



MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE ȘI CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE
UNIVERSITATEA PETROL – GAZE PLOIEȘTI
Facultatea de **Ingineria Petrolului și Gazelor**
Departamentul **Geologie Petrolieră și Inginerie de Zăcământ**
Școala Doctorală

TEZĂ DE DOCTORAT

**Contribuții la studiul condițiilor geologice și al factorilor de hazard
natural ale înmagazinărilor subterane de gaze**

Conducător științific,

Prof. univ. dr. ing. Nistor Iulian

Doctorand,

Ing. Vlășceanu Costin Viorel

PLOIEȘTI
2017

CUPRINS

Mulțumiri	6
Introducere	7
Capitolul I – Proprietățile fizice și termice ale gazelor naturale	9
1.1) Aspecte generale	9
1.1.1) Parametrii critici reduși și legea stărilor corespondente	10
1.2) Proprietățile fizice ale gazelor naturale	11
1.2.1) Noțiuni de teorie cinetică ale gazelor (legile gazelor perfecte)	11
a) Legea Boyle – Mariotte	11
b) Legea Gay – Lussac	13
c) Legea lui Charles	13
d) Ecuația de stare a gazelor perfecte	14
e) Legea lui Dalton	14
f) Legea lui Avogadro	14
g) Efectul Joule – Thomson	14
1.2.2) Presiunea gazelor	15
a) Presiunea absolută și relativă	16
b) Variația presiunii funcție de altitudine	16
1.2.3) Starea normală și starea standard	17
1.2.4) Densitatea gazelor	17
1.2.5) Vâscozitatea gazelor	18
1.2.6) Factorul de volum al gazelor	24
1.3) Proprietățile termice ale gazelor naturale	24
1.3.1) Temperatura	25
1.3.2) Conducția termică	27
1.3.3) Difuzia termică	30
1.3.4) Capacitatea și puterea calorică a gazelor	30
Capitolul II – Stadiul actual privind înmagazinările subterane de gaze	33
2.1) Scurtă prezentare a proceselor de înmagazinare subterană a gazelor naturale din România și din lume	33
2.1.1) Terminologia utilizată la înmagazinarea subterană a gazelor naturale	37
a) Utilizarea terminologiei românești conform Codului Tehnic al gazelor naturale	37
b) Terminologie utilizată pe plan internațional	38

2.2) Condițiile realizării depozitelor de înmagazinare subterană a gazelor naturale	40
2.2.1) Caracterizarea zăcământului din punct de vedere geologic	41
2.2.2) Utilizarea sondelor la procesul de înmagazinare	44
2.2.3) Influența presiunii maxime de exploatare	45
2.2.4) Comportarea dinamică a rezervorului	45
2.2.5) Sisteme de monitorizare	46
2.2.6) Operațiile de adâncime și construcția depozitului subteran	46
2.2.7) Operațiile de injecție – extracție	46
2.3) Criterii de selecție ale zăcămintelor candidat utilizate la transformarea depozitelor naturale	47
a) Înmagazinarea subterană a gazelor naturale în zăcăminte depletate	51
b) Înmagazinarea subterană a gazelor naturale în acvifere	53
c) Înmagazinarea subterană a gazelor naturale în caverne saline	58
Capitolul III – Evidențierea factorilor de hazard natural cu privire la înmagazinările subterane de gaze	67
3.1) Comportarea formațiunilor de suprafață (scară regională)	67
3.1.1) Zgomotul	68
3.1.2) Alunecările de teren (constituția litologică de suprafață)	68
3.1.3) Acțiunea vânturilor	77
3.1.4) Cutremurele de pământ	78
3.1.5) Inundațiile	82
3.1.6) Factori antropici	84
a) Excavațiile miniere saline	84
b) Lucrări de suprafață	85
3.2) Factorii specifici depozitelor de înmagazinare subterană a gazelor naturale	85
3.2.1) Alunecările de teren	88
3.2.2) Gradul de etanșeitate al ecranului	88
3.2.3) Integritatea sondelor	89
3.2.4) Condiții de zăcământ	90
- Gradientii de presiune	90
- Gradineții presiunii de fracturare	93
- Gradientii de temperatură	95
Capitolul IV – Studiu de caz – Structura ZD (contribuții personale)	97
4.1) Cadrul geologic regional al Bazinului Transilvaniei	97
4.1.1) Istoricul cercetărilor din Bazinul Transilvaniei	98

