

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

**Utjecaj nesigurnosti geološkog modela na dinamički model ležišta
ugljikovodika**

Završni rad

Sven Heric
N 3327

Zagreb, 2014.



KLASA: 602-04/14-01/203
URBROJ: 251-70-03-14-3
U Zagrebu, 26.06.2014.

Sven Heric, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju Vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM: 602-04/14-01/203
UR.BROJ: 251-70-12-14-1 od 12.06.2014. godine priopćujemo temu diplomskog
rada koja glasi:

UTJECAJ NESIGURNOSTI GEOLOŠKOG MODELA NA DINAMIČKI MODEL LEŽIŠTA UGLJIKOVODIKA

Za voditelja ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o diplomskom
ispitu dr. sc. Tomislav Malvić, izvanredni profesor Rudarsko-geološko-naftnog
fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Voditelj

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Tomislav Malvić

(titula, ime i prezime)



**Prodekanica za nastavu i
studente**

(potpis)

Prof. dr. sc. Katarina Simon

(titula, ime i prezime)

**Predsjednik povjerenstva za
diplomske ispite**

(potpis)

Prof. dr. sc. Igor Dekanić

(titula, ime i prezime)

Utjecaj nesigurnosti geološkog modela na dinamički model ležišta ugljikovodika

Sven Heric

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 razrađen je utjecaj nesigurnosti geološkog modela na dinamički model ležišta ugljikovodika. Rad je podijeljen na tri dijela. U prvom dijelu je opisano značenje geološkog i dinamičkog modela, te njihov međusobni odnos. U drugom dijelu je opisana geologija neogenskih taložina u polju Beničanci, te geološke procjene novih rezervi u rubnim i/ili slabije propusnim dijelovima ležišta, dok je u trećem dijelu načinjen litološki pregled badenskih jezgara (tj. ležišnih stijena širega područja zone Beničanci) jedne karakteristične bušotine te njihov geološki stup, kako bi se vidjelo kakve se sve varijacije ležišnih stijena mogu očekivati. Takve varijacije izravno utječu na kasniju simulaciju dinamičkoga ponašanja ležišta, koje se često ne ponaša kao jedinstvena hidrodinamička jedinica. Kako bi se mogle usporediti debljine ležišnih i izolatorskih stijena obzirom na vrijeme potrebno za njihovo taloženje, izračunata je brzina taloženja čestica različitog detritusa. Rezultati su pokazali da se veće čestice, u ovome slučaju pšefiti brže talože od sitnih čestica koje podrazumijevaju pelite i psamite.

Ključne riječi: polje Beničanci, Dravska depresija, geološki stup, geološki model, dinamički model

Završni rad sadrži: 27 stranica, 11 slika i 12 referenci i 2 internetske poveznice

Jezik izvornika: hrvatski

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

Mentor: Dr. sc. Tomislav Malvić, dipl. ing., izvanredni profesor

Ocjenjivači: 1. Dr. sc. Tomislav Malvić, dipl. ing., izvanredni profesor

2. Dr. sc. Katarina Simon, dipl.ing., redoviti profesor

3. Dr. sc. Jasna Orešković, dipl. ing., docent

Datum i mjesto obrane: 10. srpnja. 2014. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

The influence of uncertainties in geological model onto dynamic hydrocarbon reservoir model

Sven Heric

Bachelor's thesis was made at: University of Zagreb

Faculty of mining, geology and petroleum engineering

Institute for geology and geological engineering

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Summary

Here is analysed the influence of geological model uncertainties onto dynamic model of hydrocarbon reservoir. The thesis is divided into three parts. The first included description of geological and dynamic models, their meanings and relations. The second consists of geological review of Neogene sediments in the Beničanci Field and geological estimation of new reserves existence onto marginal and/or weaker permeable reservoir parts. The third has lithological review of Badenian core samples from one characteristic well, i.e. examples of reservoir rocks in the wider area of the Beničanci Zone. It is accompanied with typical geological column, showing possible variation in reservoir rocks. Such variations have direct influence on later simulation performed through dynamical model, where often is not possible to set single hydrodynamic unit. There is also calculated the velocity of different detritus particles deposition with purpose to compare their speeds and resulting thicknesses, which different between reservoir and isolator rock's detritus. The larger particles, here described as pseffitic, had been deposited faster than pelitic and psammitic detritus.

Key Words: geological column, geological model, dynamical model, Beničanci Field, Drava Depression

Bachelor's thesis contains: 27 pages, 11 figures, 12 references and 2 internet links.

Language: Croatian

Bachelor's thesis is stored in the library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Zagreb

Mentor: Dr. Tomislav Malvić, Assoc. Prof.

Reviewers: 1. Dr. Tomislav Malvić, Assoc. Prof.

2. Dr. Katarina Simon, Full. Prof.

3. Dr. Jasna Orešković, Assist. Prof.

Date of defence: 10th July 2014, University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Položajna karta depresija te polja i zone „Beničanci“ u području hrvatskoga dijela Panonskoga bazenskoga sustava

Slika 3-1. Karta paleoreljeva naftnog polja Beničanci

Slika 3-2. Stratigrafski stup miocenskih taložina i njihove utvrđene podine u polju Beničanci i okolici

Slika 4.1. Zamke u antiklinalama

Slika 4-2. Rasjedna zamka

Slika 4-3. Stratigrafska zamka

Slika 4-4. Zamka u domi soli

Slika 4-5. Shematski geološki stup tipski za područje strukture Ladislavci i najveći dio zone Beničanci

Slika 4-6. Izračun brzine taloženja pšefita

Slika 4-7. Izračun brzine taloženja psamita

Slika 4-8. Izračun brzine taloženja pelita

SADRŽAJ

1.UVOD	1
2. ZEMLJOPISNI SMJEŠTAJ TE POVIJEST POLJA BENIČANCI	3
3. GEOLOŠKI ODNOSI U ŠIREM PROSTORU POLJA BENIČANCI....	4
4. GEOLOŠKE KATEGORIJE KOD PROCJENE NOVIH REZERVI (skr. POS, engl. „Probability of Success“) TE NESIGURNOSTI VEZANE UZ NJIHOVU PROCJENU	6
4.1 Primjer moguće heterogenosti ležišnih stijena, tj. nesigurnosti koje se mogu iskazati kod procjene kategorije ležišta.....	10
4.2. Geološki stup	14
4.3. Nesigurnosti koje se mogu javiti kod dinamičkoga modela, tj. modeliranja protoka s obzirom na heterogenost prikazane vrste ležišta	15
4.4. Simulacija brzine taloženja detritusa- na morskom dnu.....	16
5. NESIGURNOSTI VEZANE UZ SAMO KARTIRANJE (LEŽIŠNIH) STIJENA	18
6. ZAKLJUČAK.....	20
7. LITERATURA	21

Zahvaljujem se dr. sc. Tomislavu Malviću na strpljenju, pomoći i vodstvu prilikom izrade ovog rada, te na velikoj susretljivosti i korisnim znanstvenim i stručnim savjetima, na istim stvarima zahvaljujem se dr. sc. Katarini Simon i doc. dr. sc. Jasni Orešković.

Također, zahvaljujem se dr. sc. Mladenu Tudoru sa Instituta za oceanografiju i ribarstvo u Splitu koji je načinio program za računanje brzine taloženja čestica na dnu mora i postavio ga na internetske stranice Instituta.

1.UVOD

Samo značenje geologije stijena je vrlo bitno za određivanje postojanja ležišta plina, nafte, kondenzata pa i vode. Tema ovog završnog rada dotiče se varijabli koje određuju sadržaj geoloških i dinamičkih modela kojima se opisuju ležišta ugljikovodika na konkretnom primjeru takvih varijabli tipskih krupnoklastičnih ležišta u prostoru naftno-plinske zone „Beničanci“ kao oglednoga primjera badenskih ležišta u hrvatskom dijelu Panonskoga bazenskoga sustava (skr. HPBS).

