



MINISTERUL EDUCAȚIEI
UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI

B-dul. București nr. 39, 100680 Ploiești - România
www.upg-ploiesti.ro
Telefon +40 244 573 171 Fax +40 244 575 847



INSTITUȚIA ORGANIZATOARE DE STUDII UNIVERSITARE DE
DOCTORAT UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI
DOMENIUL FUNDAMENTAL – ȘTIINȚE INGINEREȘTI
DOMENIUL DE DOCTORAT – MINE, PETROL ȘI GAZE

TEZĂ DE DOCTORAT

- Rezumat -

**CONTRIBUȚII LA ÎNȚELEGEREA PROCESELOR
MIGRAȚIEI TERȚIARE ÎN ZĂCĂMINTE DE PETROL
ABANDONATE**

Autor: ing. Ionuț Marcel Duțu

Conducător științific: Prof. univ. habil. dr. ing. Timur-Vasile Chiș

Ploiești, 2023



INSTITUȚIA ORGANIZATOARE DE STUDII UNIVERSITARE DE
DOCTORAT UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI
DOMENIUL FUNDAMENTAL – ȘTIINȚE INGINEREȘTI
DOMENIUL DE DOCTORAT – MINE, PETROL ȘI GAZE

TEZĂ DE DOCTORAT

- Rezumat -

CONTRIBUȚII LA ÎNȚELEGEREA PROCESELOR MIGRAȚIEI TERȚIARE ÎN ZĂCĂMINTE DE PETROL ABANDONATE

CONTRIBUTIONS TO THE UNDERSTANDING OF TETIARY MIGRATION PROCESSES IN ABANDONED OIL RESERVOIRS

Autor: ing. Ionuț Marcel Duțu

Conducător științific: Prof. univ. habil. dr. ing. Timur-Vasile Chiș

Nr. Decizie 476 din 26.07.2023

Comisia de doctorat:

Președinte	Prof. univ. habil. dr. ing. ALBULESCU Mihai Adrian	de la	Director Școala Doctorală, Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești
Conducător științific	Prof. univ. habil. dr. ing. CHIȘ Timur-Vasile	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești
Referent oficial	Prof. univ. habil. dr. ing. LAZĂR Maria	de la	Universitatea din Petroșani
Referent oficial	Conf. univ. habil. dr. ing. MARIAN Dacian Paul	de la	Universitatea din Petroșani
Referent oficial	Prof. univ. habil. dr. ing. AVRAM Lazăr	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești

Ploiești, 2023

Rezumat

Teza are ca scop prezentarea conceptelor teoretice și a unui flux de lucru pentru evaluarea potențialului de reluare a exploatării în zăcămintele abandonate. Pentru aceasta este nevoie de modelarea mișcării fluidelor după încetarea exploatării, proces numit migrație terțiară.

Migrația terțiară este un mecanism de redistribuire a fazelor în zăcămintele de țiței abandonate, într-o stare de saturație similară din unele puncte de vedere cu cea inițială. Fenomenele datorate forțelor de interfață/gravitaționale, caracterul de fază umezitoare/neumezitoare, regimurile de curgere, pierderea stabilității interfețelor, toți acești parametri de interes în migrația terțiară depind de structura mediului poros.

În **capitolul 1** se discută despre porozitate, rețelele de pori, distribuția porilor pe dimensiuni și metode de investigare. Sunt prezentate pe scurt metodele principale folosite în industrie pentru determinarea distribuției porilor pe dimensiuni.

O bună înțelegere a distribuției porilor pe dimensiuni și în consecință a diferenței capilare de presiune, oferă o metodă de cuantificare a eterogenității și o bază solidă pentru realizarea unui plan de dezvoltare a zăcămintului.

Distribuția porilor pe dimensiuni reprezintă abundența fiecărei mărimi de pori dintr-un anumit volum de rocă analizat. Prin complexitatea sa, este considerată una dintre cele mai importante variabile care controlează eficiența de dislocuire în zăcămintele de țiței.

Accentul cade pe investigația petrofizică NMR (nuclear magnetic resonance) cunoscută de asemenea ca MRI (magnetic resonance imaging) pentru că astfel nu suna radioactiv (ceea ce nu este). Aceasta este o tehnică ce observă comportamentul protonilor (nucleele de hidrogen) într-un câmp magnetic.

