

Stohastički pristup u determinističkom izračunu geološkoga rizika – teorija i primjer

T. Malvić

IZLAGANJE SA STRUČNIH I ZNANSTVENIH SKUPOVA

Za izračun geološkoga rizika (ili vjerojatnosti, engl. skr. *POS*) otkrića ugljikovodika u postojećem ili novome stratigrafskom intervalu ili izglednom području unutar Dravske depresije upotrijebljen je dobro poznati deterministički postupak. Isti se može primijeniti, uz male dorade, za gotovo sve litologije ležišta u bilo kojem naftno-plinskom bazenu ili depresiji. Takav izračun, iako već pomalo zastario, predstavlja pouzdani alat te, zahvaljujući tomu, još uvijek ga primjenjuju brojne nafto-plinske tvrtke i konzultantske kuće.

Analiza je načinjena u najmlađem dijelu ležišta (obuhvaća četiri litofacijesa) u polju Stari Gradac-Barcs Nyugat koji je predstavljen krupnoklastičnim sedimentima badenske starosti. To polje je odabrano s obzirom da su tamo već načinjene određene procjene postojanja dodatnih količina ugljikovodika u 'skrivenim' zamkama, ali i brojne geostatističke analize na podacima poroznosti iz svih ležišnih litofacijesa. Naravno, najmlađi i najbliži litofacijesa obuhvatio je najveći broj takvih mjerenja, a ujedno je to (uz sljedeći dublji litofacijesa) ujedno dio ležišta s najvećim rezervama ugljikovodika.

Deterministički pristup izračuna *POS*-a nadograđen je u determinističko-stohastički, upotrebom geostatističkih karata poroznosti gdje je ona izražena kroz tri moguće realizacije (minimalnom, medijanskom i maksimalnom) za analizirani badenski litofacijesa.

Ukupni *POS* ostao je isti kao i onaj dobiven isključivo deterministički ($POS=0,375$). Razlog tomu je što srednja poroznost u analiziranim badenskim klastitima varira u uskome intervalu te ne utječe na procjenu vjerojatnosti postojanja novih količina ugljikovodika. No, u dubljim litofacijesima, gdje je litologija heterogenija i/ili znatnije raspucana varijacije poroznosti su znatno veće te bi uvođenje determinističko-stohastičkog pristupa dovelo do promjena u vrijednostima *POS*-a, ovisno o tomu koja je stohastička realizacija odabrana kao reprezentativna.

Ključne riječi: geološki rizik, determinizam, stohastika, poroznost, Panonski bazen

1. Uvod

Izračun geološkoga rizika dobro je poznati alat za procjenu mogućih ležišta u novim ili postojećim stratigrafskim intervalima, izglednim područjima ili ležištima. Taj postupak dobro je opisan u nizu radova, a za područje Dravske depresije takva procjena objavljena je u radovima.^{1, 2, 3, 4, 9} U radu¹ također su procjenjena neka područja u Savskoj depresiji. Pri tomu je potrebno definirati područje u kojem se takav izračun radi. Tako se općenito stratigrafski interval (engl. „play“) promatra kao operativna jedinica, a prospekt (engl. „prospect“) ili u prijevodu 'izgledno područje' kao ekonomska jedinica. Svaka stratigrafska jedinica može biti obilježena s nekoliko prospekata i/ili polja, a koja sva imaju slična geološka obilježja i povijest.^{5, 7} U ovome radu engleski izraz „play“ je upotrijebljen kao zamjena za stratigrafski interval/intervale unutar kojega(ih) su već otkrivene ekonomske količine ugljikovodika.

Matematički, to je jednostavni deterministički umnožak nekoliko geoloških kategorija, a konačan rezultat je procjena postojanja ugljikovodika. Takva procjena može biti više ili manje subjektivna, oviseći prvenstveno o tomu je li svaka pojedinačna kategorija procijenjena od profesionalca ili preuzeta iz službenih tablica vjerojatnosti.

