

Utiskivanje polimera radi kontrole proizvodnje vode promjenom propusnosti u raspucanom ležištu

E. Bedaiwi, B. D. Al-Anazi, A. F. Al-Anazi, A. M. Pataman

STRUČNI ČLANAK

Proizvodnja vode je jedan od glavnih tehničkih problema, problema okoliša i ekonomskih problema povezanih s proizvodnjom nafte i plina. Može ograničiti proizvodni život naftnih i plinskih bušotina i uzrokovati različite probleme uključujući koroziju cijevi, migraciju finih čestica i hidrostatičko opterećenje. Proizvedena voda predstavlja najveći balast povezan s proizvodnjom nafte i plina. Zbog toga je važno umanjiti učinke proizvodnje vode.

Uobičajeno je da se proizvodnja vode može izbjeći usvajanjem novih tehnika bušenja kao što je horizontalno bušenje, izrada koso usmjerenih ili interpolacijskih bušotina. Različiti projekti završnog proizvodnog opremanja bušotina omogućuju više načina obustavljanja proizvodnje vode, primjerice selektivnim perforiranjem neproduktivnih zona, stavljanjem ili instaliranjem opreme za multifazno dubinsko separiranje. Osim toga, kemijski tretman postaje jednom od tehnika izolacije vodonosne formacije pomoću istiskivanja nafte polimerom, koja najviše obećava.

Predložene kemijske tehnike razmatraju dvije vrste postupka, polimer/gel istiskivanje i cementaciju pod visokim tlakom. Proces obrade vode izveden je putem načela promjene propusnosti. Tehnika promjene propusnosti testirana je korištenjem jezgri koje su simulirale ležište u Berea pješčenjaku koji je karakteriziran prisutnošću kanala.

Rezultat pokazuje da je smanjenje propusnosti od 4 400 mD na približno 15 mD postignuto korištenjem polimer/gel istiskivanja i cementacijom pod visokim tlakom. Ujedno je zaključeno da polimerni gel omogućuje praktičnu primjenu na terenu zbog lagane pripreme, skladištenja, transporta, crpljenja, čišćenja nakon tretmana i potrebom normalnog tlaka utiskivanja na ušću bušotine. Studija također pokazuje mogućnost primjene te tehnike u heterogenim ležištima s dominantnim kanalima i frakturama.

Ključne riječi: istiskivanje polimernim gelom, cementacija pod visokim tlakom, proizvodnja vode, propusnost, raspucano ležište

1. UVOD

Izolacija vodonosne formacije je svaka radnja koja sprječava vodu da „dohvati“ i uđe u proizvodne bušotine. Proizvodnja vode je jedan od glavnih tehničkih, okolišnih i ekonomskih problema povezanih s proizvodnjom nafte i plina. Proizvodnja vode ne samo da ograničava proizvodni vijek bušotina nafte i plina već uzrokuje i nekoliko problema kao što su korozija cijevi, migracija finih čestica i hidrostatičko opterećenje. Proizvedena voda predstavlja najveći balast povezan s proizvodnjom nafte i plina. Osim toga, proizvodnja velike količine vode rezultira:

- potrebom za složenijim odvajanjem voda – nafta
- brzom korozijom bušotinske opreme
- brzim padom pridobivanja ugljikovodika te
- preranim napuštanjem bušotine, dok drugi koriste kemikalije za obuzdavanje neželjene proizvodnje vode. U mnogim slučajevima nove tehnike za kontrolu vode mogu dovesti do značajnog smanjenja troškova i poboljšane proizvodnje nafte.

Izolacija vodonosne formacije, bez ozbiljnog oštećenja produktivnih zona ugljikovodika, s pomoću maksimaliziranja redukcije propusnosti na putovima voda – izvor, a uz minimalizaciju redukcije propusnosti u zonama

ugljikovodika, cilj je svih operatora nafte i plina. Na starim poljima, bušotine nafte i plina trpe zbog velike proizvodnje vode za vrijeme pridobivanja ugljikovodika. Velika proizvodnja vode predstavlja ozbiljnu prijetnju kvaliteti okoliša zbog otpadne vode i rastući je problem za naftnu industriju. Danas postoji veliki broj rješenja za bilo koji izazov u vezi proizvedene vode. Na raspolaganju je niz tehnika i alata za prikladnu analizu kanala bušotine i parametara ležište. Najvažnije je odrediti problem kako bi se odredio postupak koji će dati najbolje tehničko i ekonomsko rješenje.

