

Nadgledanje i ponašanje ležišta korištenjem Simbest II Black Oil Simulatora na ležištima Srednjeg istoka, analiza slučaja

S. A. Al-Yahya i B. D. Al-Anazi

STRUČNI ČLANAK

Nove tehnologije, pomoću kojih se u realnome vremenu mogu odrediti osobine ležišta, potrebne su kako bi se iskoristila dinamika istraživanja i proizvodnje i minimizirao stupanj neizvjesnosti oko postojećih modela ležišta koristeći veliku količinu podataka koju kontinuirano proizvodi pametna tehnologija. Primarni cilj studije ležišta je predvidjeti buduće ponašanje ležišta te pronaći smjer i način povećanja konačnog iscrpka. Simulacija koristi mnogo više od same izrade i korištenja dobrog modela ležišta kako bi se analizirao proces, bilo da se radi o sustavu ležišta nafte ili problemu preklapanja mreže. Konkretnije, simulacija je proces u kojem inženjer integrira nekoliko faktora kako bi stvorio informacije na osnovu kojih menadžeri mogu donijeti pouzdane odluke. Pri cijelome procesu inženjer bi trebao vladati situacijom. Tehnologija simulacije ležišta se neprestano poboljšava i unapređuje. Kontinuirano se stvaraju novi modeli, pomoću kojih se mogu simulirati sve složeniji programi iskorištavanja ležišta. U ovoj studiji korišteno je zavodnjavanje s plošnom mrežom od pet točaka proizvodnih i utisnih bušotina, kako bi se povećao iscrpak i održao tlak potreban za postizanje traženog kapaciteta proizvodnje.

Ključne riječi: matematičko modeliranje, razrada ležišta, zavodnjavanje

1. Uvod

Websterov rječnik glagol "simulirati" definira kao poprimiti izgled uz izostanak stvarnosti. Simulacija ponašanja naftnoga ležišta odnosi se na izradu i upravljanje modelom čije ponašanje pretpostavlja ponašanje stvarnog ležišta. Sam model je ili fizički (na primjer laboratorijski sabijeni pijesak) ili matematički. Jednostavno rečeno, matematički model je skup jednadžbi koji, ovisno o određenim pretpostavkama, opisuje fizičke procese koji se odvijaju u ležištu. Iako samom modelu očigledno nedostaje realnost pravoga ležišta nafte i/ili plina, ponašanje valjanog modela simulira ponašanje (simulira izgled) ležišta.²

Svrha simulacije je procjena ponašanja ležišta (npr. iscrpka nafte) po jednoj ili više proizvodnih shema. Dok ležište, kroz cijeli svoj životni vijek, može proizvoditi samo jednom uz znatan trošak, model može "proizvoditi" ili funkcionirati mnogo puta uz niske troškove u kratkome vremenskom razdoblju.² Promatranje ponašanja modela kod različitih uvjeta proizvodnje pomaže odabiru optimalnog niza proizvodnih uvjeta za ležište.

Primarni cilj studije ležišta je predviđanje budućeg ponašanja ležišta i pronalaženje načina povećanja konačnog iscrpka. Simulacija za analizu procesa koristi mnogo više od dizajna i uporabe dobrog modela. Konkretnije, simulacija je proces u kojem inženjer integrira nekoliko faktora kako bi proizveo informacije na osnovu kojih menadžeri mogu donijeti pouzdane odluke. U svim točkama odvijanja procesa inženjer vlada

situacijom. Ništa od onoga što proces simulacije čini ne može poboljšati kvalitetu njegova posla, no zasigurno mu može pružiti detaljan uvid u međusobne odnose procesa koji se odvijaju u projektu.¹ Tehnologija simulacije ležišta konstantno se poboljšava i unapređuje. Kontinuirano se stvaraju novi modeli, pomoću kojih se mogu simulirati sve složeniji programi iskorištavanja ležišta.

1.1. Nužnost simuliranja

Klasičan pristup rješavanju problema bio je postavljanje problema, nakon čega se pokušava napraviti čim više pojednostavljenih pretpostavki, kako bi se stvorio novi problem koji je rješiv.^{4,12} U ovom je radu opisano kako numerička simulacija može preuzeti tu ulogu budući da joj nisu potrebne pojednostavljene pretpostavke te može dati stvarnija rješenja problema.

