

TEZĂ DE DOCTORAT

***OPTIMIZAREA SISTEMELOR ENERGETICE
DIN INDUSTRIA EXTRACTIVĂ DE PETROL,
GAZE ȘI MINIERĂ, CU APLECARE SPECIALĂ
ASUPRA FORAJELOR PETROLIERE***

//

***OPTIMIZATION OF ENERGY SYSTEMS IN THE
PETROLEUM, GAS AND MINING INDUSTRY,
WITH SPECIAL FOCUS ON PETROLEUM
DRILLING***

REZUMAT

Drd. Ing. Daniel LAZĂR

Conducător științific: Prof. dr. ing. Sorin Mihai RADU

Petroșani 2024

CUPRINS

FISA DE PREZENTARE A DOCTORANDULUI	3
REZUMAT	6
1. CAPITOLUL I INTRODUCERE	8
2. CAPITOLUL II. REVIZUIREA LITERATURII DE SPECIALITATE.....	10
2.1. Stadiul actual al sistemelor energetice din industriile extractive de petrol, gaze și minieră	10
2.2. Resursele industriilor extractive, extragerea lor, dezvoltarea incluzivă, piața și viitorul [1-8].	23
2.3. Ecuatii și formule matematice necesare metodologiei cercetării [17, 18].....	27
2.4. Optimizarea sistemelor energetice din domeniul forajelor de petrol si gaze.....	32
3. CAPITOLUL III. DEZVOLTAREA UNUI ȘANTIER MARGINAL. STUDIU DE CAZ.....	43
3.1. Generalități.....	43
3.2. Obiective.....	44
3.3. Promovarea creativității și consolidarea încrederii.....	45
3.4. Schemă de dezvoltare și de procesare a gazelor natural.....	46
3.5. Dezvoltarea unor câmpuri marginale din România.....	51
4. CAPITOLUL IV. OPTIMIZAREA ENERGIEI ÎN DOMENIUL FORAJULUI SONDELOR: STUDII DE CAZ.....	53
4.1. Introducere.....	53
4.2. Energia aferentă forajului. Energia specifică de foraj.....	55
4.3. Optimizarea energiei specifice în forajul sondelor: Studiu de caz....	56
4.4. Studiu de simulare a secțiunii forate și optimizarea parametrilor de foraj.....	66
4.5. Analiza costurilor de foraj ale sondei.....	76
4.6. Estimarea costurilor de foraj.....	76
5. CAPITOLUL V. APLICAȚII PRIVIND ENERGIIILE ȘI PUTERILE. OPTIMIZAREA LOR ÎN FORAJUL SONDELOR: STUDII DE CAZ.....	78
5.1. Introducere.....	78
5.2. Studiul modurilor de putere și performanță de ridicare și relația lor cu sistemul de putere în cazul forajului.....	79
5.3. Studiu de caz privind modurile de putere și performanță de ridicare.....	80
5.4. Dimensionarea instalației de foraj (<i>Rig Sizing</i>) pentru forarea sondei înclinate.....	83

5.5. Utilizarea modelelor – puterea hidraulică și forța de impact – pentru optimizarea hidraulică a sabelor în sondele deviate.....	88
5.6. Performanțele și puterea pompelor de noroi în sistemul de circulație al fluidului foraj: pompele 3PN-1600L și 12-P-160	93

6. CAPITOLUL VI. DEZVOLTAREA UNOR MODELE INOVATIVE PENTRU PREZICEREA ENERGIEI SPECIFICE MECANICE ȘI A VITEZEI DE FORAJ. STUDII DE CAZ.....

6.1. Conceptul de inteligență artificială (IA) și tehnicile aferente acesteia	97
6.2. Rețeaua neuronală artificială (ANN).....	97
6.3. Inteligența artificială și aplicațiile ei în învățare automată aferentă operațiunilor de foraj.....	98
6.4. Dezvoltarea modelelor ANN și MLR pentru predicția MSE și ROP.	99
6.5. Studiu de caz	100

7. CAPITOLUL VII. CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI...110

BIBLIOGRAFIE.....113

ANEXE.....121

Industria extractivă a petrolului și gazelor poate funcționa mai eficient, din punct de vedere energetic, utilizându-se digitalizarea, optimizarea și conservarea resurselor. Găsirea setărilor optime pentru parametrii de dezvoltare digital, eficientă din punct de vedere energetic pentru câmpurile și/ sau unitățile de petrol și gaze, face parte din acest proces. Crearea de studii optime, analize de cost, simulări *software*, rețele neuronale artificiale, analiza regresiei și programarea liniară sunt exemple de metodologii noi de cercetare.

