

METODE NOI DE MĂRIRE A FACTORULUI DE RECUPERARE APLICABILE PE ZĂCĂMINTE DE ȚIȚEI GREU DIN ROMÂNIA

NEW METHODS TO INCREASE OIL RECOVERY FACTOR APPLICABLE ON ROMANIAN HEAVY OIL FIELDS

Dr. ing. Marian IRIMIA

OMV Petrom S.A., Petrom City, Strada Coralilor Nr. 22., Sector 1, București, Romania
E-mail: marian.irimia2@petrom.com

Rezumat: Producția la rece a țițeiului greu împreună cu nisipul - Cold Heavy Oil Production with Sand (CHOPS), a fost aplicată cu succes pe zăcămintele de țiței greu din Canada de aproape 20 de ani, furnizând nu mai puțin de 20% din producția brută de țiței în 2001 – 2003. Principalele caracteristici ale zăcămintelor din Canada pe care s-a implementat tehnologia CHOPS sunt nisipuri neconsolidate, calități scăzute ale țițeiului (API ~ 11°-14°, viscozități de până la 20000 cP), grosimi mici (<15m), strate prea subțiri pentru a justifica metodele termice de recuperare, dar suficiente gaze în soluție (>7 m³/m³) pentru a ajuta curgerea țițeiului și nisipului spre gaura de sondă. Pe baza zăcămintelor analog din Canada (un model matematic nu este disponibil încă), experimente CHOPS au fost realizate în 3 sonde noi săpate pe un zăcămintă de țiței greu din România. Pentru una dintre sonde a fost realizată o creștere a producției de 3 ori mai mare decât în cazul sondelor echipate în sistemul gravel – packing, așa cum fusese estimat. După acest stadiu, întrucât vorbim despre țițeiuri grele, ar putea fi aplicat un proces de recuperare terțiar, de tipul injecției ciclice de abur, în vederea accelerării producției și a măririi factorului de recuperare. Acest lucru a fost numai comentat de specialiștii din Canada, nefiind cuantificat printr-un calcul matematic. În această privință, au fost analizate câteva cazuri de sensibilitate utilizând simulatorul STARS pentru a elabora prevederile de producție. Rezultatele calculelor arată faptul că, factorul de recuperare ar putea fi îmbunătățit de la o valoare de 17% la o valoare de 33%, aplicând un proces de injecție ciclică de abur post CHOPS.

Cuvinte cheie: țiței, greu, CHOPS, abur, recuperare.

Abstract: Cold Heavy Oil Production with Sand (CHOPS) has been successfully applied in Canadian heavy oil fields for about 20 years, providing as much as 20% of Canadian crude oil output in 2001 – 2003. The major Canadian CHOPS field characteristics are unconsolidated sand, low oil qualities (API ~ 11°-14°, viscosities up to 20,000 cP), reservoir thicknesses (<15m) too thin to justify thermal recovery methods, and sufficient solution gas ratios (>7 m³/m³) to help drive oil and sand to the wellbore. Based on Canadian analogue fields (no mathematical model is available), the CHOPS trial was proposed to start with the completion of the three new wells in a Romanian oilfield. For the CHOPS trial with better oil qualities such as prevailing at this field a production rate increase of 3 times comparing with the regular gravel pack completion rate was obtained for one well. After this stage, because under discussion there are heavy oils, with high densities and viscosities, in order to accelerate the oil production and improve the recovery factor, could be used successfully the tertiary processes as steam injection. This thing was commented by Canadian experts, but it was not yet analyzed in details and implemented in the site. On this regard, any sensitivities cases were analyzed using STARS as simulator for production forecasts. The results of simulation show that the recovery factor could be improved from a value of 17% to a value of 33% by applying a cyclic steam injection process after CHOPS trial.

Keywords: oil, heavy, CHOPS, steam, recovery.

