



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI



Fondul Social European  
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale  
2007-2013



OIPOSDRU



Universitatea Politehnica  
din Bucuresti

---

FONDUL SOCIAL EUROPEAN  
Investește în oameni!

Programul Operațional Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013. Proiect POSDRU/159/1.5/S/134398  
Dezvoltarea resurselor umane din cercetarea doctorala și postdoctorala: motor al societății bazată pe cunoaștere -KNOWLEDGE

---



## UNIVERSITATEA PETROL ȘI GAZE DIN PLOIEȘTI

Facultatea de **Ingineria Petrolului și a Gazelor**

Departamentul de **Geologie Petrolieră și Inginerie de Zăcământ**

# TEZĂ DE DOCTORAT - REZUMAT -

*Studiul Potențialului Productiv al Zăcămintelor de Țiței Abandonate*

*Study of the Production Resumption Potential of Abandoned Oil Reservoirs*

**Autor:** Ing. Dan – Romulus JACOTĂ

**Conducător științific:** Prof.dr.ing. Florea MINESCU

Ploiești 2016

## Abstract

*În studiul genezei zăcămintelor de hidrocarburi, termenul de "migrație" este folosit pentru a defini deplasarea fazelor fluide sub diverse forme, ce au ca rezultat concentrarea și acumularea țițeiului în rocile colector. Se pot recunoaște două etape ale migrației ce sunt foarte bine delimitate între ele:*

- o migrație primară, reprezentată de expulzarea hidrocarburilor din rocile sursă pe distanțe scurte (de ordinul metrilor sau zecilor de metri) până la pătrunderea acestora în roca colectoare poros-permeabilă*
- o migrație secundară, ce are loc în interiorul rocii colector poros - permeabile. Această migrație ia în considerare inclusiv deplasarea fluidelor prin fisuri/fracturi și de-a lungul faliiilor, de obicei pe distanțe însemnate și perioade de timp îndelungate.*

*Mecanismele implicate în procesele de migrație sunt foarte complexe și puțin înțelese. Ele au fost obiectul cercetărilor ample. Spre finalul exploatării primare, după ce zăcămintul este considerabil depletat, pe lângă deplasarea fluidelor către sondele de extracție există și un alt tip de deplasare a acestor fluide. După o perioadă îndelungată, după ce zăcămintul a fost abandonat, de ordinul sutelor de ani sau mai mult, fazele fluide continuă deplasarea lor în spațiul poros al rocii colector. Această mișcare in-situu a hidrocarburilor, după sfârșitul exploatării primare, este numită migrație terțiară.*

*Modelarea acestui proces trebuie să ia în considerare efectul combinat al avansării acviferului, al existenței capului inițial sau secundar de gaze, precum și forțele de interfață alături de cele gravitaționale. Starea de echilibru către care tinde acest sistem complex este atinsă prin patru mijloace: (1) o mișcare a fluidelor din zonele cu presiune ridicată spre zonele cu presiune coborâtă, inclusiv cea din acvifer către zona productivă, (2) o mișcare a fluidelor spre o dispunere normal gravitațională, (3), micșorarea stării de împrăștiere a fazelor fluide prin reducerea la numărul minim de interfețe fluid-fluid (adică cea mai mică energie liberă de suprafață posibilă) și (4) o re poziționare a fazelor fluide la scara micro și macro așa fel încât este atins echilibrul de udare dintre rocă și fiecare fază fluidă. Toate cele patru tendințe vor genera o reacumulare a fazelor fluide, ce va avea o distribuție finală a fazelor similară cu distribuția fluidelor găsită în zăcămintul neexploatat.*

*În încercarea de a surprinde și a detalia cât mai complet componentele acestui proces, se nasc două întrebări: care este viteza procesului de migrație*

*terțiară, respectiv care este durata acestui proces. Răspunsul acestor două întrebări ar putea fi fundamentul evaluării componentelor principale ale migrației terțiare și implicit, stabilirii potențialului productiv al zăcămintelor abandonate. Pentru moment, doar răspunsuri incomplete pot fi formulate cu privire la componentele migrației terțiare, menționate mai sus. Sunt, însă, situații concrete în care, după un timp de abandonare de câțiva zeci de ani și în anumite condiții propice, unde procesul de migrație terțiară să fi fost unul rapid, s-a putut relua producția în condiții economic favorabile după abandonare.*

## **Cuvinte cheie**

migrația terțiară, mecanismele migrației terțiare la scară micro și macro, regenerarea potențialului productiv, drenaj gravitațional, saturații asimptotice, estimarea presiunii în zăcăminte abandonate, estimare a extinderii zonei saturate cu țiței și a cupolei de gaze, criteriile de selecție pentru zăcămintele cu potențial de reluare a exploatării, incertitudini și factori de risc privind reluarea exploatării

