

Tehnike povećanja iscrpka nafte i istiskivanje korištenjem CO₂

M. Al-Jarba i B. D. Al-Anazi

STRUČNI ČLANAK

Tijekom godina je zanimanje za povećanjem iscrpka nafte (EOR) smanjeno zbog povećanja naftnih rezervi i proizvodnje. Ispitano je mnogo metoda, u laboratoriju i na terenu, kako bi se povećala proizvodnja nafte. Otkriće velikih naftnih polja u svijetu donijelo je na svjetsko tržište velike količine nafte. Uz to su procjene naftnih rezervi s nalazišta na Bliskom Istoku znatno povećane, što je dovelo do očekivanja da će ponuda nafte biti velika. Iako su velike količine nafte i dalje preostale u starim ležištima, primjenom EOR procesa se neće proizvoditi velike količine, ukoliko troškovi proizvodnje nafte primjenom tih procesa ne budu ekonomski mogli konkurirati troškovima proizvodnje nafte iz konvencionalnih izvora. Dok ležišta stare, pojavljuju se dvojbe između želje za očuvanjem bušotina za moguće EOR procese i pomanjkanja ekonomskih poticaja zbog postojanja velikih rezervi nafte u svijetu.

Ključne riječi: iscrpak, metode povećanja iscrpka, miscibilnost nafte i CO₂

1. Uvod

Razrada i proizvodnja sirove nafte iz ležišta mogu se odvijati u tri različite faze: primjenom primarnih, sekundarnih i tercijarnih metoda. Tijekom primarnog iskorištavanja nafta prirodnom energijom ili gravitacijskim režimom istiskivanja pritječe u kanal bušotine, u kombinaciji s mehaničkim metodama podizanja nafte. U prosjeku, primjenom primarnih metoda pridobivanja proizvede se samo oko 10% početnih rezervi nafte u ležištu. Metode sekundarnog pridobivanja za vrijeme produktivnoga života polja općenito uključuju utiskivanje vode ili plina kako bi se održao tlak ležišta i istisnula nafta. Rezultat je povećanje proizvodnje s 20 na 40% pridobivenih početnih rezervi nafte u ležištu. Međutim, budući da je većina lako pridobive nafte s naftnih polja već proizvedena, proizvođači su pokušali primijeniti nekoliko tercijarnih metoda povećanja iscrpka nafte (EOR), koje daju mogućnost da konačni iscrpak dosegne 30 do 60% ili više od početnih rezervi nafte u ležištu. Utvrđeno je da su tri glavne metode povećanja iscrpka nafte komercijalno uspješne u različitoj mjeri, a to su:

- Termičko pridobivanje, koje uključuje utiskivanje pare ili općenito topline kako bi se snizila viskoznost teške nafte i povećala njezina sposobnost strujanja kroz ležište
- Utiskivanje plina, pri čemu se koriste plinovi poput prirodnog plina, dušika, ili ugljik dioksida, što oslobađa preostalu naftu smanjivanjem međupovršinske napetosti i viskoznosti. Utiskivanjem plina se ostvaruje približno 50 posto proizvodnje primjenom EOR metoda.
- Utiskivanje kemikalija, koje može uključiti korištenje dugolančanih molekula nazvanih polimeri kako bi se povećala učinkovitost zavodnjavanja, ili uporaba površinski aktivnih tvari sličnih deterdžentima kako bi se snizila površinska napetost koja često sprečava strujanje kapljica nafte kroz ležište.⁷

2. Istiskivanja nafte korištenjem CO₂

Istiskivanja nafte korištenjem CO₂ je učinkovit proces pridobivanja nafte. Pojavio se 30-tih godina prošloga stoljeća i naglo se je razvio 70-tih. Više od 30 godina primjene u proizvodnji učinilo je istiskivanje nafte uporabom CO₂ vodećom metodom povećanja iscrpka za laku i srednje tešku sirovu naftu. Tom se metodom za 15 do 20 godina može produljiti proizvodni vijek zavodnjenih polja lake i srednje sirove nafte, a moguće je pridobiti 15 do 25% početnih rezervi nafte u ležištu kao i prilikom zavodnjavanja.

Fazno ponašanje sustava CO₂/sirova nafta opsežno se proučava od 60-tih godina prošloga stoljeća. To je zanimanje bilo na vrhuncu kasnih 70-tih i ranih 80-tih, na početku mnogih projekata miscibilnih istiskivanja nafte uporabom CO₂ i u doba viših cijena nafte. Zanimanje se nastavlja započinjanjem novih i završavanjem ranijih projekata. Studije razumijevanja razvoja i predviđanja MMP utiskivanjem čistog i nečistog CO₂ traju više od 30 godina.