1. INTRODUCERE

Zăcămintele de hidrocarburi se definesc ca fiind sisteme complexe alcătuite din rocile de zăcământ și fluidele cantonate în porii rocilor, între cele două componente (fluide și roci) existând relații complexe.

Valoarea economică a unui zăcământ de hidrocarburi este dată de cantitatea de hidrocarburi existentă (resursa geologică), dar mult mai importantă este cantitatea de hidrocarburi ce poate fi extrasă în condițiile tehnice și economice de la un anumit moment dat (rezerva de hidrocarburi).

Factorul de recuperare reprezintă raportul dintre cantitatea de hidrocarburi extrasă din zăcământ și cantitatea de hidrocarburi existentă inițial în acel zăcământ (resursa geologică), exprimată în procente.

Există trei posibile stadii ale recuperării în producția hidrocarburilor și anume primar, secundar și terțiar.

Recuperarea în stadiul primar se referă la utilizarea energiei naturale existente în zăcămintele de hidrocarburi, asigurată de destinderea elastică a rocilor și fluidelor, expansiunea gazelor ieșite din soluție; avansarea naturală a apei, destinderea gazelor din zona cupolelor de gaze sau de efectul gravitațional. Procentul din resursa geologică inițială posibil a fi extras în acest stadiu este de 12 – 15%.

Recuperarea secundară se referă la suplimentarea energiei de zăcământ prin intervenția operatorului, după un anumit timp de utilizare a energiei naturale sau în cazul unor zăcăminte chiar de la începutul exploatării, prin aplicarea metodelor convenționale de tipul de injecției de apă sau de gaze, în vederea și creșterii factorului final de recuperare. În urma aplicării acestor metode, s-ar mai putea recupera adițional încă 15 – 20% din resursa geologică.

Recuperarea terțiară urmează de obicei celei secundare și presupune aplicarea unor metode neconvenționale, de tipul proceselor termice, chimice sau miscibile, prin care este posibil a se recupera adițional 4 – 11% din cantitatea de hidrocarburi rămasă în zăcământ după primele două stadii ale recuperării.

În condiții inițiale de zăcământ, hidrocarburile lichide se găsesc într-o mare varietate, de la țiței obișnuit, la țiței cu vâscozitate și densitate mare, respectiv la țiței volatili. În același mod, hidrocarburile gazoase variază de la gaze uscate la gaze cu condensat, respectiv la gaze bogate. Câteva criterii de departajare a naturii hidrocarburilor existente în zăcământ, în condiții inițiale sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1 – Criterii de departajare a naturii hidrocarburilor existente în zăcământ

Caracteristici	Țiței greu	Țiței obișnuit	Țiței volatil	Gaz-condensat	Gaz bogat	Gaz sărac
Rația inițială de soluție, Sm^3/m^3	<36	35-125	356<570	540<17000	17800<27000	>27.000
Factorul de volum la presiunea de saturație	1<1,2	1,2<2	>2	-	-	-
Densitatea țițeiului, kg/dm^3	>0,900	0,825-0,866	0,759<0,800	<0,780	<0,739	-
Conținut în C_{7+} , %	-	>40	12<20	15,5<20	<5	-
Culoarea lichidului	negru / intens colorat	maro / verde închis	galben verzui	alb / ușor colorat	alb sau incolor	-

Așa cum reiese din tabelul 1, țițeiul greu are rații de soluție sub $36 \text{ Sm}^3/\text{m}^3$, densități de peste $0,900 \text{ Kg}/\text{dm}^3$, fiind negru sau intens colorat.

2. METODA CHOPS (COLD HEAVY OIL PRODUCTION WITH SAND) SAU PRODUCEREA ȚIȚEIULUI GREU ÎMPREUNĂ CU NISIPUL DIN STRAT

Producerea țițeiului greu împreună cu nisipul din strat prin metoda CHOPS (Cold Heavy Oil Production with Sand) este acum considerabil utilizată ca o metodă primară de producție a țițeiurilor grele, cantonate în nisipuri neconsolidate sau slab consolidate în Canada, mii de sonde producând țiței prin această nouă tehnologie.

