

REZUMAT
TEZĂ DE DOCTORAT
ÎMBUNĂTĂȚIREA CARACTERIZĂRII ZĂCĂMINTELOR DE HIDROCARBURI
PRIN FOLOSIREA TRASORILOR CHIMICI

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC,

Prof. univ. dr. ing. Florea MINESCU

DOCTORAND,

Chim. Mihaela Gabriela ZECHERU

Zăcămintele de hidrocarburi sunt extrem de complexe, fiecare zăcământ având identitatea sa. În cele mai multe cazuri, zăcămintele sunt stratificate și prezintă eterogenități semnificative, ce conduc la diferite direcții de curgere ale fluidelor.

Injectia de apă și injectia de soluții chimice sunt cele mai utilizate metode de recuperare secundară și terțiară a țițeiului. Uneori însă, aplicarea acestor procese este îngreunată de lipsa cunoașterii în detaliu a zăcământului în care urmează să se aplice procesul precum și de lipsa informațiilor cu privire la curgerea fluidelor în zăcământ. De asemenea, cantitatea de țiței rămasă în zăcământ, după procesul de recuperare secundară, este un factor important în simularea proceselor de recuperare terțiară, pentru preevaluarea eficienței unui astfel de proces. Situația ideală în care se poate găsi un inginer care conduce exploatarea unui zăcământ de țiței este aceea în care ar avea o hartă cu configurația curgerii în zăcământ și o hartă fidelă a saturației din acel zăcământ. Depărtarea față de acest ideal este cu atât mai mare cu cât stadiul exploatării este mai avansat. De aceea, eforturile depuse pentru a obține informații legate atât de comunicarea dintre sondele de injecție și sondele de producție, cât și despre saturația în fluide, fie în zona vecină sondei, fie în zona de drenaj a sondei, fie în întreg zăcământul, sunt întotdeauna necesare și binevenite.

Există o serie de analize, investigații și teste prin care se aprofundează cunoașterea zăcământului. Testele cu trasori sunt unele dintre acestea. Ele sunt utilizate la completarea informațiilor furnizate de geofizica de sondă, analizele de carote, analizele PVT, analizele apă și țiței, cercetarea hidrodinamică etc. pentru caracterizarea unui zăcământ. De asemenea, există un ansamblu de metode de investigare a stării de saturație din zăcămintele de țiței, cu avantaje, limitări

și grade de incertitudine foarte diverse. În cele mai multe cazuri se poate vorbi de o complementaritate a metodelor de determinare a saturațiilor.

Testele cu trasori, care reprezintă subiectul tezei de față, au o largă răspândire și sunt folosite pentru aplicații diverse: spălarea volumetrică, tendințele de curgere preferențială, conturarea barierelor de curgere, vitezele relative ale fluidelor injectate, evaluarea tratamentelor de îmbunătățire a spălării, determinarea saturației în țiței rezidual, determinarea afluxului de fluide din strat în sondă. Valoarea și importanța acestor teste ca instrument pentru a îmbunătăți descrierea zăcămintelor este larg recunoscută. Cunoașterea avansată despre comportamentul trasorilor în zăcământ, analiza prin metode precise a acestora și reducerea incertitudinilor asociate au făcut să se poată pune bază pe astfel de teste și această tehnologie să devină una matură.

Teza este structurată în opt capitole ce pot fi grupate în trei părți principale: studiul literaturii de specialitate, studiul experimental și studii de caz pe zăcămintele din România.

Prima parte a lucrării de față cuprinde un scurt istoric al testelor cu trasori precum și aspecte privind perspectiva dezvoltării și a extinderii folosirii testelor cu trasori chimici. De asemenea, cuprinde o prezentare detaliată a tipurilor de teste cu trasori, și anume:

1. Teste cu trasori între sonde:
 - 1.a) De tip IWTT (Interwell Tracer Test), efectuate pentru determinarea configurației curgerii în zăcământ (determinarea direcției de curgere preferențiale a fluidului injectat, identificarea canalizărilor apei, detectarea și verificarea presupuselor bariere geologice, etc.);
 - 1.b) De tip TWTT (Two-Well Tracer Test), pentru determinarea saturației în țiței rezidual, pe calea pe care o parcurge trasorul, între sonde;
2. Teste cu trasori într-o singură sondă:
 - 2.a) De tip SWCTT (Single-Well Chemical Tracer Test), pentru determinarea saturației în țiței rezidual, în jurul găurii de sondă;
 - 2.b) De tip In-well Tracer Test efectuate pentru monitorizarea afluxului de fluide din strat în sondă.

