



MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII
UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIESTI

B-dul. București nr. 39, 100680 Ploiești - România
www.upg-ploiesti.ro
Telefon +40 244 573 171 Fax +40 244 575 847



INSTITUȚIA ORGANIZATOARE DE STUDII UNIVERSITARE DE
DOCTORAT UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIESTI
DOMENIUL FUNDAMENTAL – ȘTIINȚE INGINEREȘTI
DOMENIUL DE DOCTORAT – MINE, PETROL ȘI GAZE

TEZĂ DE DOCTORAT

***CONTRIBUȚII PRIVIND STIMULAREA AFLUXULUI
DE GAZE NATURALE ÎN SONDELE CU DIFICULTĂȚI
TEHNOLOGICE, PRIN REABILITAREA SISTEMULUI
ZĂCĂMÂNT-SONDĂ***

Autor: Ing. Diana-Andreea LUPU

Conducător științific: Prof. univ. dr. ing. Lazăr AVRAM

Ploiești 2021



INSTITUȚIA ORGANIZATOARE DE STUDII UNIVERSITARE DE
DOCTORAT UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI
DOMENIUL FUNDAMENTAL – ȘTIINȚE INGINEREȘTI
DOMENIUL DE DOCTORAT – MINE, PETROL ȘI GAZE

TEZĂ DE DOCTORAT

**CONTRIBUȚII PRIVIND STIMULAREA AFLUXULUI DE GAZE
NATURALE ÎN SONDELE CU DIFICULTĂȚI TEHNOLOGICE,
PRIN REABILITAREA SISTEMULUI ZĂCĂMÂNT-SONDĂ**

**CONTRIBUTIONS REGARDING THE STIMULATION OF THE
GAS INFLOW IN THE WELLS WITH TECHNOLOGICAL
PROBLEMS, THROUGH THE REHABILITATION OF THE
RESERVOIR-WELL SYSTEM**

Autor: Ing. Diana-Andreea LUPU

Conducător științific: Prof. univ. dr. ing. Lazăr AVRAM

Nr. Decizie 265 din 06.04.2021

Comisia de doctorat:

Președinte	Conf.univ.dr.ing.mat. PANĂ Ion - PRORECTOR	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești
Conducător științific	Prof.univ.dr.ing. AVRAM Lazăr	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești
Referent oficial	Prof.univ.habil.dr.ing. DINU Florinel	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești
Referent oficial	Prof.univ.dr.ing. NEUNER Johan	de la	Universitatea Tehnică de Construcții din București
Referent oficial	Prof.univ.dr.ing. PETRESCU Valentin Dan	de la	Universitatea Lucian Blaga din Sibiu

Ploiești 2021

REZUMAT

În ultimii ani industria petro-gazeiferă a început să se confrunte cu provocări și schimbări complexe determinate atât de fluctuația prețului petrolului sau a cererii de gaze cât și de creșterea costurilor de explorare și exploatare. Ca urmare a acestei stări de fapt, a început să existe un interes sporit pentru valorificarea zăcămintelor mature și maximizarea potențialului deținut de aceste acumulate de energie. În acest sens, conceptul de reabilitare s-a dovedit a fi unul eficient ca și opțiune favorabilă de continuare a exploatării zăcămintelor de gaze naturale privit prin prisma declinului de producție și a factorului de recuperare, indicatori cheie în evaluarea performanțelor productive ale zăcămintelor.

Dificultățile tehnologice întâlnite în exploatarea zăcămintelor de gaze naturale aflate la stadiul de maturitate sunt diferite, complexe și reclamă tratarea în mod diferențiat a celor trei componente fundamentale: zăcământ, sonde, infrastructură de suprafață. Intervenția într-una dintre ele sau intervenția concomitentă în cele trei componente este dictată de o rațiune bazată pe tandemul tehnico-economic.

În acest context, teza de doctorat abordează tematici cu privire la actualele probleme tehnologice întâlnite în exploatarea sondelor de gaze naturale amplasate pe zăcămintele de gaze naturale comerciale din bazinul Transilvaniei, depresiunea Getică și platforma Moesică, unități geologice de interes major în ceea ce privește acumulările de gaze naturale din România.

Lucrarea este structurată pe 6 capitole și reprezintă o intruziune din punct de vedere teoretic și practic a problematicilor legate de blocajele create de formarea și depunerea crustelor de carbonați de calciu și sare, de viiturile de nisip, de formarea crihidraților în sistemul de producție și de productivitatea scăzută a sondelor de gaze naturale care exploatează formațiunile de tip "tight", având ca finalitate, propunerea unor soluții tehnologice concrete de reabilitare.