U drugu ruku, mnoge geostatističke procjene su sve više orijentirane stohastički (umjesto deterministički), posebno one koje se odnose na ležišne varijable. Takav pristup odgovara ponašanju prirodnih fenomena (ili geoloških procesa) koji se najčešće nalaze između determinizma i kaosa, tj. području stohastike.

Poroznost je jedna od stalnih varijabli koja se procjenjuje unutar kategorije 'Ležište' (tablica 1) koje se procjenjuje kod izračuna geološkoga rizika. Zato se može promatrati i kao jedna od dvije podkategorije unutar spomenute kategorije. Upravo ta varijabla se može (čak preporučeno) procijeniti stohastički kroz niz realizacija (minimum, medijan, maksimum itd.), a naknadno se može zajednički iz 'čvrstih' i simuliranih podataka izračunati bolja statistika varijable. U radu je promatrano kako se stohastička procjena poroznosti može uključiti u izračun geološkoga rizika. Na kraju to rezultira u hibridnoj vrsti kalkulacije *POS*-a što je opisano u sljedećim poglavljima.

2. Kratka teorija geološkoga rizika, determinističke jednadžbe i stohastičkih realizacija

Izračun geološkoga rizika je dobro poznati alat kojim se procjenjuje vjerojatnost postojanja ležišta u novom ili postojećem izglednom području ili polju. Kalkulacija je

Tablica 1. Primjer upotrebive baze podataka načinjene za prostor Bjelovarske subdepresije, a koja se može uglavnom neizmijenjena primijeniti u cijeloj Dravskoj depresiji (prema ^{2, 3})

ZAMKA	LEŽIŠTE	MATIČNE STIJENE	MIGRACIJA	OČUVANJE UGLJIKOVODIKA	'p'
Strukturalna zamka	Vrsta ležišta	Matični facijesi	Pojavnost ugljikovodika	Tlak ležišta	
Antiklinala i paleouzdignuće povezano sa starijim stijenama	Pješčenjak, čist i znatnoga lateralnoga prostranja; Pz podina predstavljena granitom, gnajsom, gabrom; Dolomiti sa sekundarnom poroznošću; Algalni grebeni sa značajnom sekundarnom poroznošću, razvijenom zbog okršavanja ili izloženosti (pod)površinskim procesima trošenja	Kerogen tipa I i/ili II	Proizvodnja ugljikovodika	Veći od hidrostatičkoga	1,00
Rasjednuta antiklinala	Pješčenjak, bogat siltom i glinom; Stijene Pz i Mz podine sa sekundarnom poroznošću, maloga pružanja; Algalni grebeni, ispunjeni s fragmentima skeletas, muljem i marnskim cementom	Kerogen tipa III	Ugljikovodici su opaženi u tragovima; Opažen je novi plin koncentracije >10 %	Približno hidrostatički	0,75
Strkturni nos zatvoren rasjedom	Pješčenjak koji uključuje značajan udjel čestica silta/gline, maloga prostranja	Povoljni paleo-facijesi za taloženje organske tvari	Nafta je opažena u jezgrama (luminiscentnom analizom, testiranjem jezgri)	Manji od hidrostatičkoga	0,50
Svaka "pozitivna" rasjednuta struktura, čije granice nisu točno određene	Stijene Pz i Mz podine, uključujući nisku sekundarnu poroznost i relativno malo prostranje	Regionalno poznati facijesi matičnih stijena, ali nisu dokazani na promatranom lokalitetu	Nafta je opažena u tragovima (lumin. anal., testiranjem jezgri)		0,25
Strukturalni sklop nije određen	Vrsta ležišta nije određena	Vrsta matičnih stijena nije određena	Nisu opaženi ugljikovodici		0,05
Stratigrafska ili kombinirana	Vrijednosti poroznosti	Zrelost	Položaj zamke	Slojna voda	
Algalni greben	Primarna poroznost >15 %; Sekundarna poroznost >5 %	Sedimenti su u katagenskoj fazi ("naftni" prozor ili "vlažnoga" plina)	Zamka je određena unutar dokazanoga migracijskog puta	Miran akvifer ležišnih voda	1,00
Pješčenjak koji isključuje	Primarna poroznost 5-15 %; Sekundarna poroznost 1-5 %	Sedimenti su u metagenskoj fazi	Zamka se nalazi između dva depocentra matičnih stijena	Aktivan akvifer ležišnih voda	0,75
Sedimenti izmijenjeni dijagenezom	Primarna poroznost <10 %; Propusnost <1x10 ⁻³ (-3) mikrometara ²	Sedimenti su u ranoj katagenskoj fazi	Kratki migracijski put (<=10 km)	Slojne vode se infiltriraju u ležište iz susjednih stijena	0,50
Nagle promjene petrofizikalnih svojstava (zbog gline, promjene facijesa)	Sekundarna poroznost <1 %	Sedimenti su u kasnoj dijagenetskoj fazi	Dugi migracijski put (>10 km)	Akvifer je infiltriran vodom s površine	0,25
Stratigrafski sklop nije određen	Vrijednosti poroznosti nisu određene	Razina zrelosti nije određena	Matične stijene nisu određene		0,05
Kvaliteta izolatorskih stijena		Data sources	Vrijeme		
Regionalno dokazane izolatorske stijene		Geokemijske analize na jezgrama i fluidima	Zamka je starija od zrelih matičnih stijena		1,00
Stijene bez ležišnih svojstava		Analogija s prostorno bliskim geokemijskim analizama	Zamka je mlađa od zrelih matičnih stijena		0,75
Stijene propusne za plin ('gubitak' plina)		Modeliranje i izračun termijske zrelosti (npr. Lopatin, Waples i dr.)	Odnos između zamke i matičnih stijena je nepoznat		0,50
Propusne stijene s mjestimice povećanim udjelom gline/silta		Modeliranje termijske zrelosti na tek nekoliko lokacija			0,25
Izolatorske stijene nisu određene		Izvor podataka nije određen			0,05

