

**UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI  
FACULTATEA DE INGINERIA PETROLULUI ȘI GAZELOR**

Rezumat

**Teza de Doctorat:**

**Contribuții la îmbunătățirea metodelor și a tehnologiilor de  
exploatare a zăcămintelor mature prin sonde orizontale**

Conducător științific:  
Prof. univ. dr.ing. Iulian Nistor

Doctorand:  
Ing. Serghie Mihalache

2016

## **Introducere**

Lucrarea de față se înscrie în sfera de activitate a exploatării zăcămintelor de petrol aflate în fază matură de operare și existență, caracterizată în primul rând de o energie scăzută de zăcământ, de o desaturare avansată și o stare apreciabilă de uzură a sondelor, a echipamentelor de fund și de suprafață.

Utilizând experiența profesională acumulată, autorul prin expertiza dobândită a ales „candidatul” de referință, cu aspecte și caracteristici comune și cel mai larg răspândit în spațiul geologo-productiv al României.

Lucrarea a fost generic concepută ca un proiect menit să creeze cadrul de manifestare și obiectivul, evaluarea căilor și a mijloacelor necesare atingerii obiectivului, selectarea direcțiilor de acțiune urmată de definirea unei strategii decizionale potrivită obiectului și obiectivului urmărit.

Obiectivele lucrării au fost definirea conceptului de zăcământ matur, identificarea problemelor curente ale exploatării unui astfel de subiect, selectarea tehnologiilor aplicabile, concentrarea spre o metodă general admisă și recomandată pentru creșterea performanțelor exploatării a rezervelor și implicit a eficientizării acesteia.

În ansamblul ei, teza poate fi structurată pe 3 capitole mari.

În primul capitol se definește zăcământul matur, se poziționează ca etapă distinctă în ciclul de viață al unui zăcământ. Este introdus apoi termenul de revitalizare cu concepte și metode de conducere a exploatării zăcămintelor mature. Sunt trecute în revistă apoi metode și tehnologii aplicabile în operarea pe zăcăminte mature, un subcapitol mai larg fiind destinat managementului apei. Sunt menționate de asemenea aspecte ale stimulării sondelor și metode noi de creștere a recuperării.

Al doilea capitol este destinat selectării zăcămintelor „candidat” la aplicarea tehnologiei sondelor orizontale în exploatarea acestora. Se regăsește aici o abordare complexă și completă a criteriilor de selecție a zăcămintelor și a sondelor „candidat”. Aportul prezentei lucrări se concretizează în creerea unei „machete” deosebit de utile în alegerea și calibrarea oricărui zăcământ pe un model geologo-fizic cadru cu proprietăți favorabile aplicării forajului și exploatării cu sonde orizontale.

Ultimul capitol, de altfel și cel mai consistent al temei, se referă la studiul și analiza performanțelor sondelor orizontale. După abordarea teoretică a detaliilor constructive și a geometriei sondelor orizontale, lucrarea tratează performanțele acestora atât prin explicarea regimurilor succesive

de curgere induse de sonda (drena) orizontală cât și a modelelor statice și teoretice general acceptate de practica internațională în estimarea performanțelor.

Preocupările intense în domeniul sondelor orizontale și experiența acumulată au permis focalizarea și dirijarea acestei tehnologii spre aplicarea ei la exploatarea zăcămintelor mature.

Încă din 1998-2003 când România era în faza de pionerat al aplicării acestei tehnologii, ideea implementării acesteia la potențialul important de zăcămintele mature a devenit un scop. Aveam la acea dată greutăți și restricții serioase privind tehnologia de foraj, realizarea geometriei sondei și completarea ei.

În acest context s-a impus cerința implementării sondelor orizontale cu rază mică de curbură, deosebit de eficiente la zăcămintele depletate, exploatate prin sistemul de extracție pompaj care facilita fixarea și menținerea pompei la nivele dinamice coborâte, aducând un aport de productivitate superior sondelor orizontale cu rază medie și mare de curbură.

Tot experiența acumulată a permis o abordare critică și profesională a studiilor de caz pe sonde orizontale săpate în România cu succese și eșecuri.

Ca suport teoretic al deciziei de reabilitare a exploatarea zăcămintelor mature, lucrarea de față pe un model finit, a proiectat o sondă orizontală operabilă într-un mediu geologo-fizic caracterizat de condiții simulate general valabile pentru un zăcământ depletat.

În ipotezele de lucru asumate performanțele curente chiar dacă sunt mult sub cele potențiale, prin analiza de sensibilitate a performanței (a debitului estimat) față de principalele variabile din modele teoretice uzual folosite se oferă un instrument deosebit de util în managementul de rezervor.

Managerul de zăcământ are la dispoziție ghidul teoretic privind oportunitatea unei sonde orizontale și dacă intervenind prin operare asupra unor parametrii, cu cât poate crește performanța. Identifică în același timp parametrii care nu pot influența determinant debitul prognozat într-un domeniu limitat de variație al acestora pe faza terminală de exploatare. Modelul teoretic conceput poate constitui o cheie de decizie și referință pe multe din zăcămintele active din România, atât ca energie, proprietăți, adâncime.

România ofera astăzi un câmp larg de aplicabilitate a tehnologiei atât pentru zăcămintele depletate cu energie redusă de zăcământ cât și pentru zăcămintele puternic "desaturate" de mecanismele naturale sau procese de injecție de apă aplicate la scara extinsă și intensivă. Se recomandă și la zăcămintele cu permeabilitate mică sau foarte mică.

## **1. Zăcăminte mature**

### **1.1. Cum definim un zăcământ matur?**

Conceptul de zăcământ matur ne conduce cel puțin intuitiv, la un zăcământ cu un istoric apreciabil de exploatare, trecut prin toate fazele cunoscute ale vieții unui zăcământ: descoperire, dezvoltare, revitalizare.

- Energetic îl caracterizăm ca un zăcământ depletat în presiune și rezerve.
- După problemele de operare ne confruntăm cu rații mari de apă (procente mari de impurități), cu probleme de nisip sau cruste.
- Facilitățile de suprafață și echipamentele de fund care deserveșc exploatarea sunt vechi, cu grade de uzură avansată, cu siguranță de operare redusă.

Specificăm de la început că lucrarea de față se adresează în special zăcămintelor mature depletate din punct de vedere al energiei, implicit al presiunii de zăcământ.

Multe din zăcămintele operabile în prezent pot devenii neeconomice (marginale) din cauza unor neconformități de management, evoluții nefavorabile ale cotațiilor țițeiului, sau din lipsa unor resurse financiare solide care să permită aplicarea de noi tehnologii.

În România nu este reglementat cadrul legal pentru revitalizarea zăcămintelor mature în beneficiul reciproc al statului și al operatorului.

În ciclul de viață al unui zăcămant se pot delimita trei etape:

1. Perioada (etapa) de dezvoltare cu derularea investițiilor necesare infrastructurii, săpării și completării gabaritului de exploatare și asumarea riscului în procesul de asigurare a investițiilor. Se poate vorbi aici de o analiză macro asupra sistemului.
2. Perioada operatională în care are loc valorificarea rezervelor definite, optimizarea exploatarei și eficientizarea proceselor.
3. Perioada de maturizare a zăcământului când strategiile sunt duse la nivel de microsistem cu înțelegerea și confirmarea mecanismelor de dezlocuire, a simulării unor scenarii de creștere a recuperării și se derulează un proces intens de management al costurilor (OPEX Management).

Strategia de revitalizare presupune o etapa preliminară (Tranzitie) de analiză, calibrare și selectare a celor mai potrivite direcții și tehnologii de implementare.

## Dezvoltarea zăcămintelor mature<sup>1</sup>

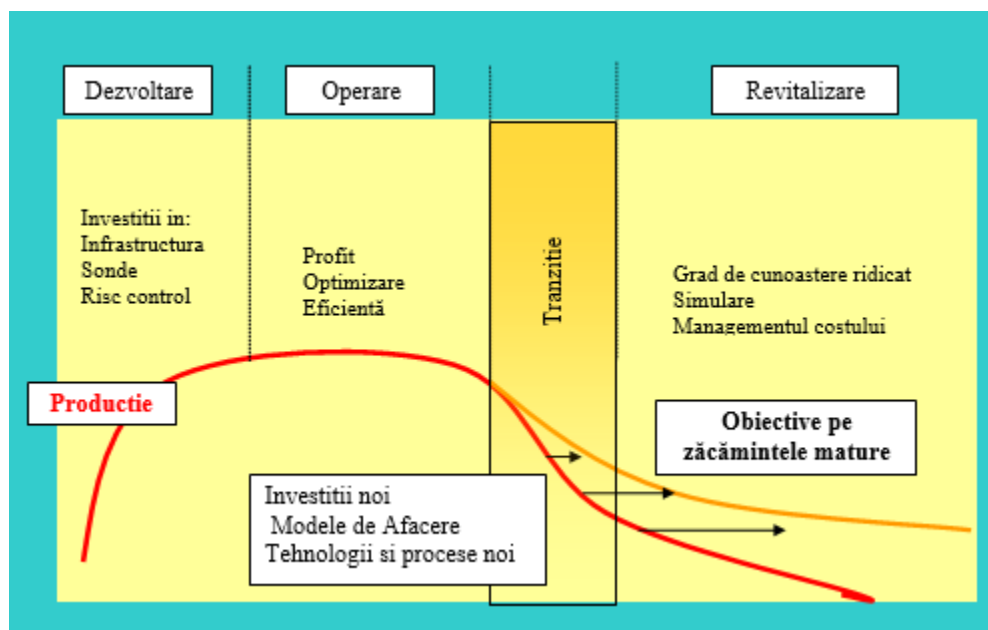


Fig. 1 Dezvoltarea zăcămintelor mature [1]

După energia care contribuie la recuperarea fazelor prezente, cele trei stadii ale dezvoltării unui zăcământ pot fi clasificate astfel:

- Recuperarea primară (regim natural)
- Recuperarea secundară
- Recuperarea terțiară

### 1.2. Conceptul de revitalizare

Conceptul de revitalizare este un proces ciclic care se poate grefa în etapele existenței unui zăcământ atât în faza de dezvoltare dar mai ales și în faza de producție [1].

Revitalizarea zăcămintelor aplicată în faza zăcământului matur poate fi înțeleasă ca o intensificare a exploatării (bucla superioară) sau ca o extindere a acumulării definite în faza de explorare (bucla inferioară) Fig.2.

Prima alternativă constă în valorificarea în special a rezervelor nedevelopate (prin aplicarea de procese de recuperare secundare sau terțiare, sau tehnologii avansate ca forajul orizontal, multidrene, etc).

A doua alternativă urmărește extinderea și valorificarea arealului productiv atât spre orizonturile mai adânci cât și în potențiale conexiuni laterale.

<sup>1</sup> „Shifting Paradigm în Managing Mature Oil Fields”- Salis, Aprilian/ sept.2006

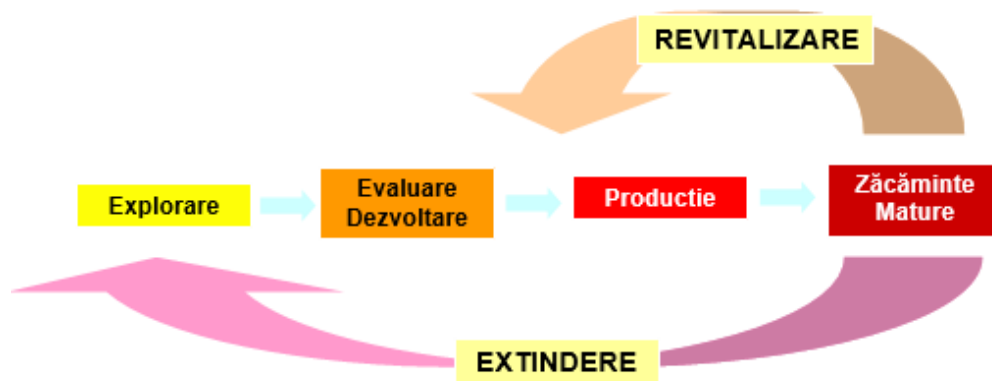


Fig.2 Conceptul revitalizării zăcămintelor [1]

Sunt utilizate pe scară largă metode geofizice avansate de investigare seismică sau investigații geofizice de sondă.