## **I. Introducere**

După încheierea exploatării primare, după ce zăcămintul este considerabil depletat, pe lângă deplasarea fluidelor către sondele de extracție există și un alt tip de deplasare a acestor fluide. După o perioadă îndelungată, după ce zăcămintul a fost abandonat, fazele fluide își continuă deplasarea prin spațiul poros al rocii colector. Această mișcare ce are loc după sfârșitul exploatării primare, este numită migrație terțiară. Modelarea acestui proces va trebui să ia în considerare efectul combinat al avansării acviferului, al existenței capului inițial sau secundar de gaze, precum și forțele de interfață alături de cele gravitaționale. Astfel, se nasc două întrebări: care este viteza procesului de migrație terțiară, respectiv care este durata acestui proces. Pentru moment, doar răspunsuri incomplete pot fi formulate cu privire la aceste două întrebări, răspunsul complet putând fi

fundamentul evaluării componentelor principale ale migrației terțiare și implicit, al stabilirii potențialului productiv al zăcămintelor abandonate.

## **II. Migrația terțiară în zăcămintele de țiței**

Aceast capitol este structurat în trei subcapitole:

- conceptul de migrație terțiară
- mecanismele migrației terțiare
- regenerarea potențialului productiv al zăcămintului de țiței abandonat

În primul subcapitol, este prezentată migrația terțiară a hidrocarburilor în scoarța terestră, proces ce desemnează o mișcare spontană a acestora ca faze de sine stătătoare, fie sub formă lichidă ori sub formă gazoasă, sau sub formă de soluție moleculară, ca urmare a dezechilibrelor hidrodinamice sau fizico-chimice, fără intervenția umană. Prin contrast, termenul de exploatare a hidrocarburilor din zăcămintele desemnează procesul de mișcare generat de existența sondelor, deci prin intervenția umană. După încetarea exploatării unui zăcămint de țiței, mișcarea fluidelor continuă pentru că zăcămintul prezintă un dezechilibru hidrodinamic capilar și, într-o măsură mai mică, unul legat de gradientii de compoziție, acest dezechilibru fiind mai mult sau mai puțin accentuat, în funcție de modul în care a decurs exploatarea, de prezența sau absența acviferului și, în egală măsură, de heterogenitatea zăcămintului, de la scara micro la scara regională. Migrația terțiară are drept consecință o modificare a stării de saturație în cuprinsul zăcămintului, atât la scara micro, cât și la scara macro, între cele două existând o strânsă relație de dependență. Rezultatul redistribuirii fluidelor poate fi, în cazurile favorabile, o refacere a potențialului productiv al zăcămintului, prin depășirea unui prag minim al saturației în țiței într-o zonă considerabilă din zăcămint care poate coincide parțial cu zona productivă inițială.

În al doilea subcapitol, este prezentată evoluția procesului de migrație terțiară, aceasta constituind un punct important în distribuția și stabilitatea fazelor fluide în porii rocii. Poziționarea relativă a fazelor apă, țiței și gaze, precum și stabilitatea lor este rezultatul combinat al efectelor forțelor de interfață, de plutire și de frecare. Un aspect important ce trebuie subliniat este că la finalul exploatării unui zăcămint de țiței, totdeauna vor fi prezente trei faze fluide în porii rocii, iar acest lucru duce la o stabilitate sporită a acestora. Deoarece sistemul tinde către echilibru, care implică energie liberă de suprafață și energie potențială minimă, numărul de interfețe este într-o continuă scădere, concomitent

cu segregarea gravitațională. Dihotomia continuitate-discontinuitate a fazelor stă la baza procesului de migrație terțiară, deoarece în decursul exploatării continuitatea fazelor este în scădere, pe când după abandonare, continuitatea fazelor este în creștere. Mecanismele prin care continuitatea fazelor este restabilită sunt coalescența, transferul fluidelor prin ramificațiile porilor, în absența interfețelor și transferul de fluide în jurul dopurilor.

Ulterior, sunt prezentate diferitele forme ale curgerii, similare cu formele de curgere prin rețele de pori la scara macro, prin care este restabilită continuitatea fazelor fluide la nivelul spațiului poros, cu deosebirea că, aici, toate formele de curgere sunt prezente și acționează simultan. La debutul procesului de migrație terțiară și într-o perioadă imediat următoare, nu se poate spune că fazele fluide se re poziționează sub acțiunea unei anumite forme a curgerii, ci doar după o perioadă de timp după ce, prin diferitele mecanisme ale migrației terțiare la scară micro, fazele capătă un anumit volum, numărul de interfețe se reduce considerabil iar forțele implicate pot mobiliza volume mai mari. De altfel, caracteristica acestor forme de curgere este o deplasare volumică a fazelor fluide pe anumite distanțe și nu o deplasare a lor în filme subțiri. Formele de curgere sunt curgerea omogenă, curgerea cu interfață, curgerea cu dop și curgerea inelară. Totodată, fiind prezente trei faze fluide în porii rocii, aceste curgeri pot fi *în-curent (co-current)* sau *contra-curent (counter-current)*.

