

# Hrvatski rječnik odabranih geomatematičkih pojmova iz ekonomske geologije i geološke vjerojatnosti

Stručni rad

Tomislav Malvić<sup>1a</sup>, Josipa Velić<sup>1b</sup>,<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierrotijeva 6, 10000 Zagreb; <sup>a</sup>izvanredni profesor, <sup>b</sup> profesorica emerita

## Sažetak

Svako potencijalno otkriće ugljikovodika prolazi kroz fazu procjene različitih geoloških kategorija kojima se određuje postoje li geološki uvjeti za stvaranje i očuvanje ležišta. Slična metodologija može se primijeniti na još neke vrste ležišta mineralnih sirovina (poput ugljena, geotermalne vode itsl.). Konačan rezultat je predstavljen kroz vjerojatnost postojanja pretpostavljenog ležišta (izraženom vrijednošću u intervalu 0-1). To je važna, no ne i jedina, varijabla kojom se računa isplativost daljnjih ulaganja. Ona ovisi i o investicijskom riziku pojedinca ili tvrtke, a što je usko povezano s dostupnim budžetom, planiranim troškovima, očekivanoj vrijednosti otkrića, te očekivanoj dobiti. Postoji niz pojmova, jednačbi i grafikona kojima se takve varijable mogu procijeniti. Opisane su u nizu inozemnih radova, ali i nekoliko koje su objavili hrvatski autori. Upravo su oni bili temelj za izdvajanje takvih pojmova i njihovo uvođenje u hrvatsko geomatematičko nazivlje po prvi puta.

## Ključne riječi

ekonomska geologija, nazivlje, geološka vjerojatnost, funkcija korisnosti, očekivana vrijednost, geomatematika

## 1. Uvod

Ulaganje u istraživanje i razradbu ležišta mineralnih sirovina obično zahtijeva značajna financijska sredstva pa se u tom cilju tijekom desetljeća razvilo niz egzaktnih metoda i tehnika procjene njihove vrijednosti. To je posebice bilo izraženo kod ležišta ugljikovodika zbog najvećega apsolutnog iznosa koji je tijekom vremena uložen u njihovo pridobivanje.

Velik broj takvih metoda primjenjuje se na potencijalna ležišta, tj. prostore u kojima je s «razumnom» vjerojatnošću pretpostavljeno postojanje ekonomski isplativih zaliha, što će nakon završetka istraživačke faze postati dokazane i barem dijelom bilančne.

Kod ležišta ugljikovodika prvi je korak određivanje geološke vjerojatnosti njihova postojanja, zatim potencijalnog volumena zasićenog njima, novčanog rizika istraživanja te moguće dobiti. Geološka vjerojatnost je razmjerno jednostavan numerički postupak umnoška vjerojatnosno nezavisnih geoloških događaja i kategorija (npr. **Malvić, 2003; Malvić & Rusan, 2009; Malvić & Velić, 2015; Malvić et al., 2007**). Određivanje volumena prostora u podzemlju može se načiniti na više načina, a jedan od češćih je geometrijskom aproksimacijom i numeričkom integracijom (npr. **Malvić et al., 2014**).

Kod određivanja iznosa ulaganja i dobiti postoji nekoliko osnovnih varijabli, čije su vrijednosti dijelom subjektivne za onoga tko ulaže. Takve veličine su, npr., istraživački proračun, politika prema stjecanju i udjelu pojedinih vrsta rezervi, stav prema riziku ulaganja te iznosu očekivane dobiti (relativne i apsolutne). Pri tomu je stav prema riziku (pozitivan, neutralan ili negativan) vjerojatno najvažnija varijabla pri takvim izračunima, o kojima ovisi kako očekivana vrijednost (dobit) tako i «korisnost» za ulagača (npr. **Sloman & Sutcliffe, 2004**). Pri tomu je funkcija korisnosti, koju je u procjeni vrijednosti ležišta ugljikovodika uveo **Cozzolino (1977)**, a kasnije primjenilo više autora (npr. **Rose, 1987; Schuyler, 2001**), jedan od osnovnih alata. Posebno je važno uvođenje funkcije i jedinica korisnosti (**Schuyler, 2001**) u

opisano hrvatsko geomatematičko nazivlje, jer se radi o alatima koji se koriste i u dugim poljima primjene ekonomije. Niz tih metoda objavljeno je i u Hrvatskoj (Malvić et al., 2007), a kako će se one i dalje rabiti za izračune vrijednosti ležišta ugljikovodika, ovdje su izdvojeni najvažniji pojmovi i dani u obliku hrvatskoga rječnika takvoga nazivlja.

