

Istraživanje utjecaja fizičkih svojstava stijena na promjene propusnosti: analiza slučaja razvoja heterogenosti ležišta

M.S. Benzagouta

STRUČNI ČLANAK

Različiti čimbenici imaju utjecaj na petrofizičke značajke ležišta i njihov razvoj.

Istraživanja su pokazala da su za provjeru značajki ležišta, heterogenosti i najvažnije propusnosti, najvažnija teksturna i fizička svojstva stijena.

Varijacije u rasporedu veličine zrna i njihov razmještaj je jedan od čimbenika odgovornih za neusklađenost petrofizičkih značajki i u osnovi propusnosti i heterogenosti. Tako i u ovoj studiji slučaja, procjena kvalitete ležišta može biti podržana različitim izračunatim fizičkim svojstvima razmatranih uzoraka, radijusom pora R_{35} kao i S_{gv} (surface grain volume - specifična površina po jediničnom volumenu), koji mogu imati veliki doprinos mogućem ponašanju ležišta i bitnoj propusnosti ležišta. Oni mogu biti u relativnom neskladu s dobivenim rezultatima propusnosti.

Primjena Kozney Carman-ove jednadžbe koja povezuje mjerljiva svojstva stijena u odnosu na propusnost, također je provedena u ovoj studiji. Cilj je bio pomoći procjenu kvalitete stijene i održivost propusnosti. Ona je pokazala vrijednost ležišta na temelju korelacije između izmjerenih i teoretski određenih vrijednosti propusnosti. Od važnosti za ispitivanje utjecaja anizotropije ležišta na propusnosti su kasniji događaji, uglavnom dijagenetski, koji su djelovali na ta petrofizička svojstva. Oni se mogu prikazati kroz stupanj kompaktnosti koji djeluje na ispitivani materijal i vodi ka različitosti dobivenih vrijednosti propusnosti. U tu svrhu su napravljena mikroskopska ispitivanja koja su pokazala različite značajne učinke.

Ti učinci imaju neposredno djelovanje na put cirkulirajućeg fluida i promjenu geometrije ležišnih pora. Ovaj posljednji parametar ima direktne posljedice na ograničenja zavojitosti i cementacije, kao i na faktor otpora formacije. Dobiveni rezultati su u obrnutom odnosu prema vrijednostima propusnosti. Prema tome, ovi dobiveni rezultati ne samo da karakteriziraju evoluciju propusnosti u skladu s odabranim uzorcima pješčenjaka već i s kompleksnošću geometrije strujanja fluida. Kombinacija ova dva utvrđena svojstva omogućuju određivanje, u određenom omjeru povećanje, heterogenosti ležišta i njegovu procjenu.

Ključne riječi: varijacije propusnosti, heterogenost ležišta, fizička svojstva, protjecanje fluida

1. Uvod

Na ležišta nafte glavni utjecaj imaju razvoj poroznosti i propusnosti. Ovaj razvoj se temelji na procjeni svojstava stijena. Određivanje tih svojstava temelji se na čimbenicima kao što su tekstura, dinamička provodnost-otpornost fluida, sadržaj formacije i faktor formacije. Ovi faktori predstavljaju važan test za procjenu kvalitete ležišta i stupanj njegove heterogenosti. S obzirom na to u ovoj su studiji unaprijedena mikroskopska i megaskopska ispitivanja za kontrolu cirkulacije fluida i zasićenja fluidom. Rezultati i njihove varijacije, s obzirom na petrofizičke značajke i pretežno na propusnost, od primarnog su interesa za heterogenost ležišta. Analiza heterogenosti ležišta i propusnosti, u vezi s cirkulacijom fluida, već je dobro objašnjena u različitim prijašnjim istraživanjima. Prethodne studije su naglasile važnost heterogenosti ležišta u kombinaciji s režimom iskorištavanja ležišta i tipom ležišta u kontroli iscrpka ležišta. Van de Graf i suradnici²⁰ su u svojem istraživanju otkrili da je na naftnom polju East Texas, koje je relativno homogeno ležište iz deltnih sedimenata s jakim vodonapornim režimom, postignuto pridobivanje od 85% pokretne početne nafte u ležištu. Međutim na ležištu gdje prevladavaju fluvijalni sedimenti pridobivanje je dostiglo približno 57%.