1.2. Na koja pitanja može odgovoriti kompjutorski model

Kompjutorski modeli mogu dati odgovore na mnoga pitanja koja postavljaju naftni inženjeri. Neka od njih su slijedeća:¹

- 1 – Kako bi se polje trebalo razraditi i proizvoditi sciljem najisplativijeg pridobivanja ugljikovodika?
- 2 – Koji je najbolji način povećanja iscrpka nafte za određeno ležište? Kako i kada bi ga trebalo primijeniti ?

- 3 – Koja vrsta laboratorijskih podataka je potrebna? Kakva je osjetljivost modela predviđanja za različite podatke ?
- 4 – Da li je potrebno učiniti fizički model studije ležišta? Kako rezultati mogu biti povećani u određenom omjeru za primjenu na terenu ?
- 5 - Koji su kritični parametri koje bi trebalo izmjeriti kod terenske primjene sheme pridobivanja?
- 6 – Koji je najbolji način opremanja bušotine za proizvodnju?
- 7 – Iz kojega dijela ležišta dolazi proizvodnja?

1.3. Pristup modeliranju

Postoje dva tipa modela, fizički i matematički. Najbolji primjer toga je potenciometrijski model koji se koristi za predviđanje strujanja u ležištu iskorištavanjem podudarnosti, jedan na jedan, između strujanja u poroznom mediju i strujanja iona u polju električnog potencijala.⁷ Matematički modeli su sustavi matematičkih jednadžbi koje opisuju fizičko ponašanje istraživanih procesa. Tehnika matematičkoga modeliranja i uloge inženjera mogu se prikazati u blok-dijagramu prikazanom na slici 1.

2. Simulacija ležišta

U djelokrugu simulacije ležišta je primjena koncepta i tehnika matematičkoga modeliranja na analizu ponašanja sustava naftnih ležišta. Simulacija nekih problema naftnog ležišta, uključujući jednofazno i dvofazno strujanje, kao i ponašanje strujanja kod zavodnjavanja te usporedba simulatora rezultata s dostupnim analitičkim rješenjima. Kompjutorska simulacija ležišta omogućuju detaljnije proučavanje ležišta podjelom ležišta u nekoliko blokova koristeći osnovne jednadžbe strujanja u poroznim medijima za svaki blok.³ Pojmovi kompjutorskog modeliranja, kao što su: matematički model, numerički model, numerički simulator, model mreža, model konačnih diferencija i simulator ležišta, koriste se gotovo naizmjenično.¹⁰ Ishodište simulatora i sinteza u koherentnu cjelinu prikazani su na slici 2. Razlike između proučavanog problema i simuliranog rješenja mogu se pripisati promjeni svojstava fluida u određenom setu unesenih podataka za simulaciju, kao i tzv. "grešci odsijecanja". Jedan od izvora pogrešaka koje se pojavljuju pri numeričkoj simulaciji je greška odsijecanja. Do ove greške dolazi zbog rezanja beskonačnog Taylorovog reda, koji je u matematičkom modelu prikazan samo prvom i drugom derivacijom.⁷ Jednadžba (1) prikazuje formulu središnje razlike za prvu derivaciju a jednadžba (2) daje formulu središnje razlike za drugu derivaciju:

$$f'(X) = \frac{f(X + \Delta X) - f(X - \Delta X)}{2\Delta X} + O(\Delta X^2) \quad (1)$$

$$f''(X) = \frac{f(X + \Delta X) - 2f(X) + f(X - \Delta X)}{\Delta X^2} + O(\Delta X^2) \quad (2)$$

Kako bi se ova pogreška minimalizirala, mogu se koristiti implicitna ili eksplicitna metoda, no ukoliko se koristi metoda eksplicitnog rješenja ona će dati prihvatljiv rezultat ako je izabrana vrijednost za $(\Delta t/\Delta x^2)$

manja od 1/2. Iako je eksplicitna metoda jednostavnija ona zahtijeva selekciju malih vremenskih koraka (Δt) ili smanjivanje razmaka među elementima simulacije, tj. povećanje broja elemenata. U suprotnom rješenje postaje nestabilno ali treba imati na umu da je implicitna metoda bezuvjetno stabilna.^{2,8} Jednadžba (3) prikazuje formulaciju eksplicitne metode a jednadžbom (4) dana je formulaciju implicitne metode.