LEGENDA:

 Kategorija	 Geološki događaj (upotrebili su dvije boje samo zbog veće preglednosti)
 Podkategorija	 Vjerojatnost za pojedinačni geološki događaj

na najvećim dijelom subjektivan postupak, jer svaka pojedinačna kategorija može biti procijenjena:

- od strane zaduženog inženjera (geologa),
- iz službeno prihvaćenih tablica vjerojatnosti ili
- naknadom provjerom vjerojatnosti (engl. „benchmarking“) poštujući nove bušotinske podatke.

Općenito, stratigrafski zanimljivi intervali, s obzirom na ležišta ugljikovodika, analiziraju se deterministički procjenom nekoliko neovisnih kategorija poput: (1) strukture, (2) ležišta, (3) migracije, (4) matičnih stijena i (5) očuvanja ugljikovodika (npr. u radovima^{2, 3, 7}). Vjerojatnosti većine kategorija mogu se procijeniti iz podataka sadržanim u izvješćima bušotina, te podacima

sadržanim na karotažnim dijagramima, seizmici, podacima dobivenim analizom jezgara, kao i informacijama o stratigrafiji, te onih prikupljenim na tipskim geološkim sekcijama, ali i iz drugih odgovarajućih laboratorijskih analiza. Veliki broj tih podataka može se jednostavno odrediti iz internih ili publiciranih tablica geoloških vjerojatnosti koje vrijede za različite bazene i depresije. Takvu tablica za hrvatski dio Panonskoga bazena objavljena je u radovima^{2, 3}, a prikazana je na tablici 1.

Važno je primijetiti da prikazana tablica vrijedi za tipične litološke sekvence u Panonskome bazenu. U širem smislu, takve sekvence se mogu podijeliti u tri stratigrafska intervala, započevši s najstarijim (1) paleozojskim intervalom (uglavnom izgrađenim od gabra i metamorfita), zatim (2) srednjomiocenskih (uglavnom badenske breče i konglomerati) te (3) gornjomiocenskim (predstavljenim pješčenjacima kao ležištima).