Întrebuințarea principală a NMR este de a măsura porozitatea și distribuția porilor pe dimensiuni. Abilitatea de a estima dimensiunea porilor este ceea ce distinge investigația NMR de alte investigații pentru determinarea porozității. NMR are de asemenea și caracteristica mult dorită de a răspunde exclusiv la protoni (nucleele de hidrogen). Din moment ce majoritatea hidrogenului din subteran face parte dintr-o moleculă de apă sau o moleculă de hidrocarburi, conținutul în hidrogen măsurat de NMR poate fi legat de porozitate. Instrumentele tradiționale pentru determinarea porozității (densitate, neutron și sonic) permit doar determinarea porozității totale. Comportamentul protonilor după cum este observat de NMR permite totuși ca porozitatea să fie divizată în diferite intervale de dimensiuni ale porilor. Investigația NMR poate în cazuri ideale să fie singura investigație necesară pentru efectuarea unei evaluări petrofizice (porozitatea, permeabilitatea, saturația și tipul de hidrocarburi). Necesitatea de achiziționare a carotelor în sondele de explorare poate fi de asemenea redusă datorită posibilității de obținere a curbelor de presiune capilară pentru drenajul primar.

În continuare se evaluează diferența capilară de presiune și contribuția acesteia în evaluarea zăcămintelor. Forțele de interfață, alături de forțele vâscoase și forțele de flotabilitate,

guvernează procesul de poziționare a fazelor țitei, apă și gaz. Scopul principal al acestui capitol este prezentarea unor metode practice de utilizare a datelor de diferență capilară de presiune și punctarea unor aspecte esențiale ce trebuie respectate pentru a obține rezultate reprezentative.

Estimarea resursei inițiale de țitei, amplasarea sondelor, alegerea intervalelor de perforat, prevederea pătrunderii apei în sondele de producție și modelarea zăcământului în scopul simulării numerice, toate depind de cunoașterea zonei de tranziție, mai exact de distribuția inițială a saturației în apă.

Sunt prezentate concepte teoretice și metode practice de planificare a experimentelor necesare și interpretare a datelor culese pentru definirea zonei de tranziție în formațiuni clastice cu umectabilitate mixtă sau preferențială pentru apă.

Există multiple lucrări în care se discută și compară diferite experimente de determinare a curbelor de diferență capilară de presiune cu ajutorul cărora este descrisă zona de tranziție. Sunt prezentate metode directe și indirecte cu avantajele și dezavantajele aferente.

Cu ajutorul datelor de diferență capilară de presiune se poate obține distribuția saturației în apă în zăcământ. Datele sunt obținute realizând experimente pe carote cu dimensiuni de ordinul centimetrilor ele fiind relevante în zăcământ pentru metrii sau zici de metrii. Metoda uzuală de realizare a acestei conversii este folosirea noțiunii de ”înălțime deasupra nivelului apei libere”.

După determinarea nivelului apei libere (FWL) prin metoda gradientilor și după exprimarea datelor de presiune capilară ca ”înălțime deasupra nivelului apei libere”, se poate calcula saturația în apă în orice punct din zăcământ. Dacă această valoare este în concordanță cu valorile obținute din investigațiile petrofizice și cu cele obținute pe carote, atunci valorile obținute din investigații pot fi folosite cu încredere și pentru intervalele necarotate ale altor sonde din același zăcământ.

Pe lângă toate aspectele legate de colectarea, transportul și depozitarea carotelor, un factor foarte important în proiectarea și derularea experimentelor este utilizarea unor presiuni de injecție sau a unor viteze de centrifugare, care să reflecte îndeaproape adevăratele forțe capilare existente în zăcământ înainte de începerea producției.