Ultimul subcapitol, regenerarea potențialului productiv al zăcământului de țiței abandonat, este prezentat sub forma a două aspecte importante: refacerea saturației în țiței a unității de volum a rocii colector cât și refacerea și redistribuirea energiei de zăcământ. Prin definiție, saturația rocii în faze fluide este definită ca volumul fiecărei faze raportat la volumul total de pori, unde aceste faze fluide vor satura, în diferite proporții, mediul poros în funcție de locul analizat. Această definiție, în majoritatea cazurilor, este aplicată zonal pentru a putea observa mai bine schimbările în starea de saturație de-a lungul etapelor în exploatare, dar în evaluarea procesului de migrație terțiară, aplicarea acestei definiții se va face pe întreg zăcământul, mai exact pe zona mediană nou formată unde este așteptată o saturație mare în țiței, și se va utiliza o valoare medie a acesteia pentru a vedea potențialul de regenerare a elementului de volum al rocii colector. Realimentarea cu țiței a elementului de zăcământ are loc prin aport de țiței din elementele marginale ale rețelei de sonde abandonate, prin țițeiul antrenat de apele care au pătruns în acestea, din zonele vecine, deloc sau puțin afectate de procesul de exploatare anterior abandonării

La sfârșitul exploatării unui zăcământ, în cuprinsul zăcământului există un important dezechilibru de presiune, în jurul fiecărei sonde formându-se o pâlnie depresionară, de o amplitudine mai mare sau mai mică, în funcție de numeroși factori,

dintre care cei mai importanți se menționează: ritmul de extracție, gradul de blocare al formațiunii productive, gradul și modul de deschidere (ultimii trei factori pot fi cumulați prin efectul de skin global), valoarea permeabilității și neuniformitatea acesteia. În cazul zăcămintelor cu un grad mare de neuniformitate și cu variații de litofacies importante, au fost constatate diferențe de presiune de multe zeci de atmosfere între diferitele zone ale zăcământului, în condițiile în care zăcământul este reprezentat de o singură unitate hidrodinamică. Gradientii de presiune sunt, în fapt, echivalenți cu gradientii de energie, uniformizarea presiunii (energiei) de zăcământ fiind proces asimptotic, către un nivel care depinde de măsura în care energia inițială de zăcământ a fost consumată în procesul de exploatare.

### **III. Drenajul gravitațional în zăcămintele de țitei**

Acest capitol este structurat în patru subcapitole:

- considerații generale asupra drenajului gravitațional
- importanța componentei gravitaționale în redistribuirea fazelor fluide
- modelarea experimentală a drenajului gravitațional
- influența capacității de udare a rocilor și a vitezelor de filtrație ale fazelor din drenajul gravitațional

În primul subcapitol se face un scurt istoric al noțiunii de drenaj gravitațional, unde sunt prezentate diferitele moduri și abordări, atât teoretice cât și experimentale, sub care această noțiune a fost utilizată de cercetătorii din domeniu. De asemenea, sunt prezentate și adaptările ce au fost făcute acestei noțiuni, deoarece există anumite similitudini între migrația terțiară și drenajul gravitațional.

În al doilea subcapitol sunt prezentate forțele ce acționează asupra deplasării fazelor fluide prin mediul poros: de frecare, de interfață și de gravitație. Contribuția acestor forțe este diferită, în funcție de locul unde are loc curgerea: în apropierea găurii de sondă sau la distanțe îndepărtate față de aceasta. Contribuția cea mai importantă este, pentru multe zăcăminte, dată de echilibrul forțelor de interfață și de frecare. În anumite condiții se observă că forța gravitațională are o pondere mare în deplasarea fluidelor, ea contribuind semnificativ la curgerea acestora. Ca și elemente de referință, sunt luate permeabilitatea absolută a rocii și distanța de la sondă la un punct considerat în zăcământ.

În al treilea subcapitol este făcută o clasificare a tuturor experimentelor de laborator cu ajutorul cărora s-a putut studia eficiența unui astfel de proces. Sunt prezentate cele mai uzuale medii solide și medii fluide, dar și cum acestea pot fi modificate pentru a se potrivi cât mai bine condițiilor inițiale impuse de fiecare experiment.