## 2. Rječnik pojmova iz ekonomske geologije i geološke vjerojatnosti s definicijama, napomenama i natuknicama

**geološka vjerojatnost** – vrijednost otkrića ležišta ugljikovodika ili neke druge geološke pojave koja se iskazuje brojem između 0 (nemoguć događaj) i 1 (siguran događaj).

Napomena: upućuje na vjerojatnost otkrića u nekom stratigrafskom intervalu ili izglednom području. Postupak izračuna geološke vjerojatnosti (“p”) može se, uz dorade metodologije, primijeniti za gotovo svim geološkim prostorima, a radi se po sljedećoj jednadžbi, gdje su “p(.)” vjerojatnosti odabranih geoloških kategorija (ovdje redom zamke, ležišta, migracije, matične stijene, očuvanja ugljikovodika):

$$IZGL = p(z) \times p(l) \times p(m) \times p(ms) \times p(oCH)$$

Primjer:

TRAP		RESERVOIR		SOURCE ROCKS		MIGRATION		HC PRESERVATION	
Structural		Reservoir type		Source facies		HC shows		Reservoir pressure	
1.00	Anticline and buried hill linked to basement	1.00	Sandstone, clean and laterally extended; Basement granite, gneiss, gabbro; Dolomites with secondary porosity; Algae	1.00	Kerogene type I and/or II	1.00	Production of hydrocarbons	1.00	Higher than hydrostatic
0.75	Faulted anticline	0.75	Sandstones, rich in silt and clay; Basement with secondary porosity, limited extending; Algae reefs, filled with skeletal debris, mud and marine cements	0.75	Kerogene type III	0.75	Hydrocarbons in traces; New gas detected >10 %	0.75	Approximately hydrostatic
0.50	Structural nose closed by fault	0.50	Sandstone including significant portion of silt/clay particles, limited extending	0.50	Favourable palaeo-facies organic matter sedimentation	0.50	Oil determined in cores (luminescent analysis, core tests)	0.50	Lower than hydrostatic
0.25	Any "positive" faulted structure, margins are not firmly defined	0.25	Basement rocks, including low secondary porosity and limited extending	0.25	Regionally known source rock facies, but not proven at observed locality	0.25	Oil determined in traces (lumin. anal., core tests)	0.25	
0.05	Undefined structural framework	0.05	Undefined reservoir type	0.05	Undefined source rock type	0.05	Hydrocarbon are not observed	0.05	
Stratigraphic or combined		Porosity features		Maturity		Position of trap		Formation water	
1.00	Algae reef form	1.00	Primary porosity >15 %; Secondary porosity >5 %	1.00	Sediments are in catagenesis phase ("oil" or	1.00	Trap is located in proven migration distance	1.00	Still aquifer of field-waters
0.75	Sandstones, pinched out	0.75	Primary porosity 5-15 %; Secondary porosity 1-5 %	0.75	Sediments are in metagenesis phase	0.75	Trap is located between two source rocks	0.75	Active aquifer of field-waters
0.50	Sediments changed by diagenesis	0.50	Primary porosity <10 %; Permeability <1x10 <sup>-3</sup> (-3) micrometer**2	0.50	Sediments are in early catagenesis phase	0.50	Short migration pathway (<=10 km)	0.50	Infiltrated aquifer from adjacent formations
0.25	Abrupt changes of petrophysical properties (caly, different facies)	0.25	Secondary porosity <1 %	0.25	Sediments are in late diagenesis phase	0.25	Long migration pathway (>10 km)	0.25	Infiltrated aquifer from surface
0.05	Undefined stratigraphic framework	0.05	Undefined porosity values	0.05	Undefined maturity level	0.05	Undefined source rocks	0.05	
Quality of cap rock				Data sources		Timing			
1.00	Regional proven cap rock (seals, isolator)	1.00		1.00	Geochemical analysis on cores and fluids	1.00	Trap is older than matured source rocks	1.00	
0.75	Rocks without reservoir properties	0.75		0.75	Analogy with close located geochemical analyses	0.75	Trap is younger than matured source rocks	0.75	
0.50	Rocks permeable for gas (gas leakage)	0.50		0.50	Thermal modeling and calculation (e.g. Lopatin, Waples etc.)	0.50	Relation between trap and source rocks is unknown	0.50	
0.25	Permeable rocks with locally higher silt/clay	0.25		0.25	Thermal modeling at just a few locations	0.25		0.25	
0.05	Undefined cap rock	0.05		0.05	Undefined data sources	0.05		0.05	