Prikazana studija prezentira tehniku temeljenu na kemiji u svrhu kontrole vode u bušotinama nafte i plina i metodologiju za identifikaciju i rješavanje problema podrijetla produkcije vode. Ona ujedno prezentira prikaz nekih primjena kontrole vode u svijetu, a posebno je spomenuto područje Saudijske Arabije i Arapskog zaljeva, kako bi se upoznali problemi i način njihovog rješavanja.^{11,13,16}

2. IZVORI PROIZVEDENE VODE

Moawad⁹ je prikazao mehanizme pomoću kojih voda može doći u proizvodnju:

- formiranje vodenog konusa
- opće podizanje kontakta voda-nafta

- (c) voda dolazi kroz sloj visoke propusnosti i
- (d) voda dolazi kroz jednu ili više pukotina što povezuje vodonosni sloj s bušotinom, slike 1, 2, 3, 4. Gawish⁷ je dodao i:
- (e) lom zaštitne kolone ili propuštanje iza zaštitne kolone zbog slabog cementnog obloga ili kanalnog strujanja iza zaštitne kolone
- (f) perforacija u vodonosnom sloju i
- (g) proboj barijere šejla za vrijeme stimulacije

Normalno, zone različite propusnosti, postojanje kanala i pukotina su razlozi heterogenosti ležišta. U većini karbonatnih ležišta, prirodne pukotine i kaverne predstavljaju lagani put za kretanje vode prema proizvodnim bušotinama. Ujedno ležišta s jakim režimom podinske vode su podvrgnuta prodoru vode koji smanjuje proizvodnju nafte s gibanjem vode prema dnu perforiranog intervala.

Razvijene su brojne tehnologije za kontrolu neželjene proizvodnje vode. U cilju stvaranja učinkovitog rješenja, mora se poznavati priroda proizvodnje vode. Tok vode do kanala bušotine može se javiti kroz dvije vrste putanje. Kod prve vrste voda obično teče prema kanalu bušotine putem koji je odvojen od puta ugljikovodika. U tom slučaju, redukcijom proizvodnje vode povećava se kapacitet proizvodnje nafte i plina i efikasnost pridobivanja. Ova vrsta proizvodnje vode trebala bi biti primarni kandidat za tretmane kontrole vode. Drugi tip proizvodnje vode je voda koja se proizvodi zajedno s naftom obično u kasnijoj fazi zavodnjavanja. Međutim, kontrola proizvodnje vode će imati za posljedicu odgovarajuće smanjenje količine proizvedene nafte.¹⁷

2.1. Glavni uzroci proizvodnje vode^{17,15,7,3}

1. Mehanički problemi

Problemi zaštitne kolone kao što su rupe od korozije, erozije, prekomjerni tlak ili deformacija formacije, doprinose propuštanju zaštitne kolone. Do propuštanja zaštitne kolone dolazi u slučaju kada iza nje nema cementa. Propuštanje zaštitne kolone ima za posljedicu neželjeni ulaz vode i neočekivanu proizvodnju vode. Dodatno, ulazak vode u kanal bušotine može, zbog prodora fluida, uzrokovati oštećenje produktivne formacije.

2. Problemi koji se odnose na opremanje bušotine

Uobičajeni problemi povezani s opremanjem bušotine su kanal iza zaštitne kolone, opremanje u ili blizu vodene zone i frakturiranje izvan zone. Kanali iza zaštitne kolone mogu biti uzrokovani lošom cementacijom zaštitne kolone ili povezanošću cementnih formacija. Kanali iza zaštitne kolone se mogu razviti za vrijeme cjelokupnog životnog vijeka bušotine, ali je najvjerojatnije da će se pojaviti odmah nakon opremanja ili stimuliranja bušotine.

3. Frakturiranje izvan zone

Kada su bušotine hidraulički frakturirane, frakture često prodiru u zone vode. U takvim slučajevima formiranje konusa kroz hidrauličke frakture može imati za posljedicu značajan porast proizvodnje vode.

Dodatno, tretmani stimulacije mogu uzrokovati proboj barijera u blizini kanala bušotine.

4. Iscrpljenost ležišta

Proizvodnja vode je očekivana posljedica proizvodnja nafte ili plina. Malo je toga što se može napraviti u iscrpljenom ležištu. Općenito, u kasnijoj fazi proizvodnje pažnja posvećena kontroli vode će se premjestiti od sprječavanja proizvodnje vode na smanjivanje troškova zbog proizvedene vode.