Prema tome, manji iscrpki jasno odražavaju viši stupanj heterogenosti ležišta i varijacije svojstava ležišta. Arya A.U., i suradnici⁴ su ustanovili da su utvrđivanje heterogenosti ležišta i njegovog utjecaja povezani sa strujanjem fluida, gdje je propusnost igrala važnu ulogu u svakom utvrđenom kanalu protjecanja. Mohaghegh S., i suradnici¹³ su utvrdili da heterogenost ležišta može biti povezana s nehomogenom nelinearnom raspodjelom svojstava stijena. To se može odnositi na utvrđene hidrauličke jedinice. Hewet T.A.⁹ je utvrdio da se teorija protjecanja fluida u heterogenom poroznom mediju odnosi na svojstva strujanja koja se mogu odrediti simulacijom strukture prostornih korelacija s obzirom na raspodjelu propusnosti.

Različite vrste i razmjeri heterogenosti i propusnosti utječu na iscrpak ugljikovodika na različite načine. U megaskopskom razmjeru, veliki rasjedi i granice genetskih sedimentnih tijela uvelike određuju horizontalni obuhvat. Makroskopske heterogenosti kao što su zonalni raspored propusnosti i sustav rasjeda (frakture) utječu i na vertikalni i na horizontalni obuhvat ležišta.⁷ Na mezokali i mikroskali, analizama facijesa i izbruska, mogu se predvidjeti značajke razrade ležišta.

Al Khidir² je na formacijama ležišta Shajara, za karakterizaciju heterogenosti ležišta proučavao bimodalnu

distribuciju pora po veličini. Al Khidir i suradnici² su za potvrdu modela heterogenosti na ispitivanom ležištu koristili pojam fraktalne dimenzije. U razmatranoj analizi slučaja, petrofizička svojstva i varijacije svojstava fluida mogu se dobiti posredstvom faktora formacije. Ovaj faktor može dati veliki doprinos u pogledu potvrđivanja otkrivanja primarne propusnosti i predviđanja heterogenosti ležišta.

Dodatno tome, procjena propusnosti i njezino djelovanje su vrlo osjetljivi na fizičke parametre o kojima ovisi faktor formacije, a to su: zavojitost (τ), faktor cementacije (m), poroznost kao i volumen površinskih zrna (S_{gv}).³ Prema tome, korištenje svega ovog može biti od odgovarajuće podrške u procjeni razvoja propusnosti i utjecaja heterogenosti ležišta. Dobiveni rezultati izračunate propusnosti, metodom koja se temelji na pokazatelju zone protjecanja i smanjenoj poroznosti, omogućuju drugu mogućnost za korelaciju i dokazivanje propusnosti izmjerene u laboratoriju i izvođenju zaključka o heterogenosti ležišta. Slijedom toga provedena ispitivanja napravljena su na procjeni razvoja propusnosti i korelaciji na osnovi uzoraka odabranih pješčenjaka prikupljenih iz različitih područja Bliskog istoka. Među ciljevima koji se trebaju ostvariti su:

- opis jezgre,
- eksperimentalna obrada na osnovu mjerenja petrofizičkih značajki,
- određivanja faktora formacije,
- Kozeny-Carmen jednadžba za teoretsko predviđanje propusnosti,
- određivanje fizičkih svojstava i stimulacije,
- razvoj propusnosti i heterogenosti nasuprot cjelokupnih pojedinačnih fizičkih parametara,
- rezultati i interpretacija,
- zaključak