**Obiectivele** revitalizării zăcămintelor constau în *maximizarea recuperării petrolului* și în *minimizarea riscului* exploatării. Decizia de a interveni în aceasta fază de maturitate a exploatării este susținută și de un grad mai mare de cunoaștere al zăcămintelor din punct de vedere geologic, energetic, productiv sau al costurilor de producție.

### 1.3. Metode și Tehnici de exploatare a zăcămintelor mature

Strategia exploatării zăcămintelor mature trebuie să cuprindă un plan de analiză cu obiective clare în identificarea rezervelor adiționale și un plan de dezvoltare în scopul valorificării acestor rezerve. Distigem două direcții:

#### Directii de Analiza

- Exploatarea rezervelor adiționale din sondele existente
- Determinarea potențialului de creștere a rezervelor

#### Directii de Actiune

- Dezvoltarea exploatării zăcămintelor
  - Metoda de indesire
  - Consideratii asupra injectiei de apa
  - Managementul apei
  - Stimularea
  - Îndesirea gabaritului de exploatare cu suport de injecție polymeri
  - Injectia ciclică de CO<sub>2</sub> „Huff 'n' Puff”

În funcție de doi din cei mai importanți parametri (adâncimea și viscozitatea țiteiului) în selectarea zăcămintelor pentru tehnici și tehnologii de creștere a recuperării se poate tine seama orientativ de domeniile de aplicare și valabilitate a metodelor indicate în Fig. 3.

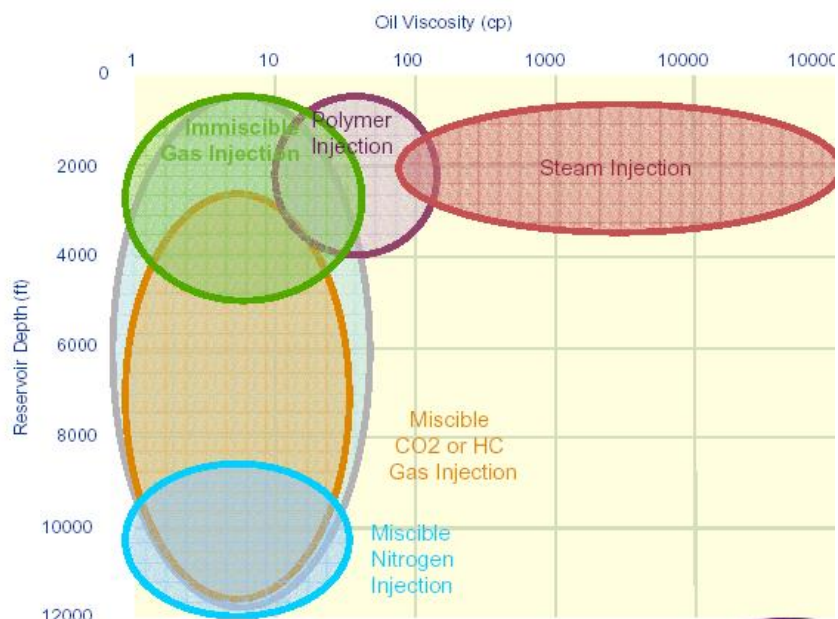
Pentru zăcămintele acumulate până la 1500 m și viscozități ale țiteiului de până la 50 cP cele mai indicate metode sunt injectia nemiscibilă de gaze incluzând și injectia de CO<sub>2</sub>.

Pentru adâncimi mai mari de 1500 m dar nedepășind 3500 m se pot aplica și procese miscibile de injecție de gaze (CO<sub>2</sub>, hidrocarburi C<sub>2</sub>...C<sub>3</sub>, gaze). Până la adâncimi de 4000 m pot fi experimentate și injecție miscibilă de gaze inerte de tipul azotului, N<sub>2</sub>.

Pentru zăcămintele de mică adâncime (<1500 m) dar viscozități medii cuprinse între 10 și 200 cP zăcămintele sunt favorabile experimentării unor procese de deslocuire pe baza de soluții cu polimeri.

Toate zăcămintele cu viscozități mai mari de 100 cP dar situate la mică până la medie adâncime (<1500m) pot fi candidați buni pentru procese termice de recuperare.

### Tehnici de creșterea recuperării zăcămintelor de țitei<sup>2</sup>



**Fig.3** Tehnici de creștere a recuperării țiteiului

<sup>2</sup> SPE 100044, "Screening Criteria for Carbon Dioxide Huff 'n' Puff Operations," by L. Mohammed-Singh, SPE, Petrotrin, and A.K. Singhal, SPE, and S. Sim, - 2006 SPE/DOE Symposium on Improved Oil Recovery, Tulsa, 22-26 April.

## **2. Tehnologia sondelor orizontale. Criterii de selectare a zăcămintelor candidate la exploatarea cu sonde orizontale**

Un al doilea capitol al tezei este dedicat definiției tehnologiei sondelor orizontale și a criteriilor de selectare a zăcămintelor candidate la exploatarea cu sonde orizontale.

**Parametrii cheie** în analiza și planificarea cu succes a unei sonde orizontale includ:

- Intensitatea și direcția fisurilor (pentru recuperare primară este indicat plasarea sondei perpendicular pe direcția fisurilor în timp ce pentru procese de dezlocuire ar fi indicată poziționarea paralel cu direcția fisurilor);
- Grosimea efectivă a rezervorului și a zonelor învecinate;
- Permeabilitate efectivă pe direcție orizontală și verticală;
- Gradul de contaminare al formației și necesitatea reducerii/ eliminării ei;
- Controlul geologiei în zona de interes;
- Presiunile de zăcământ și dinamice de fund;
- Costul forajului și completării;
- Diametrul gaurii de sonda și geometria traiectului;
- Gradul de încredere al simulării și factorul de risc estimat.

În evaluarea impactului tehnologiei exploatarea cu sonde orizontale este important să înțelegem trei lucruri. Primul ar fi că o sondă orizontală îmbunătățește considerabil gradul de deschidere al zăcământului, apoi exploatarea cu sonde orizontale trebuie înțeleasă ca o dezvoltare a exploatarea și în plan secund ca o tehnologie îmbunătățită de foraj, iar al treilea motiv dar nu și ultimul ar fi că majoritatea companiilor o folosesc la scară largă, întrebarea firească "*Când, Unde și Cum o vom utiliza și noi la scara extinsă?*"

Întrebarea imediată poate fi: "*De ce sonde orizontale?*"

Practica internațională și rezultatele aplicării tehnologiei au demonstrat că:

- Sondele orizontale pot valorifica rezerve nedrenate de sondele verticale;
- Se pot produce rezerve ne-economice în sonde verticale;
- Prin exploatarea cu sonde orizontale se asigură o utilizare mai eficientă a energiei de zăcământ;
- Sunt generate beneficii și rate mai mari ale profitului decât prin exploatarea cu sonde verticale.

Succesul unei sonde orizontale presupune asigurarea îndeplinirii unor obiective cheie:

- *Unde săpăm?* – Aspectul primordial este cel geologic legat de modelul structural și stratigrafic
- *De ce săpăm?* – Răspunsul este completat de zăcământ și energia lui.



- *Ce urmărim ?* – Maximizarea rezervei în acord cu conceptul managementului de zăcământ.
- *Cum săpăm ?* – Elementele de bază sunt calitatea proiectului, a tehnologiei forajului și completării sondei.

Capitolul 2 a fost structurat pe trei secțiuni:

- Generalități și abordarea teoretică asupra tehnologiei forajului orizontal și a exploatării zăcămintelor cu sonde orizontale.
- Criterii de selectare a zăcămintelor candidat la exploatarea cu sonde orizontale. Proiecte din Romania și plan mondial - performante, eșecuri, cauze.
- Posibilități de creștere a rezervelor zăcămintelor mature. Rezerve comparative exploatare clasică cu sonde verticale – exploatare cu sonde orizontale. Performanțe estimate privind controlul apei/gazelor în zăcămintele de țitei cu cupole de gaze sau acvifer activ utilizând exploatarea cu sonde orizontale.

În cele ce urmează ne vom opri la criteriile de selectare a zăcămintelor candidat.

### **2.1. Criterii de selectare a zăcămintelor candidat**

Selectarea unui zăcământ pentru exploatarea cu sonde orizontale este rezultatul analizei individuale și de sistem a aspectelor de ordin geologic, energetic, economic și chiar topografic care conduc la decizia aplicării tehnologiei.

**Parametrii cheie** în analiza și planificarea cu succes a unei sonde orizontale includ:

- Intensitatea și direcția fisurilor (pentru recuperare primară este indicat plasarea sondei perpendicular pe direcția fisurilor în timp ce pentru procese de dezlocuire ar fi indicată poziționarea paralel cu direcția fisurilor);
- Grosimea efectivă a rezervorului și a zonelor învecinate;
- Permeabilitate efectivă pe direcție orizontală  $k_H$  și verticală  $k_V$  ;
- Gradul de contaminare al formației și necesitatea reducerii/ eliminării ei;
- Controlul geologiei în zona de interes;
- Presiunile de zăcământ și dinamice de fund;
- Costul forajului și completării;
- Diametrul găurii de sondă și geometria traiectului;
- Gradul de încredere al simulării și factorul de risc estimat.

Sunt evidente o serie de aspecte de care trebuie să se țină seama în selectarea zăcămintelor și anume: istoric și statistic raportul producției sonde orizontale/verticale este de 3.9 pentru zăcăminte carbonatate și 2.8 pentru roci sedimentare. Comparativ din punct de vedere al costului o sonda orizontala implica o investitie de cca 2.2 ori mai mare decat una clasica verticala în roci sedimentare și de numai 1.8 în roci carbonatate dat fiind costul redus al completării.[11].

### **2.1.1. Aspectul geologo-fizic**

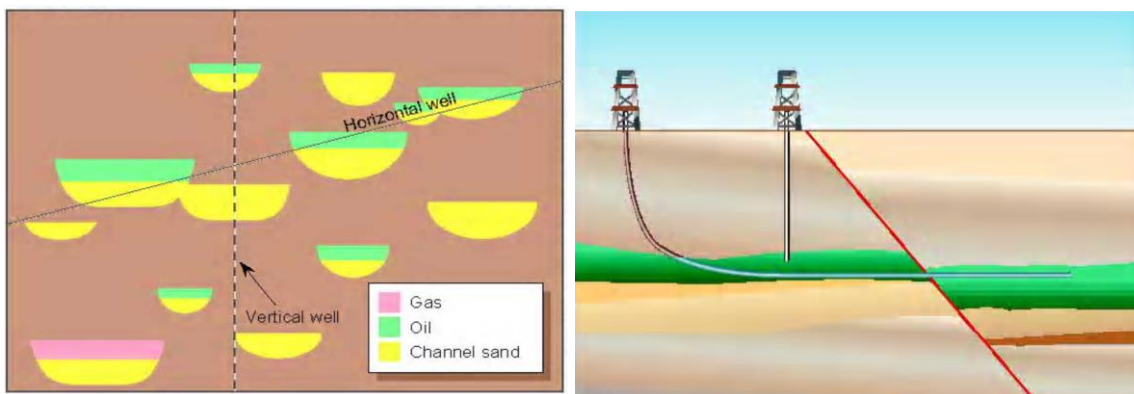
Modelului geologic i se impune să indice unde și în care direcție trebuie săpata sonda. Practica sondelor verticale implica un grad rezonabil de cunoaștere cu o resursa volumetrica estimata, diagrame de sonda cu intervale testate și confirmate. Sonda orizontala solicita în plus cunoașterea dezvoltării areale a orizontului testat clasic. Geologic cele mai importante elemente în proiectarea și orientarea sondei orizontale sunt mediul depozitional (stratigrafia), tectonica zăcământului și stabilitatea gaurii de sonda (descrierea litologica).