Slika 1: Geološki događaji prikazani u pet kategorija s pripadajućim vjerojatnostima (Malvić & Rusan, 2009, izvornik je na engleskom)

Vidi: geološka kategorija, izglednost otkrića (skr. izgl)  
Engl. *geological probability, probability of success (abbr. POS)*

**geološki događaj** – najniža razina varijabli kod izračuna geološke vjerojatnosti, koja predstavlja jedan nezavisan događaj s vrijednošću 0-1.

Napomena: Više geoloških događaja određuje geološku kategoriju.

Vidi: geološka vjerojatnost  
Engl. *geological event*

**geološka kategorija** – zbirna varijabla, vrijednosti 0-1, srodnih geoloških događaja čiji deterministički umnožak svih kategorija (poput zamke, ležišta, migracije, matične stijene, očuvanja ugljikovodika) daje geološku vjerojatnost.

Napomena: deterministički umnožak vjerojatnosti nekoliko geoloških kategorija je umnožak neovisnih vjerojatnosnih događaja. Međutim iako je polazna postavka kako se radi o neovisnim događajima, oni su naravno često puta isprepleteni i uvjetuju jedan drugoga. No takva međuzavisnost je daleko prekompleksna da bi se pouzdano i zavisno opisala, čak i geomatematičkim metodama, stoga se oni promatraju kao nezavisni vjerojatnosni događaji.

Vidi: geološki događaj  
Engl. *geological category*

**granična korisnost** – promjenjiva (relativna) vrijednost koja opisuje korisnost ulaganja ili zadovoljstvo ulagača mogućom dobiti glede visine ulaganja.

Napomena: primjer je zadovoljstvo koje je obično veće ako se uz uloženih 100 kn zaradi 1 kn dodatno, nego ako je to zarada na 1000 uloženi kuna.

Engl. *marginal utility*

**odgovarajući ekvivalenti** – jedinice izražene u rizično neutralnim dolarima (RN\$) koje daju najveću prihvatljivu vrijednost ulaganja s obzirom na očekivanu vrijednost otkrića.

Napomena: računa se prema

$$CE = -r \cdot \ln\left(1 - \frac{EU}{r}\right)$$

gdje su: CE – odgovarajući ekvivalenti (RN\$), EU – očekivane jedinice korisnosti, r – koeficijent tolerancije rizika.

Primjer:

**Slika 2:** Java aplikacije za izračun odgovarajućih ekvivalenata (iz Malvić et al., 2007; osmislili i programirali za Inu Curi & Malvić, 2006)

Vidi: očekivane jedinice korisnosti, geološka vjerojatnost  
Engl. *certain equivalents*

**očekivane jedinice korisnosti** – su jedinice korisnosti prilagođene za vrijednost geološke vjerojatnosti i troškova.

Napomena: računaju se prema

$$EU = U(x) \cdot POS - (NEW\_COSTS \cdot (1 - POS))$$

gdje su: EU – očekivane jedinice korisnosti; U – jedinice korisnosti; POS – geološka vjerojatnost; NEW\_COSTS – troškovi prilagođeni ulagačkim rizikom.

Vidi: funkcija korisnosti, geološka vjerojatnost  
Engl. *expected utility units*

**očekivana vrijednost** – je dobit ili korisnost koju ulagač ostvaruje ulaganjem.

Napomena: u istraživanju i proizvodnji ugljikovodika dobit ili korisnost zavisi su od geoloških varijabli, tržišta i općeg stava ulagača prema riziku. Računa se prema:

$$EV = NPV \cdot POS - (COSTS \cdot (1 - POS))$$

gdje su: EV – očekivana vrijednost; NPV – sadašnja vrijednost; POS – geološka vjerojatnost; COSTS – troškovi bušenja i opremanja.

Sin. očekivana dobit, rizik  
Vidi: funkcija korisnosti  
Engl. *expected value*

**okomita projekcija ležišta** – površinska projekcija potencijalnih ležišta unutar stratigrafske jedinice s bočno određenim granicama.