3. TEHNIKE ZATVARANJA VODE

Izolacija vodene formacije definirana je kao bilo koji postupak koji sprječava vodu da stigne do i uđe u proizvodne bušotine. Postoji bezbroj tehnika za izolaciju vodene formacije kao što su injektiranje polimera ili polimer/gela, različiti tipovi gel-sistema, organsko/metalno umrežavanje i kombinacija između njih, mehanička rješenja, rješenje s cementnim čepom i stotine drugih različitih mehaničkih i kemijskih metoda za izolaciju vodene formacije.

3.1. Razmještaj i opremanje bušotina

Potreban broj injekcijskih i proizvodnih bušotina, nužan za proizvodnju polja, ukazuje na koncept selektiranja optimalnog rasporeda i razmaka bušotina. Različiti modeli rasporeda bušotina, uključujući linijsko zavodnjavanje, pet, sedam i devet točaka, normalni ili inverzni raspored, mogu se razraditi za različite razmake bušotina kod različitih uvjeta na bušotinama i ležištima.⁹

Projektiranje optimalnog razmještaja bušotina, opremanje i istiskivanje koristeći nove tehnologije, započinje s tehnikom bušenja do modeliranja ležišta, a može povećati pridobivanje nafte i smanjiti proizvodnju vode. Strategije mogućnosti bušenja i opremanja su brojne. Neki od osnovnih koncepta su:

- a) izrada vertikalne bušotine s otvorenim ili zacijevljenim završnim opremanjem proizvodne ili injekcijske bušotine;
- b) izrada horizontalne i/ili koso usmjerene bušotine ili višekanalnih bušotina;
- c) produženja korištenja stare bušotine ponovnim perforiranjem novih produktivnih zona.

3.2. Mehaničko rješenje

U mnogim problemima okoliša kanala bušotine, kao što su propuštanje zaštitne cijevi, tok iza zaštitne cijevi, dizanje podinske vode i zavodnjavanje bez poprečnog strujanja i u slučaju da podinska voda počinje dominirati u proizvodnji fluida, perforacije se zabrtvljuju cementacijom pod visokim tlakom, pakerom ili čepom. Bušotina se ponovo perforira iznad izolirane zone, a proizvodnja nafte se obnavlja. Taj se proces nastavlja sve dok se cijela produktivna zona ne zavodni. Ta metoda je jedan od najlakših načina kontrole formiranja vodenog konusa.^{4,9}

3.3. Mehanička obrada i obrada cementom

Korištenje cementacije pod visokim tlakom nije dostatno. Ovo se odnosi na činjenicu da veličina standardnih čestica cementa ograničava penetraciju

Tablica 1. Usporedba između različitih polimera, prema Loetschu⁹

Vrsta	Prednosti	Nedostaci
PAA: poliakrilamid (parcijalno hidrolizirani)	- velika proizvodnja u normalnoj vodi - velika injektivnost	- nije otporan na sol - osjetljivost na smicanje - osjetljivost na O ₂
Hidroksietilceluloza (HEC)	- topljivost u bušotini - otpornost na sol	- pH osjetljivost - Fe ⁺³ osjetljivost - otporna na niske temperature - nema strukturne viskoznosti
Biopolisaharid (Xanthan, Scleroglucan)	- visoka proizvodnja u slanoj vodi - smično stabilan - temperaturno stabilan - niska vrijednost adsorpcije	- problem injektiranja - osjetljivost na bakterije - osjetljivost na O ₂ - visoka cijena
Kopolimeri i terpolimeri	- topljivost u bušotini - otpornost na sol - temperaturno stabilni - smično stabilni	- osjetljivost na O ₂ - visoka cijena

cementa u kanale, pukotine i zone visoke propusnosti pa se uspješnost svodi na oko 30%.

Najlakši način kontrole stvaranja vodenog konusa kada podinska voda počinje dominirati u produkciji fluida je brtvljenje perforacija cementacijom pod visokim tlakom, pakerom ili čepom. Bušotina se ponovo perforira iznad izolirane zone, a proizvodnja nafte se obnavlja. Taj se proces nastavlja sve dok se cijela produktivna zona ne zavodni. Međutim ova tehnika traži separirane lako odredljive produktivne zone nafte i plina. Kada je to moguće, mehanička izolacija zona cementacijom pod visokim tlakom ili gelom za čepljenje, može biti najlakši način izolacije vodenog konusa iz zavodnjenih slojeva. Vrlo često prekomjerni udjel vode se može smanjiti ponovnim opremanjem bušotine ili postavljanjem mehaničkih naprava za izolaciju zona koje proizvode vodu. Međutim ta su rješenja skupa i mogu u mikroslojevitim formacijama uzrokovati gubitak izvjesne količine ugljikovodika.^{4,7}