Geološki model obuhvaća grafički i tekstualni prikaz raznih slojeva u podzemlju, koji su sličnog podrijetla i uvjeta nastanka. Grafički dio modela se prikazuje pomoću raznih karata i okomitih litoloških presjeka, a tekstualni prikaz obuhvaća najvažnije litološke karakteristike uglavnom opažene na jezgrama. Tako se mogu u konačnici iskazati slojevitost, vrsta minerala i materijala u slojevima, tektonski sklop, te vrijeme i način nastanka šupljikavosti i propusnosti, ali i razni drugi bitni podatci koji daju potrebne podatke o proučavanim stijenama. U geološkom modelu uvijek su sadržane određene nesigurnosti, a razlog je taj što se proučavanjem jezgara i drugih dostupnih podataka ne može kontinuirano opisati volumen podzemlja, već se veliki dijelovi njega aproksimiraju iz točkastih ili linijskih podataka. U takvoj aproksimaciji leži nesigurnost koja se na kraju prenosi i u izračun mogućega volumena ugljikovodika u ležištima koja su dijelom takvoga modela.

Dinamički model je naziv za modeliranje protoka fluida u stijenama. Najvažniji parametri dinamičkog modela su kapacitet stijene, pad tlaka i produktivnost stijene. U dinamičkom modelu također postoje određene nesigurnosti, posebno jer je teško odrediti točnu produktivnost stijene, pa u konačnici i iscrpak, koji će se postići nakon nekoliko godina proizvodnje pretpostavljenim dinamičkim modelom. Tlak koji je najveći na početku proizvodnoga vijeka s vremenom pada, a taj pad tlaka znači da se slojni tlak smanjuje, te da treba primijeniti sekundarne i tercijarne metode pridobivanja nafte. Druga varijabla koja donosi koja može smanjiti sigurnost u dinamički model može biti i vrijednost plinskoga faktora u ležištu, koji se s vremenom obično smanjuje. To smanjenje se također procjenjuje, a kao i u svakome prirodnom sustavu procjena ne može biti strogo

egzaktna, odnosno izraziti nakon kolikoga će se razdoblja zasićenje nafte plinom smanjiti ispod neke razine i uslijed čega može doći do povećanja viskoznosti nafte.

Geološki i naftno-rudarski (dinamički) modeli ovise jedan o drugom, te su usko povezani jer bez jednoga od ta dva modela nije moguće procijeniti bitne varijable u proizvodnji ugljikovodika kao što su tlakovi, količine ugljikovodika, mogućnost i način pridobivanja ugljikovodika na površinu i ekonomska isplativost u konačnici najvažniji dio. Izradba geološkoga modela prethodi numeričkom modeliranju dinamičkoga modela.

2. ZEMLJOPISNI SMJEŠTAJ TE POVIJEST POLJA BENIČANCI

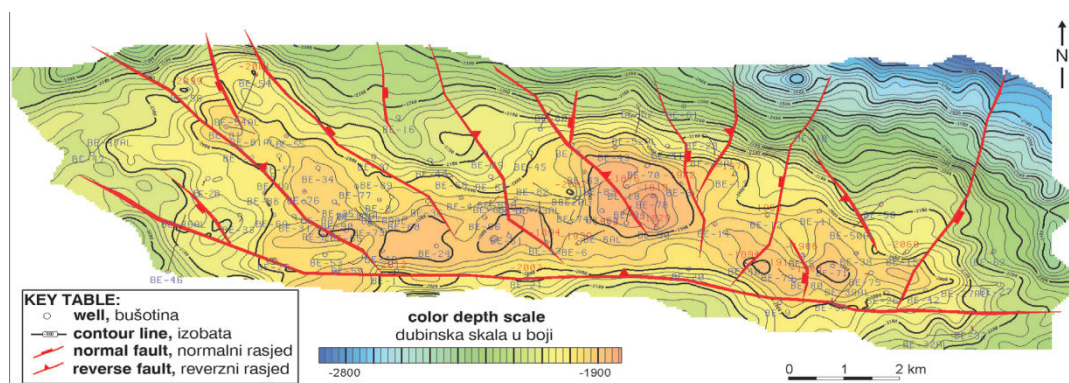
Beničanci su najveće i najpoznatije naselje općine Magadenovac, koje se nalazi u Osječko-baranjskoj županiji. Osječko-baranjska županija kao jedinica područne (regionalne) samouprave dio je upravno-teritorijalnog ustrojstva Republike Hrvatske ustanovljenog 1993. godine. Smještena je u sjeveroistočnom dijelu Republike Hrvatske u Panonskom prostoru i prostire na površini od 4152 km². Obuhvaća krajeve oko donjeg toka rijeke Drave prije njezinog utoka u Dunav. Pretežito je ravničarsko područje koje pogoduje razvitku poljoprivrede. O poljoprivrednom karakteru ovog područja govori činjenica da 260 778 ha čine obradive poljoprivredne površine, a 82 868 ha nalazi se pod šumama. Godine 1968. otkriveno je naftno-plinsko polje Beničanci (slika 2-1), a 10. svibnja 1972. godine službeno je pušteno u proizvodnju. Proizvodnja je do 2001. godine dosegla 17 % ukupne hrvatske proizvodnje.



Slika 2.1. Položajna karta depresija te polja i zone „Beničanci“ u području hrvatskoga dijela Panonskoga bazenskoga sustava (Malvić & Saftić, 2008)

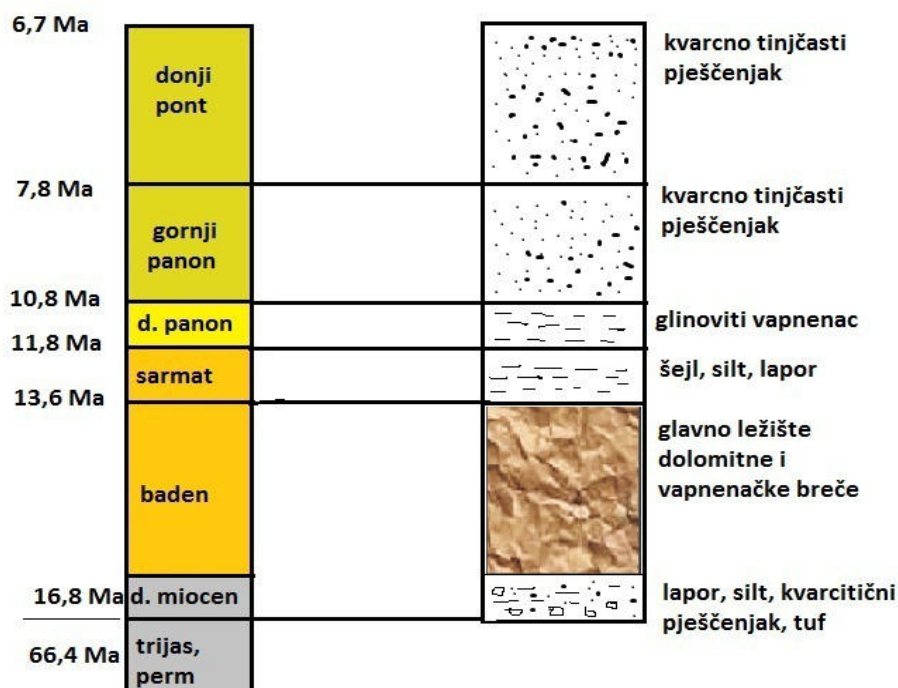
3. GEOLOŠKI ODNOSI U ŠIREM PROSTORU POLJA BENIČANCI

Polje Beničanci predstavljeno je antiklinalom pružanja istok-zapad. Krila antiklinale blago tonu ($12-18^\circ$). Dimenzije polja iznose $8 \times 1,3$ kilometara (slika 3-1). Glavni rasjedni sustav polja predstavlja južnu granicu polja, reverznog je karaktera, pružanja sjeverozapad-jugoistok.