Vidi: stratigrafska jedinica  
Engl. *prospect*

**prilagođeni troškovi** – su troškovi bušenja i opremanja prilagođeni prvom derivacijom funkcije korisnosti.

Napomena: računaju se prema:

$$NEW\_COSTS = r \cdot (1 - e^{-\frac{COSTS}{r}})$$

gdje su: NEW\_COSTS – prilagođeni troškovi (u novčanim jedinicama), COSTS – ukupni troškovi (nov. jed.), r – prva aproksimacija funkcije korisnosti (koeficijent tolerancije rizika).

**prva aproksimacija funkcije korisnosti** – predstavlja vrijednost koja se godišnje može potrošiti na istraživanje i razradbu nekoga prostora.

Napomena: računa se prema jednadžbi:

$$r(\text{mil.}\$) = \frac{1}{\text{godisnje\_ulaganje}(\text{mil.}\$)}$$

gdje su: r – prva aproksimacija funkcije korisnosti (koeficijent tolerancije rizika).

Engl. *first approximation of utility function*

**rizično neutralni dolari** – jedinice izračunate uporabom eksponencijalne funkcije koja umanjuje očekivanu vrijednost tako da uzima u obzir rizik i stav prema riziku.

Napomena: računa se prema

$$U(x) = r \cdot \left( 1 - e^{-\frac{NPV}{r}} \right)$$

gdje su: U – jedinice korisnosti u rizično neutralnim dolarima (jed. RN\$); NPV – sadašnja tržišna vrijednost potencijalnih rezervi uz pravilan diskontni iznos; r – prva aproksimacija funkcije korisnosti (koeficijent tolerancije rizika), e – matematička konstanta, Eulerov broj.

Vidi: prva aproksimacija funkcije korisnosti.

Engl. *risk neutral dollars, utils*

**rizik** – vrijednost ostvarenja nekoga događaja koja se izražava vrijednošću 0-1 ili postotkom.

Napomena: u istraživanju, posebice ležišta, rizik je određen i stavom ulagača koji se razdvaja na tri vrste: (1) rizično neutralan stav gdje se ulaganje uravnotežuje s dobiti, (2) rizično naglašeni stav gdje su ulaganja načinjena iako je mogućnost gubitka veća od 50 %, (3) rizično oprezan stav u kojem se ulaganja ponekad ne rade iako je mogućnost dobiti veća od 50 %.

Engl. *risk, risk-neutral, loving or averse attitude*

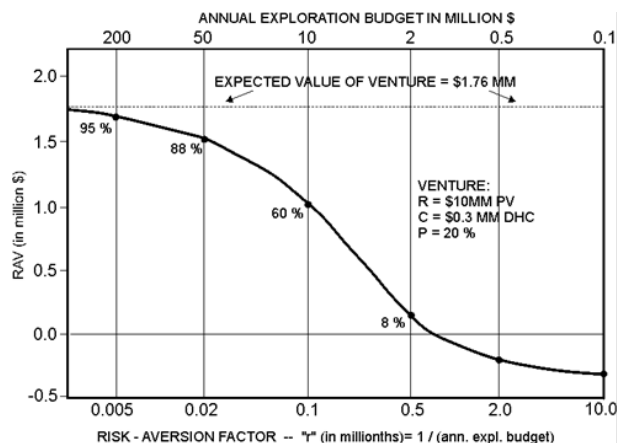
**rizikom prilagođena vrijednost** – vrijednost izvedena iz funkcije korisnosti koja ukazuje na optimalnu i konzistentnu razinu ulaganja.

Napomena: izvedena je iz veličine ulaganja, prihvatljivog rizika i očekivane dobiti ulagača (pojedince, tvrtke), a računa se prema jednadžbi:

$$RAV = -\frac{1}{r} \cdot \ln \left[ p \cdot e^{-r(R-C)} + (1-p) \cdot e^{-rC} \right]$$

gdje su: R – ukupna dobit u milijunima dolara; C – trošak u milijunima dolara; p – geološka vjerojatnost; r – funkcija koja opisuje stav prema riziku; RAV – rizikom prilagođena vrijednost, e – matematička konstanta, Eulerov broj.

Primjer:



**Slika 3:** Rizikom prilagođena vrijednost za očekivanu vrijednost od 1,76 milijuna dolara te različita godišnja ulaganja (iz Rose, 1987)

Vidi: geološka vjerojatnost, rizik, funkcija korisnosti

Engl. *risk-adjusted value* (abbr. *RAV*)

**stratigrafska jedinica** – jedinica u rangu kronostratigrafskog kata unutar koje se računa geološka vjerojatnost postojanja potencijalnog jednog ili više ležišta ugljikovodika.