3.4. Kemijsko rješenje

Kemijski tretmani zahtijevaju sigurno postavljanje fluida i uključivanje polimer/gel injekcija, različitih tipova gel-sistema, organskog umrežavanja, mehaničkog umrežavanja i njihovom kombinacijom kao načinom unapređenja efikasnosti zavodnjavanja, a potrebni su u heterogenim ležištima kako bi se smanjila proizvodnja vode i unaprijedilo pridobivanje.^{4,9}

4. TRETMAN ZAVODNJAVANJA POLIMEROM

Zavodnjavanje polimerom (kemijsko povećanje iscrpka nafte, EOR) je vrlo važna metoda poboljšanja koeficijenta obuhvata ležišta istiskivanjem kako bi se povećalo pridobivanje nafte i smanjila proizvodnja vode. Na taj način se može postići značajni porast proizvodnje nafte, smanjivanjem proizvodnje vode i poboljšanim

pridobivanjem u usporedbi s konvencionalnim zavodnjavanjem u nekim ležištima.⁹

4.1. Vrste polimera

Postoje dvije osnovne kategorije polimera koje se primjenjuju na terenu, biopolimeri i sintetski polimeri. Biopolimeri uključuju Xanthan gume, hidroksietilceluloza, glukan, guar gum, sve supstancije velike molekularne težine, dobivene fermentacijom prirodnih supstancija bogatih ugljikohidratima. Sintetski polimeri uključuju parcijalno hidrolizirane poliakrilamide (HPAM) velike molekularne težine, kopolimere od akrilamida i terpolimera.⁹

Usporedba između prednosti i nedostataka poliakrilamida, hidroksietilceluloze, biopolisaharida, kopolimera i terpolimera, prikazana je u tablici 1, te slike 6, 7, 8 i 9.

5. PRIMJERI U PRAKSI

5.1. Izolacija vodonosne formacije u zonama visoke propusnosti u Saudijskoj Arabiji¹

Proizvodne bušotine na jednom od naftnih polja kompanije Saudi Aramco proizvode pod eruptivnim uvjetima s tlačnom potporom dobivenom od perifernog zavodnjavanja. Sa starenjem zavodnjavanja javlja se prodor vode u nižim zonama naftnih bušotina, a kapacitet proizvodnje pada. Kompanija Saudi Aramco je obavila opsežne radove kako bi se smanjio prtok vode i povećala proizvodnja nafte na jednom području polja. Terenski rezultati sa 49 izvedenih izolacija podinske vode kroz posljednjih šest godina i uspjeh u smanjenju proizvodnje vode te porast količine proizvedene nafte pomoću raznih metoda, prikazani su u korištenoj literaturi.¹

5.2. Izolacija vodonosne formacije u jako kosoj bušotini na polju Ghawar³

Na području Hawiyah polja Ghawar proizvodnja se obavlja na ležištu Arab-D. To ležište se sastoji od četiri zone različite propusnosti, raspucano je i rasjedno, a hidraulički je povezano kroz ravnu rasjednu plohu, kroz vertikalne frakture. Ležišni tlak se podržava korištenjem injekcija morske vode iz bočne bušotine. Polje je razrađeno izradom jako kosih bušotina i horizontalnih bušotina. Mnoge od tih bušotina prestale su s radom odmah nakon izrade ili nakon kratkog vremena proizvodnje, a zbog pretjerane proizvodnje vode iz visoko protočnih intervala. Taj primjer opisuje uspješnu primjenu izolacije vodonosne formacije bez bušačkog postrojenja u kanalu bušotine velike devijacije korištenjem napuhavajućih čepova postavljenih sa savitljivom kolonom ulaznih cijevi i cementom stavljenim na vrh, kako bi smanjila pretjerana proizvodnja vode. Ta je tehnika uspješno primijenjena za smanjenje proizvodnje vode i ožvljavanje mrtvih bušotina na području Hawiyah, polja Ghawar.