Criteriile geologo-fizice pot fi grupate în patru grupe, funcție de aspectul litologic, morfologia zăcământului, capacitatea de înmagazinare/curgere și tipul de fluide continute.

i) Dupa litologie candidați buni pot fi zăcămintele cantonate în *formațiuni carbonatate* fisurate natural. Cel mai faimos zăcământ pe plan mondial s-a impus a fi Cretacul superior din formațiunea Austin Chalk –Texas USA. În România cei mai buni candidați din grupa zăcăminte carbonatate fisurate pot fi: Albianul, Neocomianul sau Paleozoicul din Platforma Moesica, Paleozoicul din Podisul Moldovei, Miocenul din Depresiunea Pannonica) sau formațiuni cu roci metamorfice (Fundamentul fisurat și alterat din bazinul Pannonic).

Chiar dacă în proporție mai mică, zăcămintele constituite din *roci clastice* (sedimentare) s-au impus pe segmentul rămas ca excelenți candidați pentru forajul orizontal. Referitor la România tot legat de litologie mai putem include aici zăcămintele cantonate în formațiuni cu grad de consolidare redus (Ex : Burdigalianul din Depresiunea Getica, Pliocenul din Promontoriul Nord Dobrogean, Meotianul și Sarmatianul din Depresiunea Getica și Platforma Moesica)..

ii) Dupa aspectul structural și stratigrafic candidați buni pot fi atât zăcămintele stratiforme cu grosime și înclinare mică cât și zăcămintele masive. În plus candidați excelenți pentru creșteri de rezerve se dovedesc a fi zăcămintele lentiliforme sau recifale precum și cele compartimentate tectonic din cadrul unor formațiuni geologice importante cum ar fi Oligocenul și Burdigalianul din Depresiunea Getica sau Triasicul din Platforma Moesica. (Fig 4).



**Fig.4** Aspectul structural și stratigrafic Sursa: Schlumberger Horizontal Highlight no.16/1995

iii) După capacitatea de înmagazinare și curgere tehnologia exploatarei cu sonde orizontale poate fi aplicată la zăcămintele cu permeabilitate redusă (Ex: Oligocenul și Eocenul din zona flișului Carpatilor Orientali, Badenianul din Depresiunea Pannonica) dar și la zăcămintele cu permeabilitate mare și foarte mare, vezi zăcămintele de gaz-condensat din (Burdigalianul, Sarmatianul din Depresiunea Getica, Doggerul din platforma Moesica).

iv) Dupa starea de saturatie și distributia initiala/ curenta a fazelor Adâncimea contactelor între faze și poziția lor relativă față de planul proiectat al sondei este esențială pentru durata productivă estimată a sondei. Este determinantă cunoașterea distribuției fazelor în zăcămintele și a contactelor curente pentru a ști unde trebuie poziționat planul drenei orizontale. Modelul de zăcămintele cu cupolă de gaze sau acvifer activ va dicta strategia de drenaj dorită și plasarea drenei în funcție de aportul energetic așteptat.

### 2.1.2. Aspectul energiei de zăcămintele

Energia de zăcămintele, tipul rezervorului și mecanismul de dezlocuire manifestat în timpul exploatarei sunt elemente importante în decizia exploatarei cu sonde orizontale.

v) Presiunea de zăcămintele, geometria curgerii, caracteristicile petro-fizice ale rocii și fluidelor de zăcămintele, construcția sondei și gradul de blocaj al formației sunt elementele care determină productivitatea sondei verticale.

vi) Nivelul dinamic în sonde trebuie să fie suficient de ridicat astfel încât o echipare viitoare a sondei în pompaj să permită fixarea pompei cât mai jos pe traiectul vertical. Nivelul dinamic în sonde a constituit o problemă dificilă cu care ne-am confruntat în proiectarea sondelor orizontale pe zăcămintele

depletate sau cu permeabilități absolute mici (Ex: formațiunea Tranziție din Oligocenul structurii Nineasa Sud sau Eocenul de la Păcurița).

### **2.1.3. Strategia de drenaj**

Sondele orizontale pot deveni instrumente eficiente în diverse stadii ale exploatarei zăcămintelor cu aport energetic (injecție de apă) procese termice de dezlocuire (injecție de abur, combustie). Scheme uzuale de exploatare sunt utilizate la injectia de apă prin realizarea de șiruri succesive de sonde de injecție și de reacție compuse din sonde orizontale, dispunere care îmbunătățește considerabil eficiența drenării, sau sonde plasate în același plan vertical (Ex-injecția de abur SAGD).

### **2.1.4. Aspectul topografic**

Privită sub aspectul topografic exploatarea zăcămintelor poate să întâlnească restricții de ordin geologic sau geografic care limitează dezvoltarea exploatării. Sondele orizontale pot exploata zone din zăcăminte aflate sub diapire de sare, zone de zăcăminte intens faliat sau pot exploata zone marginale ale zăcămintelor neexploatate eficient în sistem clasic cu sonde verticale. Sondele orizontale pot rezolva restricții de ordin geografic la exploatarea zăcămintelor, cum ar fi: localități, lacuri, aeroporturi, păduri etc.

### **2.1.5. Macheta de selectare (Fisa de zăcământ)**

Macheta (Tabelul 1) evaluează toate elementele legate de condițiile de zăcământ și tipul acestuia, caracteristicile geologo-fizice ale rocii și fluidelor, presiunile de zăcământ și starea de saturatie, mărimea resursei, rezerva estimată rămasă de extras, stadiul exploatarei, performanțele productive curente.

Tabelul 1 prezintă și domeniul de valori recomandabile și intervalul recomandat selectării zăcământului pentru exploatarea cu sonde orizontale.

Macheta a avut ca sursă o bază de date elaborată de o echipă multidisciplinară din cadrul I.C.P.T Câmpina care a adunat date de referință de la peste 800 zăcăminte de țiței și gaze din România.

În calitate de Director program sonde orizontale, autorul, a grupat principalii indicatori geologo-productivi cu impact în selectarea zăcămintelor candidat și domeniul de încredere al acestora, pentru aplicarea tehnologiei de exploatare cu sonde orizontale.

**MACHETA (FISA) DE ZĂCĂMÂNT**

Tabelul 1

**Date necesare analizei și selectării zăcămintelor pentru exploatarea cu sonde orizontale**

Specificatie parametru (u.m.)	Valori recomandabile	Zăcămintul Admis/Respins
Adancime medie (m)	500 – 3 500	
Conditii initiale de zăcământ		
-Presiune initiala, pi (at)	Fara restrictie	
-Temperatura de zăcământ, (°C)	< 120	
Suprafata de drenaj, (ha)	> 10	
Grosime medie rezervor (orizont) / minim-maxim (m)	6 - 200	
Roca rezervor		
- litologie (preferabil)	Formatiune consolidata	
- porozitate (preferabil porozitate duala)	>7-8%	
- permeabilitate absoluta (mD)	Kv > 0.5 (+ fisurat)	
Sistem roca-fluide		
- saturatie initiala in apa, Swi%	< 40	
- saturatie actuala in țitei, Soi%	> 50	
Proprietati fizice fluide		
- presiune de saturatie (roua), at	Fara restrictie	
- ratie de soluție, (Sm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Fara restrictie	
- factor volum țitei	Fara restrictie	
- vascozitate in conditii de zăcământ, cP	< 10 000	
- greutate specifica, kgf/dmc		
Resursa geologica* (mii to/ Mil.Smc)	> 200 / 100	
Extras cumulat (mii to/ Mil.Smc)		
Rezerva de extras (mii to/ Mil.Smc)	>50 / 50	
Date actuale de productie		
-Debit net mediu pe sonda verticala (t/zi)	> 0.5	
- Debit brut mediu pe sonda (mc/zi)		
- Impuritati (%)	< 80	
-Ratie Gaze Țitei (RGT) (Smc/mc)	Recomandabil < 2500	
Presiune actuala (MPa)	> 5 pt raza medie > 3 pt raza mica	

la Unitatea hidrodinamica (blocul) considerata

Erau la data întocmirii machetei restricții induse de temperatura de zăcământ cu impact în siguranța echipamentului de fund. Deasemenea ca la orice tehnologie gradul de saturare în țitei trebuie să fie atractiv ( $St > 50\%$ ). Un element cu impact major este raportul permeabilitatilor  $k_v/k_h > 0.5$ .

În cadrul Capitolului 3 au fost tratate aspectele constructive ale sondelor orizontale, metodele analitice de estimare a performanțelor în exploatare și ipotezele lor de lucru, practica săpării sondelor orizontale în România și în lume cu performante obtinute sau deziluzii (esecuri).

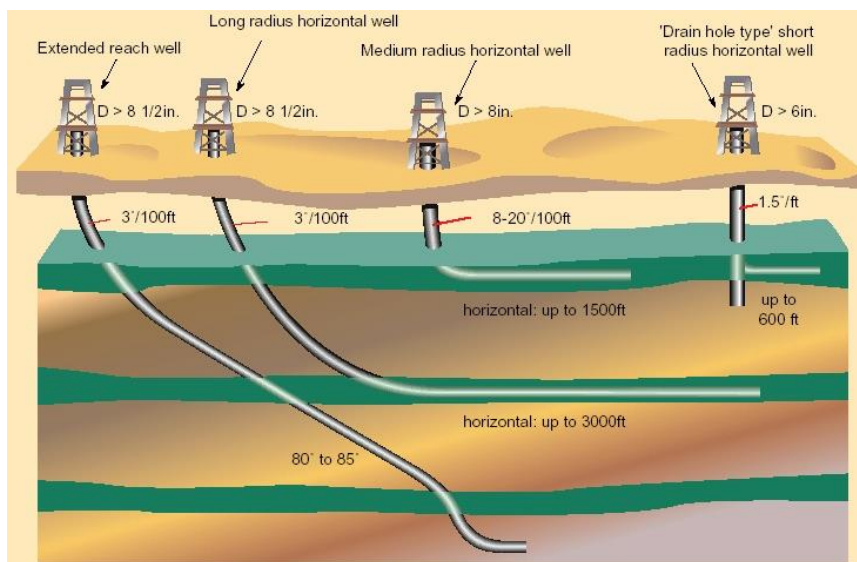
### 3. Performanțele sondelor orizontale, studii de caz cu succese, probleme și eșecuri în exploatare

#### 3.1. Tipuri de sonde orizontale după raza de curbură

Tehnologia de realizare a acestor sonde a evoluat odată cu practica, experiența și cerințele impuse de proiecte.

În cele ce urmează vom face o scurtă prezentare cu elementele geometrice ale fiecărui tip de sondă (Fig.5) și domeniile de aplicabilitate a lor [16].

- Sonde orizontale cu rază mare** descriu arce cu raze de curbură ( $r_c$ ) de 1000-2500 ft (300-800m) cu un ritm de realizare de  $6^0/30$  m.
- Sonde orizontale cu rază medie** Sondele cu rază medie descriu arce de 200 la 1000 ft (61 la 304 m) cu o tendință de realizare a unghiului de curbură de  $8-30^0/30$  m.  
Sondele săpate în România au folosit în general tehnologia forajului orizontal cu rază medie.
- Sonde orizontale cu rază scurtă** – sunt caracterizate de  $r_c$  de 1-12 m, cu ritm de realizare a unghiurilor de curbură de cca  $3^0/0.3$  m sapați. Sondele orizontale cu rază scurtă au largă aplicabilitate în proiectele de “re-entry” din sonde verticale existente.