4.1.2) <i>Stratigrafia depozitelor neogene din cuprinsul Bazinului Transilvaniei</i>	103
a) <i>Badenianul</i>	104
b) <i>Bugloviaanul</i>	106
c) <i>Sarmațianul</i>	107
d) <i>Pliocenul</i>	108
e) <i>Ponțianul</i>	110
f) <i>Dacianul</i>	111
4.1.3) <i>Evoluția geologică a Bazinului Transilvaniei</i>	112
4.1.4) <i>Tectonica generală a Bazinului Transilvaniei</i>	114
a) <i>Fundamentul cristalin al bazinului</i>	116
b) <i>Tectonica depozitelor prebadeniene</i>	118
c) <i>Tectonica depozitelor seriei badenian – pliocene</i>	118
4.1.5) <i>Formarea zăcămintelor de gaze din Bazinul Transilvaniei</i>	119
a) <i>Repartiția structurilor gazeifere în Bazinul Transilvaniei</i>	123
b) <i>Perspectivile de hidrocarburi ale depozitelor presenoniene din fundamental cristalin</i>	125
c) <i>Existența și perspectivele de hidrocarburi în depozitele prebadeniene</i>	126
4.2) Modelul geologic al structurii	127
4.2.1) <i>Geologia structurii analizate</i>	127
4.2.2) <i>Stratigrafia și litologia</i>	128
4.2.3) <i>Aranjamentul tectonic al structurii</i>	129
4.2.4) <i>Distribuția inițială a fluidelor</i>	130
4.3) Modelul fizic al structurii	131
4.3.1) <i>Evoluția proceselor petroliere desfășurate pe Structura ZD (istoricul exploatării, producția de fluide și presiunea de zăcământ)</i>	131
4.3.1.1) <i>Mecanismul natural de dislocuire pentru structura cercetată</i>	132
4.3.1.2) <i>Detalierea istoricului de producție pentru patru sonde intrate initial în exploatare</i>	135
4.3.2) <i>Comportarea și înregistrarea performanțelor în exploatare a depozitului de înmagazinare subterană a gazelor naturale (analiza hărților de izocumulative pe tipuri de sonde)</i>	135
4.4) Influența factorilor de hazard natural asupra procesului de înmagazinare subterană a gazelor naturale de pe Structura ZD	137
4.4.1) <i>Alunecările de teren</i>	137
a) <i>Date climatice asupra zonei studiate</i>	139

<i>b) Geomorfologia regiunii studiate</i>	140
<i>c) Date seismice asupra zonei studiate</i>	140
<i>d) Variația consistenței compactării</i>	141
4.4.2) <i>Integritatea sondelor</i>	141
4.4.3) <i>Condiții de zăcământ</i>	143
<i>a) Gradienții de presiune</i>	143
<i>b) Gradienții de fisurare</i>	143
<i>c) Gradienții de temperatură</i>	148
4.4.4) <i>Gradul de etanșeitate al ecranului</i>	148
<i>a) Analiza cimentărilor</i>	148
<i>b) Analiza perforaturilor</i>	149
<i>c) Analiza injecției</i>	149
4.4.5) <i>Studierea contaminării formațiunilor (modificarea proprietăților mediului poros)</i>	150
4.4.6) <i>Previziuni asupra posibilităților de ivire a unor evenimente</i>	153
Concluzii și contribuții personale	155
Lista figurilor	159
Lista tabelor	162
Lista anexelor grafice	163
Bibliografie	164

INTRODUCERE

Înmagazinarea subterană a gazelor naturale reprezintă o tehnologie eficientă ce se utilizează încă din anul 1915. Aceasta este folosită pentru reglarea livrării de gaze naturale dat fiind cererea fluctuantă de gaze.

