

Pregled dosadašnjih determinističkih geostatističkih kartiranja ležišta ugljikovodika u Republici Hrvatskoj te prednosti takvoga pristupa

E. Husanović i T. Malvić

PREGLEDNI ČLANAK

U zadnjih desetak godina načinjena su brojna geostatistička kartiranja ležišta ugljikovodika u hrvatskom dijelu Panonskoga bazenskoga sustava. Najveći broj takvih karata prikazao je klastična ležišta miocenske starosti, uglavnom pješčenjačka. Sva kartiranja te vrste načinjena su na podacima iz Savske i Dravske depresije. U nekoliko ranijih radova, kao i ovdje, pokazano je kako su geostatističke karte primjerenije prikazale raspodjele ležišnih varijabli nego li neke druge interpolacijske metode koje su jednim imenom nazvane „matematički jednostavnije metode“. Zbog drugačije teorije izračuna te općenito interpretacije rezultata kod stohastičkih geostatističkih metoda, u ovome prikazu prednosti su prikazane za skupinu determinističkih geostatističkih metoda, tj. tehnika običnoga kriginga i kokriginga, na kartama poroznosti i debljina ležišta.

Ključne riječi: determinizam, geostatistika, miocen, klastiti, Savska depresija, Dravska depresija

1. UVOD

Kod kartiranja ležišta ugljikovodika dubinskim geološkim kartama posebno su važni izvori, broj i vrsta podataka. Dva najčešća izvora su seizmička mjerenja i bušotinski podatci (koji se i kolokvijalno nazivaju u engleskom jeziku „hard data“, jer se smatraju najpouzdanijima, posebno bušotinski podatci). Pouzdanost napravljene karte može se procijeniti vizualno na temelju oblika dobivenih izolinija (tzv. geološka procjena oblika na karti) i numeričkim metodama (najčešće je to kros-validacija). Zbog različitog broja mjerenja koja ulaze u procjenu, „grupiranja“ skupova podataka (u tzv. klastere), te interpolaciji na rubovima karata, može se primijeniti ručna interpolacija ili matematičke jednadžbe (algoritmi na računalima). Glede vrste algoritma razlikuju se geostatističke i matematički jednostavnije metode interpolacije. Geostatistika je promatrana kao skup metoda, primarno definiranih kao napredni interpolacijski algoritmi. Najznačajnija prednost geostatistike je sama funkcija variograma. Postoji nekoliko prostornih interpolacijskih metoda pomoću kojih se može izračunati težinski koeficijent za određeni broj mjerenih točaka u odnosu na njihov relativni položaj prema lokaciji koja se istražuje. Međutim, kriging je jedina metoda koja uzima u obzir prostornu anizotropiju podataka procijenjenu kroz usmjerene variograme. Prostorna anizotropija podataka ukazuje na zavisnost lokacije, čije se vrijednost procjenjuje na temelju mjerenih točaka, o smjeru promatranja. Bez takve vrste variograma bilo bi nemoguće procijeniti razdiobu varijabli poput sekundarne poroznosti.

2. NEKE INTERPOLACIJSKE METODE

2.1. JEDNOSTAVNIJE INTERPOLACIJSKE METODE

Procjena, odnosno interpolacija predstavlja vrijednost varijabli na mjestima na kojima nisu izmjerene, može se temeljiti na sličnim vrijednostima promatrane primarne varijable (autokorelacija) ali i korištenju jedne ili više sekundarnih varijabli na istom području, uz uvjet da su one korelirane s primarnom varijablom (lit. ¹⁵). Prikazane su tri interpolacijske metode sa jednostavnijim matematičkim modelima, a imaju široku primjenu pri definiranju rasprostiranja ležišnih varijabli.

2.1.1. Metoda inverzne udaljenosti

Temelji se na pretpostavci da na vrijednost varijable koja se procjenjuje najviše utječu najbliže izmjerene vrijednosti. Utjecaj svake točke je inverzno proporcionalan udaljenosti između te točke i lokacije na kojoj se vrijednost procjenjuje. Broj točaka uključenih u procjenu određen je polumjerom kružnice opisane oko te lokacije. Rezultat ovisi o vrijednosti eksponenta udaljenosti, najčešće je ta vrijednost empirijski odabrana kao 2 jer je tada račun najjednostavniji (lit. ¹). Ova metoda se često koristi kao alternativa geostatističkim postupcima. Vrlo je uspješna ako točke izmjerenih vrijednosti nisu izrazito grupirane te je broj podataka manji od 15.