$$\frac{P_{i-1}^n - 2P_i^n + P_{i+1}^n}{\Delta X^2} = \frac{P_i^{n+1} - P_i^n}{\Delta t} \quad (3)$$

$$\frac{P_{i-1}^{n+1} - 2P_i^{n+1} + P_{i+1}^{n+1}}{\Delta X^2} = \frac{P_i^{n+1} - P_i^n}{\Delta t} \quad (4)$$

3. Simulacija zavodnjavanja

Zavodnjavanje se koristi kako bi se povećao iscrpak i održao tlak u svrhu održavanja količine proizvodnje. U ovoj studiji korištena je "mreža s 5 točaka", (četiri utisne bušotine i jedna proizvodna) s ciljem utvrđivanja scenarija najvećeg iscrpka nafte iz ležišta koje smo proučavali. Ovaj model ležišta sastoji se od dva sloja, a između kojih se nalazi jedan nepropustan sloj (npr. $k_z = 0,0$). U rezultatima, treba prikazati promjene zasićenja vodom, relativne propusnosti sustava voda-nafta, tlaka u elementima simulacije kod različitih vremena, iscrpka nafte, te u vezi s iscrpkom, koja se količina nafte može proizvesti. Tablica 1 prikazuje ulazne podatke, tj. skup inicijalizacijskih i povratnih podataka, za simulaciju zavodnjavanja proučavanog ležišta.

4. Rezultati i zaključak

Tijekom provođenja simulacije ležišta, simulator je kreirao nekoliko slika. Slika 3 prikazuje simulaciju dijagrama praćenja vremena izvođenja za proizvedene količine nafte i plina, tlaka ležišta, plinskog faktora i udjela vode. Slike 4,5 i 6 prikazuju zasićenja vodom u različitim godinama za različite simulacijske čelije. U prvoj godini se može uočiti visoko zasićenje vodom samo u susjedstvu utisnih bušotina, ali nakon tri i pet godina ono je poraslo i u drugim čelijama modela zbog nastavljanja utiskivanja vode. Slika 7 prikazuje promjene prosječnog tlaka u odnosu na vrijeme. Na početku je prosječni tlak prilično visok pa se neposredno nakon toga ubrzano snižava. Slika 8 prikazuje promjene u proizvedenim količinama nafte, vode, plina i ukupne proizvedene količine u odnosu na vrijeme. Također valja primjetiti dva skoka u kapacitetu proizvodnje nafte i vode. Prvi skok nastao je radi proboja vode u sloju 2 ($k = 300$ mD), nakon čega slijedi drugi skok zbog proboja vode u sloju 1 ($k = 200$ mD). Slika 9 prikazuje postotak pridobivanja u odnosu na vrijeme za sloj 1, a slika 10 prikazuje isto za sloj 2. Slika 11 je 3D prikaz zasićenja vodom u jednoj četvrtini mreže s pet točaka na dan 1. siječnja 1997.

U zaključku ove studije proučavan je odnos između tlaka i vremena, tlaka i radijusa na dva modela, simulatora i modela "line source solution" (rješenje diferencijalnih jednadžbi kod kojeg se bušotina tretira kao vertikalna linija kroz porozni medij). Rezultati ukazuju na razlike u modelu ležišta nastale tijekom modeliranja a do kojih dolazi zbog mijenjanja svojstava fluida i zbog "greške odsijecanja." Učinak greške