Primul depozit subteran de gaze naturale din lume s-a realizat în anul 1915 și a fost experimentat cu succes într-un zăcământ depletat în *Walland County – Ontario Canada* unde, după recondiționarea sondelor s-au depozitat gaze naturale vara și s-au extras iarna următoare.

Prima înmagazinare subterană de gaze naturale modernă din România efectuată într-un zăcământ depletat s-a realizat în anul 1979 la Urziceni, aceasta având rolul de preluare și asigurare permanentă cu gaze naturale pe perioada rece a capitalei.

În țara noastră, consumul de gaze are caracter sezonier astfel că, există o perioadă rece (noiembrie – aprilie) când consumul de gaze este foarte ridicat și o perioadă caldă (mai – octombrie) când consumul de gaze este redus și producția de gaze crește ca urmare a cererii scăzute.

REZUMAT

Obiectivul tezei de doctorat “*Contribuții la studiul condițiilor geologice și al factorilor de hazard natural ale înmagazinărilor subterane de gaze*” este reprezentat de realizarea unui model de zăcământ din punct de vedere al înmagazinărilor subterane de gaze naturale cât și analizarea factorilor de hazard natural ce pot intervine la operarea unui depozit subteran de gaze.

Lucrarea este structurată pe patru capitole, urmată de concluzii și contribuții personale, precum și un volum separat ce cuprinde 23 de anexe grafice.

Capitolul I este dedicat studiului proprietăților fizice și termice ale gazelor naturale.

În capitolul al II – lea sunt analizate terminologiile atât pe plan internațional cât și din acte normative românești privind înmagazinările subterane de gaze naturale. De asemenea sunt studiate condițiile necesare realizării unui depozit subteran de înmagazinare al gazelor naturale cât și principalele tipuri de zăcăminte ce pot fi convertite în depozite subterane. Tot în capitolul al II – lea sunt detaliate avantajele și dezavantajele ale acestor zăcăminte.

Capitolul al III – lea este destinat analizării principalilor factori privind hazardurile naturale atât în condiții de suprafață cât și în condiții de zăcământ.

Capitolul al IV – lea este reprezentat de studiul de caz – *Structura ZD*, structură care este analizată atât din punct de vedere geologic, fizic cât și din punct de vedere al factorilor de hazard natural. Principalele contribuții personale se pot sintetiza astfel:

- Analizarea condițiilor necesare realizării depozitelor subterane de gaze naturale și alegerea optimă a zăcămintelor utilizate ca depozite subterane de gaze. În lucrare autorul precizează faptul că, un punct esențial în proiectarea unui deposit subteran de înmagazinare îl reprezintă identificarea oricărei situații de pierderi (prin scurgeri) provocate de neetanșeitarea sondelor reprezentate prin (complexe/pachete geologice, coloane, cimentări slabe) ducând la migrarea gazelor. Acesta este și motivul pentru care multe zăcăminte depletate convertite în depozite subterane de înmagazinarea a gazelor naturale sunt abandonate.

De asemenea autorul analizează avantajele și dezavantajele atât din punct de vedere geologic cât și din punct de vedere fizic ale principalelor tipuri de zăcăminte utilizate ca depozite de înmagazinare subterană a gazelor naturale și aduce o serie de contribuții și recomandări importante asupra procesului.

Autorul recomandă ca în cazul alegerii domurilor saline pentru depozitarea gazelor naturale, adâncimea domului să nu fie foarte mare (peste 1500 m), întrucât sarea fiind plastică are tendința să migreze prin curgere/fluaj situație ce implică apariția a două cazuri:

- fie se poate produce obturarea zăcământului, situație în care nu-și mai păstrează forma inițială;
- fie se pot crea căi de migrație, caz în care zăcământul nu mai corespunde scopului pentru care a fost proiectat.