2. Mjerenja značajki ležišta

2.1 Opis uzoraka jezgre

Materijal koji je korišten sastoji se od uzoraka pješčenjaka prikupljenih iz različitih područja Bliskog istoka. Utvrđen je različiti stupanj konsolidacije, cementacije i raspodjele veličine zrna. Detaljan mikroskopski prikaz dao je slijedeće informacije: mineraloški sastav uključuje tip stijene u kojoj dominira uglavnom kvarc. Po veličini zrna variraju od srednje do krupnozrnastih. Kontakt između zrna pokazuje varijacije u zbijenosti ovisno o njihovoj konsolidaciji s boljim grupiranjem za uzorke koji pokazuju dobro do umjereno sortiranje i zaobljenost (Slika 1., 2., 3 i 4.)

2.2 Mjerenje poroznosti

Poroznost uzoraka (ϕ) mjerena je u PNGE (Petroleum and Natural Gas Eng Laboratory), korištenjem pumpe, filter papira, volumetrijsko protočnog mjerila i balansa. Rezultati poroznosti dani su u tablici 1.

2.3 Propusnost

Mjerenje propusnosti (k) napravljeno je u King Abdul-Aziz City for Sciences and Technology (KACST, Riyadh- KSA).

Korišten je Ultra-PermTM 400 uređaj za mjerenje propusnosti. Uređaj se sastoji od preciznog mjerača masenog strujanja i pretvarača tlaka za postizanje novog sofisticiranog nivoa mjerenja protjecanja fluida plina pod stacionarnim uvjetima. Kombinacijom automatiziranog prikupljanja podataka i grafičkog prikaza određivanja masenog strujanja u stvarnom vremenu, povećana je vrijednost i točnost podataka. Dobiveni rezultati mjerenja propusnosti dani su u tablici 1.

3. Određivanje fizičkih značajki

U skladu s ciljevima ovog istraživanja provedeni eksperimentalni rad temelji se uglavnom na formaciji koja je potpuno zasićena vodom. Polazeći od toga analiza djelovanja fizičkih parametara postaje neophodna. Svrha je bila određivanje značajki tipa razmatranog ležišta koja se odnose na natapajući vodu visokog saliniteta, s obzirom na značajke i heterogenost ležišta.

3.1 Faktor formacije

Kao što je poznato, što je veća poroznost formacije, manji je otpor (R) i manji je faktor formacije (F).³ Međutim ispitivanje tog odnosa također je povezano sa strukturom i raspodjelom pora kao i sa drugim svojstvima.^{18,12}

Kao što je navedeno ranije, postoji važan odnos između otpora vodom zasićene formacije (R_o) i otpora sadržane vode (R_w). Omjer tih dviju vrijednosti nazvan je faktor formacije i utvrđen je kao:

$$F = \tau / \phi^m \quad (1)$$

gdje je:

F	faktor formacije
τ	faktor zavojitosti zavisan o tipu litologije
m	eksponent cementacije s vrijednostima od 1 do 3
ϕ	poroznost ispitivanog uzorka mjerena u PNGE laboratoriju

Kada je zasićenost stijene vodom 100% faktor formacije je:

$$F = R_o R_w \quad (2)$$

gdje je:

R_w	električna otpornost fluida korištenog u laboratoriju (om-metar)
R_o	električna otpornost stijene zasićene vodom 100% (om-metar)

Kao što je gore navedeno, faktor formacije ovisi o faktoru cementacije, eksponentu zasićenja (n) i faktoru zavojitosti. Ovi faktori predstavljaju najvažnije generatore neodređenosti pri određivanju propusnosti i razvoja,²¹ a izvrgnuti su čistim i nečistim formacijama, uključujući njihov stupanj konsolidacije.

U ovoj analizi studije i u skladu s tipom litologije, faktora formacije (F) izračunat je prema Archie-voj jednadžbi³ (tablica 1).

