

UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI
FACULTATEA INGINERIA PETROLULUI ȘI GAZELOR
DOMENIUL DE DOCTORAT MINE, PETROL ȘI GAZE

Teză de doctorat

**Contribuții privind optimizarea proceselor energetice de
înmagazinare a gazelor naturale**

**Contributions regarding the optimization of the energy-related
processes for storing natural gas**

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

Doctorand,
Ing. Alina Maria GLIGOR

CUPRINS

	Pg.
INTRODUCERE	
1. Definirea problematicei abordate în lucrare	4
2. Obiectivele tezei de doctorat	5
3. Prezentarea tezei de doctorat	5
Capitolul 1	
STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND DEPOZITELE DE ÎNMAGAZINARE GAZE NATURALE, INSTALAȚIILE TEHNOLOGICE AFERENTE ȘI ANALIZA ENERGIEI CONSUMATE ÎN PROCESUL DE COMPRIMARE	
1.1. Criterii de selecție a zăcămintelor depletate în vederea convertirii în depozite	9
1.2. Depozit de înmagazinare gaze naturale- elemente componente și funcțiile acestora...	10
1.3. Tipuri de sonde aferente realizării depozitelor de înmagazinare subterană a gazelor...	13
1.4. Echiparea sondelor de injecție-extracție ale depozitelor de înmagazinare gaze	14
1.4.1. Echipamente de control a sondelor de extracție /înmagazinare gaze naturale în timpul exploatării	18
1.4.2. Recomandări pentru echiparea sondelor destinate exploatării depozitelor de înmagazinare subterană a gazelor naturale	23
1.5. Agregate de comprimare utilizate la extracția /înmagazinarea gazelor naturale	24
1.5.1. Electrocompresoare – descriere, principiul de funcționare, mod de acționare	29
1.5.2. Modul de acționare al compresoarelor cu piston care echipează depozitul de înmagazinare	31
1.6. Bilanț energetic al procesului de comprimare pentru stația Târgu Mureș.....	34
1.6.1. Prezentarea generală a stației de comprimare Târgu Mureș	34
1.6.2. Stabilirea energiei consumate în procesul de comprimare și a randamentelor – algoritm de calcul	36
1.6.3. Stabilirea energiei consumate în procesul de comprimare și a randamentelor aferente stației de comprimare Târgu Mureș	40
Capitolul 2	
DESCRIEREA DEPOZITULUI DE ÎNMAGAZINARE DE POMUREȘ	
2.1. Informații generale	48
2.2. Stratigrafia și tectonica structurii	48
2.3. Caracteristicile fizice ale rezervorului subteran	49
2.4. Istoricul exploatării	54
2.5. Istoricul înmagazinării	54
2.6. Descrierea modului actual de operare	55
Capitolul 3	
MODELAREA NUMERICĂ A ZĂCĂMÂNTULUI DE GAZE ANALIZAT	
3.1. Geometria modelului	58
3.2. Ecuațiile modelului	59
3.3. Construirea modelului numeric	60
3.4. Condiții inițiale și condiții la limită	63
3.4.1. Condiții inițiale	64
3.4.2. Condiții la limită	65

3.5. Calibrarea modelului	67
3.5.1. Faza de injecție	68
3.5.2. Faza de extracție	70

Capitolul 4

MODELUL COMPLEX DEPOZIT, SONDE ȘI REȚEA DE COLECTARE

4.1. Descrierea rețelei locale de colectare	75
4.2. Descrierea datelor	77
4.3. Descrierea modelului rețelei de colectare și a scenariilor din Simone	79
4.3.1. Construirea rețelei de colectare în Simone	79
4.3.2. Construirea scenariilor de injecție și extracție în Simone	83

Capitolul 5

SIMULAREA UNUI CICLU COMPLET FOLOSIND MODELUL DEPOZIT, SONDE ȘI REȚEA DE COLECTARE

5.1. Rezultatele simulării pentru etapa de injecție a gazului în zăcământ	92
5.1.1. Simularea procesului de comprimare și transportul gazelor către sonde	92
5.1.2. Rezultatele simulării procesului de injecție în zăcământ	103
5.2. Rezultatele simulării pentru etapa de extracție a gazului din zăcământ	106
5.2.1. Rezultatele simulării fazei de extracție din zăcământ	106
5.2.2. Rezultatele simulării pentru etapa de extracție a gazului din zăcământ	110