Tematicile selectate pentru cercetare își au esența în constatările, observațiile sau fenomenele întâlnite de autoare în procesul exploatare a sondelor de gaze naturale în cele trei unități geologice, ca urmare a implicării directe în elaborarea planurilor de dezvoltare a zăcămintelor comerciale.

Tendențele actuale de exploatare a zăcămintelor mature de gaze naturale sunt prezentate în capitolul 1, în contextul aplicării conceptului de reabilitare. Prima parte conține considerații despre zăcămintele mature și aspecte legate de necesitatea implementării managementului de proiect în procesul de continuare a exploatării zăcămintelor. Se relatează câteva chestiuni despre conceptul de reabilitare, instrumentele specifice managementului de proiect, iar mai apoi se prezintă schematic principalele dificultăți tehnologice întâlnite în cele trei componente: zăcământ, sonde,

infrastructură de suprafață. Plecând de la premisa că problemele tehnologice pot fi legate de caracteristicile geologo-fizice ale structurii, de reacțiile fizico-chimice ale sistemului rocă-fluid, de mecanismul de dezlocuire, de sistemul de echipare și de regimul de exploatare, s-a realizat o scurtă expunere a dificultăților specifice întâlnite în exploatarea structurilor gazeifere din bazinul Transilvaniei, depresiunea Getică și platforma Moesică. În contextul derulării proiectelor de reabilitare pe principalele zăcăminte de gaze naturale din bazinul Transilvaniei s-au prezentat indicatorii de performanță obținuți precum și perspectivele favorabile ale zăcămintelor de gaze naturale din spațiul extracarpatic.

În capitolul 2 sunt abordate chestiuni legate de problematica formării crustelor de carbonați de calciu și a crustelor de sare la sondele de gaze naturale din bazinul Transilvaniei. Studiul a inclus o analiză din perspectiva înțelegerii factorilor care determină formarea crustelor, s-a definit un model de determinare a condițiilor de formare a crustelor, iar mai apoi s-a prezentat programul de cercetare derulat pe un zăcământ de gaze naturale din centrul bazinului Transilvaniei, program realizat în trei faze, care a avut ca scop identificarea unei soluții optime de eliminare a depunerilor de cruste pentru creșterea productivității sondelor. S-au prezentat rezultatele experimentelor fizico-chimice de laborator efectuate pe 8 probe prelevate din 6 sonde în vederea determinării concentrației optime a soluțiilor acide utilizate pentru solubilizarea depunerilor solide. În continuare s-au prezentat rezultatele tehnico-economice ale testului de șantier. Au fost realizate intervenții în 10 sonde de gaze naturale în care s-au utilizat trei tehnici de spălare acidă a crustelor de carbonați de calciu, cruste depuse în dreptul perforaturilor și pe pereții țevilor de extracție.

Capitolul 3 al tezei de doctorat se referă la reabilitarea sondelor, în condițiile viiturilor de nisip, o problemă de actualitate pe zăcămintele de gaze din depresiunea Getică. S-au relatat câteva aspecte teoretice legate de principalele cauze ale viiturilor de nisip, dificultățile generate de viiturile de nisip precum și metodele de control al nisipului aplicate în industria extractivă a hidrocarburilor, aceste studii teoretice fiind susținute prin exemple și cazuistici rezultate din analize de productivitate și observații de șantier. Astfel prin intermediul studiilor teoretice și practice, s-a elaborat o schemă cu etapele de lucru care ar trebui parcurse în vederea alegerii tehnologiei optime de echipare a sondelor din perspectiva controlului nisipului. S-au realizat o serie de recomandări legate de echiparea sondelor de extracție aferente unei structuri gazeifere în funcție de rezultatele analizelor granulometrice realizate pe probele solide prelevate de la diferite obiective de exploatare. Finalul capitolului conține un studiu de caz privind cercetările efectuate pentru implementarea tehnologiei de echipare frac-pack în trei sonde de gaze naturale care urmează să intre în exploatare la obiectivul Meoțian, complexul productiv IV, analiza fiind fundamentată atât din punct de vedere tehnic cât și economic.