Sursa: Schlumberger *Horizontal Highlight* no.16/1995

**Fig. 5** Clasificarea sondelor orizontale după rază de curbură

#### 3.2. Performanțele sondei orizontale

În scopul estimării performanțelor unei sonde orizontale în cadrul acestui sistem probabilistic proiectantul trebuie să aibă capacitatea să:

- Descrie fiecare zăcământ, sonda (geometrie, distributia de permeabilitate și porozitate, profil, schema constructiva).
- Modeleze curgerea monofazica sau multifazica în sistemul poros de cele mai multe ori neomogen.
- Descrie corect proprietatile fizico-chimice ale fluidelor sau sistemelor multifazice din zăcământ ca și proprietatile fluidelor ce sunt injectate în zăcământ.
- Exprime modificările proprietatilor fluidelor ca urmare a schimbarii conditiilor de zăcământ (presiune și temperatura)- PVT model.
- Modeleze influxul de fluide în sonde ca rezultat a căderii de presiune de-alungul gaurii de sonda.
- Să specifice condițiile inițiale (saturație și presiune) precum și condițiile la limită (influx de apă) pentru fiecare zăcământ.

Modele cu diverse grade de complexitate pot fi valabile sau posibile. Însa gradul de complexitate trebuie sa fie corelat cu: Resursele disponibile, informațiile valabile și obiectivele urmărite

Concluzia desprinsă în urma acestor considerații teoretice ne conduce către un câmp de analiză care include importante surse de incertitudine implicate în estimarea performanțelor sondelor orizontale.

### **3.3. Proiectarea performanțelor unei sonde orizontale. Modele analitice**

Diverse metode pentru estimarea indicilor de productivitate în regim stationar de curgere au fost propuse. Mai toate metodele folosite pana acum recurg la ipoteze și simplificări geometria curgerii, condițiile initiale și condițiile la limita. Lucrarea de față a folosit cele mai utilizate modele analitice existente pe piață pentru determinarea performanțelor sondelor orizontale, respectiv modelul Joshi si Babu Odeh.

#### **3.3.1. Modelul Joshi**

În 1992 în urma studiilor aprofundate privind productivitatea sondelor orizontale, Mutalik și Joshi [30] au propus în condițiile admiterii următoarelor ipoteze simplificatoare:

- Element geometric circular cu curgere radială;
- Presiune constantă la limita rezervorului;
- Fără alimentare (curgere) din culcusul sau acoperișul elementului de analiză;
- Presiune dinamică de fund constantă,

următoarea expresie analitică pentru determinarea Indicelui de Productivitate al unei sonde orizontale:

$$\frac{q}{\bar{p} - p_{wf}} = \frac{k_h h}{141.2 B \mu \left[ \ln \left( \frac{a + \sqrt{a^2 - L^2/4}}{L/2} \right) + \frac{I_{ani} h}{L} \ln \left( \frac{I_{ani} h}{r_w [I_{ani} + 1]} \right) \right]}$$

$$I_{ani} = \sqrt{\frac{k_h}{k_v}}, \quad a = \frac{L}{2} \left( 0.5 + \sqrt{0.25 + \left( \frac{16 r_e^4}{L^4} \right)} \right)^{1/2}, \quad \frac{L}{2} < 0.9 r_e$$

Unde:

$k_h$  = permeabilitate orizontala (mD);

$h$  = grosime efectiva (ft)

$\Delta p = p - p_{wf}$  cadere de presiune strat sonda (psi);

$\mu_o$  = vascozitate țiteiului (cP);

$B$  = factorul de volum al țiteiului;

$a = (L/2) \{ 0.5 + [ 0.25 + (2 r_{eh} / L)^4 ]^{0.5} \}$

$r_{eh}$  = rază de drenaj echivalenta pentru sonda orizontala (ft);

$L$  = lungimea sondei orizontale, ft;

$I_{ani}$  = indicele de anizotropie;

$r_w$  = rază sondei, ft.

Mai poate fi notat că ecuatia este valabilă numai pentru curgere monofazică și utilizând o singură valoare de intrare pentru fiecare parametru inclus.

### 3.3.2. Modelul Babu-Odeh

În 1989 Babu D.K. și Odeh A.S. [31] propun o soluție analitică pentru estimarea productivității unei sonde orizontale considerand solutia unui flux uniform exprimată de următoarea ecuație:

$$q = \frac{7.08 \cdot 10^{-3} b \sqrt{k_x k_z} (\bar{p}_r - p_{wf})}{B \mu \left[ \ln \left( \frac{A^{1/2}}{r_w} \right) + \ln (C_H) - 0.75 + S_R \right]} \quad (1)$$

Unde:

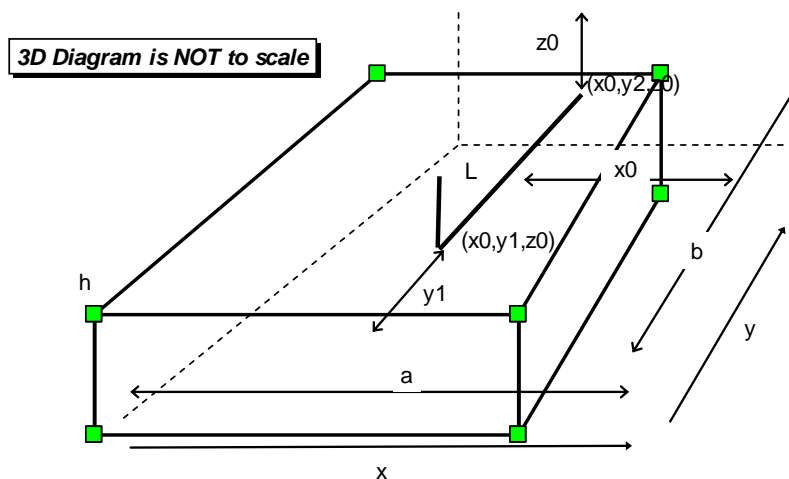
$$\ln(C_H) = 6.28 \frac{a}{h} \sqrt{\frac{k_z}{k_x}} \left[ \frac{1}{3} - \frac{x_0}{a} + \left( \frac{x_0}{a} \right)^2 \right] \quad (2)$$

$$- \ln \sin \left[ \frac{180^\circ z_0}{h} \right] - 0.5 \ln \left[ \frac{a}{h} \sqrt{\frac{k_z}{k_x}} \right] - 1.088$$



Soluția analitică propusă de Babu și Odeh are la bază următoarele ipoteze:

- Zăcămintul de formă rectangulară, cu elementele geometrice și cotele de gabarit (Fig.6)
- Fără aflux (alimentari) din exteriorul elementului de calcul.
- Debit constant de curgere.



**Fig.6** Cote de gabarit a elementului 3D

Notatii:

$a$  = cota de gabarit a drenajului lateral perpendicular pe traiectul orizontal al sondei, m (ft);

$b$  = cota de gabarit a drenajului longitudinal de-alungul traiectului, m (ft);

$A$  = aria suprafeței de drenaj,  $m^2$  (acres);

$L$  = lungimea drenei în secțiune orizontală, m (ft);

$y_1$  = distanța de la "heel point" până la planul limita perpendicular pe traiect;

$x_0$  = distanța de la axul traiectului sondei la planul apropiat paralel cu axa sondei;

$z_0$  = distanța de la azul sondei la planul corespunzător "topului" formației;

### 3.4. Experiența sondelor orizontale în România

În România tehnologia forării sondelor orizontale sau cu inclinare mare a fost inițiată din 1990-1992 cu sondele offshore din Marea Neagră. În 1993 a fost gândit un prim program de dezvoltare a tehnologiei, program materializat cu proiectarea primelor sonde orizontale pe structuri/zăcămintele

selectate ca fiind candidați potențiali pentru aplicarea ei (structurile Blejesti-Cretacic, Moinesti Oras-Oligocen, Bacea-Cretacic). Rezultatele primei campanii nu au fost favorabile.

Sonda de la Blejesti, 1994, desi a atins obiectivul proiectat a întâmpinat serioase probleme legate de dirijarea traiectului, controlul sistemului de circulație, pierderi masive de circulație pe zona de realizare a razei de curbura.

Cu pierderi de circulație s-au confruntat și proiectanți împreună cu operatorii de foraj ai sondei orizontale #02# Moinesti Oras. Modelul geologic deosebit de complicat al zonei, neuniformitatea complexului Kliwa, precum și pierderile masive de noroi înregistrate în timpul sapării tronsonului curbiliniu au fost principalii factori responsabili de eșecul sondei.

Rezultate remarcabile apropiate de performanțele proiectate s-au obținut la Bacea la obiectivul Cretacic orizontul II la o adâncime de cca 1350 m. Debitele nete inițiale au fost cuprinse între 15- 22 t/zi, în condițiile în care cel mai bun debit al unei sonde verticale era de cca 5 t/zi.

Tehnologia săpării sondelor orizontale revine ca o direcție prioritară în anul 2000, după succesele dobândite cu saparea și completarea sondelor orizontale din cretacicul structurilor Lebada Est și Vest din Marea Neagră.

Au urmat alte două succese remarcabile odată cu saparea sondelor Brăgareasa O\$1 și Runcu O&.

Un prim rezultat (1997) care a stimulat programul de sonde orizontale a fost sonda *Brăgareasa O\$1*, proiectată pentru zăcămintul Neocomian [24], un calcar fisurat bine individualizat pe diagramele electrice având o grosime de 6-10 m. Proiectată cu o lungime a traiectului orizontal de 500 m, cu obiectiv geologic de a controla și falia de pe flacul sudic al structurii, sonda a fost un succes pornind cu un debit inițial de țigăi de cca. 270 tone/zi.

Un al doilea rezultat remarcabil a fost adus de sonda orizontală *Runcu O&* 1998 [25]. Sonda a fost proiectată să producă din complexul kliwa C<sub>3</sub>. Proiectată cu o lungime L, de 500 m într-un bloc cu debite medii ale sondelor cuprinse între 4-14 t/zi, sonda a intrat în producție cu un debit inițial de cca.180 t/zi.

În anul 2000 a fost inițiat un nou program de aplicare, dezvoltare a tehnologiei exploatarei zăcămintelor cu sonde orizontale.

Principalele direcții de acțiune au fost:

- Zăcămintele fisurate: atractive din punct de vedere al completării, al productivității și al arhitecturii sistemului fisural;

- Zăcăminte compacte cu productivitate redusă din cauza formațiunilor cu permeabilitate foarte mică;
- Zăcăminte cu strate laminare (grosimi efective foarte mici) identificate cu zone nedrenate dar neeconomic a fi dezvoltate cu sonde verticale.
- Zăcăminte caracterizate de o mare neomogenitate, cu capcane stratigrafice sau lentiliforme.
- Zăcăminte depletate la care metoda de indesire folosind sonde orizontale pot aduce creșteri ale rezervelor de hidrocarburi.

Programul derulat pe doi ani (2000-2002) a continuat selectarea celor mai buni candidați pe criteriile enunțate mai sus, a actualizat tehnologiile aplicate curent în forajul și exploatarea cu sonde orizontale și a întocmit un program pe termen scurt -mediu de extindere a tehnologiei.

Analiza tehnico-economică comparativă a performanțelor estimate după valoarea razei de curbură a sondelor orizontale (rază medie sau mică) este un instrument util în negocierea realizării sondei cu rază mică în regim de service.