În plus, au fost stabilite valorile ideale pentru dezvoltarea eficientă din punct de vedere energetic a resurselor digitale în industria minieră și în activitatea de foraj-extracție a petrolului și gazelor. Atingerea acestor valori va garanta o reducere a consumului de energie al proceselor aferente sistemelor complexe de minerit ori de petrol și gaze. Ca urmare, s-au realizat conexiuni și au fost stabilite direcții de funcționare eficientă din punct de vedere energetic a industriilor miniere și de extracție a petrolului și gazelor.

În această teză de doctorat, optimizarea sistemelor energetice din industria extractivă de petrolie și gaze și minieră, utilizează date din mai multe regiuni, inclusiv România, Orientul Mijlociu și Africa, pentru a evalua metode și abordări care sunt recomandate și utilizate într-o varietate de domenii și aplicații din șantier.

În prima parte a cercetării propriu-zise, inclusă în capitolele II și III, se examinează modul în care resursele primare sau adiacente din industriile extractive de petrol și gaze și miniere pot fi extrase și utilizate eficient prin prisma elementului fundamental: *ENERGIE*. Cercetarea este împărțită în cinci secțiuni, prezentându-se elementele de bază privitoare la organizarea industriilor de petrol și gaze și minerit, inclusiv o descriere a limitelor și componentelor lanțului valoric aferent petrolului.

În plus, s-au explicat beneficiile și dezavantajele utilizării resurselor partajate în țările dezvoltate. S-au identificat și activitățile industriilor extractive și problemele cele mai presante cu care se confruntă națiunile emergente în menținerea stimei de sine și se analizează modalitățile de depășire ale acestora. S-au examinat interacțiunile diferite și metodele de dezvoltare ale industriei extractive. În plus, se realizează optimizarea sistemelor energetice din domeniul forajelor de petrol și gaze. Un studiu de caz analizează, concret, dezvoltarea unui șantier marginal de petrol și gaze.

În capitolul IV se prezintă elemente de optimizare a energiei caracteristice forajului sondelor cu studiile de caz aferente (de exemplu, energia specifică aferentă forajului). Studiul simulează secțiunile forate și optimizează parametrii regimului de foraj, odată cu analiza costurilor de foraj.

În capitolul V se prezintă aplicații privitoare la diferite energii și puteri, cu studiile de caz aferente. Primul analizează caracteristicile de putere și performanță, în tandem cu sistemul de putere din cadrul forajului. Între altele, se examinează dimensiunile și performanțele instalației de foraj (*Rig Sizing*) pentru sonda înclinată, performanța și puterea pompelor de noroi în sistemul de circulație al fluidului foraj ș.a. (se fac referiri la pompele 3PN-1600L și 12-P-160).

În capitolul VI se dezvoltă mai multe modele pentru prezicerea energiei specifice mecanice și vitezei de foraj, folosindu-se tehnicile de învățare automată: inteligență artificială, rețele neuronale artificiale și regresia liniară multiplă. S-a realizat și un studiu de caz aferent șantierului Colibași – România, respectiv două aplicații privind predicția MSE și a ROP-ului în timpul forajului. Pentru a utiliza rețelele neuronale artificiale și pentru a optimiza parametrii de foraj au fost dezvoltate noi corelații. În plus, a fost dezvoltat un model statistic bazat pe datele *offset* ale forajului obținut folosindu-se MLR. Cele mai bune valori MSE și ROP au fost alese cu ajutorul ambelor tehnici.

Concluziile finale au făcut obiectul capitolului VII: se rezumă contribuțiile originale și se oferă cele mai bune soluții pentru sondele propuse a se foră pe anumite structuri și regiuni.

Lucrarea abordează, într-o manieră modernă, posibilitățile de optimizare ale principalelor sisteme energetice din industria extractivă de petrol, gaze și minieră, cu aplecare specială asupra forajelor petroliere. În acest sens se utilizează o multitudine de date de șantier din varii țări sau regiuni ale lumii (Nigeria, Orientul Mijlociu, România ș.a.), se evaluează tehnici și tehnologii specifice, se stabilesc metodologii originale, se fac recomandări practice într-o varietate largă de domenii etc. Concluziile principale și recomandările, prezente și viitoare, privesc următoarele aspecte și abordări...