Testele cu centrifuge au devenit metodele preferate în industrie pentru măsurarea diferenței capilare de presiune pe carote. Viteza maximă de centrifugare ar trebui să varieze de la zăcământ la zăcământ și să fie bazată pe gradul de închidere al zăcământului (*înălțimea coloanei de țitei*). Pentru a determina această viteză, este necesară cunoașterea a trei parametrii: închiderea zăcământului și densitatea în condiții de zăcământ a apei și țiteiului. Cum a fost menționat anterior, termenul de închidere a zăcământului este definit ca diferența între adâncimea limitei superioare și adâncimea limitei inferioare a zonei de țitei. Pentru un sistem țitei – apă, diferența capilară de presiune maximă care corespunde vitezei maxime poate fi calculată astfel: presupunem gradientul apei de 0,1 bar/m (grad_a) și al țiteiului este 0,067 bar/m (grad_t). Dacă

închiderea totală a zăcămintului (înălțimea deasupra contactului țitei – apă) este 120 m, diferența capilară de presiune maximă este aproximativ 4 bar, $[(0,1-0,067) \times 120]$. Astfel, în acest exemplu, viteza maximă de centrifugare ar trebui să corespundă unei diferențe capilare de presiune de 4 bar.

Practica uzuală este operarea testului cu centrifuga până la viteza la care nu va mai fi produsă apă sau până când atingem 4 bar. Această limită de 4 bar este o limită relativ arbitrară și bazată pe calcule precedente. Ea se aplică doar zăcămintelor cu o închidere mai mică de 120 m (pentru densitățile de mai sus). Pentru zăcăminte majore, care cel mai probabil au închideri mai mari de 120 m, această limită nu este validă. Dacă acest zăcământ ar avea o închidere de 240 m, atunci diferența capilară de presiune va fi de 8 bar.

Saturația în apă deasupra zonei de tranziție este în general considerată a fi constantă. Astfel, chiar dacă vom crește viteza de centrifugare, saturația ireductibilă în apă măsurată va fi în esență aceeași. Această percepție nu este validă pentru toate cazurile practice, în unele situații, curba presiunii capilare neatingând un minim în saturație în apă; mai degrabă se apropie asimptotic unei valori mai mici de saturație în apă.

O altă metodă de construire a curbelor de presiune capilară pentru drenajul primar se bazează pe utilizarea distribuției timpului de relaxare T_2 din investigația NMR. După calibrarea conversiei T_2 - P_c pe baza câtorva carote, se poate obține presiunea capilară continuă, de-a lungul secțiunii de zăcământ investigată cu NMR. Datorită faptului ca distribuția constricțiilor porilor este în strânsă legătură cu distribuția porilor pe dimensiuni, există posibilitatea de a estima presiunea de intrare din distribuția T_2 din NMR.

Capitolul 2 cuprinde un studiu de caz ce are ca scop inițializarea unui model de simulare și crearea unei analize de senzitivitate pentru evidențierea cantitativă a efectelor diferitelor curbe de diferență capilară de presiune asupra volumului inițial de hidrocarburi.

Se arată că o subevaluare sau supraevaluare a resursei de țitei este foarte posibilă și că există o dependență directă de modul în care presiunea capilară este evaluată, respectiv de extinderea zonei de tranziție. În acest caz particular resursa variază de la 15,3 mil. m^3 până la 17,4 mil. m^3 (14% de la minim la maxim).

Motivul principal pentru definierea zonei de tranziție este evitarea completării sondelor în intervalele în care acestea vor produce imediat cantități măsurabile de apă. Totuși, există un număr de cauze pentru producția de apă dintr-o sondă completată recent. Unul din motive este faptul că intervalul deschis este atât de aproape de contactul inițial țitei – apă, astfel permeabilitatea relativă pentru apă este măsurabil mai mare de zero. Sunt și alte motive care fac ca sondele recent completate să producă cantități măsurabile de apă. De exemplu, intervalele cu permeabilitate orizontală mare sunt predispuse canalizărilor și intervalele cu permeabilitate ridicată sunt predispuse formării conurilor de apă (procese extrem de neuniform de dislocuire).

Pentru a prevedea tendințele de producție a apei, sunt necesare cantități vaste de date pe lângă integrarea datelor de presiune capilară. Se poate afirma astfel că exercițiul realizat în acest studiu de caz nu este 100% reprezentativ pentru că este variată doar presiunea capilară, dar există

mai mulți parametri dependenți. Totuși, fiind vorba de o inițializare a modelului doar pentru evaluarea resursei inițiale de hidrocarburi, exemplul are capacitatea de a captura și sublinia importanța datelor de diferență capilară de presiune și necesitatea experimentelor de laborator care să urmeze îndeaproape indicațiile tehnice din capitolul 1.