U literaturi se mogu pronaći razni pokušaji razvoja metoda mjerenja i izračuna MMP-a. Mnogi od njih temelje se na pojednostavljenjima, poput trokomponentnih prikaza sastava fluida. Kasnije se pokazalo da kod toga nije uzeto u obzir postojanje kombiniranog mehanizma koji kontrolira razvoj miscibilnosti fluida u stvarnim ležištima. Zick (1986.) i kasnije Stalkup (1987.) opisali su postojanje mehanizma vaporizacije/kondenzacije. Pokazali su da se nastanak miscibilnosti (MMP) u procesima istiskivanja višekomponentnim plinom, neovisno o mehanizmima koji kontroliraju nastanak miscibilnosti, može točno predvidjeti jednodimenzionalnom (1D) simulacijom sastava fluida. Kasnije su Wang i Orr (1997.) predstavili poluanalitičku metodu za predviđanje MMP-a, koja je odigrala važnu ulogu u razvoju i primjeni analitičke teorije procesa utiskivanja plina.¹⁰

2.1. Ugljik dioksid kao fluid za istiskivanje

Ugljik dioksid je jedan od najznačajnijih i najkorisnijih spojeva koji se pojavljuju na Zemlji. Whorton i suradnici su 1952. dobili prvi patent za pridobivanje nafte uporabom CO₂.

Napredak u tehnologiji istiskivanja uporabom CO₂ tijekom 60-tih i 70-tih, dao je značajan doprinos mehanizmima istiskivanja uporabom CO₂. Istraživanje provedeno 1982. pokazalo je 65%-tno povećanje broja CO₂ projekata u usporedbi s 1980.⁹

Prema zadnjem istraživanju EOR procesa iz 2008., koje časopis Oil and Gas Journal objavljuje dva puta godišnje, utiskivanje plina zauzelo je prvo mjesto među EOR procesima u SAD, nadmašivši dugo najkorištenije termalne procese. Primjenom metoda za povećanje iscrpka nafte (EOR procesima) se u Sjedinjenim Američkim Državama ostvaruje gotovo 13% domaće proizvodnje.

Promjene u zastupljenosti plinova primijenjenih u EOR procesima u SAD-u od 1986. do 2006. prikazane su na slici 2. Prikazana je dinamika različitih EOR metoda utiskivanja plina i trenutačne dominantne metode EOR-a u Americi. Na slici se jasno vidi da je, s izuzetkom procesa utiskivanja CO₂ i ugljikovodika, udio svih ostalih EOR procesa u zadnja dva desetljeća značajno smanjen ili sveden na nulu. Udio procesa istiskivanja primjenom CO₂ i prirodnog plina u dva se desetljeća gotovo udvostručio. Daljnje ispitivanje učinka EOR metode istiskivanja plinom pokazuje da su se tijekom dvadeset godina projekti miscibilnog CO₂ povećali s 28 u 1984. na 80 u 2006. Proizvodnja ostvarena njihovom primjenom u istom vremenskom razdoblju povećana je s 4 977 m³/d (31 300 bbl/d) na 37 273 m³/d (234 420 bbl/d) u 1984. na 19 796 m³/d (124 500 bbl/d) u 2000., usprkos smanjenju broja projekata. No, od 2002. ovaj se trend promijenio, te je proizvodnja ostvarena metodom povećanja iscrpka utiskivanjem prirodnog plina pala na 15 232 m³/d (95 800 bbl/d).

2.2. Prednosti i nedostaci utiskivanja ugljik dioksida

Kad nafta i voda sadrže značajnu količinu otopljenog ugljik dioksida, njihova viskoznost, gustoća i stlačivost se mijenjaju na način koji pomaže istiskivanju nafte iz ležišta. Stoga bi korištenje ugljik dioksida u pridobivanju nafte trebalo uzeti u obzir u slučaju kad je on dostupan u dostatnim količinama i cijenom isplativ.⁷

Prednosti istiskivanja ugljik dioksidom:

1. Miscibilnost se može postići kod niskog tlaka
2. Učinkovitost istiskivanja je visoka u slučajevima miscibilnosti
3. Ovaj proces pomaže povećanju iscrpka istiskivanjem nafte otopljenim plinom
4. Primjenljiviji je za širi spektar sirovih nafte od metoda utiskivanja ugljikovodika.
5. Ukoliko se izgubi, miscibilnost se može ponovo postići.