- Analiza privind evidențierea factorilor de hazard natural atât la suprafață cât și în adâncime ale structurilor utilizate la procesele de înmagazinare subterană a gazelor naturale. Acești factori de hazard natural au fost identificați și analizați și pe studiul de caz cercetat.

- Analizarea unui studiu de caz (denumit generic *Structura ZD*) pe care se poate proiecta un depozit de înmagazinare subterană a gazelor naturale. Aceasta este analizată atât din punct de vedere al modelului geologic (întocmirea hărților structurale, secțiuni geologice, paralelizarea diagramei geofizice de sondă, reprezentarea izobatică a perforaturilor), din punct de vedere al modelului fizic (studiind comportarea în exploatare a depozitului, tipurile și performanțele acestuia la înmagazinare) cât și din punct de vedere al geohazardurilor ce o influențează;

- Un punct esențial abordat în prezenta lucrare este cel legat de neetanșeitarea coloanelor sondelor (cimentări). Autorul propune două condiții de bază privind execuția sau refacerea unei cimentări dintr-o sondă, respectiv:

- atunci când se execută o cimentare de etanșare a sondelor trebuie obligatoriu făcută la sfârșitul ciclului de injecție, pentru că dacă aceasta se face la sfârșitul ciclului de extracție această etanșeitare se pierde conducând la fisurarea formațiunilor;
- în cazul refacerii cimentărilor coloanelor sondelor se folosesc paste de ciment cu

greutăți volumice mici și vâscozități mari. Pentru aceasta se poate mărire raportul apă – ciment dar intervin inconveniențe: durata mare de prizare, separări de apă și filtrări foarte mari iar rezistențele mecanice ale pietrei de ciment se reduc;

- În prezenta lucrare se propune realizarea a două hărți de injecție respectiv extracție, cu ajutorul cărora se delimitează în funcție de debit contribuția fiecărei sonde adusă la procesul de înmagazinare;

- Autorul propune un algoritm de calcul pentru determinarea istoricului de producție al depozitelor subterane de gaze naturale;

- În ceea ce privește volumul insuficient de pori utilizați la înmagazinare, autorul propune un algoritm privind calculul volumului de pori pentru fiecare complex utilizat la înmagazinare.

- Se propune ca fiecare complex utilizat la înmagazinarea gazelor naturale să fie supus unei analize privind variația consistenței compactării. În urma acestei analize se poate preciza influența proprietăților fizice cât și gradul de avansare al apei.

- Autorul calculează și reprezintă grafic gradientii de presiune și fisurare pentru depozitul subteran de înmagazinare a gazelor naturale de pe *Structura ZD*. Pe baza rezultatelor s-au identificat valorile limită până la care gazele se pot înmagazina în formațiunile geologice și până la care acestea din urmă “*rezistă*” (nu se fisurează). Având în vedere aspectul potrivit căruia presiunea maximă reprezintă o condiție esențială în procesul de injecție al gazelor naturale, autorul identifică două situații:

- prima situație se referă la faptul că *se poate injecta funcție de presiunea de injecție (p_{inj}) rocile prezentând un gradient de fisurare ($\Gamma_{fis,final} = 1,6 \text{ bar}/10\text{m}$);*

- cea de-a doua situație se referă la faptul că *se poate injecta funcție de presiunea de injecție (p_{inj}) rezultând un gradient de fisurare final prin calcul;*

- Dat fiind faptul că studiul de caz cercetat (*Structura ZD*) prezintă neetanșeități ale complexului Sarmațian III, autorul recomandă faptul că nu mai este indicată continuarea înmagazinării pe acest complex;

- Autorul propune o analiză riguroasă asupra perforaturilor sondelor. Reprezentarea grafică a perforaturilor privind studiului de caz *Structura ZD* este prezentată în (*anexa nr.15*).

- În ceea ce privește factorii de hazard natural asupra studiului de caz, autorul a analizat atât litologia de suprafață (executând două foraje geotehnice de mică adâncime) cât și influența acestor factori asupra procesului de înmagazinare la adâncime (cimentări neeficiente, migrări de gaze prin spatele coloanelor, contaminarea formațiunilor, inundabilitatea formațiunilor).