Capitolul 3 abordează curgerea fluidelor prin spațiul poros. Pierderea stabilității interfețelor este unul din mecanismele care modifică distribuția fazelor în mediul poros rezultând în formarea microcapcanelor capilare. Acestea sunt tratate cu emfază datorită efectului de creștere a continuității fazelor după abandonarea zăcămintului (implicit scăderea influenței presiunii capilare) prin transferul local de fluide.

Pierderea stabilității interfețelor și dopurilor are un impact semnificativ în migrația terțiară, mai ales în faza inițială. Pentru a oferi o imagine cât mai clară asupra acestui factor cu impact major în refacerea stării de saturație în zăcămintele abandonate, sunt discutate și schițate grafic mecanismele de blocare/deblocare a dopurilor de fază umezitoare și fază neumezitoare în/din microcapcane capilare. Configurațiile prezentate sunt considerate cele mai stabile, cu mențiunea că dopurile de fază umezitoare sunt stabile în zona constricțiilor și dopurile de fază neumezitoare între constricții.

Curgerea dopurilor prin rețele de pori are o complexitate suplimentară față de curgerea prin pori individuali dată de fenomenele care se petrec atunci când interfața ajunge în nodurile rețelei.

În dislocuirea fazei umezitoare o fază neumezitoare pătrunde într-un capilar numai dacă presiunea motoare depășește diferența capilară introdusă de interfață. Dacă intră, se creează două interfețe, cea de jos înaintând mai încet are tendință mai puternică de stabilizare. Dacă nu este învinsă diferența capilară de presiune și pentru capilarul de rază mai mică, se formează un dop de lungimea capilarului. Diferența între viteza de avansare între capilarul de sus și cel de jos este dată de razele diferite și de frecările crescute din capilarul de rază mai mică. În concluzie, când o fază neumezitoare pătrunde într-un dublet de pori se creează o discontinuitate în faza dislocuită prin formarea unui dop. Punerea în mișcare a acestui dop este practic imposibilă datorită efectului Jamin.

În dislocuirea fazei neumezitoare, datorită manifestării fenomenului de îmbibare liberă nu este neapărat necesară o presiune motoare. Spre deosebire de cazul anterior, interfața se deplasează cu viteză mai mare în capilarul cu rază mai mică, forța de interfață depășind semnificativ forțele de frecare. Are loc fragmentarea fazei dislocuite și formarea unui dop, de această dată, de fază neumezitoare, în capilarul cu rază mai mare.

Cele două procese descrise mai sus sunt explicația existenței saturațiilor ireductibile atât pentru faza umezitoare cât și pentru faza neumezitoare.

Determinarea experimentală a modului de distribuție a fazelor în pori este imposibilă pe cale directă datorită opacității rocii. Una dintre metodele de depășire a acestui obstacol este folosirea micromodelor transparente.

Recent, în scopul studiului în această direcție, s-au dezvoltat modele transparente din silicon și sticlă ce permit vizualizarea fazelor în procesul de dislocuire în mediul poros reprodus și oferă noi informații despre unii parametri esențiali în procesele EOR cum ar fi microcapcanele capilare și mecanismele de mobilizare.

Capitolul 4 prezintă mecanismele de dislocuire și principiile bilanțului material pe baza cărora se poate înțelege comportarea unui zăcământ și se poate prevedea performanța viitoare determinată în mare parte de natura energiei.

Pentru o evaluare cât mai exactă a potențialului de reluare a exploatării este nevoie de o bună estimare a volumelor inițiale de țiței, a volumelor extrase și a recuperării realizate până la abandonare.

Performanța zăcămintelor de țiței este în mare parte determinată de natura energiei, ex., mecanismul de dislocuire disponibil pentru mișcarea țițeiului către gaura de sondă. Există șase mecanisme de dislocuire ce asigură energia naturală necesară pentru recuperarea țițeiului:

- Expansiunea rocii și a lichidelor
- Destinderea gazelor ieșite din soluție și a gazelor dizolvate
- Destinderea capului de gaze
- Avansarea acviferului
- Drenajul gravitațional
- Regimul combinat

Recuperarea țițeiului prin oricare din mecanismele naturale de dislocuire este numită exploatare primară. Termenul se referă la producerea de hidrocarburi dintr-un zăcământ fără utilizarea vreunui proces (cum ar fi injecția de apă) pentru a suplimenta energia naturală a zăcământului.