2.1.2. Metoda najbližeg susjedstva

Metoda dodjeljuje vrijednost najbliže točke svakom čvoru mreže (lit. ¹), tj. prikazuje zonalne raspodjele vrijednosti. Upotrebljiva je kada postoji mali broj podataka, odnosno kada postoje relativno velike zone na

kojima nema podataka, a potrebno ih je shematski kartirati. Iako karta ne daje pouzdan prikaz, putem zona se može odrediti približna raspodjela vrijednosti varijabli u analiziranom području.

2.1.3. Metoda pokretne sredine

Metodom pokretne sredine se računa vrijednost pojedine točke mreže kao srednja vrijednost podataka izmjerenih unutar određenog područja. Točka procjene nalazi se u središtu elipsoida ili kružnice, a svi izmjereni podatci unutar tog područja ulaze u njenu procjenu. Ovdje postoji potreba za definiranjem najmanjeg broja podataka koji se može uzeti u obzir kod osrednjavanja vrijednosti. Ako je broj podataka unutar elipsoida ili kružnice manji od graničnoga, vrijednost točke neće biti procijenjena (lit. ¹).

2.2. GEOSTATISTIČKE INTERPOLACIJSKE METODE

2.2.1. Variogramska analiza

Variogram je temeljni geostatistički alat. Služi za određivanje prostorne zavisnosti, a time i za 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 kojom se interpoliraju, smatra se, u prosjeku najbolje karte (lit. ¹¹). Variogramsku jednadžbu moguće je pojednostavniti tako da se iz nazivnika eliminira broj 2 pa se dobivena funkcija 2γ naziva semivariogramom (izraz 1):

$$2\gamma(h) = \frac{1}{N(h)} \cdot \sum_{n=1}^{N(h)} [z_n - z_{n+h}]^2 \quad (1)$$

gdje su:

- $2\gamma(h)$ vrijednost variograma;
- $N(h)$ broj parova podataka uspoređenih na udaljenosti 'h';
- z_n vrijednost varijable na lokaciji 'n';
- z_{n+h} vrijednost varijable na lokaciji udaljenoj za 'h' od promatrane lokacije 'n'.

2.2.2. Kriging

Metoda kriginga predstavlja najpoznatiji geostatistički postupak ili algoritam (npr. lit. ^{13, 14}). Prethodi joj određivanje prostorne zavisnosti, odnosno variogramska analiza. Kriging se smatra naprednom metodom za procjenu vrijednosti regionalizirane varijable u odabranim točkama mreže. Regionalizirana varijabla često je i slučajna varijabla, jer mreža točkastih uzoraka za bilo koju varijablu nikada ne može u potpunosti sa sigurnošću predstavljati reprezentativni uzorak za neki volumen (npr. stijene) koji se analizira. Procjena krigingom može se opisati jednostavnim linearnim izrazom (izraz 2), koji se kasnije raspisuje u obliku matičnih jednadžbi. Vrijednosti varijable na odabranoj lokaciji (Z_k) procjenjuju se na temelju postojećih podataka (z_i). Svakom podatku pridružen je i odgovarajući težinski koeficijent (λ) kojim se opisuje utjecaj tog mjerenog podatka na vrijednost varijable koja se procjenjuje (2):

$$Z_k = \sum_{i=1}^n \lambda_i \times z_i \quad (2)$$

Težinski koeficijenti kriginga izračunati su sustavom linearnih jednadžbi (opisani su npr. u lit. ^{3, 5, 7, 11}), a uglavnom ovise o udaljenosti podataka od točke koja se procjenjuje te njihovoj grupiranosti. Postoje različite tehnike kriginga kao što 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, matična jednadžba napisana u punome obliku (izraz 3) glasi:

$$\begin{pmatrix} \gamma(Z_1 - Z_1) & \gamma(Z_1 - Z_2) \dots & \gamma(Z_1 - Z_n) \\ \gamma(Z_2 - Z_1) & \gamma(Z_2 - Z_2) \dots & \gamma(Z_2 - Z_n) \\ \gamma(Z_n - Z_1) & \gamma(Z_n - Z_2) \dots & \gamma(Z_n - Z_n) \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma(X_1 - X) \\ \gamma(X_2 - X) \\ \gamma(X_n - X) \end{pmatrix} \quad (3)$$

gdje su:

- γ vrijednost semivariograma na udaljenosti dviju točaka;
- λ težinski koeficijent za lokaciju 'i';
- 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*, skr. *BLUE*). Međutim, kod jednostavnog kriginga nije ispunjen uvjet da je procjena nepristrana (*engl. „unbiased“*).