Slika 3-1. Karta paleoreljefa naftnog polja Beničanci (Malvić & Prskalo, 2008)

Intervali naslaga, gledano kronostratigrafski, obuhvaćaju niz stijena od perma i trijasa (podina neogena), neogenske klastite i kvartarne naslage. Najstariji neogenski klastiti su efuzivne i vulkanske starosti, kao što su andezit, piroklastit i efuzivne breče te klastične breče i konglomerati marinskoga podrijetla kojih ima u formacijama Prečec i Moslavačka gora. Glavne stijene u kojima se nalaze ležišta badenske su starosti, a predstavljene su dolomitnim i vapnenačkim brečama, kojih ima u formacijama Moslavačka gora i Vukovar. (Malvić & Prskalo, 2008). Matriks (materijal koji se nalazi u šupljinama stijena i veže ih), je također predstavljen mikro i kriptokristalastim dolomitom, koji je tektonski zdrobljen, litificiran i kristaliziran. Ležišne breče i konglomerati imaju šupljine djelomično ispunjene mješavinom karbonatnog i siliciklastičnog detritusa (Malvić & Prskalo, 2008). Pronađeni su i mikrofosili koji su ukazali na plitki, marinski i energijski aktivan okoliš tijekom badena (Malvić & Prskalo, 2008). Badenske taložine prekrivene su panonskim i pontskim, uglavnom predstavljenim homogenom izmjenom pješčenjaka i lapora, kojeg ima u formaciji Bilogora, formaciji Ivanić-Grad i formaciji Vinkovci (slika 3.2). Na vrhu sedimentnoga slijeda dolaze najmlađe slabokonsolidirane (pliocenske) i nekonsolidirane (kvartarne) naslage jezerskih i kopnenih taložnih okoliša, kojih ima u formaciji Vuka i formaciji Lonja. (Malvić, 2012).



Slika 3-2. Stratigrafski stup miocenskih taložina i njihove utvrđene podine u polju Beničanci i okolici (Malvić & Prskalo, 2008)

Krupnoklastične ležišne stijene u polju Beničanci sedimentacijski su i genetski vezane na miocensku paleogeomorfologiju, transtenzijsku sinsedimentacijsku tektoniku te srednjomiocensku marinsku transgresiju (Malvić & Prskalo, 2008). Glavne vrste ležišnih stijena, kako u polju Beničanci (Tišljar, 1993), tako vjerojatno i u cijeloj zoni „Beničanci“ su:

1. Kliniformna tijela karbonatnih siparišta i debritnih tijela;
2. Konglomerati obalne zone;
3. Tijela taložena u kanalima i lepezama, sastavljena od brečokonglomerata i pješčenjaka;
4. Tektonske breče.

Kliniformna i debritna tijela nastala su nakupljanjem velike količine dolomitnog detritusa u priobalju duž strmih padina i litica tektoniziranog mezozojskog dolomitnog i vapnenačkoga masiva koji je bio izdignut (Tišljar, 1993). Konglomerati i breče priobalnoga su podrijetla, a riječni pješčenjaci su taloženi u gornjem dijelu manjih delti, distribucijskim kanalima i koritima. Tektonske breče i konglomerati imaju visoku primarnu i sekundarnu (prvotnu i drugotnu) šupljikavost i izvrsna naftonosna svojstva.

4. GEOLOŠKE KATEGORIJE KOD PROCJENE NOVIH REZERV (skr. POS, engl. „Probability of Success“) TE NESIGURNOSTI VEZANE UZ NJIHOVU PROCJENU

Procjena geološke vjerojatnosti u istraživanju i razradi ležišta nafte i plina određivanje je vjerojatnosti otkrića ugljikovodika prije bušenja na odabranom lokalitetu. Također, pojam vjerojatnosti ima svoj ekvivalent u pojmu „rizika“, odnosno oba izraza imaju jednaku vrijednost (između 0 i 1) opisanu kao „vjerojatnost“ ili „rizik“ nekoga događaja unutar naftnogeološkog sustava (npr. Malvić, 2003a; Malvić et al., 2008; Malvić & Rusan, 2009). Niz takvih događaja određuje mogućnost da naftnogeološki sustav bude zasićen naftom i/ili plinom, u konačnici ekonomski isplativim. Procjena geološke vjerojatnosti može se povezati u zajedničku cjelinu sa skupinom metoda za procjenu investicijskog rizika potencijalnog otkrića (Malvić, 2008). Ocjena isplativosti istraživanja i bušenja uglavnom se daje na temelju neto vrijednosti očekivanih rezervi (engl. „net present value“ i „expected value“) potencijalnog otkrića. Upotrebom funkcije korisnosti (engl. „utility function“) računa se otkriće obzirom na uložena sredstva i rizik koji je tvrtka spremna preuzeti.

Općenito, rezerve su procijenjena količina ugljikovodika koji se nalaze u stijeni i ekonomski ih je isplativo pridobiti iz bušotine. Stoga vjerojatnost postojanja različitih vrsta rezervi može se iskazati kroz nekoliko geoloških razreda ili kategorija od kojih svaka ima svoju vjerojatnost kojom obilježava vjerojatnost cjelovitoga naftno-plinskoga geološkoga sustava (Malvić et al., 2008; Malvić & Rusan, 2009.). Te vjerojatnosti za opis rezervi u ležištima su:

1. Dokazane i razrađene rezerve s vjerojatnošću 1,0 ;
2. Dokazane i nerazrađene rezerve 0,75 ;
3. Vjerojatne rezerve uz vjerojatnost 0,50 ;
4. Moguće rezerve uz vjerojatnost 0,25 te
5. Nedokazane i eventualno spekulativne rezerve uz vjerojatnost 0,05.

Slične vjerojatnosti mogu obilježiti i ispunjavanje događaja vezanih uz pojedinačne geološke kategorije unutar naftno-plinskoga geološkoga sustava, poput ležišnih stijena, izolatorskih stijena, matičnih stijena, migracijskoga puta te očuvanja ugljikovodika u

ležištu (npr. vrijednosti kakve su dane u Malvić & Rusan, 2009). Suvremeni izračun dijelom je standardiziran kroz tablice i metodologiju koja uključuje ocjenu uobičajenih geoloških kategorija kojima je definiran naftnogeološki prostor. Do sada se tomu poslu prilazilo uglavnom s dva različita aspekta:

- a) Dopuštanjem ekspertu/ima procijeniti vjerojatnost pojedinih geoloških kategorija vrijednostima iz intervala 0,0-1,0 ili
- b) Upotrebom ranije objavljenih tablica vezanih uz procjenu geološkog rizika u različitim naftno-plinskim provincijama. Takve tablice sadrže niz diskretnih vrijednosti, također iz intervala 0,0-1,0.