Capitolul 6

OPTIMIZAREA PROCESULUI DE DEPOZITARE A GAZELOR PENTRU ZĂCĂMÂNTUL ANALIZAT

6.1. Probleme evidențiate de modelările anterioare care limitează capacitatea de stocare	120
6.2. Săparea unor sonde noi pentru a mări capacitatea de stocare	121
6.3. Rezultatele optimizării	122
6.3.1. Rezultatele optimizării pentru Ciclul 1 de înmagazinare	122
6.3.2. Rezultatele optimizării pentru Ciclul 2 de înmagazinare	126
6.3.3. Rezultatele optimizării pentru Ciclul 3 de înmagazinare	129
6.4. Determinarea debitului de gaze optim ce poate fi extras din depozit	131

CONCLUZII, PROPUNERI ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE	133
--	-----

BIBLIOGRAFIE	138
---------------------	-----

ANEXE

ANEXA 1- Rezultatele simulării pentru etapa de injecție a gazului în zăcământ

ANEXA 2 - Rezultatele simulării pentru etapa de extracție a gazului din zăcământ

ANEXA 3 – Lista de figuri

ANEXA 4 – Lista de tabele

REZUMAT

Obiectivul principal al tezei de doctorat „*Contribuții privind optimizarea proceselor energetice de înmagazinare a gazelor naturale*” îl reprezintă realizarea unui model complex de simulare a proceselor de înmagazinare/extracție dintr-un depozit de gaze, cu scopul de a îmbunătăți procesul de operare a acestor structuri.

Teza de doctorat este structurată în 6 capitole precedate de introducere, la care se adaugă concluziile, propunerile și contribuțiile personale, bibliografia și anexele.

Capitolul 1. Stadiul actual al cercetărilor privind depozitele de înmagazinare a gazelor naturale, instalațiile tehnologice aferente și analiza energiei consumate în procesul de comprimare prezintă criteriile de selecție a zăcămintelor depletate în vederea convertirii în depozite, elementele componente ale depozitelor de înmagazinare, tipurile și echiparea sondelor de injecție/extracție gaze ale depozitelor de înmagazinarea subterană și agregatele de comprimare utilizate în România. Capitolul se încheie cu bilanțul energetic al procesului de comprimare realizat la stația de comprimare Târgu Mureș, care deservește depozitul de înmagazinare DepoMureș.

Capitolul 2. Descrierea depozitului de înmagazinare DepoMureș. În prima parte a capitolului sunt prezentate stratigrafia, tectonica structurii și caracteristicile fizice ale zăcământului, iar în partea a doua istoricul exploatării și înmagazinării, respectiv modul actual de operare.

Capitolul 3. Modelarea numerică a zăcământului de gaze analizat prezintă realizarea unui model numeric pentru un zăcământ de gaze naturale transformat în depozit care ține seama de geometria zăcământului, proprietățile rocilor și în care pot fi descrise mișcările gazelor. Modelul este bidimensional nestaționar și permite simularea dinamică a proceselor de injecție și extracție. Se pot astfel studia și optimiza amplasarea sondelor, debitele vehiculate prin acestea în scopul maximizării cantităților de gaze înmagazinate ș.a.

Modelul prezentat permite obținerea rapidă a soluțiilor pentru un ciclu întreg de înmagazinare într-un timp redus, astfel încât poate fi folosit cu succes în procesul de operare.

Capitolul 4. Modelul complex depozit, sonde și rețea de colectare prezintă realizarea unui model aferent unei rețele de colectare și aducțiune pentru un depozit de gaze naturale, capabil a fi cuplat prin condițiile la limită cu zăcământul și cu rețeaua de transport. Modelul rețelei de colectare este realizat cu ajutorul simulatorului Simone și are capacitatea de a modela curgerea nestaționară prin rețeaua de transport. Acest lucru este necesar datorită faptului că debitele de gaze, pentru fiecare zi, variază în funcție de necesitățile clienților.

Capitolul 5. Simularea unui ciclu complet folosind modelul „Depozit, sonde și rețea de colectare” prezintă rezultatele unei simulări a unui ciclu complet injecție / extracție folosindu-se modelele descrise în capitolele 3 și 4. Simularea complexă a pornit de la interfața rețelei de colectare cu sistemul național de transport gaze din care se preiau debitele în timpul procesului de injecție și se injectează debitele din sistemul de colectare în timpul procesului de extracție. Modelele utilizate au permis simularea procesului de comprimare, transportul prin rețeaua depozitului, injecția gazelor prin sonde. Utilizându-se debitele și presiunile de injecție din rețeaua de colectare, s-a realizat simularea procesului de înmagazinare folosindu-se modelul de zăcământ. Pentru faza de extracție se pornește de la nominalizările zilnice valabile la interfața cu sistemul de transport și se simulează procesul de extracție și transportul gazelor prin rețeaua de colectare. Întreg procesul de extracție și transport trebuie să satisfacă debitele de gaze nominalizate zilnic și presiunile de injecția în SNT.