2.3. KOKRIGING

Kokriging predstavlja nadogradnju metode kriginga. Kriging koristi prostornu korelaciju na skupu 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. Veći broj podataka takve sekundarne varijable je i glavni razlog njezina uvođenja te računanja korelacije s primarnom (lit. ¹⁷). Značajnost ili jakost veze primarne i sekundarne varijable najčešće se računa korelacijom, bilo linearnim (Pearsonov koeficijent korelacije) ili nelinearnim koeficijentom korelacije (poput Spearmanovog koeficijenta korelacije). Pearsonov koeficijent korelacije koristi se u slučajevima kada između varijabli promatranog modela postoji linearna povezanost i neprekidna normalna distribucija. Međutim takvi su slučajevi u analizi ležišta ugljikovodika rijetki, jer odnosi između ležišnih varijabli, ako postoje, su najčešće nelinearni. Zato se svaki Spearmanov koeficijent korelacije gdje se koristi transformacija kojom se povezanost prevodi u linearnu (npr. veza između seizmičkog atributa i bušotinskog podataka u geologiji ležišta ugljikovodika) određivanjem rangova tih podataka. Tada se rangiranje radi tako da se najmanjoj vrijednosti svake varijable pridijeli rang 1, sljedećoj po veličini rang 2 i tako sve do posljednje kojoj se pridjeljuje najveći rang. Specifičnost metode kokriginga jest postojanje tzv. kolokacijskoga kokriginga, odnosno formiranje dviju skupina istovrsnih matičnih jednadžbi

za dvije zavisne varijable (izraz 4), tj. po jedna skupina za primarnu i sekundarnu varijablu (npr. u lit. ¹²).

$$Z_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot z_i + \sum_{j=1}^n x_j \cdot s_j \quad (4)$$

gdje su:

- Z_c vrijednost procjenjena kokrigingom;
 x_j težinski koeficijent sekundarne varijable za svaku lokaciju j ;
 s_j poznata vrijednost sekundarne varijable, tzv. kontrolne točke (engl. *hard-data*).

2.4. METODA KROS-VALIDACIJE

Kros-validacija, odnosno numerička procjena pogreške jednostavna je numerička metoda koja se upotrebljava za provjeru uspješnosti procjene određenom interpolacijskom metodom ili tehnikom. Temeljena je na zane-marivanju po jedne postojeće vrijednosti na pojedinoj lokaciji te računanju nove na toj istoj lokaciji. Postupak se ponavlja sekvencijalno ili slučajno za svaku pojedinačnu mjerenu točku. Vrijednost nove procjene, u ranije izmjerenoj točki, zasniva se na procjeni odabranom metodom (ili tehnikom) iz svih preostalih izmjerenih vrijednosti. Na kraju se zbrajaju kvadrati razlika sa svih postojećih lokacija i dobije konačan rezultat krosvalidacije (izraz 5). On se još naziva srednja kvadratna pogreška procjene (engl. Mean Square Error, skr. MSE). Ako se za isti skup ulaznih podataka koriste različite metode procjene tada niže vrijednosti dobivene kros-validacijom označavaju bolju metodu za pojedini slučaj (lit. ²).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\text{stvarna (izmjerena) vrijed.} - \text{procijenjena vrijed.})^2 \quad (5)$$

gdje su:

- MSE - srednja kvadratna pogreška procjene;
 stvarna (izmjerena) vrijednost – vrijednost izmjerena na smjestištu i (od ukupno n mjerenja);
 procijenjena vrijednost – procjena na smjestištu i načinjena interpolacijskim algoritmom.

3. DOSADAŠNJI OBJAVLJENI REZULTATI DETERMINISTIČKIH GEOSTATISTIČKIH KARATA LEŽIŠTA UGLJIKOVODIKA U HRVATSKOJ

Geostatističke determinističke metode, kriginga i kokriginga, su često primjenjivane zadnjih desetak godina u Savskoj i Dravskoj depresiji.

3.1. KARTE INTERPOLIRANE U SAVSKOJ DEPRESIJI

U području Savske depresije na poljima Ivanić i Kloštar postignuta je vrlo pouzdana interpolacija podataka krigingom i kokrigingom iz razloga što je postojao relativno veliki ulazni skup vrijednosti. (lit. ^{1; 12; 19}).