Tako određene vrijednosti na tablici 1 omogućavaju izračun geološkog rizika (engl. „Probability Of Success“ – POS) za svaki promatrani stratigrafski interval upotrebom sljedeće jednadžbe 1:

$$POS = p \text{ (strukture)} \times p \text{ (ležišta)} \times p \text{ (migracije)} \times p \text{ (matičnih stijena)} \times p \text{ (očuvanja)} \quad (1)$$

Gdje su:

- POS konačna vrijednost geološko rizika (ili vjerojatnosti otkrića),
 p (strukture) vjerojatnost postojana strukture unutar ležišta, a procijenjene iz odgovarajućega stupca na tablici 1 (odnosno iz vrijednosti dostupnih za tu kategoriju u tablici),
 p (ležišta; migracije; matičnih stijena; očuvanja) - jednako kao i p (strukture).

Vrijednosti varijabli POS i 'p' su odabrane deterministički kao vjerojatnosti iz intervala 0-1. Promotrimo sada podkategoriju poroznost koja se nalazi unutar kategorije ležište (tablici 1). Poroznost je najčešće analizirana upotrebom karata poroznosti te se na kraju prikazuje kao srednja vrijednost izračunata iz takve karte. Takve karte poroznosti mogu se interpolirati deterministički (upotrebom metoda poput kriginga, kokriginga, inverzne udaljenosti itd.) ili stohastički (korištenjem simulacija poput sekvencijskih Gaussovih ili drugih vrsta). Ovaj drugi način, koji uključuje uvjetne simulacije, kao rezultat daje niz realizacija koje su sve drugačije, ali jednako vjerojatne. To podrazumijeva da su sve takve karte moguće, dok su razlike u međubušotinskom prostoru rezultat nesigurnosti svojstvenih interpolacijskom algoritmu. Također sve karte „poštuju“ ulazne podatke (tzv. 'čvrste' podatke). Ako se takav pristup uvede u deterministički izračun POS-a (jednadžba 1) to podrazumijeva da se vjerojatnost poroznosti [p(poroznosti)] može odabrati iz podataka danih na tablici 1 nekoliko puta uzastopce, a svaki odabir može rezultirati drugačijom vjerojatnošću.

Jedan od praktičnih stohastičkih alata nazvan je SGS (skr. od engl. „Sequential Gaussina Simulation“) metodom. Ona se temelji na krigingu, no lokacije bez uzoraka su sekvencijski procijenjene u slučajnom nizu sve do trenutka kada sva takva mjesta (ćelije) nisu poprimile neku vrijednost. SGS se upotrebljava upravo

stoga jer prostor ležišta može biti smatran kao prostor ispunjen prividnim slučajnostima (ili nesigurnostima), posebno kada se promatraju petrofizikalni podatci. U stvari, promatrajući nesigurnosti u prostoru ležišta može se jasnije ustvrditi kako „...na bilo kojoj skali postoji samo jedna točna razdioba ležišnih parametara, iako neki taložni i dijagenetski procesi koji utječu na stvaranje tih parametara još uvijek nisu u potpunosti proučeni, tj. toliko proučeni da bi se mogao u cijelosti objasniti njihov utjecaj, od početka do kraja njihova djelovanja, na vrijednosti ležišnih parametara. Upravo je to razlog zašto se kod procjene determinističkih varijabli primjenjuju brojni stohastički pristupi.“ (osobna komunikacija i vrijedno mišljenje prof. dr. sc. Jánosa Geigera, 2009). Simulaciju omogućavaju dobivanje uvida u svojstva tih nesigurnosti, dok interpolacijske metode (pa i kriging) daju samo približnu općenitu sliku (odgovarajući izraz je bolje opisan na engleskom, a glasi „smoothed“ što znači da na karti nema naglih prijelaza, već interpolacija načinjena na temelju postavljene ekvidistancije). Takvi prikazi pogodni su za uvid u ponašanje kartirane varijable u ležištu, no nije uvijek alat kojim se mogu opisati sve heterogenosti.