S-a observat că pentru fiecare mecanism de dislocuire pot fi identificate anumite performanțe tipice caracteristice:

- Factor final de recuperare
- Rata de declin a presiunii
- Rația gaz-țiței
- Producția de apă

Se discută în detaliu fiecare mecanism de dislocuire din perspectiva termenilor precizați anterior.

Bilanțul material nu este adecvat pentru evaluarea și prevederea performanțelor drenajului gravitațional deoarece nu ia în considerare diferențele de saturație deasupra și sub contactul gaz-țiței. Separat, într-o manieră în principal calitativă, sunt discutate funcțiile

gravitației în exploatarea țițeiului și se prezintă metode de cuantificare a procesului și instanțe concrete unde drenajul gravitațional a fost important.

Sunt explicate procesele fizice implicate atât la scară micro cât și la scară macro. Se punctează categoriile de operațiuni posibile, factorii de considerat în evaluarea procesului și un scurt istoric al modalităților de abordare cu exemplificări pe proiecte deja implementate.

Cu toate aceste cunoștințe tehnice, operatorul poate deseori să aleagă dintre regimul de gaze dizolvate, avansarea acviferului și drenaj gravitațional, pe cel mai favorabil să aibă influența principală asupra recuperării.

Capitolul 5 este un studiu de caz în care se aplică conceptele teoretice de bilanț material prezentate în capitolul anterior pe un set de date reale, pentru calculul resursei de hidrocarburi. Analiza este realizată pe baza principiilor teoretice de bilanț material prezentate. Din analiză rezultă o valoare a resursei estimată prin bilanț material în concordanță cu estimările volumetrice.

Capitolul 6 prezintă un flux de lucru pentru simularea numerică și evaluarea eficienței procesului de migrație terțiară în scopul reluării exploatării pe zăcămintele abandonate. Analiza reprezintă un studiu de caz cu date reale și bazat pe conceptele teoretice discutate în capitolele anterioare și pe completările din acest capitol legate de procesul de migrație terțiară. De asemenea, procesul de simulare fiind realizat într-o manieră complet stocastică se vor introduce conceptele relevante pentru integrarea incertitudinilor și realizarea optimizării prin folosirea algoritmilor machine learning.

Migrația terțiară este un mecanism de redistribuire a fazelor în zăcămintele de țiței abandonate, într-o stare de saturație similară din unele puncte de vedere cu cea inițială. Forțele de interfață, alături de forțele vâscoase și forțele de flotabilitate, guvernează procesul de poziționare a fazelor țiței, apă și gaz. Fie că este vorba de fenomenele datorate forțelor de interfață/gravitaționale, caracterul de fază umezitoare/neumezitoare, regimurile de curgere, pierderea stabilității interfețelor, toți acești parametri de interes în migrația terțiară depind de structura mediului poros și trebuie analizați prin prisma interacțiunii rocă-fluid folosind simularea numerică.

În acest scop a fost modelat un sector de zăcământ cu un istoric de producție de 55 de ani. Primul pas este realizarea procesului de potrivire a istoricului și obținerea unor modele capabile să ofere prevederi precise ale performanțelor viitoare.

Pentru exemplificarea procesului de migrație terțiară se vor analiza comparativ trei scenarii. Primul scenariu presupune continuarea exploatării după terminarea istoricului de producție în exact același regim. Al doilea presupune oprirea tuturor sondelor pentru o perioadă de 10 ani și al treilea oprirea pentru o perioadă de 30 de ani. Pe baza acestor scenarii se vor compara datele de presiune și saturație în primul caz chiar la momentul în care istoricul de producție se termină, pentru cazul al doilea, înainte de reluarea exploatării după 10 ani de inactivitate, iar pentru cazul al treilea înainte de reluarea activității după 30 de ani de inactivitate.