În loc de a bloca componentele de nisip ca în cazul tehnologiei gravel - packing, curgerea nisipului în gaura de sondă este încurajată de perforarea agresivă și de strategiile de extracție, utilizând pompe cu cavități progresive (PCP).

În cazul filtrelor utilizate pentru a ține la respect nisipul, producția de țiței va scădea destul de repede la un nivel neeconomic, fiind necesare dese schimbări de filtre. Prin producerea nisipului din strat împreună cu țițeiul, crește atât productivitatea sondelor (de exemplu în Canada s-a observat o creștere de până la 4 ori a debitului de țiței), cât și recuperarea în regim primar (dacă pentru țițeiurile grele factorul de recuperare este de aproximativ 5%, utilizând tehnologia CHOPS acesta ar putea ajunge la valori de 10-15%).

De asemenea, datorită unei producții masive a nisipului din strat, se creează în jurul sondei o zonă cu proprietăți îmbunătățite de curgere (porozitate și permeabilitate). Dacă înainte de producerea sondei în sistemul CHOPS, porozitatea era de aproximativ 30%, după aplicarea acestei tehnologii, porozitatea a prezentat valori începând de la 36% și până la 45%. Acest fapt favorizează posibilitatea implementării unui proces termic de tipul injecției ciclice de abur, ca și proces terțiar, după producerea sondelor sub efectul energiei primare din zăcământ.

În mod tipic, o sondă echipată în CHOPS inițial va produce cu un procent mai mare de nisip (mai mult de 20% din volumul de lichide). Acesta scade în general către 0,5% – 6% din volumul de fluide după câteva săptămâni sau luni. Sondele sunt de cel puțin 4 ori mai productive în CHOPS, iar vârfuri de debite ale sondelor de $100 \text{ m}^3/\text{zi}$ sunt obișnuite.

A fost de asemenea observată o eficiență crescută asupra producției de țiței, printr-o producție continuă a nisipului împreună cu lichidul extras din zăcământ. În primă fază, producția de nisip poate ajunge la aproximativ 40% din cantitatea totală de lichid extrasă din zăcământ, după care se stabilizează la procente de 2-10%. Debitul de lichid produs poate avea o creștere de 5 până la 10 ori, prin echiparea sondelor cu pompe cu cavități progresive (PCP).

Se mai menționează faptul că, această tehnologie a fost utilizată cu succes la zăcăminte cu impurități de peste 90%. Sondele echipate astfel, pot produce țiței o perioadă cuprinsă între 6 luni și 5 ani.

Pe baza experienței canadiene, s-a propus a se efectua un experiment CHOPS pe un zăcământ din România, pentru care s-au găsit în literatura de specialitate cel puțin două zăcăminte cu proprietăți aproape identice și anume Provost din Canada și Karazhanbasmunai (KBM) din Kazahstan, menționate în tabelul 2.

Diferența majoră a aplicațiilor CHOPS pe zăcămintele din Canada, comparativ cu zăcămintul candidat din România este faptul că, pe acestea nu a fost aplicat un proces de injecție de apă.

Tabelul 2 – Comparații cu zăcămintele analog din Canada și Kazahstan

Zăcămintul	Ad (m)	Grosime (m)	Pi (MPa)	Poro (%)	Perm (mD)	Dens. țiței (kg/m ³)	Sw (%)	Rs (m ³ /m ³)	Vâsc @ 30°C (mPa·s)	F.R. (%)
Zăcămint din România	850	4 - 9	8	30	315	940	36	7 - 13	300 - 450	20
Provost	835	3	5,7	26	802	914	22	7	42	50
KBM	-375	10 - 22	4 - 4,5	30	500	940	31	6 - 8	410 - 455	n.m.