3.2 Određivanje R_{apex} i R_{35}

3.2.1. R_{apex}

Određivanje R_{apex} (radijus pore odgovara vrhu) ima za svrhu karakterizirati raspodjelu pornog prostora u okviru ispitivanih uzoraka jezgri. Namijenjen je uglavnom razmatranju razvoja pornog prostora jezgre i heterogenosti, koji djeluju na protok fluida u ovoj analizi. Izračun je napravljen prema Pitmanovoj jednadžbi^{15,16}:

$$\log R_{apex} = -0.226 + 0.466 \log k \quad (3)$$

3.2.2 R_{35}

Radijus ulaza pore odgovara 35% zasićenja živom i izračunat je iz mjerene propusnosti i poroznosti, korištenjem Winlandove metode, prema slijedećoj jednadžbi:

$$\log R_{35} = 0.732 + 0.558 \cdot \log k - 0.864 \cdot \log \phi \quad (4)$$

Ovaj parametar je povezan s efektivnom pornom strukturom. Shodno tome povezan je s razvojem propusnosti jer je R_{35} namijenjen određivanju sposobnosti cirkulacije fluida unutar postojećih međusobno povezanih pora. On podržava vrijednosti R_{apex} i na taj način propusnost ili mogućnost protjecanja fluida. R_{35} može biti u korelaciji s dobivenim vrijednostima propusnosti. Na taj način je povezan s efektivnim porama kao i s radijusom pora. Ovaj posljednji je isto tako moguće dobiti eksperimentalnim radom temeljenim na injektiranju žive i utvrđenog kapilarno tlaka.¹¹ R_{35} može biti namijenjen ne samo ocjenjivanju kvalitete ležišta već i za predviđanje akumulacije ugljikovodika.

3.3 Zavojitost

Zavojitost (τ) je određena na osnovu Donalsonove jednadžbe:

$$\tau^2 = \phi_R / (2 \cdot k \cdot S_{gv}^2) \quad (5)$$

gdje je:

τ	faktor zavojitosti
ϕ_R	reducirani porozitet utvrđen prema Amaefule ¹
S_{gv}	(specifična površina po jediničnom volumenu) kako je utvrđeno u nastavku.

Faktor zavojitosti može biti određen i iz faktora otpora formacije i poroziteta:

$$\tau = F \cdot \phi \quad (6)$$

sa:

$$F = \tau / \phi^m$$

Ovaj parametar se može koristiti za procjenu smanjenja pora što dovodi do promjena njihovog oblika. To pak rezultira smanjenjem njihove međusobne povezanosti i čini strujanje fluida složenijim. Prema tome, propusnost (k) i zavojitost (τ) su međusobno povezane.

3.4 Specifična površina po jediničnom volumenu (S_{gv})

Ovaj parametar se odnosi na površinu po jediničnom volumenu (μm^{-1}), koji je jednak:

$$\phi_z / R_{mh} \quad (7)$$

gdje je:

ϕ_z	poroznost grupe utvrđena kao omjer efektivne poroznosti i $(1 - \phi_e)^1$
R_{mh}	hidraulički radijus utvrđen iz radijusa pora prema kapilarnom tlaku P_c .

Ovaj parametar je ujedno namijenjen podršci pri utvrđivanju R_{apex} i R_{35} u cilju procjene protjecanja fluida a vezan je na glavni hidraulički radijus ispitivanog uzorka. Ova tvrdnja je poznata kao: što je veća površina područja po jediničnom volumenu, to je manja propusnost i stoga manji R_{apex} i R_{35} (tablica 1).²

3.5 Teorijsko izračunavanje propusnosti

Svrha ovog parametra je korelacija s izmjerenom propusnosti. Rezultati na temelju ovog parametra dobiveni su Kozeny Carmen relacijom. Ova relacija se bavi s izmjerenom poroznosti, specifičnom površinom po jediničnom volumenu i konstantom C . Konstanta C je produkt zavojitosti i faktoru oblika. Teoretska propusnost dana je jednadžbom:

$$k = FZI^2 \cdot \phi_{IR} \quad (8)$$

gdje je FZI indikator zone tečenja povezan s faktorom oblika, zavojitošću i specifičnom površinom po jediničnom volumenu

Određivanje ovog faktora omogućuje bolju povezanost s propusnosti dobivenom eksperimentalnim radom u laboratoriju. To ujedno može omogućiti kontrolu na temelju dobivene izlazne propusnosti. Rezultati ovog procesa prikazani su u tablici 1.