În subcapitolul patru, așa cum reiese din titlu, este prezentată influența celor două asupra procesului de drenaj gravitațional, capacitatea de udare putând fi definită ca încercarea de a determina cantitativ măsura în care o pereche de fluide nemiscibile, aflate în porii unei roci, interacționează cu aceasta. Capacitatea de udare este o consecință directă a interacțiunii trifazice dintre mediul solid și cele două medii fluide prezente în pori și se manifestă prin faptul că una din faze va tinde să ocupe o suprafață mai mare pe mediul solid, în timp ce faza complementară va tinde să elibereze acea suprafață. Deplasarea fluidelor prin mediul poros este eficientă doar în anumite situații ce depind strict de interacțiunea trifazică solid-fluid-fluid și de interacțiunea selectivă dintre cele două medii fluide, dar eficiența cu care se rezonează fazele fluide este dependentă și de un parametru al curgerii, anume viteza de filtrație a fazelor implicate în curgere. Această viteză este foarte importantă deoarece o valoare prea mare a ei duce la fragmentarea puternică a fazelor și la blocarea timpurie a curgerii.

Necesitatea studierii drenajului gravitațional este dată de existența asemănarilor dintre acesta și migrația terțiară. Astfel, prin înțelegerea legilor de curgere și a mecanismelor implicate în drenajul gravitațional, se poate surprinde amploarea și contribuția diferitelor mecanisme ale migrației terțiare. Saturațiile remanente mici în fază dislocuită atinse în urma proceselor de drenaj gravitațional vor furniza informații valoroase în estimarea stării de saturație din zonele inferioară și superioară, cele două din urmă fiind explicate în capitolul următor.

#### **IV. Evoluția stării de saturație și a presiunii în zăcămintele de țiței după abandonare**

Acest capitol este structurat în patru subcapitole:

- Evoluția stării de saturație în cursul exploatării zăcămintelor de țiței
- Saturații asimptotice
- Metodă de estimare a presiunii în zăcămintele abandonate

- Metodă de estimare a extinderii zonei saturate cu țiței și a cupolei de gaze

În primul subcapitol, este prezentată starea de saturație în zăcămintele de țiței neexploatate, în funcție de energia lor de zăcământ putând fi identificate mai multe zone în interiorul rocilor magazin. Pentru zăcămintele care se află la presiuni superioare presiunii de început de vaporizare, se va identifica zona saturată cu hidrocarburi, la partea inferioară a acesteia găsiindu-se acviferul. În cazul zăcămintelor ce se află la presiuni inferioare presiunii de început de vaporizare, pe lângă cele două zone menționate anterior va mai fi la partea superioară o a treia zonă, saturată cu gaze, ce poartă numele de cap inițial de gaze sau cupolă primară de gaze. Însă, datorită dimensiunilor spațiului poros, a formei acestuia cât și a interacțiunii trifazice, trecerea de la o zonă la alta nu se va face brusc, ci dimpotrivă, se va realiza prin așa-numitele zonele de tranziție. Dacă pentru acvifer, zona saturată cu țiței și cupola primară de gaze, starea de saturație se poate determina cu o precizie mulțumitoare, nu același lucru se poate spune despre zonele de tranziție, unde dificultatea constă nu numai în determinarea stării de saturație, ci și a extinderii acestor zone, pentru că, în cazul unei probe de producție efectuate în vecinătatea acestora, va curge fluidul cu mobilitatea cea mai mare și se vor obține rezultate eronate. Ulterior, este prezentată măsura în care cele trei faze fluide se vor găsi în fiecare din zonele menționate. Odată ce zăcămintele sunt puse în producție, starea de saturație va suferi modificări, atât în funcție de energia de zăcământ cât și în funcție de modalitatea rațională sau mai puțin rațională de le exploata. În ceea ce privește evoluția saturațiilor în cursul exploitării unui zăcământ de țiței, se pot evidenția două situații extreme: prima se referă la o variație mică, continuă a saturațiilor în cuprinsul zăcământului, caracteristică unei exploatări lente și de lungă durată și, cea de a doua, care se referă la exploatarea intensivă, însoțită de canalizarea apei și/sau a gazelor din cupolă sau a celor ieșite din soluție. Sunt două diferențe majore între cele două situații: una are în vedere continuitatea fazelor la scara micro, mult diminuată în primul caz, iar cealaltă are în vedere variațiile mari de saturație la scara zăcământului, mult mai mari în cel de al doilea caz. Mai mult, canalizarea apei și/sau a gazelor conduce la existența unor volume importante de rocă cu saturație mare în țiței, și cu grad mare de continuitate la scara micro. Acest fapt reprezintă o condiție foarte favorabilă pentru un start eficient al migrației terțiare.