Problematica determinării condițiilor de formare a criohidraților și găsirea unor soluții optime de exploatare a unor sonde din platforma Moesică cu astfel de dificultăți

este relevantă în capitolul 4. După prezentarea câtorva noțiuni teoretice referitoare la condițiile propice formării criohidraților, sunt evidențiate metodele aplicabile pentru prevenirea și eliminarea disfuncționalităților create de hidrați. Au fost efectuate două studii de caz care au constatat în determinarea condițiilor de formare a criohidraților în două sonde din Platforma Moesică folosind un program de modelare termodinamică și modelul compozițional. În urma simulării și modelării curgerii fluidelor din zăcământ la suprafață au rezultat scenarii diferite privind continuarea exploatării sondelor fără apariția criohidraților în sistemul de producție. Soluțiile tehnologice propuse pentru remedierea disfuncționalităților produse de criohidrați în sondele analizate se referă atât la modificarea regimului de exploatare cât și la adăugarea unei cantități de metanol în fluxul de gaze naturale.

Capitolul 5 se referă la îmbunătățirea productivității sondelor de gaze naturale prin stimularea formațiunilor de tip "tight" din bazinul Transilvaniei. Deoarece în procesul de reabilitare se urmărește maximizarea productivității sondelor și implicit creșterea factorilor de recuperare s-a justificat evaluarea perspectivelor de continuare a exploatării zăcămintelor de gaze neconvenționale din Badenian. În acest sens, în prima parte s-au prezentat procedeele aplicabile de stimulare a formațiunilor de tip *tight* și considerentele geologo-tehnologice cu privire la selectarea sondelor candidate la operațiile de stimulare hidraulică, iar mai apoi s-a realizat o sinteză a rezultatelor obținute în cadrul campaniei experimentale de stimulare hidraulică realizată în bazinul Transilvaniei între anii 1994-1995. Primul studiu de caz prezentat este elocvent pentru fisurarea hidraulică a unei sonde de gaze naturale unde s-a utilizat un fluid pe bază de spumă de CO₂, fiind totodată și o tehnologie aplicată în premieră în bazinul Transilvaniei. După o scurtă descriere a zăcământului, a echipării sondei, se prezintă într-un mod integrat procesul de modelare și simulare a fisurării hidraulice, programul de proiectare și execuție al operației precum și rezultatele obținute, evaluate la scurt timp după finalizarea operației. Prin al doilea studiu de caz s-a identificat o sondă candidată la operația de fisurare hidraulică, s-a realizat o analiză tehnico-economică care să susțină continuarea exploatării ei prin aplicarea tehnologiei de fisurare și s-a schițat un program de cercetare pentru pregătirea operației.

În ultimul capitol sunt sintetizate concluziile și contribuțiile personale prezentate pe parcursul întregii lucrări.

*
* *
*

Doresc să aduc sincere mulțumiri conducătorului științific, domnului prof.univ.dr.ing. Lazăr Avram, Decanul Facultății de Ingineria Petrolului și Gazelor, pentru profesionalismul cu care m-a coordonat în elaborarea tezei de doctorat și pentru sprijinul, motivarea și încrederea acordată.

De asemenea, doresc să adresez mulțumiri membrilor comisiei de îndrumare pentru recomandările oferite în procesul de cercetare și de realizare a tezei de doctorat.

SUMMARY

In recent years, the oil and gas industry has begun to face new challenges and changes due to fluctuations in oil prices or gas demand and rising exploration and exploitation costs. As a consequence, there has been a growing interest in capitalizing the mature fields and maximizing their energy potential. In this sense, the concept of rehabilitation proved to be an effective one as a favorable option to continue the exploitation of natural gas fields in terms of production decline and recovery factor, key indicators in assessing the productive performance of the fields.

The difficulties and technological problems encountered in the exploitation of mature gas fields are different, complex and require differentiated treatment of the three components: reservoir, wells, surface facilities. Intervention in one or another, or concomitant intervention in the three components is dictated by a reason based on the technical-economic tandem.

In this context, the doctoral thesis addresses issues related to current technological problems encountered in the exploitation of natural gas wells located on commercial natural gas fields in the Transylvanian basin, the Getic depression and the Moesic platform, geological units of major interest in the accumulation of natural gas from Romania.

The paper is structured in 6 chapters and represents an intrusion from a theoretical and practical point of view of the problems related to the blockages created by scales of calcium carbonate and halite, sand production, the hydrates blockages in the production system and low productivity of natural gas wells that produce from tight formations, with the final purpose of finding and purposing technological and rehabilitation.

The topics selected for research have their essence in the findings, observations or phenomena encountered by the author in the process of exploitation of natural gas wells in the three geological units, being directly involved in the field development plans.