Pentru acest experiment au fost alese 3 sonde noi, comportarea sondelor echipate în CHOPS asumată pentru încercările din România fiind prezentată în figura 1.

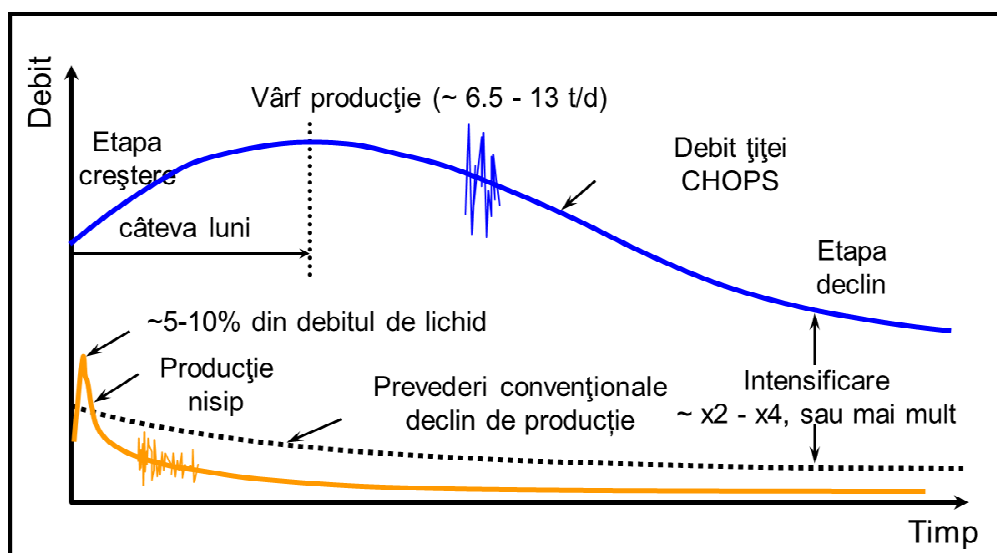


Figura 1 - Comportarea sondelor echipate în CHOPS asumată pentru încercările din România

Una din cele 3 sonde a fost deschisă în Martie 2010 pe un interval de 3 m și a fost echipată CHOPS. Timp de 1 lună a produs aproximativ 30 m³/zi, cu ceva urme țiței, după care s-a luat decizia de a fi echipată în sistemul gravel – packing și repusă în producție.

În Iunie 2010, prin aceasta sondă s-a obținut un debit maxim de 23 m³/zi lichid, 48 % impurități, respectiv 11 t/zi țiței, după care s-a observat un declin al producției. După primul tratament KLA-STOP din Ianuarie 2011, pentru a stabili conținutul în argile, producția de țiței a crescut de la 1 tonă/zi la 3 – 4 tone/zi. După al doilea tratament KLA-STOP din Iulie 2012, producția de țiței a crescut de la 1,3 tone/zi la 4 tone/zi. În Septembrie 2012 s-a raportat o producție de 21 m³/zi lichid, 79% impurități, respectiv 4 tone/zi țiței (figura 2).

Metode noi de mărire a factorului de recuperare aplicabile pe zăcăminte de țiței greu din România