Procjena tih dvaju parametara u kombinaciji s drugim ležištem pomaže određivanju značajki heterogenosti ležišta a ujedno i njegove kvalitete.

4. Interpretacija

Mjerenja petrofizičkih svojstava su se mijenjala prema vrsti odabranih uzoraka kao što se to vidi na slikama 1, 2, 3 i 4. Ti uzorci su podvrgnuti promjenljivim stupnjevima kompaktacije, koja djeluje na strukturu njihovog pornog prostora kao i na međusobnu povezanost pornih ulaza. Takvo djelovanje rezultira diferencijacijom i promjenama poroznosti. Odnos između pornog prostora i propusnosti ovisi o učinkovitosti geometrije pornih ulaza. Ovaj uvjet je određen kao važan faktor u procjeni kvalitete ležišta. Postojanje različitih varijacija propusnosti može spariti različite zone jediničnog strujanja koje odgovaraju različitoj geometriji raspoloživog pornog prostora i pornih ulaza, što dovodi do postojanja različitih zona strujanja. Štoviše, varijacije geometrije pora i njihovih atributa su ključni čimbenik u definiranju različitih zona što dovodi do utvrđivanja heterogenosti ležišta. Amaefule, J.O. i suradnici¹ su u svojem ispitivanju utvrdili da su promjene fizičkih parametara, kao što su geometrija pora i hidrauličke jedinice, odgovorni za postojanje nekoliko dijelova toka, koji odgovaraju različitim stupnjevima heterogenosti ležišta.

U ovom provedenom istraživanju, korištenje faktora otpora formacije pokazalo je varijacije njegove vrijednosti. Slični rezultati odnose se i na značajke uzoraka

Tablica 1. U tablici su prikazani glavni izračunati fizički parametri i petrofizički rezultati

Uzorci	k (izmjereni) mD	ϕ %	R_{apex} μm	r_{mh} μm	S_{gv} μm^{-1}	ϕ_Z	F_R	ϕ_R	$k(\text{cal})$ mD	$\log R_{35}$	R_{35} μm
QK1	112	13	2,6	1,3	0,115	0,149	8,85	0,0029	112	0,9736	9,4
QK2	803	17	6,1	3,05	0,067	0,205	3,30	0,00713	803	1,3768	24
QK3	16,4	16	0,9	0,45	0,423	0,19	23,00	0,0058	16,4	0,4063	2,5
QK4	225	15	3,4	1,72	0,103	0,176	6,25	0,00467	225	1,0986	13
QK5	1725	23	7,7	3,85	0,078	0,299	2,25	0,02052	1725	1,4587	29
QK6	1760	30	8,3	4,17	0,06	0,25	2,23	0,0551	1760	1,5163	33
QK7	461	23	4	1,99	0,15	0,299	4,35	0,02052	461	1,1219	13
QK8	116	18	2,3	1,13	0,195	0,22	8,7	0,00867	116	0,8607	7,3
QK9	272	13	4,1	2,03	0,074	0,149	5,66	0,0029	272	1,2015	16
QK10	576	16	5,3	2,67	0,071	0,19	3,89	0,0058	576	1,315	21
QK11	272	14	3,9	1,96	0,083	0,163	5,67	0,00371	272	1,1733	15
QK12	271	13	4,1	2,03	0,074	0,149	5,68	0,0029	271	1,2001	16