The current trends in the exploitation of mature natural gas fields are presented in Chapter 1, in terms of the concept of rehabilitation. The first part contains considerations about mature fields and aspects related to the need to implement project management in the exploitation of reservoirs. Are presented some aspects related to the concept of rehabilitation, the specific tools of project management, and then, the main technological difficulties encountered in the three components of the production system are presented schematically: reservoir, wells, surface facilities. Based on the premise that technological problems can be related to the geological-physical characteristics of the fields, the physico-chemical reactions of the rock-fluid system, the drive mechanism, the completion system and the operating conditions, a brief description is made with the specific difficulties encountered in the exploitation of the gas structures located in the Transylvanian basin, the Getic depression and the Moesic platform. In the context of the rehabilitation projects ongoing on the major gas

fields from the Transylvanian basin, were presented the key performance production indicators, as well as the favorable perspectives existing on the gas fields located in the extra-Carpathian area.

Chapter 2 addresses issues related to the formation of calcium carbonate scale and halite scale in the gas wells from the Transylvanian basin. The study included an analysis from the perspective of understanding the factors that determine the formation of scales, was defined a model for determining the conditions of scale formation, and then it was presented the research program performed on a natural gas field from central part of Transylvania. The program was conducted in three phases which aimed to identify an effective solution for removing scales to increase the productivity of the gas wells. Were presented the results of the laboratory experiments performed on 8 samples taken from 6 wells in order to determine the concentration of acid solutions used for the solubilization of solids. Then, the technical-economic results of the well site test were presented. Interventions were performed in 10 gas wells in which three acid washing techniques were applied in order to remove the calcite scale that plugged the perforations and the tubing walls.

Chapter 3 of the doctoral thesis refers to the rehabilitation of wells, in the conditions of sand production, a current issue of gas wells from the Getic depression. Some theoretical aspects related to the main causes of sand production were highlighted, including the difficulties generated by sand production as well as the sand control methods applied in the industry, and these theoretical studies being supported by examples or case studies resulting from productivity analyzes and well-site observations. In the light of theoretical and practical studies, a scheme has been developed with the work steps that should be followed in order to choose the optimal technology to complete the wells for sand control. A series of recommendations with sand control techniques were made for the field under reserach based on the results of the particle size analysis performed on the solid samples taken from different geological formations. The end of the chapter contains a case study on the research carried out for the implementation of the frac-pack technology in 3 gas wells to be put into operation at the Meotian geological formation, productive layer IV, the analysis being evaluated from technically and economically point of view.

The issue of determining the conditions for hydrates formation and finding practical solutions for the operation of wells in the Moesic platform with such difficulties is revealed in Chapter 4. After presenting some theoretical aspects regarding the conditions for hydrate formation, are highlighted the methods used to prevent and reduce the dysfunctions created by hydrates. Two case studies were performed which consisted in determining the formation conditions of hydrates in two wells from the Moesic platform using a thermodynamic modeling program and compositional model. The simulation and modeling of the fluids flow from reservoir to surface resulted in different scenarios regarding the future operation of the wells, without the appearance of hydrates in the production system. The technological solutions proposed to eliminate the problems created by hydrates in the analyzed wells refer both to the

modification of the exploitation regime and to the addition of a quantity of methanol in the natural gas flow.

Chapter 5 refers to improving the productivity of natural gas wells by stimulating tight formations in the Transylvanian basin. As the rehabilitation process aims to maximize the productivity of the wells and to increase of the recovery factors, it was justified to evaluate the perspectives for the further exploitation of the unconventional gas fields located in Badenian geological formation. In this sense, the first part presented the applicable procedures for stimulating tight formations and the geological-technological considerations regarding the selection of candidate wells for hydraulic stimulation operations, and then a synthesis of the results obtained within the experimental campaign of hydraulic stimulation carried out in the Transylvanian basin between 1994-1995. The first case study presented is eloquent for the hydraulic fracturing of a well where a CO₂ foam-based fluid was used. After a brief description of the field, of the well completion, in an integrated way it is presented the modeling and simulation process of the hydraulic fracturing, the design and execution program of the operation, as well as the obtained results evaluated shortly after the operation was completed. Through the second case study has been identified a candidate well for the hydraulic fracturing, followed by a technical-economic analysis to support the continuation of its operation by applying fracturing technology and outlined a research program for the preparation of the operation.

The last chapter summarizes the conclusions and personal contributions through by doctoral thesis.

*
* *
*

I would like to sincerely thank the scientific coordinator, Mr. Prof. Dr. Eng. Lazăr Avram, the Dean of the Faculty of Petroleum and Gas Engineering, for the professionalism he coordinated me in the elaboration of the doctoral thesis and for the support, motivation and trust offered.

I would also like to thank the members of the scientific committee for their recommendations in the research and elaboration of the doctoral thesis.

Ing. Diana-Andreea LUPU