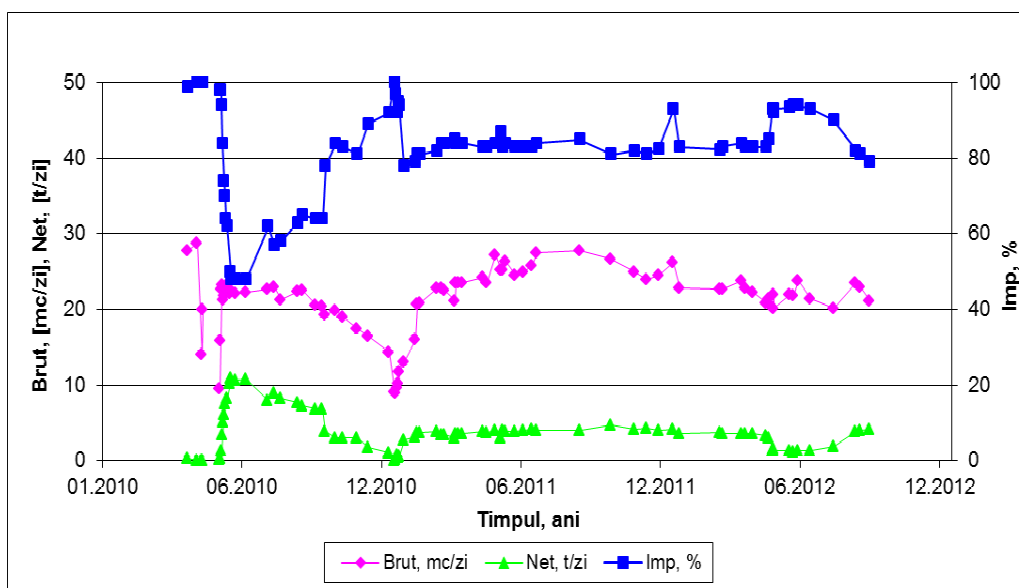


Figura 2 – Rezultate post CHOPS pentru unul din experimente din România

Așa cum se observă din cele prezentate mai sus, debitul de 11 t/zi țiței a fost de aproximativ 3 ori mai mare decât debitele inițiale de 3 – 5 t/zi, debite cu care au intrat în ultimii ani în producție sondele săpate pe acest zăcământ. Acest lucru se consideră a fi în mare măsură efectul modificării porozității și permeabilității în jurul găurii de sondă, ca urmare a producerii sondei pentru o scurtă perioadă în CHOPS. Se mai menționează faptul că, sonda este amplasată într-o zonă care nu a fost afectată de efectul injecției de apă și în care saturația actuală în țițeiul este apropiată de valoarea inițială.

De asemenea, în apropierea acestei sonde, a mai fost săpată o altă sondă, care a produs cu un debit inițial de 16 m³/zi lichid, 56 % impurități, respectiv 6,5 t/zi țiței, probabil tot ca efect al modificării porozității și permeabilității în zona respectivă.

3. METODA INJECȚIEI CICLICE DE ABUR LUÂND ÎN CONSIDERARE PROPRIETĂȚILE ÎMBUNĂȚITE DE CURGERE DIN JURUL SONDELOR CA URMARE A APLICĂRII TEHNOLOGIEI CHOPS

Metoda injectării de fluide fierbinți în sonde este folosită atât pentru stimularea productivității sondelor cât și ca proces de recuperare termică. Introducerea unor fluide fierbinți în sondă, cum ar fi apa caldă sau aburul au dus la rezultate foarte bune în cazul exploatării unor zăcăminte cu țițeiuri grele și foarte vâscoase. Procedul are la bază influența pe care o are temperatura ridicată asupra reducerii vâscozității țițeiului și, prin urmare, creșterea mobilității acestuia la deplasarea spre sondă.

Primul avantaj pe care îl oferă apa și aburul este constituit de capacitatea lor mare de înmagazinare a căldurii, la care în cazul aburului se adăuga posibilitatea de cedare a acesteia către strațele productive, prin procesul de condensare care este izoterm și izobar.

Experimentele și aplicațiile de zăcământ ale injecției de abur au arătat că acest proces de recuperare termică a țițeiului poate fi utilizat cu succes în cazul zăcămintelor care au: adâncimi mai mici de 900 m, țițeiuri cu vâscozitatea (în condiții de zăcământ) egală cu câteva

mii de mPa•s, presiuni mici, grosimi mai mari de 9 m, permeabilități și porozități ridicate. Adâncimile mici și grosimile de strat mari cerute zăcămintelor care candidează la aplicarea injecției de abur sunt determinate de necesitatea limitării pierderilor de căldură în sondă, respectiv în formațiunile care mărginesc inferior și superior stratul productiv.