Unutar Ine uglavnom je desetljećima bila uvriježena uporaba objavljenih vjerojatnosnih tablica, no i nadalje dopuštajući ekspertima da tako predložene vrijednosti jednim dijelom prilagode svojoj ocjeni. Nije određen strogi interval u kojem je dopuštena promjena tabličnih vrijednosti (Malvić & Rusan, 2009). Geološka vjerojatnost dosada se procjenjivala s obzirom na pet kategorija:

Kategorija 1: vjerojatnost ZAMKE („probability of TRAP“);

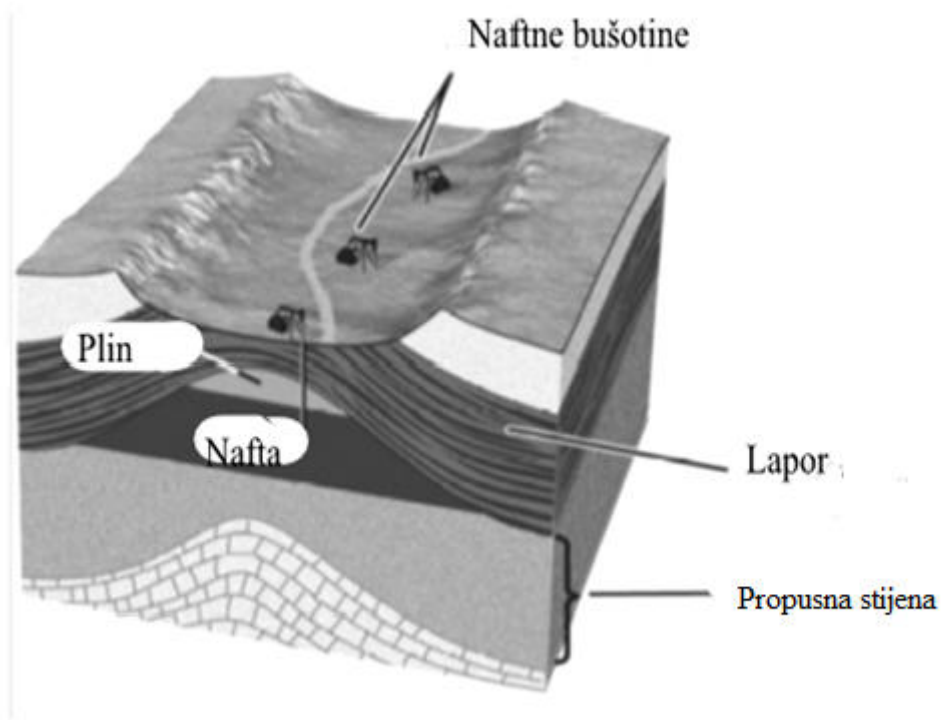
Kategorije 2: vjerojatnost REZERVOARA („probability of RESERVOIR“);

Kategorija 3: vjerojatnost MATIČNIH STIJENA („probability of SOURCE ROCKS“);

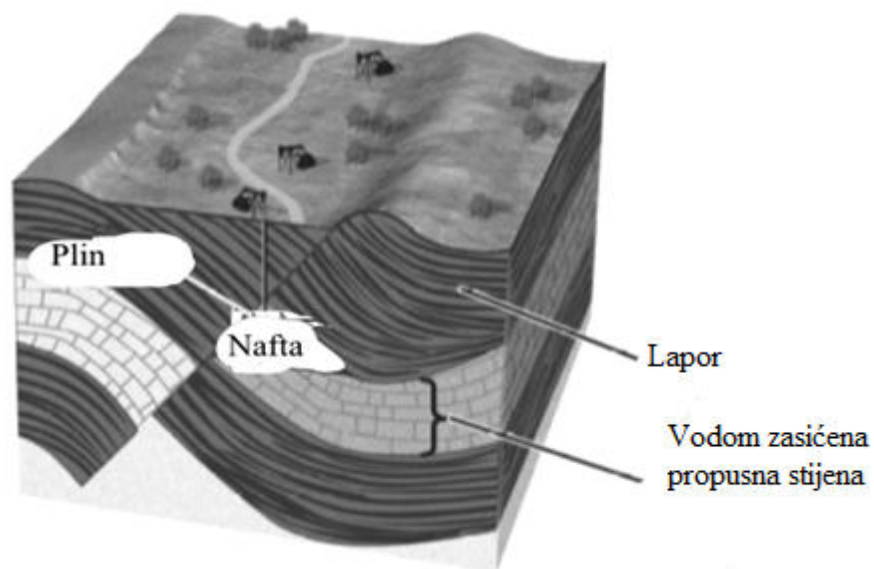
Kategorija 4: vjerojatnost MIGRACIJE („probability of MIGRATION“);

Kategorija 5: vjerojatnost OČUVANJA UGLJIKOVODIKA („probability of HC PRESERVATION“).

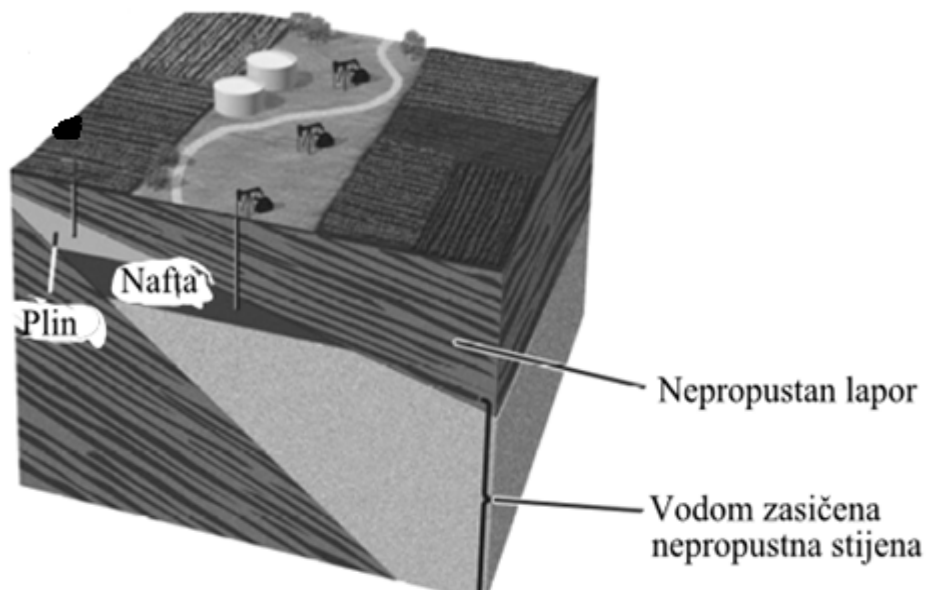
Moguće su i druge kategorije, a njihovo izdvajanje ovisi od autora i pristupa koji su odabrani, no načelno svi takvi skupovi karakteriziraju jednake varijable. Prema definiciji takvih geoloških kategorija ležišne stijene su stijene u kojima se nalaze ugljikovodici. Pretežno su to sedimenti, npr. pješčenjaci, breče, konglomerati i vapnenci, odnosno vrste klastičnih stijena koje se razlikuju prema veličini čestica različitog materijala i prema načinu postanka. Ugljikovodici koji se nalaze u ležišnim stijenama moraju proći migracijski put. Migracija ugljikovodika se odvija kroz dovoljno propusne stijene koje omogućuju prolaz od matičnih stijena do ležišnih stijena u kojima se oni nakupljaju, a zbog postojanja zamke, koja može biti strukturna (slike 4-1 i 4-2), stratigrafska (slika 4-3) ili kombinirana (slika 4-4). Uvjeti za postanak ugljikovodika postoje u matičnoj stijeni. Ona sadrži više od 0,5% organske tvari koja pod visokim tlakom i, važnije, visokom temperaturom (50-200°C) generira ugljikovodike kroz dugi vremenski period (npr. Velić, 2007).