3.1.1. Polje Ivanić

Polje Ivanić smješteno je u sjeverozapadnom dijelu Savske depresije. Ležišta su dio miocenskog taložnog

sustava s dominantnim članovima predstavljenim pješčenjakom i laporom. Starost kartiranog ležišta je gornjopanonska. Kao ležišna varijabla kartirana geostatistikom odabrana je poroznost ležišta. Karte poroznosti interpolirane krigingom (slika 1) prikazale su preciznije rezultate u odnosu na karte poroznosti dobivene ostalim metodama. Obzirom na sličan litološki sastav te strukture drugih ležišta iste starosti u Savskoj depresiji, ocijenjeno je kako bi uporaba običnog kriginga za kartiranje poroznosti (uz dovoljan broj podataka) u cijeloj depresiji uvijek dala najbolje karte te varijable.

3.1.2. Polje Kloštar

Polje Kloštar nalazi se također u sjeverozapadnom dijelu Savske depresije i predstavlja jedno od najvećih polja, na kojemu se proizvodi već 50 godina. Najveća ležišta su pješčenjačka, starosti gornjega panona i donjega panta. Analize na ovom polju bile su fokusirane na najveće naftno ležište operativno nazvano „T“, starosti donjega panta. Kartiralo se na skupu od 25 osrednjenih bušotinskih vrijednosti poroznosti. One su kartirane običnim (slika 2) i indikatorskim krigingom. Ponovno je metoda kriginga ocijenjena kao najboljom za kartiranje ležišnih varijabli (poroznosti, debljine i dubine ležišta).

3.2. KARTE INTERPOLIRANE U DRAVSKOJ DEPRESIJI

U području Dravske depresije analizirana su polja Stari Gradac-Barcs Nyugat, Molve i Beničanci. Na tim poljima primjenjivani su podjednako kriging i kokriging.

3.2.1. Polje Beničanci

Polje se sastoji od krupnih klastita (uglavnom breča) badenske starosti. Za interpolaciju poroznosti su korišteni kokriging te obični kriging. Iz nekoliko seizmičkih atributa odabrana je snaga refleksije kao sekundarni izvor informacija u interpolaciji poroznosti metodom kokriginga (lit.¹⁶). Upotrebom sekundarne informacije ostvarena je bolja i pouzdanija procjena distribucije poroznosti u ležištu. Dobiveno rješenje (slika 3) kolociranim kokrigingom prikazuje znatno heterogeniji (time i realniji) sliku negoli karte poroznosti načinjene običnim krigingom i inverznom udaljenošću (lit.^{10,15}). Zbog relativno maloga broja ulaznih vrijednosti (14) na karti kokriginga se još uvijek relativno lako prepoznaju lokacije bušotina, no više nije izrazito naglašen koncentrični efekt linija jednakih vrijednosti u njihovoj okolini. Također, u međubušotinskome prostoru vrlo je naglašeno obilježje seizmičkoga atributa odnosno heterogenost, što i jeste obilježje toga ležišta. Točnost metode testirana je i računom kros-validacije, a rezultat kokriginga bio je najniži u usporedbi s ostalim dvjema kartama (kokriging < inverzna udaljenost < kriging = 2,19 < 2,78 < 2,97).

3.2.2. Polje Stari Gradac-Barcs Nyugat

Polje Stari Gradac-Barcs Nyugat ima heterogeno ležište čiji litološki sastav obuhvaća klastite, dolomite, kvarcite i metavulkanite. Starost ležišta proteže se od ordovicija do badena, a ovdje su prikazani rezultati kartiranja poroznosti u dijelu ležišta koje pripada donjem trijasu (slika 4). Metoda kojom se kartiralo bila je obični kriging.

Točnost rezultata određena je geološkim evaluacijama oblika izolinija poroznosti te rezultatima kros-validacije.

3.2.3. Polje Molve

Polje Molve obilježeno je s geološki vrlo heterogenim ležištem čiji litološki sastav varira od klastita (breča), dolomita, kvarcita (metmorfoziranih pješčenjaka) i metavulkanita. Starost ležišta kreće se od ordovicija, donjeg i gornjeg trijasa do badena, uz česte diskordancije. Zato je podijeljeno u četiri litofacijesa. Zbog heterogenosti ležišta bilo je vrlo teško korelirati seizmičke atribute i parametre ležišta u svakom litofacijesu pojedinačno pa je to načinjeno samo u jednom od njih (slika 5). poroznost je unutar donjotrijaskih klastita katirana kokrigingom, a seizmički atribut snage refleksije korišten je kao sekundarni podatak. U ostalim litofacijesima korišten je običan kriging.