Pentru a putea înțelege mai bine tendința evoluției stării de saturație după abandonare, în al doilea subcapitol sunt explicate valorile minime ale stării de saturație a mediului poros pentru fiecare fază. Ulterior, autorul propune conceptul de *stări de saturație asimptotice*, sau mai simplu *saturații asimptotice*, ce semnifică valorile teoretice ale saturației rocii în cele trei fluide ce vor fi atinse după un timp suficient de mare, când



procesul de migrație terțiară a condus la situația în care reluarea exploatării poate fi pusă în discuție din punct de vedere tehnic. În același timp, la această etapă se consideră că este atins din nou echilibrul de udare. Încercarea de a atribui valori, chiar și probabile, acestor stări de saturație asimptotice se dovedește foarte dificilă, acestea fiind foarte greu de determinat deoarece ele sunt doar în funcție de interacțiunile trifazice și de naturile fazelor implicate și nu depind de nici un proces de dezlocuire.

În subcapitolul trei, autorul propune o metodă probabilistică ce are ca scop punerea în evidență a unui interval de valori în care presiunea de zăcământ s-ar putea afla, utilizând ecuația de bilanț material. Această metodă poate fi aplicată în condițiile în care se pleacă de la un factor de recuperare evaluat cu o precizie acceptabilă, ceea ce presupune cunoașterea resurselor de țiței și de gaze (atât libere cât și dizolvate), cumulativele de apă, țiței și gaze produse, rația gaze-țiței și factorii de volum ai fazelor împreună cu rația de gaze în soluție, acestea din urmă fiind obținute cu ajutorul analizelor pVT. Metoda constă în trasarea unor curbe în coordonate FR – p, cu valorile factorului de recuperare calculate pentru diferite presiuni de zăcământ, pentru combinațiile cele mai probabile ale valorilor M și W, rezultate în urma analizei istoricului de producție al zăcământului. Intersecția acestor curbe cu factorul final de recuperare arată presiunea medie de zăcământ la abandonare. Dacă la valoarea estimată a lui W, ce ar fi fost atins la finalul exploatării, se adaugă cumulativul de apă pătruns în zăcământ după abandonare, punctul de intersecție va indica presiunea actuală de zăcământ. În felul acesta, se obține un interval de valori probabile ale presiunii actuale de zăcământ. În încheierea subcapitolului, este prezentat un exemplu de calcul.

În subcapitolul patru, autorul propune ca în calculul stării de saturație a fiecărei din cele trei zone, precum și în stabilirea extinderii acestora, să se plece de la un bilanț de volume și să se considere doar porțiunea din zăcământ ce este deasupra contactului inițial țiței – apă. Astfel, se va defini atât starea de saturație pentru fiecare din cele trei zone nou formate, cât și saturația medie a fiecărei faze pe întreg zăcământul. Sunt prezentate notațiile utilizate pentru fiecare fază fluidă din cele trei zone, este prezentat sistemul de ecuații, precum și soluția acestuia, cu ajutorul cărora se obțin extinderile celor trei zone. Sistemul de ecuații propus poate fi ușor particularizat pentru situația în care acviferul lipsește sau este inactiv, definindu-se, în acest caz, doar zona mediană, cu saturație mare în țiței și zona superioară, cu o saturație mare în gaze aferentă cupolei de gaze. Pentru a rezolva acest sistem, se utilizează diferite rezultate referitoare la saturațiile minime ale fazelor fluide ce au fost obținute în laborator cu privire la starea de saturație a mai multor probe de rocă suspuse experimentelor de dezlocuire și pe care, ulterior, s-a determinat starea de saturație

în fiecare fază fluidă, în funcție de experimentul efectuat. Subcapitolul se încheie cu un exemplu de calcul.

## **V. Selecția zăcămintelor de țiței abandonate cu potențial de reluare a exploatării**

Acest capitol este structurat în subcapitolele:

- Criterii de selecție pentru zăcămintele cu potențial de reluare a exploatării
- Surse de date utilizate în studierea potențialului de reluare a exploatării
- Incertitudini și factori de risc privind reluarea exploatării
- Exemple de zăcământ în care s-a reluat exploatarea cu succes

Primul subcapitol, împarte criteriile de selecție în două categorii: criteriul tehnic și cel economic. În cadrul criteriului tehnic, se urmărește analiza condițiilor fizice de zăcământ, a formelor de energie, a istoricului exploatării și a gradului de incertitudine a datelor pentru a putea evalua măsura în care s-a produs procesul de migrație tețiară, respectiv măsura în care rearanjarea fazelor în poziție normal-gravitațională a atins un stadiu suficient, care să permită reluarea exploatării. Una din condițiile eliminatorii aparținând acestui criteriu este reprezentată de producția simultană a mai multor unități hidrodinamice, aceasta mai fiind cunoscută și sub numele de coproducție, însă, privitor la aceasta, nu se poate preciza o limită de timp care să indice clar diferența între zăcăminte ușor sau profund afectate, cumulativele de fluide extrase, în perioada aferentă de timp, oferind mai multe informații legate de deteriorarea producției.