5.3. Proizvodnja vode na polju South Umm Gudair u Kuvajtu⁵

Povijest proizvodnje polja South Umm Gudair (SUG) obilježena je porastom stupnja zavodnjenja i povećanim tempom pada proizvodnje. Bilo je primijenjeno nekoliko konvencionalnih tehnika kako bi se umanjili učinci pritjecanja vode u ležište. Dok su neke prijašnje primjene izgledale obećavajuće, kasnije su aplikacije često bile beznačajne. Stoga je na polju SUG uvedeno horizontalno skretanje kanala bušotine. Od 1999. do 2004. je izvedeno ukupno 15 horizontalno skrenutih bušotina što je rezultiralo porastom proizvodnje nafte i padom stupnja zavodnjenja.

5.4. Izolacija vodonosne formacije korištenjem dvaju novih sustava polimera na polju Wafra Ratawi u Kuvajtu⁵

Uvađanjem injektiranja vode na oolitnom ležištu Wafra Ratawi u podijeljenoj neutralnoj zoni Saudijske Arabije i Kuvajta, došlo je do proizvodnje vode naročito poslije izrade horizontalnih bušotina. Trebalo je primijeniti neku ekonomičnu metodu kako bi se smanjio prodor u ležište. To je bio složeni proces u horizontalnim nezacijevljenim proizvodnim bušotinama. Bila je potrebna isplativa metoda kontrole vode kojom bi se privremeno zaštitile produktivne horizontalne sekcije u cilju zaštite potencijalno produktivne zone za buduću proizvodnju nakon tretmana.

5.5. Izolacija vodonosne formacije korištenjem gel-cementa na polju u Siriji⁶

Proizvodnja vode na sjeveroistoku Sirije posljednjih je godina značajno porasla. Zbog toga je cijena nafte po barelu porasla, a proizvodnja na polju je ograničena kapacitetom postrojenja. Gel je korišten za pripremu cementa koji će biti injektiran pod tlakom u matriks koji će stvoriti izolaciju plitkog matriksa. Cement će ostati u perforacijskom kanalu kao kruta izolacijska stijena. Taj sustav je u laboratoriju pokazao vrhunsku učinkovitost izolacije u usporedbi s normalnim tehnikama cementacije pod visokim tlakom. Selektivna perforacija zona s ugljikovodikom će obnoviti (nastaviti)

proizvodnju nafte. Izolirane zone se mogu ponovo otvoriti u kasnijem proizvodnom vijeku bušotine nakon instalacije opreme za umjetno podizanje nafte. U prvom pokusu na ležištu u 84 m perforacije (bruto) injektiran je u jednom pokušaju gel-cement. Nakon ponove perforacije vršne i srednje zone, proizvodnja na bušotini odvijala se je sa znatno smanjenim udjelom vode, 25–33% u usporedbi sa 60–62% prije tretmana i povećanom proizvodnjom nafte od 477 m³/d (3 000 bbl/d) u usporedbi sa 159 m³/d (1 000 bbl/d) prije tretmana. Kroz godinu dana, postupnim porastom udjela vode na 56%, proizvodnja nafte je pala na 318 m³/d (2 000 bbl/d).

6. EKSPERIMENTI S CEMENTOM I POLIMERNIM GELOM

Studija će prikazati primjenu cementa i polimernog gela za izolaciju vodonosne formacije. Za demonstraciju predloženih metoda korištene su jezgre Berea pješčenjaka u kojima dominiraju kanali i druge jezgre u kojima nema kanala. Eksperiment je objašnjen u sljedećim odlomcima.

6.1. Pripremanje cementne kaše

Za pripremanje cementne kaše za bušotinu obično se koristi uređaj za miješanje s propelerom. Mikser radi 15 sekundi sa 4 000 okr/min i za to se vrijeme sav cement mora dodati u vodu koja se miješa. Nakon toga mikser radi 35 sekundi s 12 000 okr/min. Varijacije u proceduri miješanja mogu izmijeniti svojstva dobivene cementne kaše. Nedostatak ovog postupka je nepostojanje pjene kod simuliranih terenskih uvjeta visokog tlaka. Nedavno su Rozieres and Ferriere opisali neke metode testiranja pod tlakom.