1. Prezentarea, într-o manieră originală, a unor aspecte legate de impactul pe care industriile extractive, care se bazează pe resurse neregenerabile, l-ar putea avea asupra dezvoltării unor țări sau a unor regiuni pe termen lung.

2. Doar politicile ca atare nu vor promova niciodată îndeajuns dezvoltarea sectoarelor locale. Sunt necesare și alte variabile, cum ar fi guvernarea eficientă legată, spre exemplu, de reducerea timpilor de așteptare pentru ca antreprenorii locali să fie certificați conform standardelor internaționale. Mai mult, pentru a fi sustenabilă, această activitate trebuie să fie competitivă cu furnizorii internaționali de produse și servicii; în caz contrar, ea s-ar estompa atunci când resursele se vor epuiza.

3. Se realizează un studiu amplu privitor la stadiul actual al sistemelor energetice din industriile extractive de petrol, gaze și minieră, studiu axat, în principal, pe structura industriilor extractive, consecințele economice, de mediu și sociale ale industriilor extractive, activitățile din industria petrolului, gazelor și miniere ș.a.

4. Conținutul sau resursele locale, care pot asigura îmbunătățirea financiară, prezintă numeroase provocări pentru producătorii și companiile cu abordare deschisă. E vorba de crearea de direcții și sisteme adecvate din afacerile lor din industria extractivă, prin revigorarea afacerilor, adăugarea de valoare, extinderea, schimbul de inovație și crearea de informații, ceea ce necesită, între altele, cunoașterea profundă a lanțului din industria extractivă, ca și a chestiunilor sale financiare.

5. Am examinat modul în care resursele primare sau adiacente din industriile extractive de petrol și gaze și miniere pot fi extrase și utilizate eficient prin prisma elementului fundamental: *ENERGIE*. În acest sens am prezentat elementele de bază privitoare la organizarea industriilor de petrol, gaze și minieră, inclusiv o descriere a limitelor și componentelor lanțului valoric aferent petrolului.

6. Am identificat activitățile industriilor extractive și problemele cele mai presante cu care se confruntă națiunile emergente în menținerea stimei de sine și am analizat modalitățile de depășire ale acestora în tandem cu diferitele interacțiuni și metodele de dezvoltare ale industriei extractive.

7. Sunt prezentate și analizate, într-o manieră originală, metodele volumetrică de estimare a rezervelor de hidrocarburi, insistându-se pe necesitatea cunoașterii dimensiunii rezervorului și a proprietăților fizice ale rocilor și fluidelor conținute în porii rocilor.

8. Am prezentat un studiu amplu al literaturii de specialitate privitor la optimizarea forajului și a energiei aferente acestuia (tabelul 2.5).

9. Este prezentată o corelație a modelelor matematice pentru optimizarea parametrilor regimului de foraj dintr-un câmp petrolifer. În acest context se precizează că, pentru identificarea problemelor apărute în timpul forajului, trebuie avute în vedere următoarele aspecte: proprietățile noroiului; concentrația dislocării rocilor; relația, în timp real, între adâncime și parametri, care afectează atât proprietățile fizico-chimice ale noroiului cât și stabilitatea forajului

10. Pentru studiul corelației empirice dintre energia specifică de foraj și parametrii geomecanici dintr-un câmp petrolifer am propus parcurgerea următorilor pași: (1) identificarea zonei pentru studiu; (2) construirea modelului geomecanic 1D al diferitelor sonde studiate; (3)

efectuarea unui studiu calitativ al factorilor care afectează DSE din zona selectată; (4) realizarea unei analize cantitative a efectelor parametrilor geo-mecanici asupra DSE; (5) studierea efectelor parametrilor geo-mecanici asupra DSE.

11. Se analizează, în vederea optimizării lor, sistemul de putere aferent ingineriei forajului și puterea pompelor în sistemul de circulație al fluidului de foraj.

12. Am realizat un studiu de optimizare DSE, în timp real, în funcție de datele reale colectate din câmpul petrolifer Colibasi. Combinația dintre parametrii regimului de foraj, datele hidraulice, datele mecanice aferente sabelor etc. ne-au ajutat la dezvoltarea modelului DSE prin care se vor îmbunătăți performanțele în foraj.