Capitolul 6. Optimizarea procesului de depozitare a gazelor pentru zăcământul analizat prezintă o modalitate de creștere a capacității de înmagazinare prin săparea unor sonde noi și determinarea unei valori a debitului injectat pentru a maximiza cantitatea de gaze stocată. Sondele noi au fost amplasate în zonele cu deficit de umplere, scoase în evidență de rezultatele modelărilor prezentate în capitolele precedente. Introducerea în model a sondelor noi în zonele deficitare a reușit să uniformizeze umplerea depozitului având drept consecință imediată dublarea cantităților de gaze înmagazinate / extrase din depozit. Pe modelul numeric prezentat s-a dedus o curbă care permite determinarea debitului optim ce poate fi extras pentru a obține, la sfârșitul ciclului, o anumită presiune medie în depozit (o anumită pernă de gaze).

În **Concluzii, Propuneri și Contribuții Personale** sunt subliniate, în primul rând, concluziile generale privind modelele prezentate în lucrare și cuplarea lor prin condițiile la limită. Modelul de zăcământ permite determinarea matricei presiunilor din zăcământ și a cumulativelor de gaze extrase/injectate în orice moment, al unui depozit de înmagazinare, în timp ce modelul de suprafață permite operarea rețelei de colectare în vederea optimizării proceselor de înmagazinare/extracție. În al doilea rând, sunt evidențiate contribuțiile personale ale tezei de doctorat, în ordinea apariției lor pe capitole.

Cuvinte cheie: *depozit de înmagazinare; rețea de colectare; sondă de gaze naturale; proces energetic; stație de comprimare.*

CONTENT

	Pg.
INTRODUCTION	
1. Defining the issue approached in the paper	4
2. The objectives of the thesis	5
3. The presentation of the thesis	5
Chapter 1	
CURRENT STATE OF THE RESEARCH CONCERNING THE GAS STORAGE FACILITIES, RELATED TECHNOLOGICAL INSTALLATIONS AND THE ANALYSIS OF THE ENERGY CONSUMPTION IN THE PROCESS OF COMPRESSION	
1.1. Selection criteria for the depleted layers for the purpose of converting them in deposits	9
1.2. Gas storage facility - components and their functions	10
1.3. Types of wells related to achieving underground gas storage facilities	13
1.4. Equipping the injection - extraction wells of the gas storage facilities	14
1.4.1. Control equipment for gas extraction / storage wells during exploitation	18
1.4.2. Recommendations for equipping the wells intended for exploiting the underground natural gas storage	23
1.5. Compression units used for the extraction / storage of natural gas	24
1.5.1. Electro-compressors - description, operating principle, drive mode	29
1.5.2. Mode of operation of reciprocating compressors fitted on the storage facility	31
1.6. The energy balance of the compression process for Targu Mures station	34
1.6.1. Overview of the compression station Targu Mures	34
1.6.2. Establishing the energy consumed during the compression process and the yields - calculation algorithm	36
1.6.3. Establishing the energy consumed during the compression process and the yields of the compression station Targu Mures	40
Chapter 2	
DESCRIPTION OF THE STORAGE FACILITY DEPOMUREȘ	
2.1. General information	48
2.2. The stratigraphy and tectonics of the structure	48
2.3. The physical characteristics of the underground tank	49
2.4. History of exploitation	54
2.5. History of storage	54
2.6. Description of the current operating mode	55
Chapter 3	
THE NUMERICAL MODELING OF THE GAS DEPOSIT UNDER CONSIDERATION	
3.1. The geometry of the model	58
3.2. The equations of the model	59
3.3. Building the numerical model	60
3.4. Initial conditions and boundary conditions	63
3.4.1. Initial conditions	64
3.4.2. Boundary conditions	65

3.5. Model calibration	67
3.5.1. Injection phase	68
3.5.2. Extraction phase	70

Chapter 4

STORAGE COMPLEX MODEL, WELLS AND COLLECTING NETWORK

4.1. Description of the local collecting network	75
4.2. Data description	77
4.3. Description of the collecting network model and the Simone scenarios	79
4.3.1. Building the collecting network in Simone	79
4.3.2. Building injection and extraction scenarios in Simone	83

Chapter 5

SIMULATION OF A COMPLETE CYCLE USING A STORAGE MODEL, WELLS AND COLLECTING NETWORKS

5.1 Simulation results for the phase of gas injection into the reservoir/ deposit	92
5.1.1 Simulation of the compression process and the transportation of the gas to wells	92
5.1.2 Simulation results for the injection process into the deposit	103
5.2. The simulation results for the phase of gas extraction from the deposit	106
5.2.1. The simulation results for the phase of extraction from the deposit	106
5.2.2. The simulation results for the phase of extracting gas from the deposit	110