Pentru fiecare tip de test sunt prezentate aspecte privind trasorii folosiți, proiectarea acestora în șantier, prin evidențierea avantajelor și dezavantajelor acestora precum și factorii de incertitudine pentru fiecare metodă în parte.

În partea a doua a lucrării sunt prezentate rezultatele analizelor și experimentelor de laborator ce au fost axate pe trei direcții principale: selectarea trasorilor pentru fiecare tip de test în parte, stabilirea unor metode de detecție cât mai precise și specifice fiecărui trasor și studiul fenomenelor de interacțiune ale trasorilor cu fluidele din zăcământ și cu mediul poros în vederea stabilirii parametrilor de injecție în șantier.

Un număr mare de teste de laborator au fost efectuate pentru determinarea unor mecanisme ce au loc în zăcământ și stabilirea tehnologiei de realizare în șantier a testelor cu trasori chimici. Astfel, s-a urmărit:

- Momentul apariției trasorilor utilizați;
- Concentrația maximă a trasorului în efluent;
- Declinul de concentrație și dispariția trasorului;
- Adsorbția pe rocă și gradul de recuperare a trasorului;
- Determinarea constantei de partiție pentru trasorii solubili atât în apă cât și în țiței;
- Decalajul dintre momentele aparițiilor celor doi trasori cu coeficienți de partiție diferiți, pentru stări diferite de saturație ale mediului poros (metoda TWTT);
- Hidroliza acetatului de etil respectiv formarea etanolului și a acidului acetic (metoda SWCTT).

În cuprinsul acestei părți se regăsesc mai multe contribuții personale ale autoarei.

Cea de a treia parte a lucrării prezintă câteva studii de caz pe zăcămintele din România privind folosirea trasorilor chimici. Sunt prezentate rezultatele testelor în urma cărora s-a putut pune în evidență:

- viteza de deplasare a trasorului în zăcământ;
- identificarea canalizărilor apei injectate;
- neetanșeitarea faliilor;
- determinarea direcției de curgere preferențiale a fluidului injectat;
- comunicarea între complexe aceluiași obiectiv;
- evaluarea tratamentelor de blocare a apei.

De asemenea, este prezentat un exemplu privind modul de calcul al cantității de trasor produs prin sondele monitorizate și al determinării volumului de pori spălat, calculat pe baza primului moment al apariției trasorului.

În ceea ce privește determinarea stării de saturație, lucrarea prezintă rezultatele unui test de tip TWTT și, în premieră, o analiză comparativă a rezultatelor măsurătorilor a două metode de investigație complementare, SWCTT și RST, realizate în trei sonde de țitei din România.

Studiul comparativ al saturațiilor în țitei obținute prin testele RST aferente zonelor neinvadate de apă și al saturației reziduale în țitei obținute prin testul cu trasori a condus la elaborarea unei metode de calcul a volumului de țitei recuperabil din orizonturile respective.

Această nouă abordare este utilă și importantă pentru o corectă fundamentare a proceselor IOR și EOR, în sensul unei bune evaluări a limitelor de variație a saturației în țitei, respectiv a eficienței acestor procese.

Cuvinte cheie: trasori chimici, teste cu trasori între sonde, teste cu trasori într-o singură sondă, coeficienți de partiție, investigații geofizice, IWTT, TWTT, SWCTT, RST.

ABSTRACT

PhD THESIS

IMPROVING OF HYDROCARBON RESERVOIRS CHARACTERIZATION BY USING CHEMICAL TRACERS

SCIENTIFIC COORDINATOR,

Prof. Florea MINESCU

DOCTORAND,

Chem. Mihaela Gabriela ZECHEU

Hydrocarbon reservoirs are extremely complex, each reservoir having its own identity. Most reservoirs are layered and present significant heterogeneous features leading to different fluid flow directions.

Water injection and chemical solutions injection are the most used methods of secondary and tertiary oil recovery. The applicability of these processes is sometimes difficult because the fragmentary knowledge of the candidate reservoir where it is to be applied, as well as lack of information about fluid flow within the reservoir.

Also, oil remaining in-situ after the secondary recovery is an important factor for simulating the tertiary recovery processes for pre-assessing their efficiency.