13. S-au analizat planul de dezvoltare și exploatare (extragerea hidrocarburilor), respectiv planul de instalare și exploatare (conduțe și instalații de suprafață) prin prisma unor oferte conceptuale privitoare la: modelarea geologică și petrofizică; procedurile pentru promovarea creativității și stabilirea încrederii; construirea programelor de foraj și prognoză; stabilirea programului de proiectare și finalizare a forării sondelor; modelarea rezervoarelor ș.a.

14. Am găsit modalități de a reduce costurile și riscurile asociate activităților de foraj pentru a le optimiza. Acestea includ reducerea timpului neproductiv și creșterea eficienței forajului prin utilizarea unor senzori eficienți de fund și de suprafață, programe computerizate, sisteme MWD și, nu în ultimul rând, profesioniști calificați cu experiență relevantă.

15. Am trecut în revistă posibilitatea dezvoltării unor câmpuri marginale din România.

16. S-a prezentat o strategie de optimizare a operațiunilor de foraj prin utilizarea și înregistrarea de date pentru prima sondă forată ca linie de bază. Corelarea rezultatelor cu cercetările din literatura de specialitate a demonstrat, între altele, eficiența DSE în determinarea condițiilor de foraj ale sondei Colibași.

17. S-au examinat varii relații empirice care există între energia specifică geomecanică de foraj și succesul fiecărei sonde din câmpul petrolifer studiat (cu referiri speciale la sistemul de alimentare și subsistemul de putere a pompei din sistemul de circulație. Complementar, s-au analizat elementele fundamentale care influențează cheltuielile de foraj, categoriile de costuri, variabilele etc. Aceste cazuri sunt exemple menite să ajute la crearea estimării costului de foraj.

18. Am realizat un studiu de simulare folosind *software*-ul Landmark pentru ultima secțiune forată a sondei 268 Colibasi. Cu ajutorul mai multor grafice semnificative am pus în evidență: variațiile puterii, ale forței de impact, ale pierderii de presiune și ale vitezei din duzele sapei cu cursa pompei, variația debitului cu ROP, variațiile ECD și ale presiunii de circulație cu adâncimea ș.a.

19. Am identificat, utilizând abordarea DES și analiza de simulare, condițiile de foraj dificile sau necorespunzătoare.

20. Prin mai multe aplicații privitoare la diferite energii și puteri, am analizat caracteristicile de putere și performanță, în tandem cu sistemul de putere din cadrul forajului. Între altele, am examinat dimensiunile și performanțele instalației de foraj (*Rig Sizing*) pentru sonda înclinată, performanța și puterea pompelor de noroi în sistemul de circulație al fluidului foraj ș.a. (cu referiri la pompele 3PN-1600L și 12-P-160).

21. Prin analiza modurilor de putere și performanță de ridicare am stabilit, în fapt, posibilitatea efectuării de economii în sistemele de foraj prin prisma variilor energii aferente. Prin urmare, examinarea cheltuielilor de foraj și utilizarea diferitelor proceduri matematice sunt două moduri indirecte prin care se transmite energia de foraj.

22. Prin modelarea și optimizarea, cu succes, a hidraulicii sabelor am integrat, sistemic, ansamblul de sape, parametrii regimului de foraj, valorile hidraulice etc.

23. Prin utilizarea modelelor de cai putere hidraulici și a forței de impact, am demonstrat utilitatea acestora în optimizarea hidraulică sabelor în sondele deviate. Deși legea puterii

hidraulice și modelele forței de impact au ipoteze diferite, ele ajută la curățarea bună a găurilor și la selectarea puterii optime necesare pentru fiecare secțiune geologică.

24. Prin folosirea tehnicilor de învățare automată (inteligență artificială, rețele neuronale artificiale, regresie liniară multiplă ș.a.) am realizat, între altele, cercetări curente asupra predicției ROP de către inteligența artificială

25. Am dezvoltat noi corelații privitoare la utilizarea rețelelor neuronale artificiale pentru optimizarea parametrilor de foraj. Complementar, a fost dezvoltat un model statistic bazat pe datele *offset* ale forajului obținut folosindu-se MLR. Cele mai bune valori MSE și ROP au fost alese cu ajutorul ambelor tehnici.

26. Cu ajutorul modelelor ANN și MLR am demonstrat convergența valorilor MSE și ROP. Prin patru modele de utilizare a tehnicilor ANN și MLR, correlate cu tehnicile ANN și MLR, am arătat, concret, eficiența acestora pentru structurile Helvețian și Ponțian.