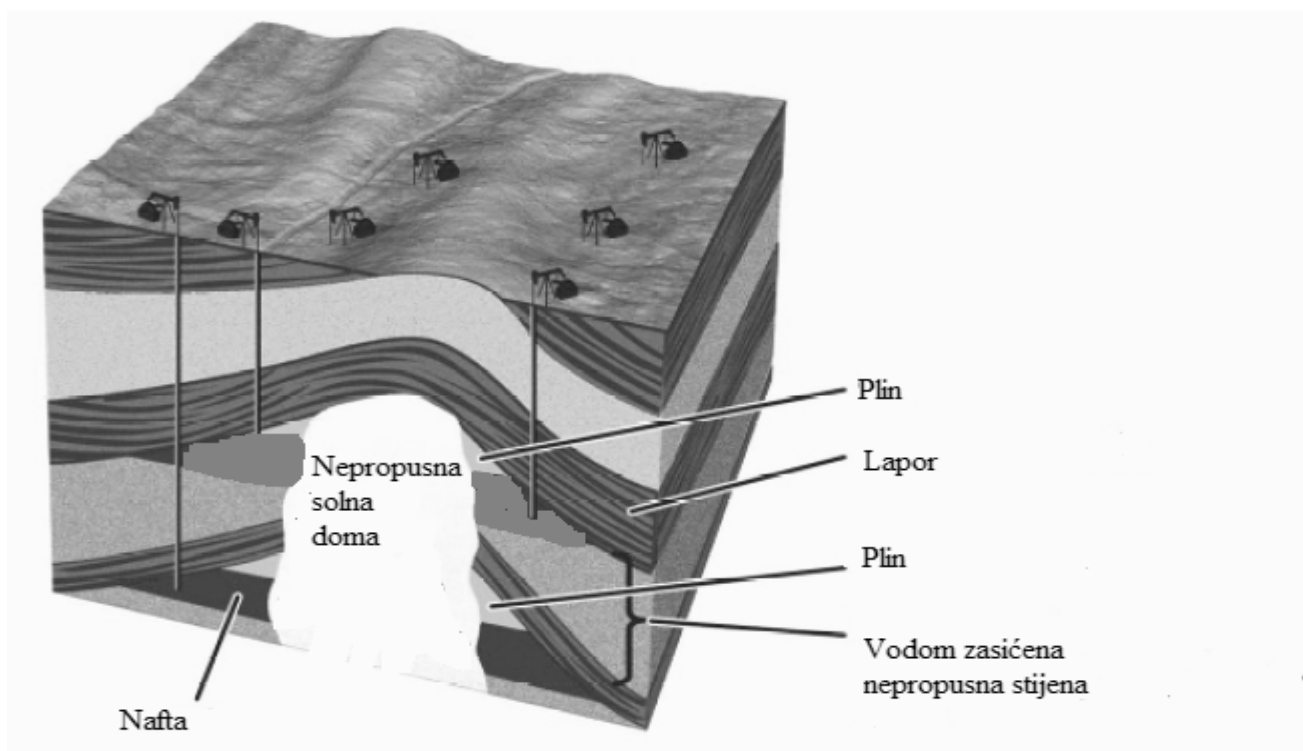
Slika 4-1. Zamke u antiklinalama (djelomično izmijenjeno s: <http://rgn.hr/~dpavelic/OG-PROGRAM.htm>)



Slika 4-2. Rasjedna zamka (djelomično izmijenjeno s: <http://rgn.hr/~dpavelic/OG-PROGRAM.htm>)



Slika 4-3. Stratigrafska zamka (djelomično izmijenjeno s: <http://rgn.hr/~dpavelic/OG-PROGRAM.htm>)



Slika 4-4. Zamka u solnoj domi (djelomično izmijenjeno s: <http://rgn.hr/~dpavelic/OG-PROGRAM.htm>)

4.1 Primjer moguće heterogenosti ležišnih stijena, tj. nesigurnosti koje se mogu iskazati kod procjene kategorije ležišta

Kao primjer kolika heterogenost može biti u potencijalnim ležišnim stijenama, te samim time i nesigurnost kod stvaranja geološkoga modela, uzet je jedan kontinuirani opis nekoliko jezgrovanih intervala badenske starosti. On opisuje jezgre koje potječu iz područja zone „Beničanci“, odnosno polja Ladislavci unutar nje. Radi se uglavnom o krupnoklastičnim taložinama, mjestimice proslojenim ili pomiješanim s pelitnim detritusom, što naravno smanjuje njihovu propusnost, kako bočnu tako i okomitu. Slijedi opis jezgrovanih intervala na kojima je naznačena dubina te razlikovanje po pojedinačnim metrima tamo gdje je ono i načinjeno. Oznaka bušotine (smjesta) nije dana iz dva razloga: (a) Sam položaj unutar strukture nije bio ključan za nastanak pojedine litologije, jer je u isto vrijeme na cijeloj strukturi taložen sličan litofacijes. Veće razlike su uočene samo na rubovima strukture, kao porast pelitnih čestica, a tada je u samom opisu jezgre jasno pripada li ona takvom rubnom području; (b) Nazivi i točne koordinate bušotina su tajni podatci.

Jezgra: 2265,8 – 2271,0 m

Opis intervala: 2271,0 – 2270,0 m 0,50 m jezgre - Sitnozrnati pješčenjak s gradacijom konglomeratičnog siltoznog tipa. Zrna 5-6 mm do 50 mm. Uz karbonatni detritus sadrži silici klastični.

Jezgra: 2183,6 – 2187,6 m

Opis intervala: 2184,6 – 2183,6 m 100 – 60 cm - Brečokonglomerat koji se sastoji od odlično zaobljenih valutica karbonata, ali i krupnih (10-20 cm) fragmenata vapnenca.

Opis intervala: 2184,6 – 2183,6 m 60 – 30 cm - Sekvencija dolomitnog konglomerata s jasnom gradacijom.

Opis intervala: 2184,6 – 2183,6 m 30 – 0,0 cm - Nastavak sekvencije: konglomeratični – sitnozrnasti pješčenjak.

Opis intervala: 2185,6 – 2184,6 m 100 – 0,0 cm - Konglomerat karbonatni, sastavljen od dobro zaobljenih valutica vapnenca i dolomita sitnozrnatog pješčanog matriksa i ev. bioklasta. Duž jezgre se nekoliko puta izmjenjuju sekvencije s jasnom gradacijom

Opis intervala: 2186,6 – 2185,6 m 100 – 55 cm - Sekvencija: u donjem dijelu krupnozrnasti konglomerat s gradacijom do sitnozrnastog pješčenjaka.

Opis intervala: 2186,6 – 2185,6 m 55 – 0,0 cm - Prvih 10 cm srednjozrnasti karbonatni konglomerat ostalo pješčenjak. Na nekoliko mjesta harniš i tektonske pukotine s kalcitnim žilama.

Opis intervala: 2187,6 – 2186,6 m 100 – 45 cm - Sekvencija. U donjem dijelu konglomerat, gradacija, u gornjem dijelu krupnozrnasti pješčenjak s litotamnijskim kršjem..

Opis intervala: 2187,6 – 2186,6 m 45 – 00 cm - Konglomerat.

Jezgra: 2179,4 – 2183,6 m

Opis intervala: 2181,6 – 2180,6 m 100 – 60 cm, nema jezgre

Opis intervala: 2181,6 – 2180,6 m 600 – 00 cm - Konglomerat s jasnom gradacijom.

Opis intervala: 2182,6 – 2181,6 m 100 – 70 cm - Konglomerat krupnozrnasti s gradacijom.

Opis intervala: 70 – 40 cm - Konglomerat sitnozrnasti s biokalkarenitnim matriksom.

Opis intervala: 40 – 20 cm - Pješčenjak krupnozrnasti, konglomeratični s biokalkarenitnim matriksom.

Opis intervala: 2182,6 – 2181,6 m 20 – 0 cm - Konglomerat.

Opis intervala: 2183,6 – 2182,6 m 100 – 00 cm - Konglomerat s dobro zaobljenim valuticama dolomita promjera do 30 mm s kalcitnim cementom i u gornjem dijelu s biokalkarenitnim matriksom. Jasna gradacija tako da je jezgra podijeljena u tri gradirana sloja vrh kojih uvijek sadrži biokalkarenitni matriks.

Jezgra: 2178,7 – 2179,4 m

Opis intervala: 2179,4 – 2178,4 m 40 – 00 cm - Pješčenjak krupnozrnasti – konglomerat pjeskoviti, dobro zaobljene valutice, promjer 1-5 mm u pjeskovitom i biokalkarenitnom matriksu i kalcitnom cementu. Zamjetljiva gradacija. Osim valutica dolomita česte valutice kalcita i kvarca.

Jezgra: 2177,4 – 2178,7 m

Opis intervala: 2178,7 – 2177,7 m 100 – 30 cm - Konglomerat sitnozrnasti, pjeskoviti, dobro zaobljene valutice $\varnothing = 1-5$ mm pretežno kvarcita i kristalina rjeđe karbonata. Pjeskoviti i biokalkarenitni matriks i kalcitni cement. Od 30 do 0,0 cm pješčenjak s pojedinačnim valuticama promjera do 5 mm.