De asemenea se vor compara și cumulativele totale de țiței obținute pe o perioadă fixă de 10 ani pentru fiecare caz. Lucrarea cuprinde un flux de lucru care permite integrarea incertitudinilor atât pentru parametrii statici cât și pentru cei dinamici utilizând metode statistice de selecție a parametrilor și algoritmi de inteligență artificială pentru optimizare.

Pentru a rula orice algoritm de optimizare este necesară una sau mai multe funcții obiective. O funcție obiectivă reprezintă un criteriu de evaluare a calității unui model. Rolul principal al unei funcții obiective (OF) este să ajute la alegerea celei mai bune variante de model pentru un set dat de parametrii.

Pentru îmbunătățirea procesului de potrivire a istoricului într-un proiect de simulare se pot folosi funcții obiective care să măsoare abaterea dintre o valoare din istoric și o valoare calculată pentru un parametru dat. De exemplu, suma minimă a abaterilor debitelor de țiței, impurităților și presiunii. Dacă cea mai bună variantă de model este aleasă folosind doar un parametru se poate ca alegerea să nu fie una bună pentru ceilalți parametrii. Din acest motiv este posibilă alegerea variantei optime pentru întreg setul de parametrii.

Cu cât valoarea funcției obiective este mai mică cu atât este mai bună calitatea potrivirii istoricului. Valoarea funcției obiective este calculată pentru fiecare model din ansamblu, permițând alegerea celei mai bune variante. Evoluția diferențială (DE) este un algoritm stocastic de optimizare folosit pentru a minimiza o funcție obiectivă pe un anumit interval definit.

Datele de intrare din model ce provin din surse variate (investigații în sonde, laborator, corelări) au fost parametrizate, fiecare parametru având atribuit un anumit grad de incertitudine.

Primele realizări au fost create prin selectarea parametrilor individuali din aceste intervale prin metoda statistică numită Latin hypercube ce permite o onorare a distribuției datelor de intrare fără a necesita un număr foarte mare de realizări. Astfel s-a realizat un ansamblu inițial de cazuri de simulare bazate pe combinații ale parametrilor aleși. Aceste cazuri au fost rulate în simulator.

Pentru a optimiza rezultatele au fost create funcții obiective care să calculeze abaterile de la datele de producție din istoric.

Funcții obiective create:

- debit de lichid, debit de țiței, debit de apă pe total zăcământ și pe grupuri de sonde
- cumulativ lichid pe total zăcământ
- cumulativ țiței pe total zăcământ

Pe baza algoritmului prezentat numit Evoluție Diferențială se încearcă minimizarea valorilor acestor funcții prin crearea unui nou ansamblu de cazuri pornind de la ansamblul inițial. La definirea noului ansamblu se pot include/exclude variabile și se pot face ajustări de intervale.

După rularea noului ansamblu de cazuri se observă o îmbunătățire semnificativă a potrivirii istoricului pentru debitul de țiței dar și pentru restul parametrilor conform funcțiilor obiective definite. Datele observate se înscriu perfect în limitele reduse de incertitudine obținute.

După încheierea procesului de optimizare a potrivirii istoricului de producție se poate trece cu încredere la următorul pas și anume folosirea ansamblului pentru prevederea performanțelor viitoare ale zăcământului.

Timpul este unul dintre cei mai importanți factori în procesul de migrație terțiară. Studiile anterioare și observațiile din testele pe teren au confirmat că pentru rezultate notabile perioada de repaus trebuie să fie de ordinal zecilor de ani.

Pe baza celor trei scenarii se vor compara datele de presiune și saturație în primul caz chiar la momentul în care istoricul de producție se termină, pentru cazul al doilea, înainte de reluarea exploatării după 10 ani de activitate, iar pentru cazul al treilea înainte de reluarea activității după 30 de ani de inactivitate. De asemenea se vor compara și cumulatele totale de țiței obținute pe o perioadă fixă de 10 ani pentru fiecare caz.

În scenariul în care nu există perioadă de inactivitate rezerva estimată P50 pentru aceeași parametri de operare este de 292 mii m³. După o perioadă de inactivitate de 10 ani se obține de 1,26 ori mai mult, 369 mii m³, iar pentru o perioadă de inactivitate de 30 de ani se obține de 1,61 ori mai mult, adică 593 mii m³ țiței.