(tablica 1). Prema dobivenim rezultatima (slika 7), propusnost u odnosu na faktor otpora formacije je negativna korelacija budući da povećanje jednog parametra odgovara smanjenju drugog (slika 7). Ova tvrdnja temeljena je na ograničenjima koja utječu na faktor otpora formacije. Među tim ograničenjima je značajka zavojitosti za svaki uzorak. Uzorci se međusobno razlikuju po svojim fizičkim značajkama, uključujući stupanj kompaktnosti, što dovodi do razlike u međusobnoj povezanosti ulaza pora. Stoga varijacije faktora zavojitosti mogu biti bitan regulator puta cirkulacije fluida. Shodno tome to je veliki doprinos procjeni vrijednosti propusnosti. U usporedbi s propusnosti, parametar zavojitosti je također pokazatelj negativne korelacije s propusnosti, kao što je to prije navedeno. Povećanje propusnosti odgovara smanjenju zavojitosti i obrnuto (slika 8). Ova tvrdnja pokazuje važnost korištenog puta tijekom cirkulacije fluida i njegov utjecaj na mogućnost drenaže tog fluida.¹⁰ Opaženo povećanje zavojitosti može uzrokovati pad efektivne poroznosti čineći ležište kompleksnijim što se tiče cirkulacije fluida. Ekspozicija cementacije i efektivni porozitet uvelike doprinose varijacijama vrijednosti propusnosti, kao i promjenama heterogenosti od jednog do drugog uzorka. Rezultati su u vezi s otkrićem da je velika vrijednost zavojitosti dokaz smanjenja pornog prostora ili pornog ulaza, što dovodi do pada i kompleksnosti cirkulacije fluida i prema tome i padu vrijednosti propusnosti (slika 8).

Dobiveni rezultati za radijuse slažu se s R_{apex} , izvedenim iz mjerene propusnosti korištenjem Pittmanove¹⁶ jednadžbe, prikazani su u tablici 1. Prikaz međusobnih odnosa ovih parametara učinio je vidljivom slijedeću činjenicu: R_{apex} se povećava s povećanjem cirkulacije fluida (slika 9). Vrijednosti R_{apex} su pokazatelj gibanja fluida, kao i njihove migracije i akumulacije unutar razmatranog ležišta. Graf propusnosti u odnosu na R_{apex} (slika 9) pokazuje da radijus pora raste s povećanjem propusnosti. Takav se odnos opet odražava na sposobnost cirkulacije fluida povezano s kvalitetom i

anizotropijom ležišta. Može se zaključiti da sposobnost cirkulacije upućuje na kvalitetu i anizotropiju ležišta. Osim toga, a iz dobivenih rezultata, R_{apex} je procijenjen od 2,18 do 37,58 μm (tablica 1). To može biti potpora širokom rasponu heterogenosti ležišta.

Ova heterogenost je podržana izračunom R_{35} što pokazuju rezultati koji osciliraju između 2,54 μm i 75,93 μm (slika 10). Dakle, prema rezultatima u ovom istraživanju za R_{apex} i R_{35} i prema skali klasifikacije ležišta, ispitivano ležište se može klasificirati unutar slijedeće skale za klasifikaciju (2001).¹² jedan segment kao megaporozan ($R_{35} > 10 \mu\text{m}$), drugi segment kao makroporozan (2-10 μm) i treći segment kao mezoporozan za R_{35} (0,5-2 μm), slika 10 i tablica 1. Ova klasifikacija potvrđuje da heterogenost postoji između različitih osnovnih mjerenja.

Razmatranje i korelacija između propusnosti i radijusa pora R_{35} , kao što je prikazano na slici 10, pokazuje varijacije propusnosti koja je podešena tako da bude u skladu s R_{35} . Povećanje R_{35} odgovara povećanju k . Sličan trend potvrđuje izvod za R_{35} .