6.2. Vrijeme zgušnjavanja

Ispitivanja vremena zgušnjavanja napravljena su kako bi se odredila duljina vremena u kojem cementna kaša ostaje u stanju fluida, koji se može pumpati pod simuliranim uvjetima tlaka i temperature kanala bušotine. Test cementne kaše ocjenjuje se u konzistometru (laboratorijski uređaj za određivanje vremena zgušnjavanja pod simuliranim uvjetima tlaka i temperature na dnu bušotine) pod tlakom. Kraj testa vremena zgušnjavanja je moment kada cementna kaša dosegne vrijednost konzistencije (mogućnost deformacije materije i otpornost tečenju) od 100 Bc (Bearden units of consistency), međutim općenito se smatra da je 70 Bc maksimalna vrijednost kod koje je pumpabilna. Beardenova jedinica (Bc) je bez-

Uzorak polimernog gela za obradu Berea pješčenjaka I

Materijal	Količine, g
Polimer 5%	16,5 iz otopine polimera (15%)
Destilirana voda	32
Unakrsni povezač 5 000	1,5 iz otopine X-povezača (11,5%)

Tablica 2. Svojstva jezgri Berea pješčenjaka

Svojstva	Berea pješčenjak I	Berea pješčenjak II
L	11,236 cm	9,874 cm
d	4,978 cm	5,08 cm
A	19,46 cm ²	20,2 cm ²
v_b	218,67 cm ³	200 cm ³
ω_{dry}	429,7 cm ³	398,1 cm
ω_{sat}	472,3 gm	433,8 gm
v_p	42,6 gm	35,7 gm
Φ	19,5%	17,85%
k	131 mD	131 mD
$k_{s\text{ kanalima}}$	4 415 mD	4 415 mD

Tablica 3. Propusnost Berea pješčenjaka I i II

Δp psi	Δp atm	Utisnuto p.v. cm ³	Utisnuto p.v. %	q cm ³ /min	k mD
2,69	0,1830	110	2,58	2,5	131,4688
2,7	0,1837	122,5	2,88	2,5	130,9819
2,69	0,1830	135	3,17	2,5	131,4688
2,69	0,1830	147,5	3,46	2,5	131,4688

Tablica 4. Propusnost Berea pješčenjaka I i II s kanalima

Δp psi	Δp atm	Utisnuto p.v. cm ³	Utisnuto p.v. %	q cm ³ /min	k (mD)
0,1	0,007	6,25	0,15	3,125	4 420,638
0,1	0,007	12,5	0,29	3,125	4 420,638
0,11	0,007	18,75	0,44	3,125	4 018,762
0,1	0,007	25	0,59	3,125	4 420,638
0,1	0,007	31,25	0,73	3,125	4 420,638
0,1	0,007	37,5	0,88	3,125	4 420,638
0,1	0,007	43,75	1,03	3,125	4 420,638
0,11	0,007	50	1,17	3,125	4 018,762
0,11	0,007	56,25	1,32	3,125	4 018,762
0,11	0,007	62,5	1,47	3,125	4 018,762
0,11	0,007	68,75	1,61	3,125	4 018,762
0,1	0,007	75	1,76	3,125	4 420,638
0,1	0,007	81,25	1,91	3,125	4 420,638
0,1	0,007	87,5	2,05	3,125	4 420,638
0,1	0,007	93,75	2,20	3,125	4 420,638
0,1	0,007	100	2,35	3,125	4 420,638
0,1	0,007	106,25	2,49	3,125	4 420,638
0,1	0,007	112,5	2,64	3,125	4 420,638
0,1	0,007	118,75	2,79	3,125	4 420,638
0,1	0,007	125	2,93	3,125	4 420,638
0,1	0,007	131,25	3,08	3,125	4 420,638
0,1	0,007	137,5	3,23	3,125	4 420,638
0,1	0,007	143,75	3,37	3,125	4 420,638
0,1	0,007	150	3,52	3,125	4 420,638
0,1	0,007	156,25	3,67	3,125	4 420,638
0,1	0,007	168,75	3,81	3,125	4 420,638

Tablica 5. Propusnost Berea pješčenjaka I nakon tretmana s polimernim gelom

Δp psi	Δp atm	Utisnuto p.v. cm ³	Utisnuto p.v. %	q cm ³ /min	k (mD)
33	2,245	17	0,40	3,4	14,57
32,68	2,223	34	0,80	3,4	14,72
32,9	2,238	51	1,20	3,4	14,62
32,6	2,218	68	1,60	3,4	14,75
32,78	2,230	85	2,00	3,4	14,67
32,88	2,237	102	2,39	3,4	14,63
32,66	2,222	119	2,79	3,4	14,73
33	2,245	136	3,19	3,4	14,57
32,28	2,196	153	3,59	3,4	14,90
33	2,245	170	3,99	3,4	14,57
37,03	2,519	192,5	4,52	4,5	17,19
37,34	2,540	215	5,05	4,5	17,05
37,72	2,566	237,5	5,58	4,5	16,88
37,4	2,544	260	6,10	4,5	17,02
38	2,585	282,5	6,63	4,5	16,75
37,8	2,571	305	7,16	4,5	16,84