Se poate afirma că acțiunea forțelor de interfață, a forțelor vâscoase și reechilibrarea gradientilor de presiune duc în timp la o creștere a rezervei de țiței. Presiunea de asemenea urmează o dinamică dictată de tendința de uniformizare în timp după oprire, de acțiunea acviferului care rămâne activ, dar și de influența gazelor ieșite din soluție care pot fi redizolvate, sau în funcție de condiții, pot forma o zonă superioară cu saturație crescută în gaz care să acționeze ca suport de energie la reluarea exploatării.

Toate aceste efecte au un impact pozitiv și pot face ca un zăcământ abandonat să redobândească un interes comercial de reluare a exploatării. În cazul de față procesul de migrație terțiară face ca rezerva de țiței după o perioadă de 30 de ani de la abandonare să fie cu aproximativ 300 mii m³ mai mare decât cea evaluată la oprirea exploatării.

Bibliografie

- [1] Naraghi M. E. - 3D Reconstruction of porous media and rock characterization, SPE184488, 2016
- [2] Ritter, Drake - Macropore-Size Distributions in Some Typical Porous Substances, 1945
- [3] Purcell - Capillary Pressures - Their Measurement Using Mercury and the Calculation of Permeability Therefrom, 1949
- [4] Kegang Ling s.a -A New Correlation to Calculate Oil-Water Interfacial Tension
DOI:10.2118/163328-MS
- [5] Donaldson E.C. - Characteristics of capillary pressure curves, 1991
- [6] Rider M., Kennedy M. - The Geological Interpretation of Well Logs
- [7] Buridne N.T., GournayL.S., ReichertzP.P. - Pore size distribution of petroleum reservoir rocks, Magnolia Petroleum CO. , Dallas.
- [8] Wang Lei., Yin, X., Neeves, K. B., & Ozkan, E. - Effect of pore size distribution on phase transition of hydrocarbon mixtures in nanoporous media, 2016
- [9] L Du, L Chu - Understanding anomalous phase behavior in unconventional oil reservoirs
SPE-161830-MS
- [10] Haider s.a - Impact of Capillary Pressure and Critical Property Shift due to Confinement on Hydrocarbon Production in Shale Reservoirs
- [11] Nojabaei s.a - Effect of Capillary Pressure on Phase Behavior in Tight Rocks and Shales
- [12] T. Young - An essay on the cohesion of fluids, Phil. Trans. R. Soc. 95 - 65
- [13] Glover P. - Fluid saturation and capillary pressure, Petrophysics course notes
- [14] Vialenti P., Koederitz F.- A unified theory on residual oil saturation and irreducible water saturation, SPE 77545, 2002
- [15] VolokitinYakov, Wim J. Looyestijn, Walter F.J. Slijkerman, Jan P. Hofman - A Practical Approach to Obtain Primary Drainage Capillary Pressure Curves from NMR Core and Log Data
- [16] Kleinberg, R.L. and Vinegar, H.J. (1996) NMR Properties of Reservoir Fluids. The Log Analyst, 37, 20-32
- [17] W. O. Smith, Milton D. Crane - The Jamin effect in cylindrical tubes
- [18] Minescu F. - Fizica zăcămintelor de hidrocarburi, Editura UPG