Tablica 1. Ulazni podaci za simulaciju zavodnjavanja

Ulazne jedinice simulacije	Engleski standardi
Faze fluida	Nafta, plin, voda
Temperatura ležišta	93.33 °C (200 °F)
Standardni referentni tlak	0.101 MPa (14.7 psia)
Standardna referentna temperatura	60 °F (15.5 °C)
Gustoća nafte	875 kg/m ³ (30 °API)
Tlak zasićenja	27.680 Mpa (4 014.7 psia)
Stlačivost nezasićene nafte	2.30E-05 psi ⁻¹ (3.34E-04 bar ⁻¹)
Smanjenje viskoznosti nezasićene nafte	4.30E-05 cP/psi (6.2E-04 cP/bar)
Relativna gustoća plina	0.65 (zrak = 1.0)
Gustoća kod standardnih uvjeta	62.4 lb/ft ³ (999.552 kg/m ³)
Stlačivost	2.8E-6 psi ⁻¹ (4.1E-5 bar ⁻¹)
Viskoznost	0.3 cp
Obujamski koeficijent kod početnog ležišnog tlaka	1.02 bbl/STB (m ³ _{ro} /m ³ _{sc})
Maksimalni tlak	10 000 psi (68.94 MPa)
Zasićenje nepokretnom vodom	0.11 fraction
Kritično zasićenje plinom	0.05
Zasić. preostalom naftom u zavodnjenom dijelu	0.18
Zasićenje preostalom naftom u zapljinenom dijelu	0.18
Rel. prop. za naftu kod zasić. nepokretnom vodom	1
Rel. prop. za plin kod zasić. preostalom naftom	0.98
Rel. prop. za plin kod zasić. preostalom vodom	1
Indeks distribucije pora po veličini	2
Kapilarni tlak istiskivanja-voda/nafta	0
Kapilarni tlak istiskivanja-plin/nafta	0
Konstanta stlačivosti ležišne stijene	3E-6 psi ⁻¹ (4.4E-5 bar ⁻¹)
Tip mreže	Regular grid
Broj slojeva	2
Kut mreže (X-os)	0
Broj X-povećanja	30
Veličina X-povećanja	100
Broj Y-povećanja	30
Veličina Y-povećanja	100
Krovina strukture sloja 1	-5 000 ft (-1 524 m)
Krovina strukture sloja 2	-5 030 ft (-1 533 m)
Podina strukture sloja 1	-5 025 ft (-1 532 m)
Podina strukture sloja 2	-5 050 ft (-1 539 m)
Ukupna vertikalna debljina sloja 1	25 ft (7.62 m)
Ukupna vertikalna debljina sloja 2	20 ft (6.09 m)
Vertikalna efektivna debljina sloja 1	25 ft (7.62 m)
Vertikalna efektivna debljina sloja 2	20 ft (6.09 m)
propusnost sloja 1 u smjeru X	200 mD
propusnost sloja 2 u smjeru X	300 mD
propusnost sloja 1 u smjeru Y	200 mD
propusnost sloja 2 u smjeru Y	300 mD
Z propusnost svih slojeva	0.000 1 mD
Poroznost svih slojeva	0.3
Tlak u točki zasićenja svih slojeva	4 014.7 psia (276.8 bar)
Gustoća nafte API u svim slojevima	30 ° (875 kg/m ³)
Broj proizvodnih bušotina	1
Broj utisnih bušotina	4
Količina crpljenja nafte	10 000 STB/d (590 m ³ /d)
Količina utiskivanja vode	6 000 STB/d (954 m ³ /d)
Datum početka izvođenja simulacije	1. siječanj 1995.
Datum završetka izvođenja simulacije	1. siječanj 2002.
Vremenski korak	1 mjesec

odsijecanja se može umanjiti smanjivanjem svih vrijednosti Δx i Δy ili smanjivanjem Δt , ili pak obojega. Injektiranje vode, korištenjem "mreže s 5 točaka", održati će tlak na dobrom nivou a ujedno će rezultirati visokim iscrpkom. Veliki obroci utiskivanja imati će za posljedicu kratak život simulirane proizvodnje nafte.



Autori:

Suliman A. Al-Yahya, King Abdulaziz City for Science and Technology, P. O. Box 12233, Riyadh 11721, Saudi Arabia
syahya@kacst.edu.sa

Bandar Duraya Al-Anazi, King Abdulaziz City for Science and Technology, P. O. Box 12233, Riyadh 11721, Saudi Arabia
bandar.alanazi@gmail.com