Tablica 6. Propusnost Berea pješčenjaka I nakon mjesec dana

Δp psi	Δp atm	Utisnuto p.v. cm ³	Utisnuto p.v. %	q cm ³ /min	k (mD)
34,35	2,34	17,5	0,411	3,5	14,41
34,3	2,33	35	0,822	3,5	14,43
34	2,31	52,5	1,232	3,5	14,56
33,92	2,31	70	1,643	3,5	14,60
33,87	2,30	87,5	2,054	3,5	14,62
34,2	2,33	105	2,465	3,5	14,48
39,3	2,67	129	3,028	4,8	17,28
39,78	2,71	153	3,592	4,8	17,07
39,38	2,68	177	4,155	4,8	17,24
39,44	2,68	201	4,718	4,8	17,22
39,25	2,67	225	5,282	4,8	17,30
39,32	2,67	249	5,845	4,8	17,27
33	2,24	266,5	6,256	3,5	15,00
33,42	2,27	284	6,667	3,5	14,81
33,7	2,29	301,5	7,077	3,5	14,69
33,7	2,29	319	7,488	3,5	14,69
33,8	2,30	336,5	7,899	3,5	14,65

Uzorak cementne kaše za tretman Berea pješčenjaka II

Tablica 7. Propusnost Berea pješčenjaka II nakon cementacije pod visokim tlakom					
Δp psi	Δp atm	Utisnuto p.v. cm ³	Utisnuto p.v. %	q cm ³ /min	k (mD)
16,75	1,14	9,25	0,26	1,85	13,23
17,12	1,16	19,00	0,53	1,95	13,64
17,20	1,17	28,75	0,81	1,95	13,58
17,40	1,18	38,50	1,08	1,95	13,42
17,60	1,20	48,25	1,35	1,95	13,27
17,60	1,20	58,00	1,62	1,95	13,27
17,64	1,20	67,75	1,90	1,95	13,24
18,11	1,23	77,25	2,16	1,90	12,56
18,00	1,22	87,25	2,44	2,00	13,31
18,54	1,26	97,25	2,72	2,00	12,92
18,87	1,28	107,25	3,00	2,00	12,69
19,07	1,30	116,75	3,27	1,90	11,93
25,50	1,73	132,25	3,70	3,10	14,56
25,75	1,75	147,25	4,12	3,00	13,95
26,00	1,77	162,25	4,54	3,00	13,82
26,29	1,79	177,75	4,98	3,10	14,12
26,17	1,78	192,75	5,40	3,00	13,73
26,60	1,81	208,00	5,83	3,05	13,73
26,38	1,79	223,25	6,25	3,05	13,85
27,02	1,84	238,75	6,69	3,10	13,74
26,97	1,83	254,25	7,12	3,10	13,77
28,02	1,91	269,50	7,55	3,05	13,04
27,80	1,89	284,75	7,98	3,05	13,14
28,15	1,91	300,25	8,41	3,10	13,19
33,62	2,29	321,50	9,01	4,25	15,14
34,86	2,37	342,50	9,59	4,20	14,43
34,86	2,37	363,75	10,19	4,25	14,60
35,70	2,43	385,00	10,78	4,25	14,26
36,25	2,47	406,25	11,38	4,25	14,04
36,31	2,47	427,50	11,97	4,25	14,02
36,06	2,45	448,50	12,56	4,20	13,95
36,42	2,48	469,75	13,16	4,25	13,98
37,29	2,54	491,25	13,76	4,30	13,81
36,82	2,50	512,75	14,36	4,30	13,99
37,17	2,53	534,25	14,96	4,30	13,85
36,76	2,50	556,00	15,57	4,35	14,17
33,26	2,26	571,75	16,02	3,15	11,34
32,40	2,20	588,00	16,47	3,25	12,01
32,25	2,19	604,25	16,93	3,25	12,07
33,16	2,26	620,50	17,38	3,25	11,74
32,99	2,24	637,00	17,84	3,30	11,98
32,87	2,24	653,25	18,30	3,25	11,84
32,21	2,19	669,25	18,75	3,20	11,90
32,17	2,19	685,75	19,21	3,30	12,28
32,37	2,20	702,25	19,67	3,30	12,21
32,88	2,24	718,50	20,13	3,25	11,84
33,91	2,31	735,00	20,59	3,30	11,65
32,15	2,19	751,75	21,06	3,35	12,48

dimenzijska količina kojom se mjeri mogućnost crpljenja cementa, a kreće se od 0 do 100. Temperatura i tlak utječu na mjereno vrijeme zgušnjavanja.