În urma acestor etape se va putea stabili cu o precizie mai mare distribuția rezervei de țiței rămase în cuprinsul zăcământului alături de mecanismele ce au acționat în decursul perioadei cât zăcământul a fost abandonat. Ulterior, se va analiza condiția tehnică a sondelor și vor fi identificate acele sonde a căror stare este corespunzătoare și ar putea fi redeschise. Într-o primă etapă, se vor crea scenarii de bază cu privire la redeschiderea producției bazată pe cele mai mici costuri posibile. iar unde va fi cazul, se vor crea scenarii mai complexe și mai ample de reluare a producției, ce pot implica nu numai redeschiderea sondelor existente, ci și săparea mai multor sonde noi.

Criteriul economic este important în studierea refacerii potențialului productiv deoarece el va indica, în final, rentabilitatea redeschiderii producției pe un zăcământ abandonat, dar trebuie avute în vedere fluctuațiile prețului petrolului la nivel mondial, acestea limitând ponderea acestui factor. Factorul economic este direct legat de factorul de recuperare atins, respectiv de rezerva de hidrocarburi recuperabilă deoarece aceasta din urmă va trebui să amortizeze toate investițiile făcute în redeschiderea producției și să genereze profit. Întotdeauna se va dori ca aceste investiții să fie cât mai mici cu puțință dar acest lucru nu exclude lucrări complexe, mai costisitoare, ce ar putea aduce o exploatare de o mai mare amploare. Prin urmare, se va observa că factorul economic poate fi un criteriu eliminativ doar în anumite condiții.

În al doilea subcapitol sunt prezentate datele ce sunt necesare în studierea eficienței procesului de migrație terțiară în zăcămintele de țiței abandonate, precum și sursele din care acestea au fost preluate. Acestea din urmă sunt: studiile de zăcământ, dosarele de sondă din arhiva companiei petroliere, măsurătorile de presiune și temperatură, luncările și articolele vechi, publicate și, nu în ultimul rând, vechii specialiști din domeniu ce au lucrat pe zăcămintele în cauză, ce ar putea fi de mare ajutor.

Odată ce toate informațiile necesare au fost prelevate, acestea vor fi grupate sub forma următoarelor capitole: modelul geologic, modelul fizic, resursa de țiței și gaze, istoricul de producție, delimitarea noilor zone: superioară, medie și inferioară, stadiul migrației terțiare și presiunea actuală de zăcământ.

În al treilea subcapitol sunt analizate erorile ce înconjoară sursele de date anterior enumerate, deoarece acestea nu sunt întotdeauna înregistrate corect sau, în multe situații, datele necesare sunt lipsă. Aceste două aspecte vor duce la apariția incertitudinilor care, pentru a putea studia cât mai eficient refacerea potențialului productiv al zăcămintelor de țiței abandonate, vor trebui diminuate, pe cât de mult posibil. Principalele tipuri de erori sunt date de interpretările limitate de suficiența și exactitatea datelor existente, precum și de nivelul tehnologic la data achiziției și de erorile de măsurare ale parametrilor implicați.

O categorie aparte de incertitudini, ce rezultă din cele două tipuri de erori, este reprezentată de așa-numitele ”similitudini”, prin care proprietățile rocilor colector și proprietățile fluidelor unui zăcământ sunt acceptate ca fiind valide și pentru alt zăcământ în ciuda unor proprietăți similare, uneori chiar identice. Un alt tip de incertitudini, ce se referă doar la proprietățile rocilor colector, este reprezentat de atribuirea unei singure valori a lor pe întreg zăcământul. Acest demers este unul impropriu, cu atât mai mult cu cât numărul de măsurători al parametrilor în cauză este mai mic, prin număr de măsurători

înțelegându-se totalitatea determinărilor efectuate pentru un parametru prin aceeași metodă, pe probe de rocă din diferite locații ale zăcământului. Astfel, se vorbește despre valori ale aceluiași parametri determinați fie din carote mecanice, fie din investigații geofizice și/sau investigații hidrodinamice. Pentru a diminua incertitudinile date de similitudini, autorul propune utilizarea a două abordări:

- de a reefectua, fizic, măsurătorile parametrilor de interes (în situația proprietăților rocii colectoare) sau de a recolta probe de fluide pe care parametri de interes să fie determinați ulterior în laborator prin noi analize (în situația proprietăților fluidelor). Dificultățile ce intervin aici sunt legate de costurile materiale și de timpul oarecum îndelungat necesar efectuării acestor măsurători. S-ar putea face analize pe probe de rocă existente, dar probabilitatea de a avea la dispoziție astfel de probe este foarte mică. Pentru fluide, chiar și pentru unele roci, pot fi folosite date de la blocurile vecine, din același bazin de sedimentare și cu aceeași vârstă, probe mai recente
- de a utiliza ecuații empirice prezente în literatură pentru a estima valorile în care parametrii de interes se încadrează și astfel, pentru a vedea dacă procesul de migrație terțiară a fost unul eficient pentru zăcământul dat

În schimbul utilizării unei singure valori, din cadrul proprietăților rocilor, obținute prin medie aritmetică și apoi aplicând-o întregului zăcământ, autorul prezintă o aplicație în care consideră zăcământul ca fiind divizat într-o rețea, nodurile rețelei fiind sondele, urmând ca parametrii de interes să fie atribuiți acestei rețele prin interpolare, obținându-se, astfel, o distribuție a variației acestora. Ulterior, pentru o reprezentare cât mai precisă, autorul propune ca primul parametru de reprezentat să fie porozitatea, deoarece porozitatea determinată pe carote este cea mai puțin influențată de erori, având la bază faptul că în multe situații acest parametru este determinat cu ajutorul carotelor mecanice și nu prin alte metode. Obținându-se o distribuție a porozității, ulterior, se propune utilizarea ecuațiilor empirice pentru a determina ceilalți parametri de interes.

În ultimul subcapitol, sunt prezentate două exemple în care exploatarea a fost reluată cu succes, de-a lungul timpului, fiind mai multe încercări de reluare a exploatarei, unele având succes, altele nu. Este important de menționat că aceste încercări au reprezentat simple “accidente” și s-au bazat doar pe intuiția geologilor sau a inginerilor de zăcământ. Sarmațianul și Meoțianul de pe structura Mărgineni fac parte din zăcămintele pe care producția a fost reluată cu succes, acestea fiind prezentate în acest subcapitol.

## VI. Studii de caz analizate

În acest capitol sunt prezentate cinci zăcăminte care au fost studiate și la care potențialul productiv are mari șanse să se fi refăcut în urma unui proces eficient al migrației terțiare. Reluarea producției pe aceste zăcăminte urmează a fi realizată, iar prezentarea lor în extenso se face în acest capitol. Tehnicile de simulare computerizată au fost folosite doar în cazuri particulare. Principalii pași ce au fost urmați în aceste studii sunt:

- identificarea tuturor parametrilor legați de geometria zăcământului și a parametrilor zăcământului ce influențează debitul de curgere al fazelor fluide
- redefinirea/revizuirea unor proprietăți ca: litologia rocii colector, proprietățile sistemului rocă-fluid, diferența capilară de presiune și buletinele de analiză PVT
- definirea condițiilor la limită, pentru a se putea potrivi rezerva inițială cu volumele de fluide produse până la momentul abandonării
- analiza individuală a producțiilor sondelor: natura fluidelor extrase, debitele de extracție/injecție, fracții de apă, rații cumulative gaze-țiței și stabilirea acestora ca și variabile de control

iar informațiile urmărite au fost:

- cantitatea de țiței redistribuită
- cantitatea de țiței recuperabilă la momentul abandonării zăcământului
- mecanismele redeschiderii producției
- modul în care țițeiul recuperabil este distribuit în roca colectoare

Toate sondele sunt analizate și li se verifică starea tehnică. Sondele cu o stare tehnică bună ce permit repunerea în producție (prin resăpări, reperforări...etc) vor fi luate în considerare în scenariile finale.

Cu ajutorul celor de mai sus se va crea un scenariu de bază pentru reluarea producției cu costuri minime. Sondele existente și echipamentele de suprafață vor fi evaluate mai întâi. Alte scenarii cu privire la reluarea producției includ sonde noi pe structuri sau comparații între modele EOR existente cu aceste scenarii de bază. Raportul

final va conține declinul de producție și cumulatele de hidrocarburi extrase ce vor fi în conformitate cu rezerva inițială.

## **Contribuții originale ale autorului**

1. Studiul bibliografic exhaustiv asupra mecanismelor de migrație terțiară, cu punerea în evidență a condițiilor în care mișcarea țiteiului sub forma unui film subțire are o pondere importantă, exemplificat pe unul din studiile de caz analizate. Pentru stratele subțiri și cu înclinare mică, contrar percepției imediate, autorul descrie un mecanism interesant de migrație terțiară eficientă, cu două componente: prima constă în concentrarea fazei gazoase pe acoperișul stratului, respectiv a apei, iar în lipsa apei mobile a țiteiului, pe culcușul stratului, prin parcurgerea unei distanțe mici, deci într-un timp relativ scurt, având ca rezultat creșterea semnificativă a gradului de continuitate a fazelor, iar cea de a doua, deplasarea volumetrică, în condițiile unei saturații mari într-una din faze, cu limitarea efectului forțelor de interfață, de-a lungul stratului pe intervale mai mari de timp.