### **3.5. Studiu de caz - "Influența razei de curbură asupra performanțelor sondelor orizontale în zăcăminte depletate" - Zăcământul Oligocen Câmpina Drăgăneasa**

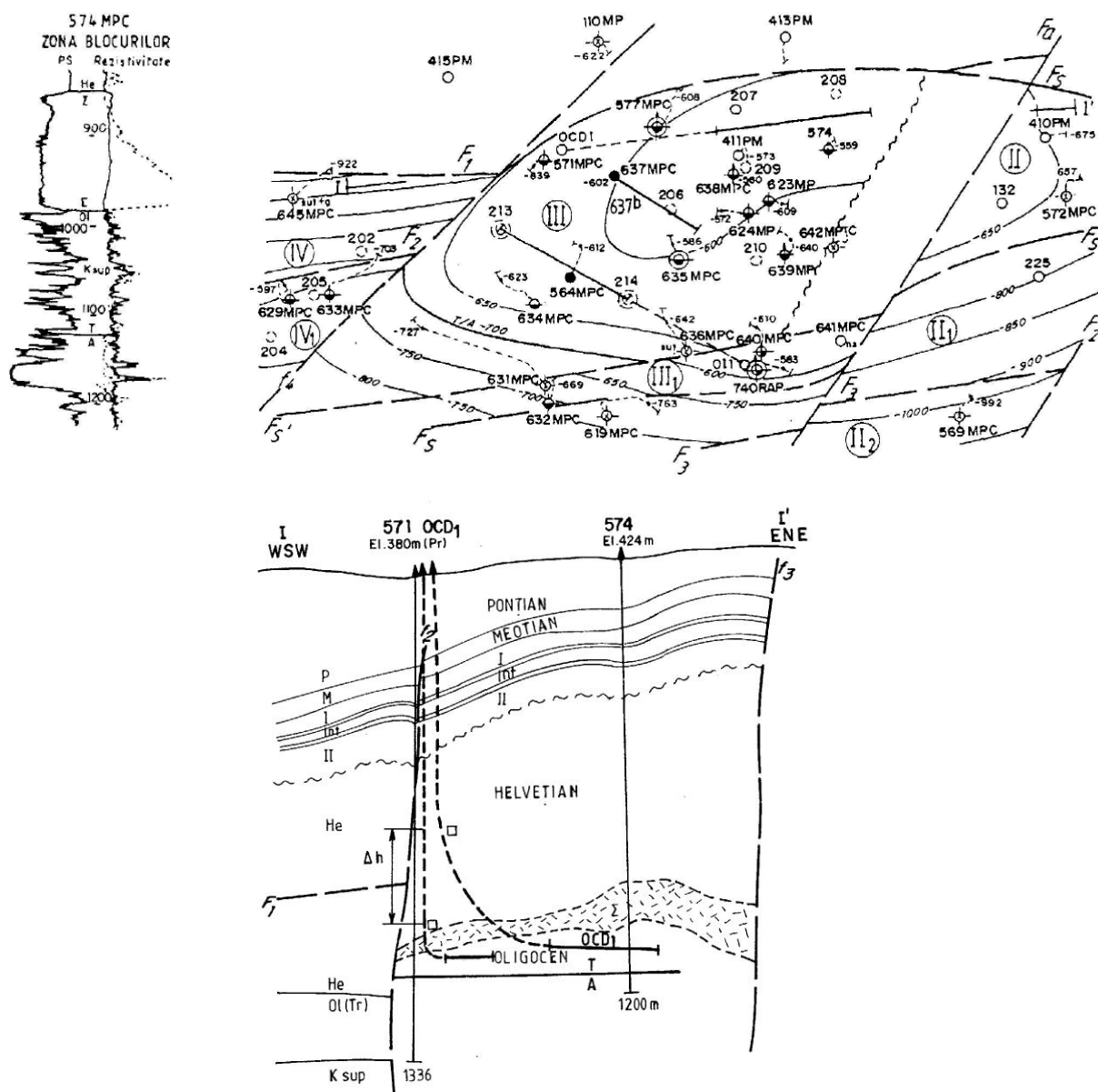
Zăcămintele de țiței cantonate în Oligocenul de la Câmpina-Drăgăneasa au fost puse în exploatare începând din anul 1958 prin sondele 564MPC, 614MPC și 632MPC. Debitele înregistrate la intrarea sondelor în producție au fost de cca 14 t/zi, acestea producând inițial în erupție naturală. Gabaritul blocului III nu este încă definitivat. Ca urmare a fost analizată posibilitatea completării acestuia cu sonde orizontale forate atât cu rază medie de curbură, cât și cu rază mică (fig. 7).

Regimul de exploatare a zăcământului a fost cel natural, concretizat prin expansiunea gazelor ieșite din soluție și este posibilă și o activitate a acviferului.

#### **3.5.1. Ipoteze de lucru**

Estimarea performanțelor unei sonde orizontale pe zăcământul Oligocen blocul III din cadrul structurii Câmpina -Drăgăneasa s-a făcut în următoarele ipoteze de lucru :

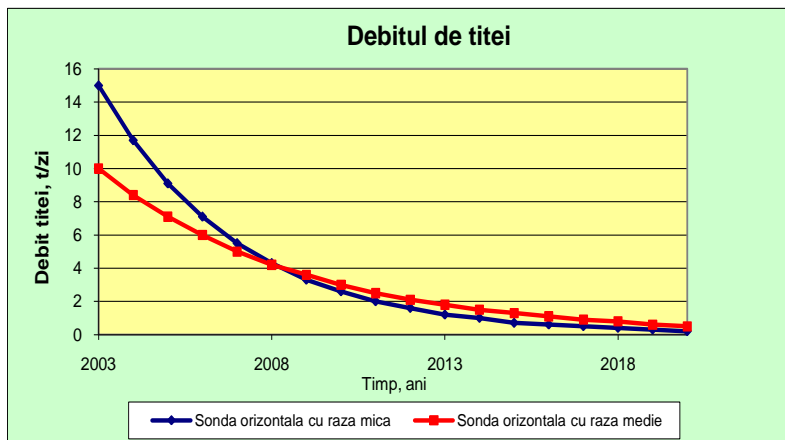
- zăcământ masiv fără avansare de apă;
- presiune actuală de zăcământ - 35 at;
- grosimea efectivă - 21 m;
- permeabilitatea absolută - 148 mD;
- lungimea drenei - 300 m (traiect cu rază medie) și 150 m (traiect cu rază mică);



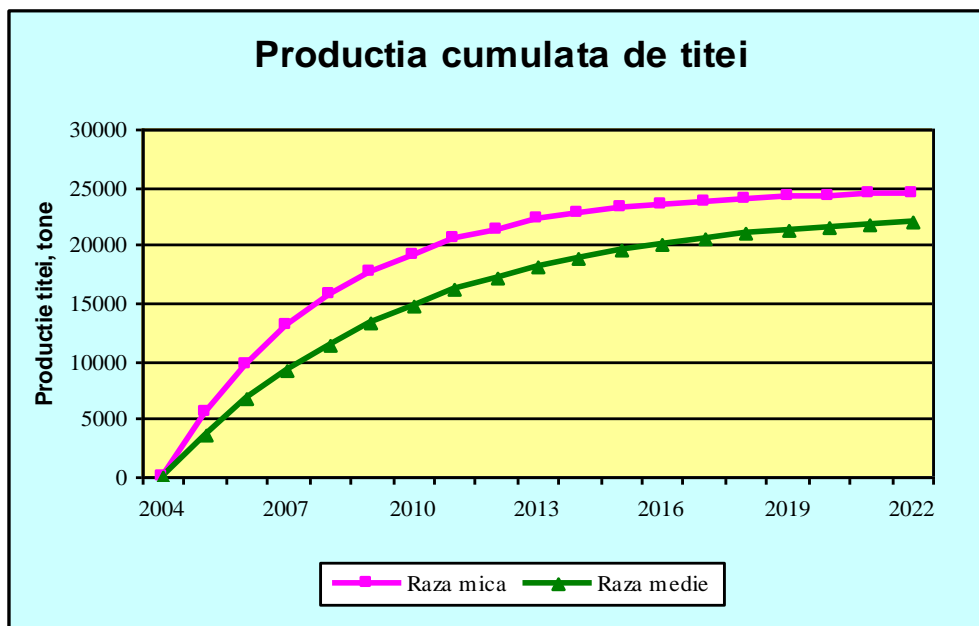
**Fig. 7 a,b** Structura Cămpina-Drăgăneasa zăcămintul Oligocen - Harta structurala și Schița cu amplasarea sondelor orizontale [27]

- diametrul drenei - 5 ½ in (traiect cu rază medie) și 3 în (traiect cu rază mică);
- presiunea diferențială - 5 at (traiect cu rază medie) și 15 at (traiect cu rază mică);
- Investiția sondei cu rază mică de curbură a fost estimată la 150% din valoarea sondei cu rază medie.

Prevederea de producție a celor două sonde a fost realizată utilizând programul PASO, performanțele obținute fiind următoarele (fig. 8, 9): debit de intrare 15 t/zi și un cumulativ de 24,5 mii tone (sonda cu rază mică) și 10 t/zi cu un cumulativ de 22 mii tone (sonda cu rază medie).



**Fig.8** Performantele sondei orizontale cu rază mica comparativ cu ale sondei cu rază medie [27]



**Fig. 9** Productii cumulate sonda orizontală cu rază mica comparativ cu ale sondei cu rază medie [27]

Studiul de caz scoate în evidență câteva aspecte tehnico-economice privind exploatarea sondelor orizontale cu rază mică de curbură. La aceste sonde creșterea debitului datorată reducerii presiunii dinamice este semnificativă, în pofida restricției tehnologice de lungime și diametru drenă.

Coborârea pompei cu cca. 170 m duce, în cazul drenei 637b de la Câmpina-Drăgăneasa, la o creștere a presiunii diferențiale și implicit la realizarea unui debit de 15 t/zi, comparativ cu debitul sondei OCD1 de 10 t/zi (Fig.8), în condițiile în care aceasta din urmă are drena de două ori mai lungă.

Analiza de senzitivitate indică faptul că proiectul (în ipotezele admise) poate suporta o investiție maximă de 80.000 milioane lei <sup>3</sup> (cazul sondei cu rază mică). Această valoare se poate constitui ca un nivel de referință într-o eventuală negociere cu un operator extern.

O ultimă secțiune a tezei este dedicată studierii impactului principalilor parametrii geologo-fizici din modelele analitice asupra performanțelor unei sonde orizontale pregătită a fi săpată pe un zăcământ depletat cu caracteristici general valabile pentru zăcăminte de referință din România.

#### **4. Analiza de senzitivitate asupra performanțelor unei sonde orizontale ca metoda de îndesire într-un zăcământ matur**

Oportunitatea revitalizării unui zăcământ matur folosind indesirea/refacerea gabariturii de exploatare cu sonde orizontale poate fi o metodă eficientă în contextul unui sistem de factori geologo-tehnici care au o influență determinantă în performanța așteptată a sondei.

În ipoteza unui zăcământ depletat presiunea de zăcământ, capacitatea de curgere, mecanismul de dezlocuire și starea tehnică a sondelor active (în special așa-numita „condiție a sondei“) contribuie direct la performanța prognozată a sondei propuse.

Pentru a analiza impactul parametrilor reprezentativi care pot influența performanțele unei sonde orizontale s-a pornit de la conceperea unui model static, geometric (Fig. 53) descris de parametrii din Tabelul 6 având proprietățile geologo-fizice descrise mai jos.

Analiza s-a limitat la un element finit cât să curindă suprafața echivalentă a cca 2 sonde verticale cu 120 m rază de drenaj curentă.

Analiza de senzitivitate asupra unui parametru poate identifica efectele pozitive sau negative ale acestuia față de performanțele sondei orizontale determinate cu două modele analitice larg utilizate și în același timp comparativ cu o sondă verticală de referință.