4. TABLIČNI PRIKAZ DOSADAŠNJIH REZULTATA

Tablica 1 prikazuje kratak pregled depresija te polja unutar tih depresija, njihovu starost, litologiju, te determinističke geostatističke metode kojima se kartirala poroznost. Polja unutar Savske depresije su Ivanić i Kloštar sa pješčenjačkim ležištima gornjeg miocena. Polja analizirana u Dravskoj depresiji su Stari Gradac-Barcs Nyugat, Molve i Beničanci. Starost ležišta u polju Stari Gradac-Barcs Nyugat i Molve je u rasponu od paleozoika do kenozoika, a u Beničancima samo kenozojska. U Starome Gradcu je geostatistikom kartiran samo dio ležišta u badenskim klastitima, dok su u polju Molve kartirani svi litofacijesi od paleozoika do kenozoika, tj. metavulkaniti, kvarciti, dolomiti te breče. Starost ležišta u polju Beničanci je badenska, a litološki to su breče.

5. PRIMJER USPOREDBE KARATA DEBLJINA SLOJA INTERPOLIRANIH INVERZKOM UDALJENOŠĆU I KRIGINGOM TE PREDNOSTI GEOSTATISTIKE

Kako bi se napravilo kartiranje, koje bi ujedno bilo i ogledni primjer uporabe determinističkih geostatističkih interpolacijskih metoda u usporedbi s jednostavnijim algoritmima, generiran je skup točkastih podataka. Oni su interpolirani programom SURFER 8. Skup sadrži 25

mjerenja koji po svojim obilježjima: a) zemljopisno pripadaju sjeverozapadnom dijelu Savske depresije, b) sadrži točkaste podatke o debljinama sloja u granicama maksimalne i minimalne vrijednosti kakve su približno utvrđene u pješčenjačkim ležištima Savske depresije.

5.1. Karta debljina sloja interpolirana inverznom udaljenošću

Na temelju ulaznih podataka metodom inverzne udaljenosti izrađena je karta debljina sloja (slika 6). Pretpostavljen je izotropni radijus pretraživanja podataka unutar mreže. Vrijednost eksponenta udaljenosti postavljena je na 2, jer je to najčešće rabljena vrijednost kod ove metode u većini primjena u geoznanostima. Metodom kros-validacije izračunata je kvadratna pogreška procjene (MSE) te dan najpodcjenjeniji (engl. most under-estimated data) te najprecjenjeniji (engl. most over-estimated data) podatak, izdvojeni tijekom kros-validacije.

Rezultati krosvalidacije su:

- kvadratna pogreška varijable „debljine“ 4 020,68;
- Korijen srednje kvadratne pogreške varijable „debljine“ 63,41;
- Najpodcjenjeniji podatak nalazi se na $X=6376000$, $Y=5068000$ gdje je mjerena vrijednost varijable „debljine“ $Z=90$, a procijenjena vrijednost varijable „debljine“ $E=46,30$;
- Najprecjenjeniji podatak nalazi se na $X=6376050$, $Y=5068050$, gdje je mjerena vrijednost varijable „debljine“ $Z=45$, a procijenjena vrijednost varijable „debljine“ $E=85,01$.

5.2. Karta debljine sloja interpolirana običnim krigingom

Na temelju ulaznih podataka (vrijednosti po X, Y, Z osima) napravljena je karta debljina sloja metodom kriginga (slika 7). Stavljene su najjednostavniji linearni model variograma s nagibom 1. Metodom krosvalidacije izračunata je kvadratna pogreška procjene (MSE) te ponovno najpodcjenjeniji (engl. most under-estimated data) te najprecjenjeniji (eng. most over-estimated data) podatak kod izvođenja kros-validacije.

Rezultati krosvalidacije su:

- Srednja kvadratna pogreška varijable „debljine“ 3980,83;

Tablica 1. Tablični pregled starosti, litologije i uporaobljene geostatističke determinističke metode za kartiranje poroznosti ležišta ²⁰				
NAZIV DEPRESIJE	NAZIV POLJA	STAROST LEŽIŠTA	LITOLOGIJA	METODA
Savska depresija	Ivanić	gornji panon do donji pont	pješčenjaci	običan kriging
	Kloštar	paleozoik do donji pont	pješčenjaci	običan i indikatorski kriging
Dravska depresija	Stari Gradac-Barcs Nyugat	baden	breče	običan kriging
	Molve (litofacijes I)	baden	breče	običan kriging
	Molve (litofacijes II)	gornji trijas	dolomiti (raspucani)	običan kriging
	Molve (litofacijes III)	donji trijas	kvarciti (frakturirani)	običan kokriging
	Molve (litofacijes IV)	ordovicij	metavulkaniti (frakturirani)	običan kokriging
	Beničanci	baden	breče	običan kriging, običan kokriging