Proces miscibilnog ugljik dioksida primarno se koristi za srednju i laku sirovu naftu. U slučaju istiskivanja

ugljik dioksidom pod nemiscibilnim uvjetima, izaziva se bubrenje sirove nafte i smanjenje njezine viskoznosti nakon karbonizacije. Radi visoke topljivosti ugljik dioksida u sirovoj nafti, za ležišta koja sadrže visoko nezasićenu sirovu naftu ili tešku naftu, prednosti istiskivanja nemiscibilnim ugljik dioksidom također su značajne,¹³ što je prikazano na sl. 3. za CO₂ miscibilne procese.

Nedostaci koji ograničavaju ovu metodu, mogu se razvrstati na slijedeći način:

1. Dostupnost izvora ugljik dioksida
2. Troškovi transporta
3. U određenim uvjetima može se dobiti loš obuhvat ležišta istiskivanjem i gravitacijska segregacija
4. Korozija dubinske i površinske opreme
5. Nužnost recikliranja proizvedenoga plina.

2.3 Kriterij odabira ležišta za utiskivanje ugljik-dioksida

Postoji nekoliko publikacija o odabiru ležišta s potencijalom za istiskivanje nafte korištenjem CO₂. Ove smjernice odabira su vrlo široke i namijenjene su samo kao pomoć pri utvrđivanju mogućih ležišta za koje treba provesti temeljitu procjenu, kako bi se odredila njihova prikladnost za miscibilno istiskivanje s CO₂. Sažetak ovih smjernica dan je u Tablici 1.¹⁷

Kako bi ležište bilo kandidat za miscibilno istiskivanje korištenjem CO₂, tlak miscibilnosti mora biti dostupan u velikome dijelu ležišta. Tlak miscibilnosti za CO₂ često je znatno niži od tlaka potrebnog za miscibilnost prirodnim plinom, dimnim (otpadnim) plinom ili dušikom. Visoki tlak koji je potreban za dinamičku miscibilnost ograničava mogućnost miscibilnog istiskivanja tim plinovima. Međutim, ovo često nije slučaj s CO₂ i njegova miscibilnost se može postići na manjim dubinama za puno širi spektar nafte.

Tlak miscibilnosti obično raste s povećanjem gustoće nafte. Ležišta koja sadrže naftu gustoće niže od približno 921 kg/m³ (22 °API) uglavnom ne mogu biti kandidati za miscibilno istiskivanje korištenjem CO₂. Ležišta plića od

Tablica 1. Kriterij odabira ležišta za utiskivanje ugljik dioksida prema dubini i gustoći nafte¹³

Miscibilno istiskivanje korištenjem CO ₂	
Gustoća nafte kg/m ³	Dubina mora biti veća od: m
< 824	762
825 – 865	853
865 – 886	1 006
887 - 921	1 219
> 921	Neuspjelo miscibilno, provjera nemiscibilnog
Nemiscibilno istiskivanje korištenjem CO ₂	
922 - 978	549
> 978	Neuspjelo za sva ležišta na svim dubinama

Izvor: Jiahang, 2003.

Procesi utiskivanja ugljika	Kriterij ležišta	Mehanizmi pridobivanja nafte
Primjena kod niskog tlaka	Tlak niži od 68,9 bar (1 000 psia). Plitka i ležišta viskozne nafte gdje su neefikasne metode s vodom i termalne metode istiskivanja.	Obogaćenje nafte plinom i smanjenje viskoznosti
Srednji tlak, primjena kod visokih temperatura	68,9 < p < 137,9 do 206,8 bar (1 000 < p < 2 000 do 3 000 psia) do temperature ležišta	Obogaćenje nafte plinom, smanjenje viskoznosti i vaporizacija sirove nafte
Srednji tlak, primjena kod niskih temperatura < 50 °C (122 °F)	68,9 < p < 137,9 do 206,8 bar (1 000 < p < 2 000 do 3 000 psia) Temperatura < 50 °C (122 °F)	Obogaćenje nafte plinom, smanjenje viskoznosti i eruptiranje
Visoki tlak Miscibilne primjene	Tlak veći od 137,9 do 206,8 bar (2 000 do 3 000 psia)	Miscibilno istiskivanje

Izvor: Klins 1984.

2 500 ft (762 m) općenito ne mogu biti kandidati jer se pri ovako malim dubinama čak i relativno nizak tlak miscibilnosti ne može održati bez frakturiranja ležišta.