---

<sup>3</sup> Investiție ce nivel de referință anul 2003

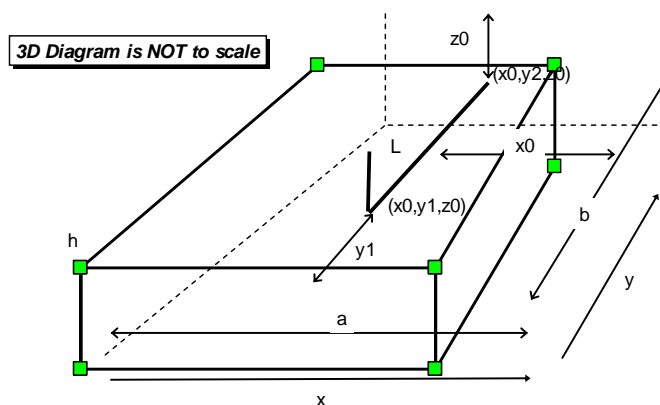
**Parametrii geologo fizici de referință**

Sonda [țiței/gaze]	<b>țiței</b>
Presiunea de zăcământ (at)	<b>34</b>
Temperatura de zăcământ (C)	<b>42</b>
Viscositatea (cp)	<b>3</b>
Factor de volum țiței (mc/mc)	<b>1,16</b>
Rază sondei (m)	<b>0,069</b>
Area de drenaj (sonda vert) (ha)	<b>4.5</b>
Permeabilitatea verticala, mD	<b>50</b>
Permeabilitate orizontala în secțiunea transversala, mD	<b>35</b>
Permeabilitate orizontala în secțiunea longitudinala, mD	<b>40</b>
Skin Factor	<b>2</b>
Grosimea efectiva a stratului (m):h	<b>20</b>

**Parametrii specifici ai zonei de drenaj**

Lungimea zonei de drenaj (m):b	<b>400</b>
Latimea zonei de drenaj (m): a	<b>240</b>
Area de drenaj (horiz.) <i>Calculated</i> (ha)	9
Lungimea drenei orizontale, L (m)	<b>240</b>
Distanța de la originea drenei drenei la planul a (m):y1	<b>120</b>
Distanța de la axa drenei la planul lateral (m):x0	<b>60</b>
Distanța de la drena la capatul zonei de drenaj (m):z0	<b>10</b>

Presiunea dinamica în sonda (at)		<b>29</b>
Debit estimat sonda verticala	$m^3/z_i$ (BOPD)	1 (6)
Debit estimat @ Babu	$m^3/z_i$ (BOPD)	4.9 (31)
Debit estimat @ Joshi	$m^3/z_i$ (BOPD)	2.5 (16)

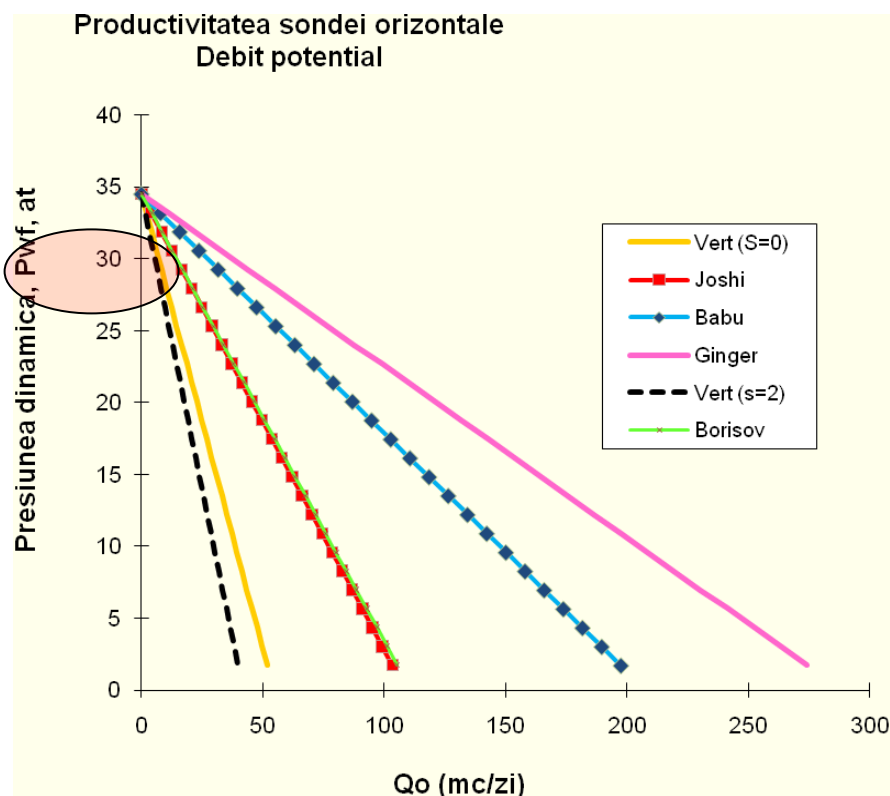
**Fig. 10** Elementul finit de proiectare a sondei

În figura 11 sunt redate debitele instantanee aferente presiunilor dinamice din sonde și debitele potențiale ( $P_{wf}=0$ ) pentru diferite cazuri de analiză începând cu sonda verticală perfectă ( $skin=0$ ), sonda verticală partial blocată ( $skin=2$ ), sonda orizontală (modelul Joshi, Babu, Giger-Reiss-Jordan, Borisov). În funcție de particularitățile modelelor statice de mai sus pentru presiuni diferențiale asigurate între 1 și 34 atm, debitele estimate ale sondelor pot acoperi o gamă largă de valori 5...280 m<sup>3</sup>/zi.

Menționăm că zăcămintul de referință analizat este restricționat a evolua numai în limita domeniului hașurat. Debitele cele mai optimiste pot atinge cel mult 50 m<sup>3</sup>/zi la o presiune diferențială de cca 5 atm.

În ipotezele de lucru admise (vezi Tabelul 2) analiza comparativă sondă verticală/sonda orizontală indică superioritatea sondei orizontale cu până la 300% .

Zăcămintele depletate au indici de performanță serios diminuați comparativ cu cei potențiali sau cel mult cu cel al zăcămintelor „tinere“.



**Fig. 11** Productivitatea sondei orizontale



Studiul de sensibilitate a pornit de la acest exemplu de referință și încercă să determine ierarhia variabilelor implicate în legile de estimare a debitului sondei orizontale și gradul lor de influență asupra rezultatelor.

Pentru o mai bună înțelegere a selectării parametrilor, analiza de sensibilitate a pornit de la elementul definitoriu al zăcământului depletat și anume presiunea de zăcământ. Acest parametru influențează implicit ca funcții de presiune alți termeni ai ecuației ca: vascozitatea, factorul de volum al fluidului (în cazul de față – țigeliul). Abordarea simultană a variației presiunii și a parametrilor variabili cu presiunea complica serios analiza de sensibilitate față de doi parametri simultani. Ne rezumăm la analiza de sensibilitate discreționară (față de câte un parametru individual).

Starea de saturație major modificată și ea la un zăcământ depletat are efecte asupra curbelor de permeabilități relative ale fluidelor și implicit asupra debitelor.

Abordarea în condiții statice nu a permis decât monitorizarea rezultatelor prin modificarea permeabilităților efective atât în plan vertical cât și în plan orizontal după două direcții plane x și y.

Tot ca o simulare a avansării acviferului (regimul de zăcământ) s-a încercat să se studieze reducerea grosimii efective în elementul finit ca o consecință a inundării staționare a acestuia și restricționarea secțiunii de curgere (grosimii efective h ef).

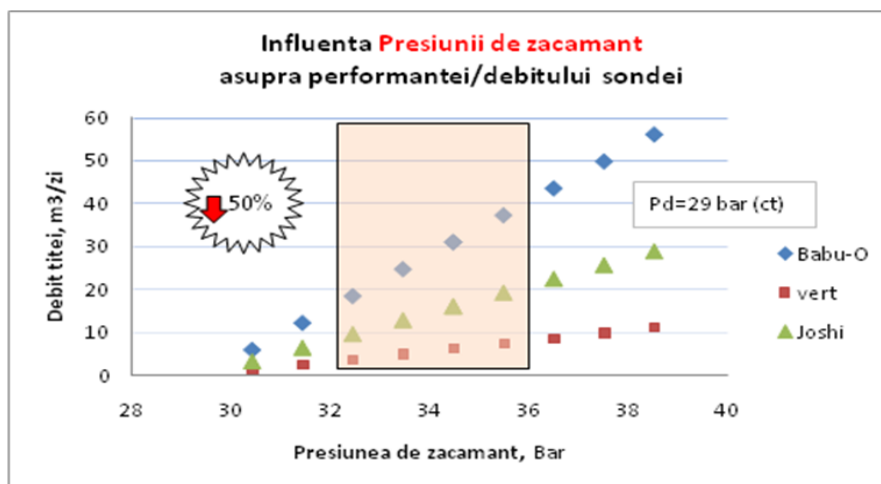
S-au luat în analiză deasemenea parametrii legați de operator: condiția sondei (factorul skin) și diametrul constructiv al drenei sau tronsonului orizontal ( $r_s$ ).

În final, tot în scop operațional s-a introdus în analiză influența lungimii  $L_H$  traiectului orizontal asupra performanței sondei. Trebuie menționat faptul că sonda a fost proiectată într-un element de volum limitat iar operatorul nu are multă libertate în a modifica lungimea drenei.

Pentru fiecare din parametrii selectați în analiza de sensibilitate, debitul sondei s-a evaluat în trei opțiuni: după modelul Babu Odeh, Joshi și sonda verticală de referință.

#### **4.1. Influența presiunii de zăcământ**

Față de presiunea de referință a modelului 34 bar, scăderea acesteia cu doar 2 bar în condițiile menținerii unei presiuni dinamice constante de 29 bar, conduce la scăderea debitului sondei orizontale în medie cu 50% atât în modelul Joshi cât și în modelul Babu. Sonda verticală în aceleași condiții înregistrează o sensibilitate mult atenuată a scăderii debitului (Fig.12).



**Fig. 12** Influența presiunii de zăcămant asupra debitului sondei orizontale

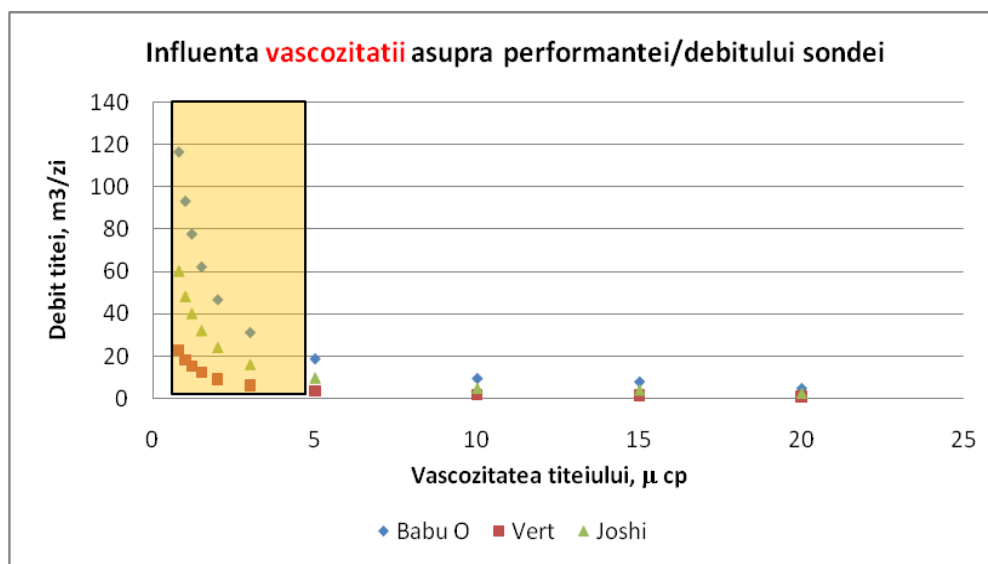
#### 4.2. Influența vâscozității țiteiului, $\mu\text{t}$

Influența vâscozității fluidelor (țiteiului) asupra performanței sondei orizontale este redată în Fig 13.

Se poate observa tendința de creștere asimptotică a debitului cu descreșterea vâscozității.

Din păcate procesul este regresiv în cazul zăcămintelor depletate. Vâscozitatea evoluează invers proporțional cu presiunea de zăcămant.

Având în vedere că majoritatea zăcămintelor de țitei aparținând formațiunilor de vârstă Miocenă (Pontian, Meotian, Sarmatian, Burdigalian) distribuite pe mai toate unitățile geologice din România au valorile de vâscozitate dinamică în domeniul 1-5 cP se poate observa sensibilitate extrem de ridicată a debitului funcție de vâscozitate.



**Fig. 13** Influența vâscozității țiteiului asupra debitului sondei orizontale

În exemplul de referință valoarea vascozității este de 3 cP. O scădere cu numai 1cP poate crește debitul sondei de 2-3 ori.