6.3. Čvrstoća na tlak

Procjena čvrstoće na tlak na osnovu brzine prolaza ultrazvučnih valova, razvijena je nedavno. Ultrazvučni analizator cementa (UCA) mjeri vrijeme prijednog puta zvuka ultrazvučne energije, kroz uzorak cementa za vrijeme stvrdnjavanja, kod simuliranih uvjeta tlaka i temperature kanala bušotine i ležišta. Ultrazvučnom brzinom izravno se procjenjuje ukupna stlačivost uzorka. Mjerenja čvrstoće na tlak dizajnirana su u cilju određivanja mogućnosti postavljanja cementa za izolaciju zona.

7. POSTUPAK EKSPERIMENTA

Glavna oprema korištena u ovoj studiji sastoji se od uređaja za istiskivanje nafte. Utjecaj polimernog gela i cementa na izolaciju vodonosne formacije ispitivan je korištenjem uzorka jezgre vodom (3% NaCl). Međutim da bi se postigao cilj ove studije utvrđeni su sljedeći laboratorijski postupci:

1. Petrofizička svojstva uzoraka jezgre određena su upotrebom aparata za određivanje protoka kroz jezgru, kao što je prikazano u tablici 2.
2. Uzorak jezgre ispražnjen je korištenjem vakuum pumpe i zasićen slanom vodom.
3. Uzorak jezgre postavljen je u držač jezgre s gumenom košuljicom kod svestranog tlaka 34 atm (500 psi) dobivenog ručnom crpkom.
4. Propusnost jezgre je izračunata kod konstantnog obroka utiskivanja registracijom pada tlaka između ulazne i izlazne strane na osnovu Darcyjeve jednadžbe.
5. Temeljna propusnost uzoraka jezgre bila je približno 131 mD, a vrijednosti kod različitih kapaciteta protjecanja zabilježene su na sl. 10 i sl. 11.
6. Propusnost uzoraka jezgre s kanalima dosegla je približno 4 400 mD kod konstantnog kapaciteta protjecanja od 3,2 cm³/min, kao što je prikazano na sl. 7 i sl. 8.
7. Propusnost uzoraka jezgre I pala je na 15 mD nakon tretmana polimernim gelom kao što je prikazano na sl. 10.
8. Cementacija pod visokim tlakom u kanale pokazala je pad propusnosti do približno 14 mD, što se može vidjeti na sl. 19.

8. ZAKLJUČAK

1. I cement i polimerni gel su pokazali pad efektivne propusnosti od 4 500 mD na približno 15 mD.
2. Uočeno je da je polimerni gel lakši za pumpanje i čišćenje poslije tretmana.
3. Polimerni gel je pokazao niži tlak injektiranja u usporedbi s injekcijom cementa.
4. Polimerni gel se može injektirati u pukotine i kanale dublje nego cementna kaša.

5. Polimerni gel ima povoljnija svojstva od cementa za lomljenje unutar naftne zone.

ZAHVALA

Zahvaljujemo se dr. Ahmedu Gawishu koji nam je omogućio da ovu studiju napravimo i dao nam podršku. Isto tako se zahvaljujemo i osoblju odjela za inženjerstvo nafte i prirodnog plina fakulteta Ibn Saud za svu pomoć koju su nam pružili. Za prijateljsku pomoć zahvaljujemo kompaniji BJ Services Arabia Limited.



Autori:

Emad Bedaiwi, Completion & Stimulation Field Engineer, BJ Services Arabia Ltd., EBedaiwi@bjservices.ae

Bandar Duraya Al-Anazi, Research Assistant, King Abdulaziz City for Science & Technology, bandar.alanazi@gmail.com

Ammal Fannoush Al-Anazi, Saudi Aramco Ammal., anazi@aramcoservices.com

Abouzar Mirzaei Paiaman, Sharif University of Technology, Mirzaei1986@gmail.com

UDK: 622.24.063.5 : 622.276/.279 : 628.1 : 678

622.24.63.5	rudarstvo, bušotine, iscrpljivanje ležišta
622.276/.279	pridobivanje nafte i plina
628.1	pridobivanje vode
678	polimerni materijali