Recuperarea termică a țițeiului prin injecție ciclică de abur reprezintă un proces de stimulare a productivității sondelor dintr-un zăcământ de țiței relativ vâscos, care prezintă diverse forme ale energiei de zăcământ. În cadrul acestui proces, una și aceeași sondă se folosește atât pentru injecția unei cantități de abur, cât și pentru extracția țițeiului, după ce aburul a cedat stratului căldura latentă de condensare. Astfel se determină scăderea vâscozității țițeiului. Cercetările experimentale au arătat că, toate țițeiurile care au în condiții de zăcământ vâscozități cuprinse între 10^2 și 10^6 mPa•s, prezintă la o temperatură de 93 °C, vâscozități mai mici de 10 mPa•s, fapt ce asigură mobilizarea unor mari cantități de țiței.

Stimularea ciclică cu abur nu necesită existența prealabilă a comunicației dintre sonde, însă prin continuarea ei, se poate ajunge la această comunicație, creându-se astfel condițiile trecerii la un proces de injecție continuă a aburului.

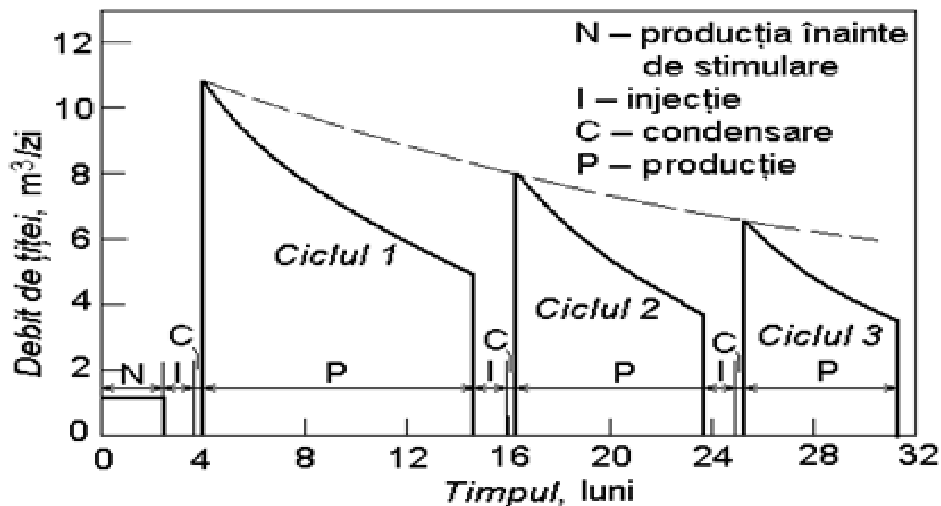


Figura 3 - Variația debitului de țiței extras printr-o sondă stimulată prin injecție ciclică de abur, în cadrul a trei cicluri consecutive [51]

Asa cum se observă în figura 3, injecția ciclică de abur, cunoscută și sub numele de procesul de „înmuieră“ cu abur sau procesul „huff and puff“, este un proces ciclic, fiecare ciclu constând din trei etape și anume:

1. Etapa de injecție a aburului la un debit relativ mare (timp de 2 până la 4 săptămâni);
2. Etapa de condensare sau înmuieră, care constă din menținerea sondei închisă câteva zile, pentru condensarea întregii cantități de abur injectate în strat;
3. Etapa de producție, care începe prin repunerea sondei în producție și se încheie prin trecerea la ciclul următor, în momentul în care debitul sondei a scăzut la o anumită valoare.

Metode noi de mărire a factorului de recuperare aplicabile pe zăcăminte de țiței greu din România

Pentru sonda produsă în CHOPS menționată anterior, s-a realizat proiectarea cazurilor de senzitivitate ale unui proces de injecție ciclică de abur, pentru care s-a folosit simulatorul STARS.