### 4.3. Influența permeabilității verticale, kv

Debitul sondei orizontale este accentuat influențat de o creștere a permeabilității verticale în zona valorilor mici (0,1...5 mD), după modelul Babu O și moderat modificat după formula Joshi.

Utilizând experiența acumulată, pentru rocile dure cu permeabilități efective foarte reduse, o operație de fisurare performantă care induce inițierea și propagarea unor fisuri verticale, poate aduce performanțe de 3-5 ori mai mari în domeniul permeabilităților mici și mult mai modeste la permeabilități de 20-50 mD, estimate fiind cu cca 15-20% mai mari (Fig. 14).

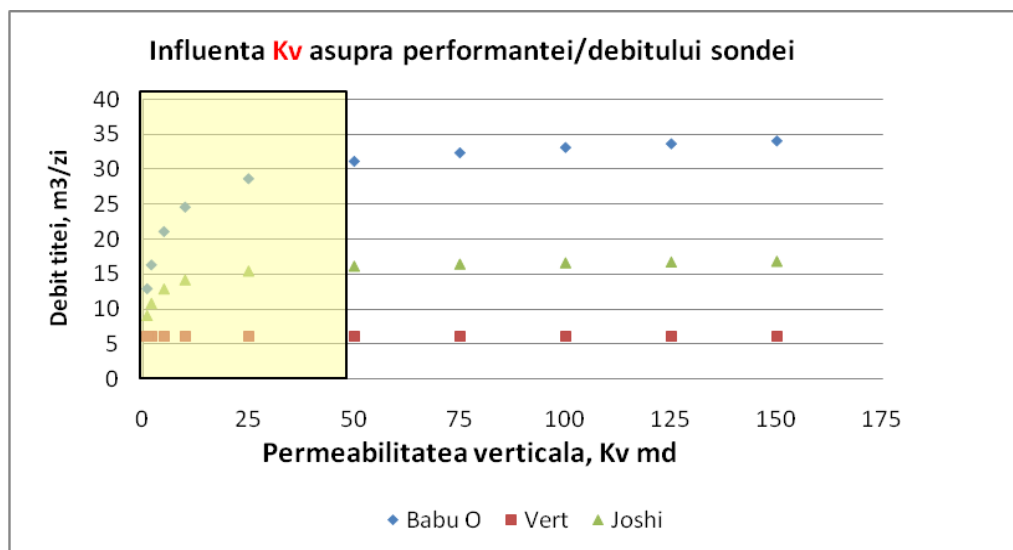
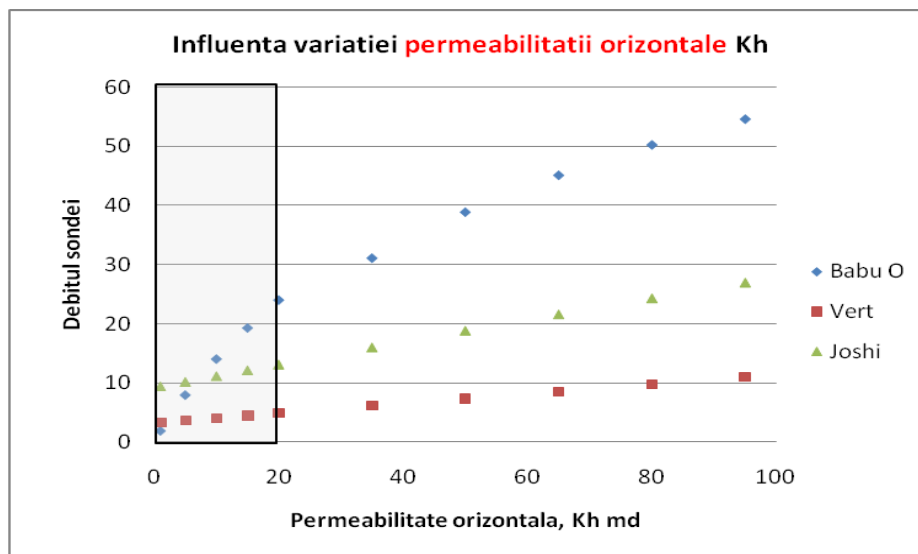


Fig. 14 Influența permeabilității efective verticale asupra debitului sondei orizontale

### 4.4. Influența permeabilității orizontale în plan longitudinal, khx

Se poate constata influența moderată a permeabilității orizontale în cazul sondei verticale comparativ cu calculația debitului sondei orizontale după Babu Odeh. Aceasta din urmă este foarte sensibilă în domeniul permeabilităților reduse (Fig.15). Variația debitului sondei în funcție de permeabilitatea orizontală după modelul Joshi este relativ moderată având practic aceeași pantă a dreptei de regresie cu cea a sondei verticale.

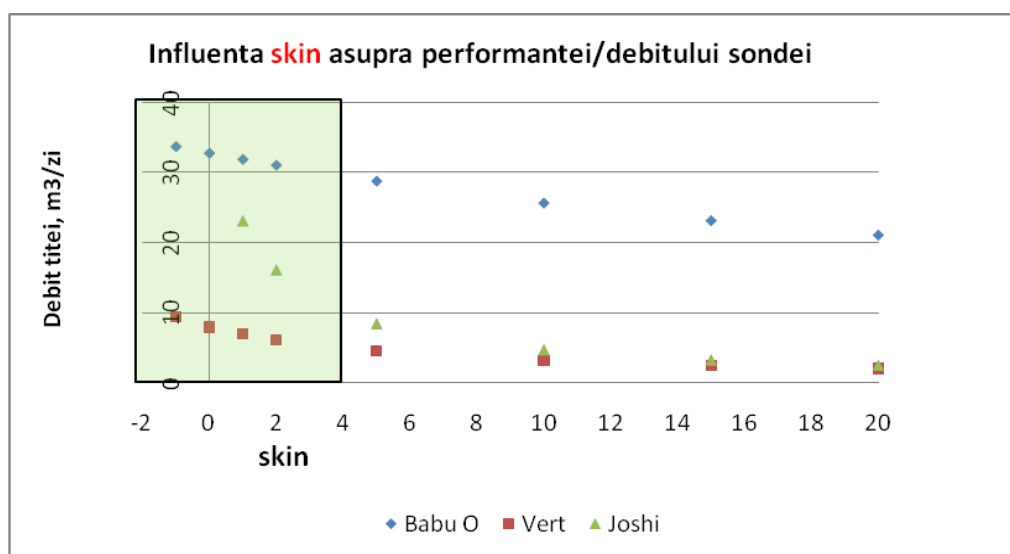


**Fig. 15** Influența permeabilității efective orizontale asupra debitului sondei orizontale

#### 4.5. Influența skin-ului condiției sondei, s

Conform modelului Joshi, o “*blocare*” cu numai 2 unități a formațiunii productive și a condițiilor de curgere în imediata vecinătate a sondei produce o “*deteriorare*” a performanțelor sondei orizontale cu cca 48%. (Fig 16).

Efectul skin asupra performanțelor sondei verticale/orizontale este moderat după modelul de estimare și analiza Babu Odeh, inflența skinului fiind în abele situații după o panta redusă a variației liniare.



**Fig. 16** Influența skin-ului asupra debitului sondei orizontale

#### 4.6. Influența reducerii secțiunii productive (hef) asupra performanțelor sondei orizontale

O limitare (restrictionare) cu cca. 3 m a unui interval de curgere efectivă de 18 m, cauzat de o avansare a nivelului apei în zona productivă deschisă, atrage o scădere a debitului sondei orizontale cu 16% din debitul potențial de 31 m<sup>3</sup>/zi (după Babu O) și cu cca 10% (după Joshi), vezi Fig. 17.

Cam în aceeași proporție se reduce și debitul unei sonde verticale clasice.

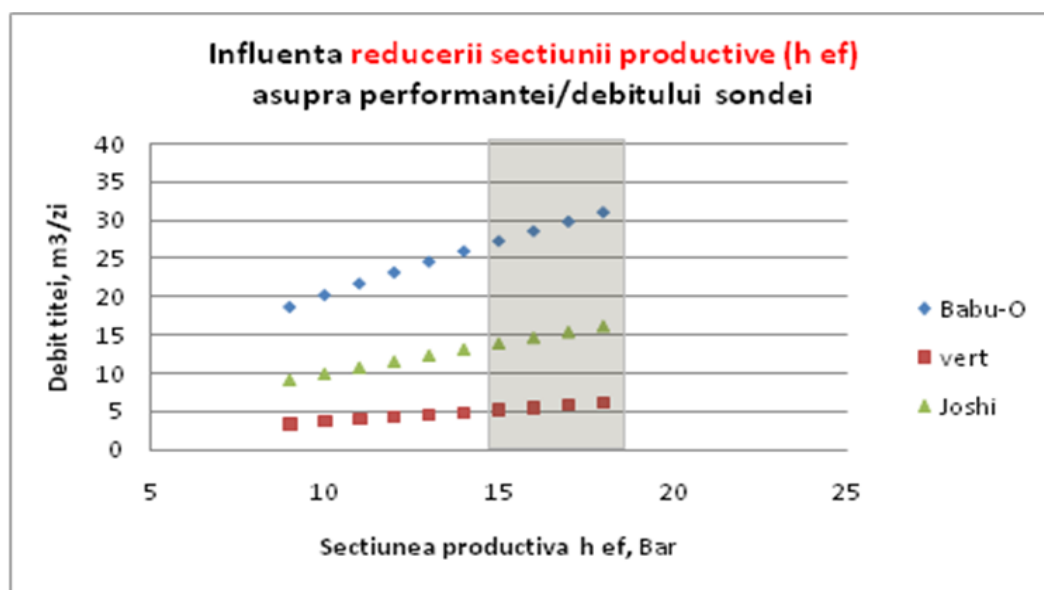
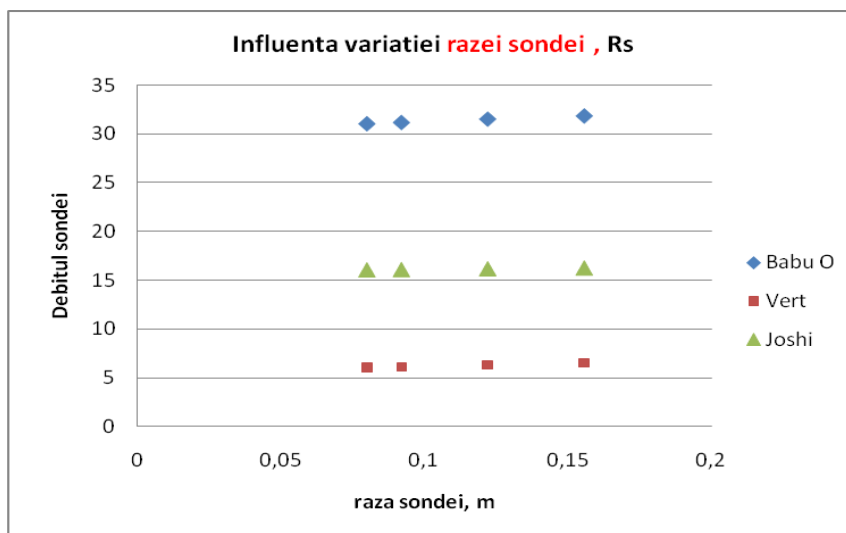


Fig. 17 Influența grosimii efective asupra debitului sondei orizontale

#### 4.7. Influența razei sondei orizontale, rs asupra performanțelor sondei orizontale

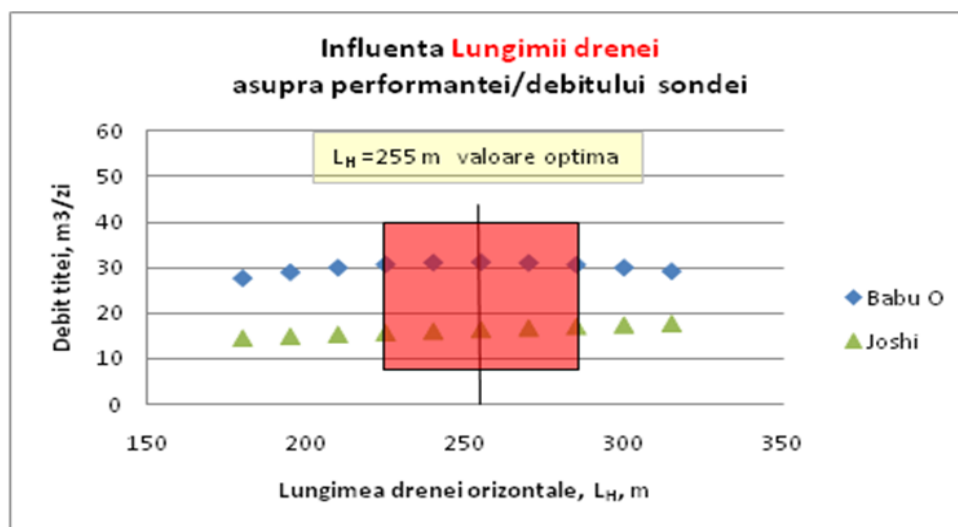
În tentativa de a studia sensibilitatea debitului sondei orizontale la modificarea constructivă a drenei orizontale, s-a luat în analiza 4 diametre de gaură de sondă potrivite calibrării unor coloane de exploatare de diametre  $\phi = 4 \frac{1}{2}$ ,  $5 \frac{1}{2}$ , 7,  $9 \frac{5}{8}$  în.