Jezgra: 2176,2 - 2177,4 m

Opis intervala: 2177,4 – 2176,4 m Konglomerat sitnozrnasti, pjeskoviti isto kao prethodni interval.

Jezgra: 2174,8 – 2176,2 m

Opis intervala: 2176,2 – 2175,2 m 100 – 85 cm - Konglomerat dobro sortirani s pješčenjačkim matriksom. Dobro sortirane valutice dolomita i kristalina promjera 2-10 mm.

Opis intervala: 85 – 55 cm - Pješčenjak sitnozrnasti s karbonatnim matriksom i kalcitnim cementom.

Opis intervala: 55- 00 cm - Kalkarenit pjeskovito siltozni. Vidljivi harniši i tektonske plohe smicanja okomito na os jezgre.

Jezgra: 2172,40 – 2174,80 m

Konglomerat sitnozrnasti pjeskoviti, dobro zaobljene valutice kristalina u pjeskovitom matriksu i kalcitnom cementu. U intervalu nekoliko puta ponovljena gradacija.

Jezgra: 2168,00 – 2172,2 m

2170,2 – 2169,2 m - Pješčenjak kalkarenitski, a pri vrhu intervala kalkarenit laminirani. Po plohama laminacije organska supstancija. Opis intervala: 2171,0 – 2170,0 100 – 70 cm marlston laminirani s organskom supstancijom sve tektonski smicano (harniši). U gornjem dijelu intervala porast karbonatnog materijala i siliciklastičnog detritusa. Horizontalna i vertikalna bioturbacija, ihnofosili ispunjeni krupzrnastim pješčenjakom.

Opis intervala: 70 – 00 cm - Konglomerat – konglomeratični pješčenjak sitnozrnasti, koji sporadično sadrži bioklaste korilinaceja.

Opis intervala: 2172,4 – 2171,4 m - Konglomerat koji na 75 gradacijom prelazi u pješčenjak, a na 55 ponovno. Sve ostalo vrijedi kao prije. Postoji koralinacejsko kršje.

Jezgra: 2163,30 – 2167,6 m

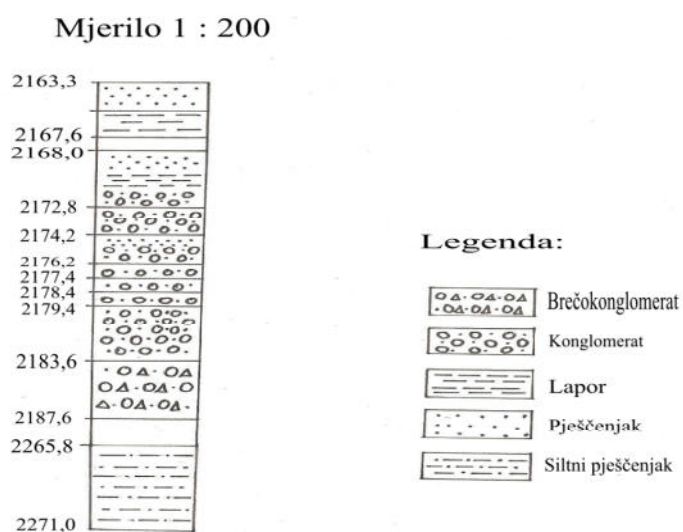
2166,6 – 2165,6 m - Lapor sitnozrni, bogat tinjcima s organskom tvari.

Opis intervala: 2167,6 – 2166,6 m 100 – 30 cm - Isto kao prije s jasnom horizontalnom laminacijom.

Opis intervala: 30 – 00 cm - Pješčenjak konglomeratični – pješčenjak krupnozrnasti, bogat karbonatnim detritusom i kalcitnim vezivom.

4.2. Geološki stup

Geološki stup je grafički prikaz vrste stijena u pojedinim slojevima od najveće dubine prema površini. Izrađen je za potrebe ovoga rada iz opisa jezgara koje su izvađene i ranije determinirane u području polja Ladislavci. Odabran je interval koji je najbliži pojmu „neprekidno kontinuirano jezgrovanje“, te reprezentativan po prikazu heterogenosti i izmjeni različitih litotipova iz regionalno dokazanoga ležišnoga intervala badenskih krupnih klastita. Tako je na slici 4.5. prikazan geološki stup načinjen po tim postavkama i smatran tipskim geološkim stupom stijena badenske starosti u zoni „Beničanci“. Opaža se veći udjel pelitne i psamitne komponentne u baznom i vršnom dijelu prikazanoga taložnoga slijeda (slika 4.5.). Približno središnji dio je uglavnom obilježen psefitским detritusom, tj. dominantno brečama i konglomeratima, kao najčešćim plitkomorskim taložinama nastalim u tome razdoblju, poglavito vršnom dijelu donjega i u srednjem badenu. Pelitne čestice mogu u takvim krupnijim litofacijesima vrlo lako uzrokovati lokalno pa i opće smanjenje šupljikavosti i propusnosti bilo zbog zapunjavanja šupljina bilo zbog njihove izrazitije cementacije. Takve čestice su redovito taložene kao dominantne u cijelom prostoru hrvatskoga dijela Panonskoga bazenskog sustava tijekom gornjega badena, a ranije, u donjem i srednjem badenu, one su dominirale masom i količinom na rubovima tadašnjih „strike-slip“ depresija popunjavanjanih psamitima i psefitima.



Slika 4-5. Shematski geološki stup tipski za područje strukture Ladislavci i najveći dio zone Beničanci

4.3. Nesigurnosti koje se mogu javiti kod dinamičkoga modela, tj. modeliranja protoka s obzirom na heterogenost prikazane vrste ležišta

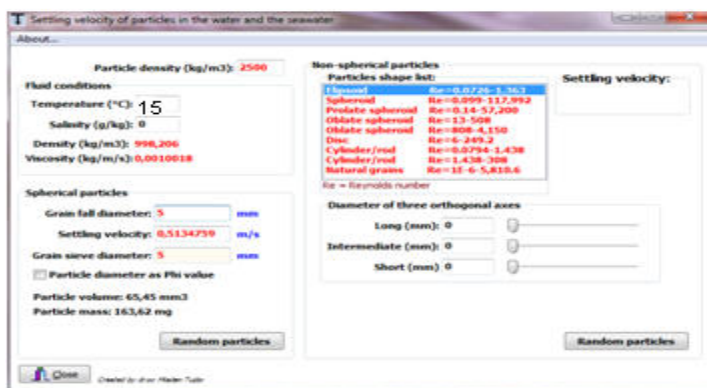
Na nesigurnosti koje se mogu javiti kod dinamičkog modela utječu izmjene raznih vrsta stijena približno jednake kronostratigrafske starosti, to jest litološka heterogenost ležišta. Protok koji se javlja na određenoj dubini kod breča razlikuje se od protoka koji se javlja na istoj dubini kod primjerice pješčenjaka, pjeskovitoga konglomerata ili pak siltita. Razlog tome je taj što breča, konglomerat, pješčenjak i siltit imaju različite veličine i oblike zrna, pa time i količinu matriksa, a i kapilarne tlakove u međuzrnskom prostoru. Protok se povećava kroz breču i konglomerat jer su zrna veća i između njih je više poroznog prostora (šupljina) bez vezane vode kroz koje se može ostvariti protok, nego primjerice kod pješčenjaka koji ima manja zrna. Međutim prednost pješčenjaka je veća jednoličnost promjera zrna, pa sama slagalina može kompenzirati manje šupljine i ostvariti jednake protoke kao u dobro propusnim brečama i konglomeratima.