Heterogenost ležišta je još jedan parametar koji određuje prikladnost ležišta za istiskivanje korištenjem CO₂. Pokazatelji heterogenosti ležišta mogu biti povijest zavodnjavanja, geologija, karotaže te ispitivanja tlaka pod prijelaznim uvjetima.

Istiskivanje nafte jako ovisi o faktorima koji su u vezi s faznim ponašanjem mješavine sirove nafte i CO₂. Obzirom na to glavni su čimbenici temperatura i tlak ležišta te sastav sirove nafte. Glavne karakteristike istiskivanja za određeno istiskivanje upotrebom CO₂ spadaju u jednu od 4 grupe prikazane u Tablici 2.

Radi niske viskoznosti ugljik dioksida, omjer viskoznosti s naftom u ležištu će redovno biti nepovoljan. Stoga će koeficijent pokretljivosti istiskivanja biti nepovoljan osim ako je relativna permeabilnost za CO₂ dostatno smanjena izmjeničnim utiskivanjem vode, taloženjem polukrutih tvari ili teških tekućina, ili drugih čimbenika koji će koeficijent pokretljivosti održati povoljnim. Nepovoljan stupanj pokretljivosti utječe na obuhvat ležišta istiskivanjem i može ubrzati razaranje čepa CO₂ kod procesa istiskivanja plinom formiranjem viskoznih jezika. Iz ovih razloga, ležišta koja sadrže naftu relativno visoke viskoznosti nisu pogodna za istiskivanje korištenjem CO₂.

Kao što je to slučaj kod istiskivanja nafte ugljikovodicima pod miscibilnim uvjetima, treba izbjeći veliku heterogenost ležišta koja dovodi do povećane proizvodnje CO₂. Iako se proizvodnja određene količine CO₂ može očekivati čak i pri najbolje napravljenoj projektu istiskivanja, te iako stlačivanje i ponovno utiskivanje proizvedenog CO₂ mogu u određenim projektima biti ekonomski isplativi, brzi prodori prouzrokovani ekstremnom stratifikacijom ili frakturiranjem mogu smanjiti količinu nafte dobivene po bruto injektiranom ft³ CO₂ na neekonomsku vrijednost, pa ležišta takvih karakteristika valja izbjegavati. Kako pri miscibilnim procesima korištenjem ugljikovodika ekonomski faktori određuju minimalno zasićenje naftom, to je prihvatljivo kod istiskivanja korištenjem CO₂. Međutim, općenito uzevši, zasićenje naftom ne bi trebalo biti niže od 20%.¹⁶

2.4 Budući razvoj

Prema većini scenarija predviđanja cijena nafte, u narednim se godinama očekuje da će povećanje iscrpka nafte istiskivanjem primjenom CO₂ nastaviti rasti. Kao učesnik u stvaranju modela za opskrbu naftom i plinom, koji je razradilo američko Ministarstvo za energiju radi predviđanja buduće proizvodnje nafte i plina u Sjedinjenim Američkim Državama, Advanced Resources je razvio submodel povećanja iscrpka nafte, kojim se procjenjuje isplativost CO₂ – EOR projekata u Sjedinjenim Američkim Državama. Ekonomski model temeljen na ispitivanjima na terenu procjenjuje troškove proizvodnje postojećeg CO₂ – EOR projekta u Sjedinjenim Američkim Državama, kao i troškove razrade korištenjem CO₂ na novo iscrpljenim naftnim poljima, te na taj način omogućuju sustavno predviđanje buduće proizvodnje ostvarene primjenom EOR metoda. Procijenjeno je da će proizvodnja na Aljaski primjenom procesa za povećanje iscrpka primjenom CO₂, koja nije simulirana u ovom modelu, ostati na trenutačnoj razini od oko 2 400 m³ /dan (15 000 bbl/d).



Autori:

Mojsin Al-Jarba, Drilling Supervisor Assistant LUKOIL Saudi Arabia Energy

E-mail: mjrbaa@luksar.com.sa

Bandar Duraya Al-Anazi, Research Assistant, King Abdulaziz City for Science & Technology

E-mail: bandar.alanazi@gmail.com

UDK : 662.276/.279 :622.24.63 : 553.982 :502.7: 546.264-34

662.276/.279 pridobivanje nafte i plina
622.24.63 rudarstvo, iscrpljivanje ležišta
553.982 ležišta nafte i plina
502.7 iscrpljivanje ležišta
546.264-34 ugljik dioksid