După cum se poate observa în figura 18, diametrul sondei are o influență nesemnificativă asupra performanțelor sondei fie ea verticală sau orizontală..



**Fig. 18** Influenta variației razei sondei asupra debitului sondei orizontale

#### 4.8. Influența Lungimii drenei orizontale asupra performanțelor sondei



**Fig. 19** Influenta lungimii drenei asupra debitului sondei orizontale

La final am considerat că este necesar să analizăm câtă libertate avem în modificarea lungimii traiectului orizontal într-un element finit, aferent unui volum de drenaj limitat atât de prezenta unui gabarit existent de sonde verticale cât și caracterizat de o stare de depletare accentuată.

Din analiza de sensibilitate a performanțelor în funcție de Lungimea traiectului orizontal,  $L_H$  se poate observa că debitul prognozat se menține într-un domeniu stabil de valori chiar dacă construim o drena cu

+/- 100 m față de o valoare optimă de 255 m corespunzătoare unui debit maxim estimat în ipotezele de lucru admise.

Debitul sondei este stabil într-un domeniu al drenei cuprins între 220 ...280 m (zona hasurată!), atât după modelul Joshi cât cel al lui Babu Odeh.

Tot acest ultim capitol, respectiv analiza de sensibilitate a performanței sondei orizontale indusă de variația parametrilor de zăcămant, constructivi sau productivitate reprezintă un instrument util în mediul decizional dacă este sau nu oportună săparea unei sonde sau drene orizontale în faza finală de exploatare a unui zăcământ matur.

Sunt parametrii de zăcământ față de care performanța sondei este extrem de sensibilă și sensibilă ca vascozitatea titeiului, presiunea de zăcământ sau permeabilitatea verticală, cum la polul opus sunt parametrii care au o influență mai mică asupra performanței (diametrul sondei, lungimea drenei, skin-ul sondei sau secțiunea productivă existentă).

Această analiză este cu atât mai utilă cu cât performanța sondei orizontale este în permanentă confruntare cu sonda verticală care de cele mai multe cazuri a fost preferată în defavoarea sondei/drenei orizontale.

### **Contribuții notabile ale tezei la dezvoltarea exploatrii zăcămintelor mature cu sonde orizontale**

1. Definierea “zăcământului matur” și de asimilare a conceptului de “revitalizare a acestuia” cu principii, direcții și aplicabilitate la zăcămintele și condițiile specifice din România.
2. Definierea și evaluarea metodelor de creștere a recuperării și a tehnologiilor actuale aplicabile zăcămintelor mature.
3. Crearea unei “Machete de zăcămant” cu parametrii geologo fizici de zăcământ și productivitate, extrem de utilă în selectarea zăcămintelor candidat pentru exploatarea cu sonde orizontale.
4. Studii de caz, cu performante și insuccese ale sondelor orizontale săpate în România.
5. Studiu de caz: Influența razei sondei orizontale asupra performanțelor estimate în condițiile unui zăcămant depletat “Oligocen-structura Campina Draganeasa” cu impact în creșterea rezervei de țiței.
6. Analiza de sensibilitate asupra performanțelor estimate ale unei sonde orizontale aplicând metoda de indusire gabarit pe un zăcământ depletat.
7. Analiza și evidențierea impactului principalilor parametrii de zăcământ și constructivi asupra performanțelor unei sonde orizontale în condiții de zăcământ depletat:
  - Influența presiunii de zăcământ
  - Influența vascozității țițeiului
  - Influența permeabilității efective perpendiculară și paralela
  - Influența skin efectului
  - Influența razei sondei (drenei) orizontale
  - Influența Lungimii sondei orizontale
8. Crearea unui ghid practic, rapid și util la îndemâna managerilor de zăcământ în luarea deciziei de implementare a tehnologiei sondelor orizontale ca metoda de reabilitare a exploatarei zăcămintelor depletate.
9. Valorificarea unei experiențe apreciabile în ingineria de zăcământ și în exploatarea zăcămintelor de țiței și gaze din România, în implementarea celor mai de succes măsuri tehnologice menite să conducă la revitalizarea zăcămintelor mature și creșterea rezervelor de hidrocarburi.
10. În ultimii ani autorul a continuat activitatea de proiectare a exploatării pe zăcămintele majore din România venind cu soluții privind implementarea sondelor orizontale ca alternative de exploatare (ex. zăcămintele comerciale Ticleni, Videle).



## Bibliografie

1. SPE Java Section – „Shifting Paradigm în Managing Mature Oil Fields”- Salis, Aprilian/ sept.2006
2. McGregor, Brian, “*Exploitation of New Underbalance Drilling Technologies*” World Oil, May 1999.
3. L Blank, S. Mihalache -, „Studiu privind blocarea cailor de mare permeabilitate din zăcămintele folosind solutii gelante pe baza de polimeri ”– I.C.P.T. Campina 1997
4. PTTC – „Case study *Polymer Services, LLC using ChevronPhillips Technology – Arbuckle field Kansas USA*”
5. D. Rychel and L. Cole - „Highlighting Optimization of Mature Assets”, Petroleum Technology Transfer Council Excerpts în *PTTC Network News*, 3rd Quarter 2005 - SPE 93168
6. SPE 96946 - J. Cheng, D. Wang, X.Sui – „Combining Small Well Spacing With Polimer Flooding to Improve Oil Recovery on Marginal Reservoirs” 2006 SPE/DOE Symposium , Tulsa 22-26 April,2006
7. SPE 100044, "Screening Criteria for Carbon Dioxide Huff 'n' Puff Operations," by L. Mohammed-Singh, SPE, Petrotrin, and A.K. Singhal, SPE, and S. Sim, SPE, Alberta Research Council, prepared for the 2006 SPE/DOE Symposium on Improved Oil Recovery, Tulsa, 22-26
8. Mihalache, S., Clipea M., Hurmuz A.: „*Studiul privind creșterea performanțelor prin exploatarea cu sonde orizontale*“, I.C.P.T. Câmpina, 2001.
9. Seyler, Beverly Geneva Dolomite (Middle Devonian) Reservoirs: Marion County, Illinois – AAPG Serarch and Discovery Article #90930©1998 AAPG Eastern Section, Columbus, Ohio
10. Brister, R.:”*Screening Variables for Multilateral Technology*“, SPE 64698.
11. Petroleum Technology Transfer Council PTTC –Solution for the field –Workshop sept 15, 2005
12. Coloja, P.M., „*Exploatarea sondelor orizontale și cu înclinări mari*“, Editura U.P.G. Ploiești, 1997.
13. Spînu, S.: „Cercetări privind proiectarea unui traiect de sondă care să permită exploatarea zăcămintelor depletate“, I.C.P.T. Câmpina, 2001.
14. S.D.Joshi, - “Cost/Benefits of Horizontal Wells” - SPE, Joshi Technologies International, inc SPE 83621
15. Schlumberger Horizontal Highlight no.16/1995.

16. Aziz, K. „Ten Golden Rules for the Simulation Engineer”, JPT (Nov.1989) 1157
17. McGregor, Brian, “*Exploitation of New Underbalance Drilling Technologies,*” World Oil, May 1999.
18. Mutalik,P.and Joshi,S.D. –“Decline Curve Analysis Predicts Oil Recovery from Horizontal Wells” O &GJ, Sept.1992
19. Dikken, B.J. *Pressure Drop în Horizontal Wells and its Effect on Production Performance.* Journal of Petroleum Technology, 1990, Nov., pp. 1426-1433.
20. Folefac, A.N., Archer, J.S., Issa, R.I., Arshad, A.M., 1991. Effect of Pressure Drop Along Horizontal Wellbores on Well Performance, SPE 23094.
21. Martinez, A.E., Arirachakaran, S., Shoham, O. and Brill, J.P.: *.Predicting of Dispersion Viscosity of Oil/Water Mixture Flow în Horizontal Pipes.* SPE 18221 presented at the SPE Production Operations Symposium held în Oklahoma City, March 1989.
22. Constantin G. Popa, UPG Ploiesti , “*Asupra distributiei de potential si de flux intr-un cuplu strat-sonda orizontala*” – Simpozion SNP Petrom, Campina 28-29 mai 2003
23. Muskat, M.: *Physical Principles of Oil Production,* Edited by McGraw-Hill Book Company, Inc., 1949
24. \*\*\* „*Proiect geologic privind săparea sondei OB 2 (195) S.N.P. - Brăgăreasa - Neocomian*“, S.P. Berca, 2001.
25. \*\*\* „*Proiect geologic privind săparea sondei ORI S.N.P. – Runcu Bustenari Kliwa C<sub>3</sub>*“, S.P. Baicoi, 2001.
26. Mihalache, S., Clipea, M., Duță, A, Hurmuz, A.:”*Studiul privind creșterea performanțelor prin exploatarea cu sonde orizontale*”- Faza III., I.C.P.T. Câmpina, decembrie, 2002.
27. Mihalache, S., Clipea, M., Hurmuz, A., Duță, A.: ”*Studiul privind creșterea performanțelor prin exploatarea cu sonde orizontale*”- Faza II., I.C.P.T. Câmpina, iulie, 2002.
28. Mihalache, S., Clipea, M., Duță, A - “*Influenta razei de curbura asupra performanțelor sondei orizontale*” – Simpozion SNP Petrom, Campina 28-29 mai 2003
29. Warren, T.M., Winters, W. J., Mount, H.B. and Mason, K.L.: “*Short-Radius Lateral Drilling System,*” Journal of Petroleum Technology, p. 108, February 1993.
30. HRD Hydrocarbon Resources Development Co (P) Ltd. - *Ultra Short Radius Drilling – USRD Value Adding Technology, Improve Ultimate Recovery. Accelerate Production D -Wing ,* TEXACO E&P, Hatchinson and Panonla County TX

31. Ahmed T – *Reservoir Engineering Handbook*; Pennwell Publ Co, Tulsa, Oklahoma, 2000, chap.7
32. Joshi S.D. - *Horizontal Well Technology*; Pennwell Publ Co, Tulsa, Oklahoma, 1999
33. Babu, D.K. and Odeh, A.S.: “Productivity of a Horizontal Well”, paper SPE 18298, presented at 1988 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Houston, Oct 2-5
34. S.D. Joshi, Giger-Reiss-Jourdan, Borisov – “*Factors Influencing Productivity*”: Chapter 4 AAPG Special Volumes Volume CN 33: Geological Aspects of Horizontal Drilling, Pages 79 - 90 (1991)
35. Economides M.J., Hill A.D.& Ehlig - Economides C - *Petroleum Production Systems*; PTR Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, NJ, 1994, chap.2