- Autorul analizează și posibilitățile de ivire a unor evenimente în sonde. Unul dintre evenimente ce pot apare ca urmare a utilizării unui depozit subteran de înmagazinare al gazelor naturale este cel în care acesta comunică cu complexe aflate în exploatare, caz în care gazele

migrează astfel că se formează o singură unitate hidrodinamică. La începutul exploatării toate complexele au reprezentat unități hidrodinamice distincte, însă prin modul de exploatare (perforare simultană și neselectivă) gazele rezultate au migrat ca urmare a izolării neeficiente a coloanelor de exploatare ale sondelor ce a favorizat migrarea gazelor din depozitul de înmagazinare în complexele adiacente inferioare și superioare, motiv pentru care s-a ajuns la situația în care complexele considerate obiective de exploatare enumerate să constituie o singură unitate hidrodinamică împreună cu complexul de înmagazinare.

Recomandare!

În cazul în care se remediază totalitatea problemelor legate de etanșeitatea sondelor ce implică migrări masive de gaze, se poate experimenta (în cazul cererii mari de gaze) injecția tip multi ciclu (realizată în cicluri scurte) și funcție de rezultate metoda se poate implementa și la alte depozite subterane de gaze naturale.

Cuvinte cheie: zăcămant, hartă structurală, secțiune geologică, depozit de înmagazinare al gazelor naturale, hazard natural, sisteme de monitorizare, comportare dinamică a rezervorului.



MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE ȘI CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE
UNIVERSITATEA PETROL – GAZE PLOIEȘTI
Facultatea de **Ingineria Petrolului și Gazelor**
Departamentul **Geologie Petrolieră și Inginerie de Zăcământ**
Școala Doctorală

DOCTORAL THESIS

**Contributions to geological conditions and natural hazardous
factors of underground gas storage study**

Doctoral Advisor,

Prof. univ. dr. ing. Nistor Iulian

Author,

Ing. Vlășceanu Costin Viorel

PLOIEȘTI
2017

CONTENT

Thanks	6
Introduction	7
Chapter I – Physical and thermal properties of natural gas	9
1.1) General aspects	9
1.1.1) <i>Critical parameters reduced and corresponding state low</i>	10
1.2) Physical properties of natural gas	11
1.2.1) <i>Knowledge of kinetic theory of gases (perfect gas laws)</i>	11
a) <i>Boyle – Mariotte low</i>	11
b) <i>Gay – Lussac low</i>	13
c) <i>Charles low</i>	13
d) <i>Perfect gases equation</i>	14
e) <i>Dalton low</i>	14
f) <i>Avogadro low</i>	14
g) <i>The Joule – Thomson effect</i>	14
1.2.2) <i>Gas pressure</i>	15
a) <i>Absolute and relative pressure</i>	16
b) <i>Altitude pressure variation</i>	16
1.2.3) <i>Normal and standard status</i>	17
1.2.4) <i>Gas density</i>	17
1.2.5) <i>Gas viscosity</i>	18
1.2.6) <i>Gas volume factor</i>	24
1.3) Thermal properties of natural gas	24
1.3.1) <i>Temperature</i>	25
1.3.2) <i>Thermal conduction</i>	27
1.3.3) <i>Thermal diffusion</i>	30
1.3.4) <i>Capacity and calorific value of gases</i>	30
Chapter II – Current state of underground gas storage	33
2.1) Short presentation of underground gas storage processes in the Romania the world	33
2.1.1) <i>Terminology used in underground storage of natural gas</i>	37
a) <i>Use of Romanian terminology according to the Natural Gas Technical Code</i>	37
b) <i>Terminology used internationally</i>	38