3. Praktični primjer – stohastičke varijacije poroznosti u klastičnom litofacijesu badenske starosti u ležištu polja Stari Gradac-Barcs Nyugat

Promotrimo jedan vrlo zanimljivi primjer heterogenoga ležišta u polju Stari Gradac-barcs nyugat. Radi se o plinsko-kondenzatnome polju smještenom na samoj hrvatsko-mađarskoj granici (slika 1), uz tok rijeke Drave. Polje se nalazi približno 150 km istočno od Zagreba.

3.1. Kratak opis geološke građe analiziranog polja

Polje se nalazi u sjeverozapadnom dijelu Dravske depresije. Ta depresija je jugozapadni ogranak Panonskoga bazena. Ležište je masivnoga tipa, a zamka je strukturno-stratigrafskog tipa. Litološki sastav ležišta je vrlo složen te je ono podijeljeno u četiri litofacijesa (koji su svi povezani u jednu hidrodinamsku cjelinu):

- klastiti badenske (te možda mjestimice gornjotrijaske) starosti;
- dolomiti donjotrijaske starosti;
- kvarciti također donjotrijaske starosti;
- metavulkaniti permske, devonske (ali moguće i karbonske) starosti.

Varijacije u izračunu geološkoga rizika, s poboljšanjem u takvome izračunu dobivenim uporabom stohastičke analize poroznosti, prikazani su za najmlađi litofacijes badenskih klastita. Taj dio ležišta nalazi se u najmlađem, neogenskom, dijelu (slika 2) paleouzdignuća (engl. „buried hills“) oblikovanog uglavnom u stijenama mezozojske i paleozojske starosti.

Poroznost unutar badenskih klastita, kao promatrana varijabla analizirana i stohastički, prvo je interpolirana deterministički upotrijebivši metodu običnoga kriginga,

umjesto inverzne udaljenosti. Razlog je što su rezultati te dvije metode uspoređeni kros-validacijom te je rješenje dobiveno krigingom pokazalo znatno manju pogrešku (kriging=3,914 nasuprot inverzne udaljenosti=5,279).

3.2. Geostatističko kartiranje poroznosti

Interpolacija krigingom temeljila se na upotrebi anizotropnog variogramskog modela u kojem je glavna os imala pružanje pravcem 120-300°, a sporedna 30-210°. To su ujedno i strukturne osi polja. Doseg na glavnoj osi iznosio je 3 500 metara, a na sporednoj 1 200 metara (rad ⁶). Važno je naglasiti kako je ulazni skup podataka obuhvatio samo 15 mjerenja ('čvrstih' točaka), pa je modeliranje sporedne osi načinjeno uglavnom na temelju iskustva (analogije) s drugih polja. Karta dobivena krigingom (ili 'nulto' rješenje) bila je osnova za stohastičko modeliranje. Također, oskudni ulazni skup podataka znatno je pogodniji za upotrebu stohastike, kojom se mogu bolje modelirati i prikazati nesigurnosti.

Za svaki litofacijes načinjeno je 100 realizacija. Interesantne realizacije izdvojene su koristeći histogram OGIP-a (skr. od engl. „Original Gas In Place“), odabirući minimalan, medijanski (kvantil P50) i maksimalni volumen. Pretpostavljeno je kako je to najjednostavniji i objektivni rangirajući kriterij. Zanimljivo je pogledati rezultate koji su prikazani kroz složenu, stohastički dobivenu, kartu na slici 3 [umnožak *varijable* poroznosti i *konstanti* ukupne debljine (engl. „gross pay“), odnosa debljine propusnih stijena i ukupne debljine (engl. „net/gross“) te zasićenja ugljikovodicima („hydrocarbon saturation“), također predstavljene kartama].