- [19] Wang Lu., Yang S. s.a - An improved visual investigation on gas-water flow characteristics and trapped gas formation mechanism of fracutre-cavity carbonate gas reservoir/JNGSE, 2018
- [20] Suekane, ZhouN., HosokawaT. - Direct Observation of Trapped Gas Bubbles by Capillarity in Sandy Porous Media (2009).
- [21] Wegner J. s.a. 2017 - Rock on a chip device for high p, T conditions and wettability control for the screening of EOR chemicals. SPE 185820-MS
- [22] L.P. Dake - Fundamentals of Reservoir Engineering
- [23] Tarek Ahmed - Reservoir Engineering Handbook, Houston, Texas, USA
- [24] C.R. Smith, G.W. Tracy, R.L. Farrar - Applied Reservoir Engineering
- [25] Cole F (1969) Reservoir engineering manual. Gulf Publishing Co., Houston
- [26] Clark N (1969) Elements of petroleum reservoirs. SPE, Dallas
- [27] Schilthuis, R. J.: “Active Oil and Reservoir Energy”, Trans. AIME 118, 33-52
- [28] Havlena, D. and Odeh, A.S. : “The Material Balance as an Equation of a Straight Line, Part II- Field Cases”, SPE 869, Dallas, Tx. 1964
- [29] Hagoort J., Oil Recovery by Gravity Drainage, SPE, Koninklijke, Shell E&P Laboratorium, 1978
- [30] Rao, D N, Gas Injection EOR - A New Meaning in the New Millennium, JCPT, 2001
- [31] Smith C.R., G. W. Tracy, R. Lance Farrar - Applied Reservoir Engineering
- [32] Lewis O.J., Oil recovery by gravity drainage, SPE 7424, SPEJ, June 1980
- [33] MillerH.C., Oil Reservoir Behavior Based upon Pressure-Production Data, U.S Bur. Mines, R.I 3634 (April1942)
- [34] HallH.N., Analysis of Gravity Drainage, SPE, July1960,Denver
- [35] Kulkarni, M.M, Multiphase Mechanisms and fluid Dynamics in Gas Injection Enhanced Oil Recovery Processes, Apr. 2004.
- [36] LewisJ.O., Gravity Drainage in Oil Fields, Austin Meeting, 1943
- [37] Oren, P.E. , Pinczewski, W.V. , Effect of wettability and spreading on recovery of waterflood residual oil by immiscible Gasflooding, SPE Formaton Evaluation, 9(2), 1994, 149
- [38] Grattoni C.A., An improved technique for deriving drainage capillary pressure from NMR T2 distributions

- [39] Salatheil R. A., Oil Recovery by Surface Film Drainage In Mixed-Wettability Rocks
- [40] Morrow, R., Interfacial phenomena in petroleum recovery, 1991
- [41] Blunt, M.J., Fenwick, D.H, et.al., What determines residual oil saturation in the three -phase flow, SPE27816, 1995
- [42] ManiV., K.K.Mohanty, Effect of the Spreading Coefficient on Three-Phase Flow in Porous Media, 1996
- [43] Kantzas A. Chatzis I. , On the investigation of gravity assisted inert gas injection using micromodels, long Berea cores and computer assisted tomography, SPE 18284, 1988
- [44] Li, Horne, Determination of Capillary Pressure and Relative Permeability from Spontaneous Imbibition Data in Gas-Liquid-Rock, 2003
- [45] Muskat, M., Physical principles of oil production, McGraw-Hill book Company, 1949, 484
- [46] Dumore J.M, Stability considerations in downward miscible displacements, SPE Journal
- [47] Slobod R.L., Houlett W.E, Effects of gravity segregation in studies of miscible displacement in vertical consolidated porous media, SPE Journal, March 1964, 1-8
- [48] Barkve T. Firoozabadi A., Analysis of reinfiltration in fractured porous media, SPE 24900
- [49] Minescu F. - On the potential of production resumption of the abandoned petroleum reservoirs – 2011
- [50] Minescu F., Popa C., Grecu D. – Theoretical and practical aspects of tertiary hydrocarbon migration, SPE 100222
- [51] Jacotă D. – Studiul potențialului productiv al zăcămintelor de țiței abandonate, PhD
- [52] R. Thiele, P. Batycky - Evolve: A Linear Workflow for Quantifying Reservoir Uncertainty
- [53] Rock Flow Dynamics – Assisted history match guide
- [54] T. Clemens, M. V. Gruber - Impact of Digitalization on the Way of Working and Skills Development in Hydrocarbon Production Forecasting and Project Decision Analysis SPE-200540-PA
- [55] I. Duțu, D. Stoianovici, T. Chiș, D. Bârsan, D. Sulaiman - Transition Zone Analysis in Oil Reservoirs with Mixed or Preferential Water Wettability, JENRR.98480, 13(3), 2023, <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.105123>**
- [56] I. Duțu, D. Bârsan, T. Chiș - Modelarea câmpurilor de presiune și saturație în zăcămintele de petrol abandonate, AL XX - lea Simpozion Național Studentesc „GEOECOLOGIA” Petroșani, 12-13 mai 2023, <http://www.upet.ro/geoeco/>**