, kvarciti te metavulkaniti. Starost ležišta u polju Beničanci je badenska, a litološki to su breče.

NAZIV DEPRESIJE	NAZIV POLJA	STAROST LEŽIŠTA	LITOLOGIJA	METODA
Savska depresija	Ivanić	Od ranog panona do ranog ponta	Pješčenjaci	Običan kriging
Savska depresija	Kloštar	Gornji panon- donji pontain	Pješčenjaci	Običan, indikatorski kriging
Dravska depresija	Stari Gradac	Baden	Breče	Običan kriging
Dravska depresija	Molve (litofacijes I)	Baden	Breče	Kokriging
Dravska depresija	Molve (litofacijes II)	Gornji trijas	Dolomiti (raspucani)	Kokriging
Dravska depresija	Molve (litofacijes III)	Donji trijas	Kvarciti (frakturirani)	Kokriging
Dravska depresija	Molve (litofacijes IV)	Ordovicij	Metavulkaniti (frakturirani)	Kriging
Dravska depresija	Beničanci	Baden	Breče	Običan kriging, Običan kokriging

Tablica 4.1. Tablični pregled starosti, litologije i metoda kartiranja ležišta

5. ZAKLJUČAK

Završni rad sastavljen je od tri poglavlja kroz koja su ukratko objašnjeni geostatističke metode kriginga i kokriginga. U prvom poglavlju rada cilj je bio općenito objasniti kriging i kokriging. Također pisano je o počecima geostatističkih metoda te principu rada s tim metodama. U drugom dijelu rada spomenuta je kros-validacija kao kriterij po kojem se odabire najprihvatljivija interpolacijska metoda. Treće poglavlje ujedno je i glavno poglavlje rada u kojem je napravljen pregled istraživanja metodama kriginga i kokriginga u Republici Hrvatskoj, tj. u hrvatskom dijelu Panonskoga bazenskoga sustava. Navedena su sva polja, tj. ležišta u njima, koja su kartirana tim metodama. Zabilježene su različite starosti te različita litologija tih ležišta. Sva su smještena u Savskoj i Dravskoj depresiji. Starost je od paleozoika do gornjega miocena (kenozoika). Litološki sastav se kretao od breča, dolomita, kvarcita, metavulkanita, te pješčenjaka. Ležišta Savske depresije imala su jednostavniji litološki sastav (pješčenačk) u odnosu na ležišta Dravske depresije (klastiti, metamorfiti i magmatiti), pa se tu mogla lakše odabrati metoda kartiranja. Kod Dravske depresije bio je nešto drugačiji slučaj, posebno kod ležišta Molve. Razlog kompleksnosti Dravske depresije kao i ležišta Molve bila je u vrlo različitoj i kompleksnoj starosti ležišta, te litologiji. To je naglasilo važnost seizmičkih atributa kao sekundarne varijable, koja može pomoći kod kartiranja takvih ležišta.

Obzirom na litološki sastav i starost ležišta, te broj ulaznih podataka glavni cilj je bio prikazati najprimjerenije, najpouzdanije i najpreciznije geostatističke determinističke metode korištene za određeno ležište ovisno o starosti ležišta, litologiji, te broju poznatih podataka. Ukupno su proučeni geostatistički rezultati na pet polja i to poimenice: Ivanić, Kloštar, Molve, Beničanci i Stari Gradac-Barcs Nyugat. U ležištima tih polja kriging je korišten pet puta, a kokriging četiri puta. Na svim prikazanim primjerima kartirana varijabla bila je poroznost ležišta, osrednjena po okomici ležišta na lokacijama bušotina gdje su postojala odgovarajuća mjerenja.

6. LITERATURA

BALIĆ, D. & MALVIĆ, T. (2010): Ordinary kriging as the most appropriate interpolation method for porosity in the Sava depression neogen sandstone . Naftaplin, 3, 81-90.

BALIĆ, D. & VELIĆ, J. & MALVIĆ, T. (2008): Selection of the most appropriate interpolation method for sandstone reservoirs in the Kloštar oil and gas field. Geologia Croatica, 61, 1, 27-32.

DAVIS, J. & SAMPSON, R.J. (1973): Statistics and data analysis in geology. John Wiley & Sons Inc, str, 564.

ISSAKS, E. & SRIVASTAVA, R. (1989): An introduction to applied geostatistics. Academic press, str, 600.

JOURNEL, A. G. & HUIJBREGTS, C. J. (1978): Mining geostatistics. Academic press, str, 600.

MALVIĆ, T. (2008a): Kriging, cokriging or stohastical simulations, and the choice between deterministic or sequential approaches. Geologia Croatica, 61, 1, 37-47.

MALVIĆ, T (2008b): Izrada karte poroznosti krigiranjem u pješčenjačkim ležištima, primjer iz Savske depresije. II Kartografija i geoinformacije: opis hrvatskog kartografskog društva. 9, 12-19.

MALVIĆ, T. (2008c) : Primjena geostatistike u analizi geoloških podataka INA-Industrija nafte d.d., 103 str.

MALVIĆ, T & ĐUREKOVIĆ, M. (2003): Application of methods: Inverse distance weighting , ordinary kriging and collocated cokriging in porosity evaluation, and comparison of results on the Beničanci and Stari Gradac fields in Croatia. Nafta. 54, 9, 331-340.

MALVIĆ, T & PRSKALO, S. (2007): Koristi upotrebe neuronske mreže u procjeni poroznosti (na primjeru polja Beničanci). Nafta, 58, 9, 455-467.

MALVIĆ, T. & PRSKALO, S. (2008): Značenje Amplitudnog atributa u predviđanju poroznosti - primjer iz Dravske depresije. Nafta, 59, 1, 39-51.

MALVIĆ, T. & RUSAN, I. (2009): Cokriging geostatistical mapping and importance and importance of quality of seismic attribute(s). Nafta, 60, 5, 259-264.

MATHERON, G. (1965): Les variables regionalisees et leur estimation. Masson & Cie, str, 306.

NOVAK ZELENIKA, K. & MALVIĆ, T. & GEIGER, J. (2010). Kartiranje gornjomiocenskih pješčenjačkih facijesa metodom indikatorskog kriginga. Nafta, 61, 5, 225-233.

SMOLJANOVIĆ, S & MALVIĆ, T (2005): Improvements in reservoir characterization applying geostatistical modelling (estamination & stohastic simulations vs. Standard interpolation methods), case study from Croatia. Nafta: 56, 2, 57-63.