Varijacija izmjerene propusnosti uspoređena je s teorijskom. Pokazalo se da je izmjerena propusnost gotovo u suglasju s predviđenom. Ta održivost može dati korisnu usporedbu između eksperimentalnog pristupa i provedene teorijske metode (slika 11). Ta dva pristupa su dokaz stvarnih rezultata glede procjene. Oni se mogu koristiti u smislu predviđanja mogućnosti bilo kojeg ležišta. Korelacija između različitih izabranih uzoraka pokazala je da je izračunata specifična površina po jediničnom volumenu obrnuto proporcionalna izmjerenoj propusnosti (slika 12). To pokazuje negativnu korelaciju među njima, povećanje propusnosti odgovara smanjenju površine po jediničnom volumenu i obrnuto. Može se utvrditi da i za slučaj ove studije, sitnija zrna se slažu s većom specifičnom površinom po jediničnom volumenu, a međusobna povezanost između pornog prostora je manja, što dovodi do smanjenja propusnosti. To može biti usporedivo bliže korištenju propusnosti u odnosu na parametar teksture, gdje utjecaj svakog faktora teksture ima utjecaj na procjenu petrofizičkih

svojstava. U istraživačkoj studiji^{6,19} je utvrđeno da se petrofizički parametri mogu predvidjeti kada su teksturni parametri određeni za svaki razmatrani uzorak ležišta.

Dakle, kombinacija svih tih fizičkih čimbenika dovodi do boljeg razumijevanja fizikalnih svojstava, što omogućuje kontrolu propusnosti i heterogenosti. Osim toga, sve to se može koristiti za predviđanje ponašanja ležišta. To ujedno iznaći veću mogućnost određivanja i predviđanja heterogenih naftonosnih formacija.

5. Zaključak

Kontrola karakteritiks ležišta i posebno varijacije propusnosti dobro su potvrđene putem određivanja svojstava ležišta. Neslaganja u korelaciji propusnosti i grupe određenih fizičkih svojstava pružila su dokaz o različitosti glede kvalitativne i kvantitativne procjene. Porni prostor i njegova međupovezanost koja je u svezi s faktorom formacije ne može biti u skladu s mogućnošću cirkulacije fluida. Rezultati, usredotočeni na to, dobro potvrđuju razmatranu tvrdnju. Utjecaj zavojitosti i cementacije predstavlja jedan od bitnih parametara u kontroli ovih postavki a posebno faktora propusnosti. Nesklad i nekompatibilnost mogu biti pojačani uzimanjem u obzir specifične površine po jediničnom volumenu, što je dobro ilustrirano u ovom ispitivanju. Na kraju, vrijedno je spomenuti da je ukupni neusklađeni odnos između određenih fizičkih svojstava i propusnosti, pridonio većoj složenosti iskaza u studiji ovog slučaja. Takvi uvjeti, po svemu sudeći, pridonose povećanju heterogenosti ležišta.

Tablica 1. popis oznaka

k	propusnost, mD
ϕ	porozitet, %
R_{spex}	radijus pore odgovara vršku, μm
R_{mh}	srednji hidraulički radijus, μm
S_{gv}	specifična površina po jediničnom volumenu, μm^{-1}
ϕ_z	normalizirani indeks poroznosti, bezdimenzijski
F_R	faktor otpora formacije, bezdimenzijski
ϕ_R	smanjena poroznost, bezdimenzijski
k_{cal}	izračunata propusnost, mD
$\log R_{35}$	log radijusa pore odgovara 35% zasićenja živom, μm
R_{35}	radijus pore odgovara 35% zasićenja živom, μm



Autor:

Mohammed Said Benzagouta, Department of Petroleum and Natural gas Eng, King Saud University, KSA
e-mail: benz@ksu.edu.sa

UDK : 550.8 : 553.982 : 553.28

550.8 geološka istraživanja
553.982 ležišta nafte i plina
553.28 vrsta ležišta, osobine ležišta