3.3. Deterministički izračun POS-a

Sve kategorije su procijenjene deterministički (prema tablici 1 i jednadžbi 1). Dio ležišta badenske starosti obilježen je sljedećim vrijednostima:

(1) Strukture:

Zamka je rasjednuta antiklinala ($p=0,75$);

Kvaliteta izolatorskih stijena dokazana je dobrom regionalno ($p=1,00$);

(2) Ležište:

Krupnozrnasti pješčenjaci ($p=1,00$);

Primarna poroznost manja je od 5 % ($p=0,50$);

(3) Matične stijene:

Kerogen tipa II ($p=1,00$);

(4) Migracija:

Proizvodnja postoji ($p=1,00$);

Postoji zamka ($p=1,00$);

Zamka je postojala prije nego li su matične stijene dostigle zrelost ($p=1,00$);

(5) Očuvanje ugljikovodika:

Plak je veći od hidrostatičkoga ($p=1,00$);

Slojna voda (akvifer) nije aktivna ($p=1,00$).

Vjerojatnost uspjeha (POS) je umnožak vjerojatnosti poroznosti (0,5) te vrijednosti svih ostalih kategorija (0,75) pa ukupno iznosi $POS=0,375$.

3.4. Determinističko-stohastički izračun POS-a

Prosječna vrijednost poroznosti za odabrane realizacije iznose (počevši s minimalnom) 3,1 %, 3,2 % te 3,53 %. Te vrijednosti smatraju se kao tri moguća rješenja za podkategoriju poroznosti, a koje bi trebale rezultirati u tri moguće vrijednosti POS-a. Pokušajmo ponovno promotriti vrijednosti sa tablice 1. Polje Stari Gradac-Barcs Nyugat je plinsko-kondenzatno polje s dokazanom proizvodnjom, te naravno ležištima i poznatim položajima matičnih stijena i migracijskih putova. To podrazumijeva da potrebne kategorije mogu biti procijenjene sljedećim vrijednostima (vrlo nalik onima u potpoglavlju 3.3. s razlikom kod procjene poroznosti):

(1) Strukture:

Zamka je rasjednuta antiklinala ($p=0,75$);

Kvaliteta izolatorskih stijena dokazana je dobrom regionalno ($p=1,00$);

(2) Ležište:

Krupnozrnasti pješčenjaci ($p=1,00$);

Primarna poroznost sadrži tri vrijednosti koje su sve manje od 5 % ($p=0,50$); (ta podkategorija je stohastički procijenjena s minimalnom, medijanskom i maksimalnom vrijednošću, tj. realizacijama P1, P50 i P99).

(3) Matične stijene:

Kerogen tipa II ($p=1,00$);

(4) Migracija:

Proizvodnja postoji ($p=1,00$);

Postoji zamka ($p=1,00$);

Zamka je postojala prije nego li su matične stijene dostigle zrelost ($p=1,00$);

(5) Očuvanje ugljikovodika:

Plak je veći od hidrostatičkoga ($p=1,00$);

Slojna voda (akvifer) nije aktivna ($p=1,00$).

Ukupna vjerojatnost iznosi $POS=0,5 \times 0,75 = 0,375$. Naravno, analizirano područje polja predstavlja zrelu naftno-plinsku „provinciju“ te se dobiveni broj može smatrati vjerojatnošću za otkriće dodatnih zaobidenih ili „satelitskih“ količina plina ili kondenzata unutar granica kontura polja ili u vrlo bliskim manjim okolnim strukturama.

Lako je primijetiti kako su u oba slučaja, tj. determinističkom i determinističko-stohastičkom izračunu, dobivene jednake vrijednosti od 0,375. To nam ukazuje na nekoliko stvari:

- Metodologija je korektno primijenjena, a rezultati se nisu mijenjali zbog uvođenja stohastike;
- Znatnija razlika između determinističkoga i determinističko-stohastičkog rezultata vjerojatno bi proizašla iz ranije lošije procjene srednje poroznosti;
- Nadalje, očito je da je interval u kojima poroznost unutar analiziranog litofacijesa može varirati oko srednje vrijednosti, a da se poštuju statistička pravila (tj. standardna devijacija), relativno uzak što ukazuje na relativno homogenu razdiobu te varijable unutar analiziranog ležišta;

d) Kako je metodologija uspješno testirana može se očekivati da će u litologijama gdje su rasponi poroznosti veći njezina primjena vjerojatno rezultirati u drugačijoj vrijednosti POS-a ako se on izračuna determinističko-stohastičkim pristupom.