Proiectarea s-a făcut în cazul de bază luând în considerare faptul că stratul productiv nu va fi stimulat termic, respectiv în alte patru cazuri, având în vedere caracteristicile zăcămintului și proprietățile îmbunătățite de curgere în jurul găurii de sondă (porozitate, permeabilitate) după aplicarea tehnologiei CHOPS și luând în considerare faptul că stratul productiv va fi stimulat printr-un proces de injecție ciclică de abur. Rezultatele calculelor sunt prezentate în tabelul 3.

Tabelul 18 – Rezultatele proiectării unui proces injecție ciclică de aburi post CHOPS

Cazul	Cumulativ țiței, mii tone	R.A.T., m ³ /m ³	F.R., %
Cazul de bază	5,826	-	17,2
Cazul 1	7,748	2,426	22,9
Cazul 2	9,079	2,071	26,8
Cazul 3	9,903	1,899	29,2
Cazul 4	11,234	1,674	33,1

R.A.T. – rația abur – țiței

F.R. – factorul de recuperare

Resursa geologică inițială de țiței pe baza căreia au fost estimați factorii de recuperare posibil a fi obținuți pentru fiecare din cazurile mai sus menționate, a fost calculată pe baza parametrilor medii de zăcămint prin metoda volumetrică, folosind ecuația (1), rezultând astfel o valoare de 33,9 mii tone.

Ecuația de calcul a resursei geologice inițiale de țiței prin metoda volumetrică este de forma:

$$N = \frac{Ah \Phi (1 - S_{iw})}{B_{oi}} \quad (1)$$

unde:

N – resursa geologică inițială de țiței, m³

A – aria zăcămintului, ha

h – grosimea efectivă a stratului productiv, m

Φ – porozitatea, fracție

S_{iw} – saturația inițială în apă, fracție

B_{oi} – factorul de volum al țițeiului la presiunea de inițială

Așa cum se observă în tabelul 18, în cazul în care se îmbunătățesc proprietățile de curgere în jurul găurii de sondă (porozitate, permeabilitate, saturație reziduală în țiței), iar

stratul va fi stimulat termic printr-un proces de injecție ciclică de abur, factorul de recuperare ar putea fi îmbunătățit de la o valoare de 17,2% în cazul unei sonde nestimulată termic, până la o valoare de 33,1% în cazul sondei stimulată termic.

4. CONCLUZII

Pentru mărirea eficienței recuperării țițeiurilor grele, s-ar putea utiliza cu succes tehnologia CHOPS, care presupune producerea țițeiului greu împreună cu nisipul din strat.

Luând în considerare faptul că injecția ciclică de abur a avut efect în trecut pe structura pe care s-a efectuat experimentul CHOPS în România, experiment care a avut succes în cel puțin o sondă, s-a încercat estimarea mării eficienței recuperării țițeiului prin stimularea post CHOPS a sondei respective printr-un proces termic de tipul injecției ciclice de abur.

Se specifică faptul că, în literatură se amintește despre posibilitatea de a implementa un proces termic de tipul injecției de abur pe zăcăminte și în sonde pe care s-a aplicat tehnologia CHOPS, ca urmare a îmbunătățirii condițiilor de curgere din jurul sondelor, dar încă nu a fost cuantificat în vreun fel cu cât va fi posibil a fi îmbunătățit factorul de recuperare în acest caz.

Așadar, dacă s-ar implementa pe zăcămintele de țiței greu din România tehnologia CHOPS, urmată de stimularea termică printr-un proces de injecție de abur, cantitatea cumulată de țiței s-ar putea dubla, ceea ce ar aduce și un profit din punct de vedere economic.

Bibliografie

1. **Irimia, M** „Cercetări privind recuperarea țițeiului din zăcăminte de țiței greu cantonate în strate slab consolidate”, Teză de doctorat, Iunie 2013, UPG Ploiești