- b) Korijen srednje kvadratne pogreške varijable „debljine“ 63,09;
- c) Najpodcjenjeniji podatak nalazi se na $X=6376000$, $Y=5068000$ gdje je mjerena vrijednost varijable „debljine“ $Z=90$, a procijenjena vrijednost varijable „debljine“ $E=46,01$;
- d) Najprecijenjeniji podatak nalazi se na $X=6376050$, $Y=5068050$ gdje je mjerena vrijednost varijable „debljine“ $Z=45$, a procijenjena vrijednost varijable „debljine“ $E=83,64$.

6. PREGLED REZULTATA I ZAKLJUČAK

Dan je primjer tri najčešće, matematički jednostavnije, metode kartiranja (metoda inverzne udaljenosti, najbližeg susjedstva te pokrene sredine). Karta poroznosti dobivena metodom inverzne udaljenosti pokazala se najuspješnijom. Ta metoda ujedno je i najčešća alternativa primjeni geostatistike, posebno kada postoji premali broj ulaznih podataka za izradu variogramске analize. Što se tiče primjene geostatistike, prikazani su dosada objavljeni rezultati s polja Savske i Dravske depresije. Na kartiranim ležištima spomenutih polja starost se kretala od paleozoika do kenozoika (gornjega miocena), a litološki sastav varirao je od metavulkanita, kvarcita, dolomita, breča do pješčenjaka. Ležišta Savske depresije obilježavao je homogeniji litološki sastav (pješčenjaci) u odnosu na ležišta Dravske depresije (klastiti, metamorfiti i magmatiti). Analogno tome, za ležišta Savske depresije je bilo i jednostavnije preporučiti jednu metodu kartiranja kao općenito najprimjereniju (obični kriging). Zbog heterogenosti ležišne litologije u Dravskoj depresije, naročito u zoni polja Molve, bila je naglašena važnost primjene seizmičkog atributa kao sekundarne varijable, naravno tamo gdje se mogla uspostaviti značajna korelacija s primarnom.

U drugom dijelu su napravljene dvije karte debljina sloja u programu SURFER 8 na imaginarnom skupu od 25 podataka, koji po vrijednostima koordinata (X,Y), ali i približnih ležišnih debljina, pripada prostoru Savske depresije. Za izradu karata korištene su metode inverzne udaljenosti i kriginga. Na temelju vizualne procjene dobivenih karata odmah se dalo naslutiti kako je i u ovom slučaju metoda kriginga bila primjerenija jer je pokazivala određeni trend (pružanje istih vrijednosti izolinija sjever-jug, te trend smanjivanja debljina prema zapadu) u rasporedu debljine koji se nije mogao jasno vidjeti na karti dobivenoj inverznom udaljenošću. Uspoređujući rezultate kros-validacije također je vidljivo da je metoda kriginga imala nižu vrijednost srednje kvadratne pogreške odnosno regionalno bolju procjenu tražene varijable. Na temelju prikazanih primjera može se zaključiti kako je kod kartiranja skupova od petnaest i više podataka gotovo uvijek bolje koristiti geostatističke metode interpolacije kako bi se dobili precizniji uvidi u strukturne i stratigrafske oblike na dubinskim geološkim kartama, odnosno u razdiobu geoloških varijabli ležišta ugljikovodika.

ZAHVALA

Prikazani rezultati, podatci i sinteze načinjeni su i kao dio istraživanja na projektu MZOŠ-a broj 195-1951293-0237 naslovljenom „Stratigrafska i geomatemička istraživanja naftnogeoloških sustava u Hrvatskoj“.



Autori:

Ena Husanović, Marka Marojice 23, 20000 Dubrovnik
Dopisni autor: Ena Husanović, ena.husanovic@yahoo.com

Tomislav Malvić, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb
INA-Industrija nafte d.d., Sektor za geologiju i upravljanje ležištima, Šubiceva 29, 10000 Zagreb

UDK : 550.8 : 553.982 : 551.4 (497.5)

550.8	geološka istraživanja
553.982	ležišta ugljikovodika
551.4	kartografija
(497.5)	R Hrvatska, Dravska depresija, Savska depresija