4. Zaključak

Ležište je uvijek obilježeno nesigurnostima te je stalan izazov kako ih opisati. To se može načiniti upotrebom nekoliko determinističkih vrijednosti koje su određene na temelju iskustva stečenom u promatranom bazenu ili depresiji s naftno-plinskom ležištima, ali i primjenom stohastike u takvim područjima.

U oba slučaja ležišni parametri kod izračuna geološkog rizika mogu poprimiti različite numeričke vrijednosti izračunate upotrebom odgovarajućih matematičkih alata. Ipak većina geoloških kategorija je temeljena isključivo na rezultatima laboratorijskih ili bušotinskih testova te može biti iskazana samo jednom, determinističkom vrijednošću.

Ipak, dvije kategorije mogu se, u svakom polju, procjenjivati stohastički. To su:

- a) 'Ležište' s obzirom na poroznost i
- b) 'Očuvanje' s obzirom na dubinu ležišta.

U opisanom primjeru analitički je utvrđeno da unutar kategorije 'Ležište':

1. Poroznost može poprimiti vrijednosti iz intervala 3,1 (minimum), 3,2 (sredina) te 3,53 % (maksimum);
2. Takva rješenja nisu promijenila vrijednosti POS-a u niti jednom slučaju (determinističkom ili determinističko-stohastičkom), jer su sva pripadale istome geološkom događaju u podkategoriji 'Poroznost' (engl. „porosity feature“) prikazanoj u 2. stupcu na tablici 1 (tj. tvrdnji da je 'primarna poroznost manja od 10 %, a propusnost manja od 10^{-3} μm^2);
3. Međutim, rješenja su ukazala kako je najmlađi dio ležišta (badenski klastiti) obilježen uglavnom homogenom razdiobom poroznosti, tj. srednja vrijednost izračunata iz izmjerenih i simuliranih vrijednosti nalazi se u relativno uskom intervalu;
4. U takvom slučaju primjena determinističko-stohastičkog pristupa u izračunu POS-a nije donijela promjene u rezultatu, ali njegova upotreba je dokazala ispravnost metodologije koja se zatim može upotrijebiti u starijim litofaciesima (stijenama) u analiziranom polju ili na drugim poljima slične litologije, gdje su očekivane veće varijacije u vrijednostima poroznosti (bilo primarne bilo sekundarne);
5. Prikazana metodologija može se upotrijebiti u svim vrstama ležišta ugljikovodika u Dravskoj depresiji, posebno u klastičnim facijesima (pješčenicama, brečama, konglomeratima).

Zahvala

Prikazana analiza dio je multidisciplinarnog geološkog istraživanja koje je načinjeno u 2009. godini na projektu „Stratigrafska i geomatematička istraživanja naftnogeoloških sustava u Hrvatskoj“ (projekt broj 195-1951293-0237), koje je financirano od strane Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske.

Rad je u sažetijem i nešto drugačijem obliku bio predstavljen kao predavanje na 13. mađarskom i 2. hrvatsko-mađarskom geomatematičkom kongresu održanom od 21. do 23. svibnja u Mórahalomu u Mađarskoj, gdje je od strane organizacijskog odbora dopušteno da se priredi i kao članak za časopis „Nafta“.



Autor:

Tomislav Malvić, doktor znanosti, dipl. ing. geologije, INA-Naftaplin, Sektor za geologiju i upravljanje ležištima, savjetnik, tomislav.malvic@ina.hr
Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo, docent.

UDK: 553.982 : 550.8 : 502.2

553.982 ležište nafte i plina
550.8 geološka istraživanja
502.7 iscrpljivanje ležišta