Problem kapilarnoga tlaka, močivosti i vezane vode uz površine zrna posebno je naglašen kod pelitnih sedimenata (onih s promjerom zrnaca manjim od 0,0625 mm), poput siltita, lapora ili šejla (npr. Velić, 2007). Zone psamita i pelita koje se javljaju u dominantno krupnoklastičnom (psefitskom) litofacijesu srednjega miocena mogu smanjiti ukupnu propusnost takvih ležišta. Primjer tomu je geološki stup u kojem se može vidjeti da prevladavaju pretežno konglomerati, pješčenjaci i breče, no uz proslojke ili unutar slojne udjele siltita i lapora (tj. silta i gline). Ako se u obzir uzmu opisi jezgara te geološki stup prikazani u prethodnim potpoglavljima, očito je da barem jedna geološka kategorija (prema tablici za procjenu u HPBS-u koju su dali Malvić & Rusan, 2009) može biti procijenjena vjerojatnošću manjom od sigurnoga događaja od 1,0. To je kategorija ležišnih stijena, gdje se u krupnoklastičnim facijesima sa siltom ili glinom kvaliteta ležišnih stijena smanjuje na 0,75 (prema tablici iz Malvić & Rusan, 2009). Ako se promatraju samo pješčenjački ili siltno pješčenjački dijelovi ležišta (npr. u donjem i vršnom dijelu jezgrovanog i prikazanog slijeda) koji se načelno javljaju u tijelima maloga okomitoga i bočnoga prostiranja (metarskih dimenzija) te vrlo brzo mijenjaju šupljikavost i propusnost, velika je vjerojatnost da se radi o ležištu. Čak i ako su svi ostali uvjeti zadovoljeni (migracija, izolator, zamka...), vjerojatnost smanjuje na 0,25.

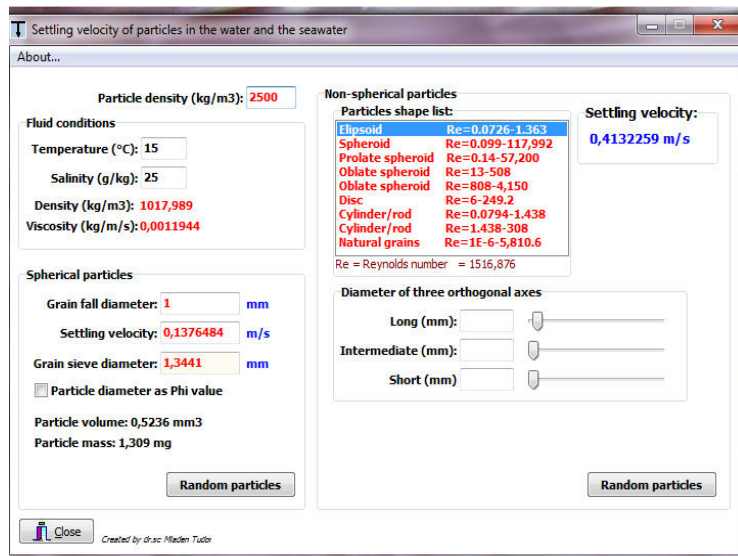
4.4. Simulacija brzine taloženja detritusa na morskom dnu

Čestice različitih veličina imaju i različite brzine taloženja, što je jedan od važnih čimbenika kasnije litifikacije u određenu vrstu stijena. Kao primjer su uzete prosječne veličine pšefita, psamita i pelita. Tako pšefite karakteriziraju čestice veličine između 256 i 2 mm, psamite između 2 i 0,063 mm, a pelite čestice manje od 0,063 mm. Kao primjer izračuna prosječnih brzina taloženja korišten je program kojim se simulira brzina taloženja čestica na morskom dnu razvijen na Institutu za oceanografiju i ribarstvo u Splitu (<http://www.izor.hr/web/guest/settlingvel>).

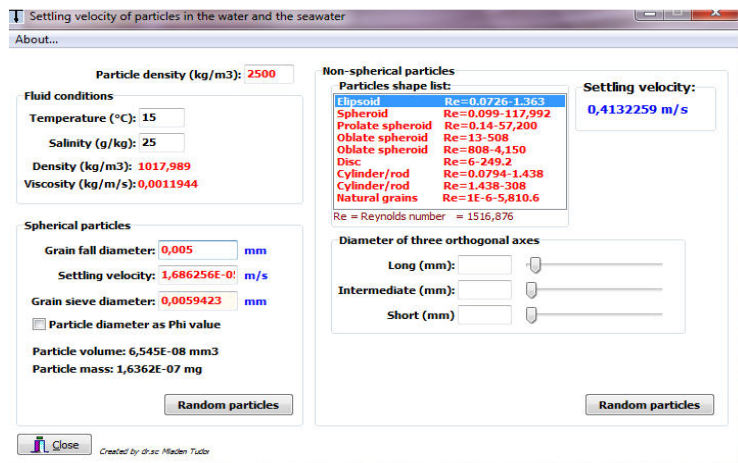
Rezultati očekivano pokazuju da se krupnije čestice talože puno brže od sitnijih. U program su unijeti podaci o uvjetima taloženja kao što su salinitet vode, temperatura, veličina i oblik čestica. Salinitet (tada Paratethysa) je procijenjen na 25 g/kg ekv. NaCl (što je nešto niže od današnjeg saliniteta Jadranskoga mora), temperatura na 15 °C, a veličina čestica je mijenjana. Za breču (pšefit) je razmotren promjer zrna 5x5 mm, za pješčenjak (psamit) 1x1 mm, a za prah (pelit) 0,005x0,005 mm. Pretpostavljeno je da sve čestice imaju oblik kugle. Pšefiti (tj. kasnije nakon litifikacije breče) su taloženi brzinom od 0,51 m/s (slika 4-6), kojom su se gibali kroz vodeni medij. Psamiti brzinom od 0,13 m/s (slika 4-7), a peliti brzinom tek od $1,6 \times 10^{-5}$ m/s (slika 4-8). Budući je iz priloženog očito da se pšefiti puno brže talože od psamita i pelita, može se zaključiti da je u vrijeme taloženja krupnih klastita bilo razdoblje kada se je intenzitet tektonike smanjio, u more se nisu više prenosili šljunci i pijesci te je nastupilo mirno razdoblje koje je omogućilo taloženje glina, koje puno duže ostaju u suspenziji nego psamiti i pšefiti.



Slika 4-6. Izračun brzine taloženja pšefita (program s: <http://www.izor.hr/web/guest/settlingvel>)



Slika 4-7. Izračun brzine taloženja psamita (program s: <http://www.iz.or.hr/web/guest/settlingvel>)



Slika 4-8. Izračun brzine taloženja pelita (program s: <http://www.iz.or.hr/web/guest/settlingvel>)

5. NESIGURNOSTI VEZANE UZ SAMO KARTIRANJE (LEŽIŠNIH) STIJENA

Kartiranje je općenito postupak izrade različitih vrsta karata. Izučavanjem karata bavi se znanstvena disciplina koja se naziva kartografija. Karta je umanjeni, uopćeni, objašnjeni i po matematički izraženim uvjetima deformirani grafički prikaz na ravni stvarnog stanja (npr. Malvić & Saftić, 2008). Geološko kartiranje temelji se na jednakim principima kao kartiranje u drugim strukama. Prva objavljena geostatistička interpolacija poroznosti načinjena je za polje Beničanci (Malvić & Đureković, 2003). U prvome koraku interpolacijski poligon smanjen je u odnosu na granice polja. Takav poligon smanjen je s obzirom na položaje rubnih bušotina (Stg-1Z, 2 te Bny-6) u smjerovima SZ i JI, jer se poligon upotrijebio za izračun rezervi ugljikovodika variranjem poroznosti. U sljedećemu koraku interpolacija krigingom ekstrapolirana je do granica primarnoga poligona te su ponovno izračunate rezerve i uspoređene su s prethodnim rješenjima po litofacijesima, no taj primjer nije svrstan u ovaj tekst. Najvažnije i najčešće upotrebljavane interpolacijske metode su (npr. Malvić, 2008):

1. Metoda inverzne udaljenosti
2. Metoda najbližeg susjedstva
3. Metoda lokalne sredine
4. Metoda kriginga

Metodom inverzne udaljenosti procjenjuju se vrijednosti udaljenosti na temelju matematičkog izraza. Utjecaj svake točke obrnuto je proporcionalan njezinoj udaljenosti od lokacije na kojoj se procjenjuje vrijednost.