For an engineer managing the production of an oil reservoir, the ideal situation would be to have a map with the flow configuration into the formation and an accurate map of the saturations in that reservoir. But the more mature the reservoir is, the bigger is the distance to the ideal situation. This is why any effort made in order to obtain information related to the fluids saturation in the neighboring zone of the well, or in the drainage zone of the well, or inside the entire reservoir is always welcome.

There are a number of analyses, investigations and tests that allow to deepen the knowledge on the reservoir. Tracer tests are part of these. They are being used to characterize the reservoir for getting additional information provided by well geophysics, core analyses, PVT analyses, water and oil analyses hydrodynamic tests etc. Also, there are a number of methods to investigate the

saturation state in oil reservoirs, with their advantages, limitations and different uncertainty degrees. In most cases the specialists may talk about the methods completing each other in determining saturations.

The tracer tests, that are the topic of this thesis, are largely used in different applications: volumetric sweep, preferential flow directions, delineation of flow barriers, relative velocities of injected fluids, evaluation of sweep improvement treatments, determination of residual oil saturation and determination of in-flow fluids from layer into the wellbore. The value and importance of these tests as a tool for improving the reservoirs characterization are broadly recognized. The advanced knowledge about tracers' behavior in reservoir, their analysis through precise methods, and reducing the related uncertainties lead to reliability of such tests and this technology can become an advanced one.

The thesis is divided into eight chapters that are grouped in three main parts: literature study, laboratory study and case studies on reservoirs in Romania.

The first part of this paper presents a short history of tracer tests and aspects concerning the perspectives of development and extending the use of tracer tests. Also, a detailed presentation of tracer tests is given:

1. Tracer tests between wells:
 1. a) IWTT (Interwell Tracer Test), performed for determining flow configuration into the formation (determination of injected fluid's preferential flow direction, identification of water channelling, detection and check of geological barriers etc).
 - 1.) TWTT (Two-Well Tracer Test), performed for determining residual oil saturation on tracer's path between two wells;
2. Tracer tests in a single well:
 2. a) SWCTT (Single-Well Chemical Tracer Test) performed for determining residual oil saturation around the wellbore;
 2. b) In-well Tracer Test, performed for monitoring the in-flow fluids from layer in the wellbore.

For each test type are shown aspects regarding the tracers used, their design on the field, by highlighting their advantages and disadvantages, as well as the uncertainty factors for each type of method.

In the second part of this thesis, results of laboratory analysis and tests are presented. These were focused on three main directions: tracers' selection for each test type, establishing some accurate detection methods and specific to each tracer, and the study of interaction phenomena of tracers with fluids from reservoir and with porous medium in order to establish the injection parameters into the field.

A lot of laboratory tests were performed to determine some mechanisms that occur in the reservoir and to establish the technology that can be applied in the field of the tracer tests.

Thus, tests consisted in the following works:

- Breakthrough time of tracers used;
- Maximum concentration of tracer in effluent;
- Decline of concentration and tracer disappearance;
- Adsorption on rock and recovery degree of tracer;
- Determination of partition coefficient for tracers soluble in both water and oil;
- Determination of differences between breakthrough times of two tracers with different partition coefficients, for porous medium with different oil saturations (TWTT method);
- Check of ethyl acetate hydrolyze and ethanol and acetic acid forming (SWCTT method).

In this part more personal contributions of the author are found.

The third part of this thesis presents some case studies on reservoirs from Romania regarding the use of chemical tracers. The results of laboratory tests are shown to highlight the following:

- Velocity of tracer in reservoir;
- Identification of injected water channeling;
- Detection of faults seal less;
- Determination of preferential flow direction of injected fluid;
- Communication between the complexes of the same objective;
- Evaluation of water shut-off treatments.

Also, an example is shown concerning the calculation method of tracer amount produced by monitoring wells and the determination of swept pore volume, based on tracer breakthrough time.

As for the determination of the saturation state, the paper shows the results of one TWTT and, for the first time, a comparative analysis of the measurement results of two complementary investigation methods, SWCTT and RST, performed in three oil wells in Romania.

The comparative study of oil saturations obtained by RST investigations related to zones unaffected by water and of residual oil saturation obtained by tracer tests leads to elaboration of a calculation method of recoverable oil quantity from the producing zones.

This new approach is useful and important for a proper IOR and EOR processes design, meaning a better assessment of the variation limits of oil saturation, respectively of these processes efficiency.

Key words: chemical tracers, tracer tests between wells, tracer tests in a single well, partition coefficients, geophysical investigations, IWTT, TWTT, SWCTT, RST.