Engl. *stratigraphic play*

### 3. Zaključci

Hrvatska geološka terminologija do sada je objavljivana rijetko, bez ikakvog enciklopedijskog djela takve vrste. Postoji nekoliko rječnika, te nazivlje do sada prikupljeno u bazi stručne terminologije Instituta za hrvatski jezik i jezikoslovlje „Struna“, koje obuhvaća geomatematičku građu. Upravo je geomatematičko nazivlje opisano u najvećem broju rječničkih djela na hrvatskom jeziku, međutim uglavnom za grane geostatistike i, manjim dijelom, neuronskih mreža te klasične statistike primijenjene na geološkim podacima. Jedna cijela grana koja se bavi u načelu ekonomskom geologijom i vjerojatnošću kod istraživanja i proizvodnje ugljikovodika, a ponekad i drugih mineralnim sirovinama, do sada je bila prikazana u nekoliko radova, uglavnom na engleskom jeziku. Kako se radi o značajnom području geomatematike i geologije, u kojem će se i u budućnosti raditi vrijedna istraživanja, smatrali smo da prvo rječničko djelo u obliku znanstvenoga rada ima svoju važnost kako danas, tako i u godinama koje dolaze. Rezultat je prikazano istraživanje. Vjerujemo kako će se ono nastaviti kroz buduće potpore i projekte te uskoro rezultirati i rječnikom u knjižnom obliku.

### 4. Popis literature i drugih izvora

- Cozzolino, J. M. (1977): Management of oil and gas exploration risk: West Berlin, New Jersey, Cozzolino Associates, 420 p.
- Malvić, T. (2003): Oil-Geological Relations and Probability of Discovering New Hydrocarbon Reserves in the Bjelovar Sag: Ph.D. Dissertation, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Zagreb, 123 p.
- Malvić, T. & Rusan, I. (2009): Investment risk assessment of potential hydrocarbon discoveries in a mature basin. Case study from the Bjelovar Sub-Basin, Croatia. Oil, gas - European Magazine, 35, 2; 67-72.

- Malvić, T. & Velić, J. (2015): Stochastically improved methodology for probability of success ('POS') calculation in hydrocarbon systems. *RMZ - Materials and geoenvironment*, 62, 3, 149-155.
- Malvić, T., Rusan, I. & Curi, M. (2007): Using of exponential function in risk assessment for investment in potential hydrocarbon discovery. *Naftaplin, special issue*, 4 (book 27), 33-42.
- Malvić, T., Rajić, R., Slavinić, P. & Novak Zelenika, K. (2014): Numerical integration in volume calculation of irregular anticlines. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*. 28, 2, 1-8.
- Rose, P.R. (1987): Dealing with Risk and Uncertainty in Exploration: How Can We Improve?: *AAPG Bulletin*, 71, 1, 1-16.
- Schuyler, J. (2001): *Risk and Decision Analysis in Project (2nd Edition)*: Project Management Institute Inc., Northern Square (Pennsylvania), 259 p.
- Slovan, J. & M. Sutcliffe (2004): *Economics for Business*: Edinburgh, Pearson Education Ltd., 726 p.

## Zahvala

Istraživanje i prikupljanje građe omogućeno je i sredstvima iz dvaju izvora. Jedan je projekt MZOŠ-a «Stratigrafska i geomatematička istraživanja naftnogeoloških sustava u Hrvatskoj» (voditeljica J. Velić, projekt br. 195-1951293-0237). Drugi je potpora istraživanjima odobrena 2016. pod naslovom «Matematičke metode u geologiji» (voditelj T. Malvić) na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

## Abstract in English

### Croatian dictionary of selected terms from economical geology and geological probability

Each potential hydrocarbon reservoir is subduced to estimation of different geological categories. The goal is determination of geological conditions necessary for reservoir creation. The similar methodology can be applied on similar types of reservoirs (like coal, potable water etc.). The final result is presented as probability of success (existence) of potential reservoir, expressed in interval 0-1. That is important, but not the only one variable taken into account for cost effectiveness for further investments. They also depend on acceptable risk (for person or company), i.e. on available budget, planned costs, expected value of discovery and expected profit (gain). There are list of terms, equations and graphs that can be used for such variable estimations. They are described in several world-known papers, but also in a few published from Croatian authors. These sources were selected as the base for creation of additional Croatian geomathematical terminology sub-databases for the first time.

### Key words

economic geology, terminology, geological probability, utility function, expected value, geomathematics