Chapter 6

OPTIMIZATION OF THE GAS STORAGE PROCESS FOR THE DEPOSIT UNDER CONSIDERATION

6.1. Issues highlighted by previous modeling that limits the storage capacity	120
6.2. Digging new wells to increase storage capacity	121
6.3. Optimization results	122
6.3.1. Optimization results for Cycle 1 of storage	122
6.3.2. Optimization results for Cycle 2 of storage	126
6.3.3. Optimization results for Cycle 3 of storage	129
6.4. Setting the optimum gas flow that can be extracted from the deposit	131

CONCLUSIONS, SUGGESTIONS AND PERSONAL CONTRIBUTIONS	133
--	-----

REFERENCES	138
-------------------	-----

ANNEXES

ANNEX 1 - The results of the simulation for the phase of gas injection into the deposit

ANNEX 2 - Simulation results for the phase of gas extraction from the deposit

ANNEX 3 - List of schemes

ANNEX 4 - List of tables

SUMMARY

The main objective of the thesis "*Contributions regarding the optimization of energy related-processes for storing natural gas*", is to achieve a complex simulation model for the processes of storage / extraction of a gas deposit, in order to improve the operation mode of these structures.

The thesis is divided into six chapters preceded by an introduction, plus the conclusions, suggestions and personal contributions, bibliography and annexes.

Chapter 1. Current state of the research concerning gas storage facilities/ deposits, related technological installations and the analysis of the energy consumption during the compression process, presents the selection criteria of the depleted layers in order to transform them into deposits, the components of the storage facilities, types and equipment of the gas injection / extraction wells of the underground storage and the compressor units used in Romania. The chapter concludes with the energy balance of the process of compression made at the compression station Targu Mures, serving Depo Mureş.

Chapter 2. Depo Mureş storage facility description. The first part of the chapter presents the stratigraphy, tectonics of the structure and physical characteristics of the deposit, and the second part presents the history of exploitation and storage, namely the current mode of operation.

Chapter 3. The numerical modeling of the gas deposit under consideration, presents the realization of a numerical model for a natural gas layer transformed into a deposit, which takes into account the deposit geometry, the properties of the rocks and within which gas movements can be described. The model is two-dimensional non-stationary and allows a dynamic simulation of the injection and extraction processes. One can thus, study and optimize well locations and flows conveyed through these wells, in order to maximize the quantity of stored gas, etc. The solution presented allows rapid solutions for a complete cycle of storage in a shorter time, so that it can be successfully used in the operation process.

Chapter 4. Storage complex model, deposit, wells and collecting network, presents the realization of a model related to a collecting and adduction network for natural gas storage, capable of being coupled by boundary conditions to the deposit and to the transportation network. The model of the collecting network is performed by using the Simon simulator and has the capacity of shaping the non-stationary flow through the transporting network. This is necessary because the gas flow, for every day, varies according to customer needs.

Chapter 5. Simulation of a complete cycle using the model "Deposit, wells and the collecting network" presents the results of a simulation of a full injection / extraction cycle, using the models described in Chapters 3 and 4. The complex simulation started from the interface of the collecting network with the national transporting system from which gas flows were taken during the injection process and the gas flows from the collecting system are injected during the extraction process. The models used for simulation, allowed the simulation of the compression process, transport through the deposit network, gas injection through wells. Using injection flow rates and injection pressures from the collecting network, the simulation of the storage process was performed, using the deposit model. For the extraction phase one starts from daily nominations which are available at the interface with the transporting system and thus the simulation of gas extraction process and gas transport through the collection network is made. The whole process of extraction and transportation must satisfy the gas flows that are nominated daily and the injection pressures in the NTS.

Chapter 6. Optimization of the gas storage process for the deposit under consideration, presents a way to increase storage capacity by digging new wells and determining a value of the injected flow, in order to maximize the amount of stored gas. The new wells were located in areas with deficient filling, highlighted by the modeling results presented in the previous chapters. The introduction into the model, of new wells in the deficient areas, managed to uniform the deposit filling, resulting in immediate doubling of the quantities of stored / extracted gas from the deposit. Over the numerical model presented, was deducted a curve that allows setting the optimum flow that can be extracted in order to obtain, at the end of the cycle, a certain medium pressure in the deposit (a particular gas layer).

In **Conclusions, Suggestion and Personal Contributions** are highlighted, first of all, the general conclusions concerning the models presented in this paper and their coupling by boundary conditions. The deposit model allows the determination of the pressures into the deposit and the cumulative extracted / injected gas at any time, of a storage facility, while the surface model allows the operation of the collecting network, concerning the optimization of storage / extraction processes. Secondly, there are highlighted the personal contributions of the thesis, in order of their appearance by chapters.

Keywords: *storage; collecting network; natural gas well; energy-related process; compressing station.*