Metodom najbližeg susjedstva dodjeljuju se vrijednosti najbliže točke svakom čvoru mreže. Ova metoda je korisna u slučaju kada postoji praznina u podacima, a želi se načiniti pregledna karta zona. U tom slučaju, ako nedostaje nekoliko podataka, moguće je ovom metodom „nadopuniti“ praznine na relativno djelotvoran način.

Metoda lokalne sredine dodjeljuje vrijednosti točkama mreže tako da određuje srednju vrijednost podataka koji se nalaze unutar određenog područja čvora mreže. Također mora biti definiran i najmanji broj podataka koji se uzima u obzir. Točka mora biti

smještena u središte područja u kojem se računa srednja vrijednost. Podatak, odnosno njegova vrijednost koja se dobije za svaki čvor jednaka je aritmetičkoj sredini podataka koji se nalaze unutar definiranog područja s mjerenim vrijednostima. Ukoliko je broj podataka unutar definiranog područja manji od graničnog broja podataka, vrijednost u točki neće se izračunati.

Metoda kriginga predstavlja geostatistički postupak. Prethodi joj određivanje prostorne zavisnosti, odnosno variogramska analiza. Teorija variogramske analize objašnjena je u više knjiga. Variogramske analize načinjene su na nekoliko polja u hrvatskom dijelu Panonskoga bazenskog sustava, odnosno na podacima iz Savske depresije, Bjelovarske subdepresije te zapadnog dijela Dravske depresije.

Bez obzira o kakvom se klasičnom ležištu radi, homogenom ili heterogenom, u slučaju broja ulaznih podataka većeg od 15, preporučuje se kartiranje geostatističkim metodama, poglavito krigingom (npr. Malvić, 2008; Husanović & Malvić, 2014). U slučaju kartiranja krupnoklastičnih badenskih sedimenata u Dravskoj depresiji to je već dokazano primjerima (npr. Malvić & Đureković, 2003). To znači da bi kartiranje i litofacijesa kakvi su prikazani u prethodnom poglavlju upravo krigingom bilo najprimjerenije. Čak i ako bi se takvo kartiranje radilo samo u jednoj bušotini ponovno bi jednodimenzionalna variogramska analiza bila moguća i najprimjerenija (Malvić, 2003b). Zaključno, kartiranje je, uz određivanje tipske litologije korelirane s litostratigrafskim i kronostratigrafskim jedinicama, postupak koji sadrži najveći broj aproksimacija, a time i mogućnosti pogreške, u statičkom i dinamičkom modelu ležišta. Kod vrlo maloga broja podataka, recimo 15 ili manje točkastih mjerenja po ležištu, nesigurnosti je nemoguće izbjeći čak i uz pogrešku od 50 % i više te se cijeli postupak modeliranja i njegova pouzdanost temelji na odabiru „najmanje loše“ metode.

6. ZAKLJUČAK

Završni rad sastavljen je od 3 glavna dijela, kroz koja su ukratko objašnjene razlike između geološkog (statičkog) i naftno-rudarskog (dinamičkog) modela procjene ugljikovodika i njihova povezanost. Dan je primjer kod kojeg se može procijeniti vjerojatnost nazočnosti ugljikovodika u heterogenim ležišnim stijenama, dominantno krupnoklastičnim. U prvom dijelu rada cilj je bio objasniti razlike između geološkog i dinamičkog modela. U drugom dijelu rada cilj je bio opisati izgled neogenskih taložina na polju „Beničanci“ uporabom jednoga oglednoga primjera jezgrovanе bušotine i pripadajućeg geološkoga stupa. Starost prikazanih ležišnih stijena je badenska. Litološki sastav se kretao od konglomerata, brečokonglomerata, pješčenjaka te lapora, uz primjese silta.

Heterogenost ležišta uzrokuje različit protok u pojedinim litografskim jedinicama. Migracija ugljikovodika iz pješčenjaka u konglomerate i breče te obrnuto, uvelike može promijeniti količinu i dinamiku protoka fluida kroz takve stijene. To je posebice još jače izraženo kada je dio ugljikovodika migrirao u slabopropusne litofacijese, poput siltoznih pješčenjaka, te se promjenom tlaka ležišta aktivira i njihova ponovna migracija.

Promatrajući litološki sastav i starost ležišta glavni cilj bio je ispravno prikazati kako heterogenost ležišta uzrokuje promjenu petrofizikalnih svojstava te moguće stvaranje nekoliko slabo povezanih, pa čak i nepovezanih, hidrodinamičkih jedinica. U primjeru krupnoklastičnih ležišta, u ovome slučaju badenskih unutar Dravske depresije, preporuča se njihovo kartiranje metodom kriginga.

7. LITERATURA

Objavljeni radovi:

1. 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, 27-35.
2. HUSANOVIĆ, E. & MALVIĆ, T. (2014): Pregled dosadašnjih determinističkih geostatističkih kartiranja ležišta ugljikovodika u Republici Hrvatskoj te prednosti takvoga pristupa. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
3. MALVIĆ, T. (2003a): Naftnogeološki odnosi i vjerojatnost pronalaska novih zaliha ugljikovodika u bjelovarskoj uleknini. Doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 123 str.
4. MALVIĆ, T. (2003b): One-dimensional variogram and statistical analysis in reservoir units of the Bjelovar sag, Croatia. *Nafta*, 54, 7-8, 267-274.
5. MALVIĆ, T. (2008): Primjena geostatistike u analizi geoloških podataka. INA-Industrija nafte d.d., sveučilišni priručnik, 103 str., Zagreb.
6. MALVIĆ, T. (2012): Review of Miocene shallow marine and lacustrine depositional environments in Northern Croatia. *Geological Quarterly*, 56, 3, 493-504.
7. 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.
8. MALVIĆ, T. & PRSKALO, S. (2008): Značenje amplitudnog atributa u predviđanju poroznosti - primjer iz Dravske depresije. *Nafta*, 59, 1, 39 – 51.

9. MALVIĆ, T. & SAFTIĆ, B. (2008): Dubinsko kartiranje (vježbe). Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, fakultetska skripta, 46 str., Zagreb.
10. 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.
- 11.
12. MALVIĆ, T. & ĐUREKOVIĆ, M. & IVKOVIĆ, Ž. & RUSAN, I. (2008): Procjena geološke vjerojatnosti te investicijskog rizika potencijalnih otkrića ugljikovodika. Inovacija (brončana medalja), knjiga radova 33. hrvatskoga salona inovacija s međunarodnim sudjelovanjem, 6.-9. studenoga 2008., Čakovec.
13. TIŠLJAR, J. (1993): Oblici sedimentnih tijela i modeli taloženja badenskih naftonosnih naslaga područja Beničanaca, Ladislavaca i Oboda. Nafta, 44, 10, 531-542.
14. VELIĆ, J. (2007): Geologija ležišta nafte i plina. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, sveučilišni udžbenik, 342+VI str., Zagreb.

Internetski izvori:

- Pavelić, D. 2004. RGN fakultet, fakultetska skripta, internetska verzija. URL: <http://rgn.hr/~dpavelic/OG-PROGRAM.htm> (27. V. 2014.)
- Program za simulaciju mjerenja brzine taloženja čestica URL: <http://www.izor.hr/web/guest/settlingvel> (27. V. 2014.)

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj završni rad izradio samostalno na temelju znanja stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu u suradnji sa mentorom služeći se navedenom literaturom.