2. Analiza drenajului gravitațional, asupra căruia există numeroase studii, cu scopul de a stabili repere de timp în evaluarea perioadei necesare migrației terțiare avansate, pe baza vitezelor de mișcare înregistrate prin experimentele efectuate într-o gamă variată de condiții referitoare la proprietățile rocii și ale fluidelor și a temperaturii de zăcământ. S-a estimat că, în situațiile cele mai favorabile, un interval de timp de ordinul a 40 ani reprezintă o limită de la care reluarea exploatării se poate dovedi eficientă.

3. Introducerea conceptului de saturații asimptotice, definite ca repere pentru saturația rocii în apă, țitei și gaze după scurgerea unui timp suficient de mare, când variația saturațiilor devine extrem de lentă. Aceste repere au fost obținute tot din datele experimentale din cadrul studiilor privind drenajul gravitațional. Este realizată o reprezentare grafică ternară sugestivă pentru domeniile în care pot fi plasate saturațiile asimptotice.

4. Analiza incertitudinilor legate de datele necesare evaluării procesului de migrație terțiară și a calculelor ingineresti pentru estimarea presiunii actuale de zăcământ, a stării de saturație actuale, a rezervelor de țitei și de gaze și a potențialului productiv al zăcământului în cazul reluării producției. Sunt propuse soluții pentru minimizarea acestor incertitudini, adaptate setului de date disponibile, prin folosirea celor mai potrivite corelații

și completarea judicioasă a datelor existente cu cele preluate de la alte zăcămintele asemănătoare.

5. Analiza critică a criteriilor de selecție a zăcămintelor susceptibile de a fi repuse în producție, completarea lor cu alte câteva, referitoare la eterogeneitatea zăcămintelor și la timpul minim necesar de așteptare pentru reluarea exploatării, precum și aplicarea acestor criterii pentru mai multe zăcămintele prin participarea autorului în cadrul unui proiect realizat pentru o companie petrolieră.

6. Analiza unor studii de caz pentru cinci zăcămintele, cu participare directă la două dintre ele în cadrul proiectului menționat. Abordarea studiilor este una complexă, care cuprinde revizuirea modelelor geologic, fizic și de producție, estimarea presiunii actuale de zăcământ, estimarea extinderii și a plasării zonelor cu saturații mari în țiței și în gaze, stabilirea zonelor cu probabilitate maximă de succes la reluarea exploatării, prevederea exploatării la reluare și a cumulativelor de fluide extrase.

7. Propunerea unei scheme de exploatare pentru un zăcământ cu condiții foarte favorabile pentru migrația terțiară, care îndeplinește, practic, toate criteriile de selecție pentru reluarea exploatării, dar cu o presiune actuală de zăcământ prognozată mică, insuficientă pentru obținerea unor debite de țiței competitive. Metoda propusă constă în săparea unei prime găuri de sondă care să traverseze stratul productiv, măsurarea, pentru verificare, a presiunii de zăcământ și, eventual, efectuarea probei de producție. În cazul unui rezultat nefavorabil, adică o confirmare a presiunii estimate, stratul productiv va fi izolat, sonda se va adânci până la un orizont inferior dovedit cu un acvifer foarte activ, după care se va pune în comunicație cu stratul productiv, iar deasupra acestuia va fi plasat un dop etanș. Ulterior, de la o adâncime convenabilă, se va săpa o gaură suplimentară, deviată la o distanță de ordinul a 200 m față de prima, prin care sonda se va pune în producție, în condițiile în care zăcământul este alimentat cu apă la presiune ridicată.

## **Recunoștințe (Acknowledgement)**

Rezultatele prezentate în această lucrare au fost obținute cu sprijinul Ministerului Fondurilor Europene prin Programul Operational Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013, Contract nr. POSDRU/159/1.5/S/134398.

Autorul vrea să mulțumească, în mod deosebit, Agenției Naționale pentru Resurse Minerale a României și companiei OMV – Petrom S.A. pentru ajutorul acordat în elaborarea acestei lucrări.

*The work has been funded by the Sectoral Operational Program Human Resources Development 2007-2013 of the Ministry of European Funds through the Financial Agreement POSDRU/159/1.5/S/134398.*

*The author would like to give special thanks to the National Agency for Mineral Resources of Romania and OMV – Petrom S.A. for the help given in elaborating this work.*