2.2) Conditions for the construction of underground storage of natural gas	40
2.2.1) <i>Characterization of the deposit from the geological point of view</i>	41
2.2.2) <i>Using wells in the storage process</i>	44
2.2.3) <i>The influence of maximum operating pressure</i>	45
2.2.4) <i>Reservoir dynamic behavior</i>	45
2.2.5) <i>Monitoring systems</i>	46
2.2.6) <i>Bottom hole operations and underground storage construction</i>	46
2.2.7) <i>Injection – extraction operations</i>	46
2.3) <i>Selectioning criteria for candidate deposits used to be transformed into natural deposits</i>	47
a) <i>Underground storage of natural gas in depleted deposits</i>	51
b) <i>Underground storage of natural gas in aquifers</i>	53
c) <i>Underground storage of natural gas in saline cavities</i>	58
Chapter III – Emphasizing natural hazardous factors with regard to underground gas storage	67
3.1) Behavior of surface formations (regional scale)	67
3.1.1) <i>The noise</i>	68
3.1.2) <i>The landslides (the lithological surface constitution)</i>	68
3.1.3) <i>Wind action</i>	77
3.1.4) <i>Earthquakes</i>	78
3.1.5) <i>Flooding</i>	82
3.1.6) <i>Anthropic factors</i>	84
a) <i>Saline mining excavations</i>	84
b) <i>Surface works</i>	85
3.2) Specific factors for underground natural gas storage	85
3.2.1) <i>The landslides</i>	88
3.2.2) <i>The sealing potential</i>	88
3.2.3) <i>Wells' integrity</i>	89
3.2.4) <i>Reservoir conditions</i>	90
- <i>Pressure gradients</i>	90
- <i>Fracture pressure gradients</i>	93
- <i>Temperature gradients</i>	95
Chapter IV – Case study – ZD Structure (personal contributions)	97
4.1) The regional geological framework of the Transylvanian Basin	97
4.1.1) <i>Researches history in the Transylvanian Basin</i>	98

4.1.2) <i>Stratigraphy of Neogene geological deposits of the Transylvanian Basin</i>	103
a) <i>Badenian</i>	104
b) <i>Buglovian</i>	106
c) <i>Sarmațian</i>	107
d) <i>Pliocene</i>	108
e) <i>Ponțian</i>	110
f) <i>Dacian</i>	111
4.1.3) <i>The geological evolution of the Transylvanian Basin</i>	112
4.1.4) <i>The general tectonics of the Transylvanian Basin</i>	114
a) <i>The crystalline basement</i>	116
b) <i>The tectonics of prebadenian deposits</i>	118
c) <i>The tectonics of the Badenian – Pliocene series</i>	118
4.1.5) <i>The formation of gas deposits in the Transylvanian Basin</i>	119
a) <i>Distribution of gasifier structures in the Transylvanian Basin</i>	123
b) <i>Hydrocarbons perspectives for presenoniene deposits</i>	125
c) <i>The existence and perspectives of hydrocarbons in prebadeniandeposits</i>	126
4.2) Geological model of the structure	127
4.2.1) <i>Geology of the analyzed structure</i>	127
4.2.2) <i>Stratigraphy and litology</i>	128
4.2.3) <i>The tectonic arrangement of the structure</i>	129
4.2.4) <i>Initial distribution of the fluids</i>	130
4.3) The physical model of the structure	131
4.3.1) <i>Evolution of petroleum process developed on the ZD Structure (the exploitation history, the fluids production and the pressure of the reservoir)</i>	131
4.3.1.1) <i>The natural displacement mechanism for the researched structure</i>	132
4.3.1.2) <i>Detailed production history for four wells initially entered into operation</i>	135
4.3.2) <i>Behavior and recording of operation performance of the underground storage of natural gas, isocumulative maps analisys (on wells types)</i>	135
4.4) Influence of natural hazard factors on the underground storage of natural gas on the ZD Structure	137
4.4.1) <i>The landslides</i>	137
a) <i>Climate data on the studied area</i>	139
b) <i>Geomorphology of the studied region</i>	140

<i>c) Seismic data on the studied area</i>	140
<i>d) Compaction consistency variation</i>	141
4.4.2) <i>Wells' integrity</i>	141
4.4.3) <i>Reservoir conditions</i>	143
<i>a) Pressure gradients</i>	143
<i>b) Fracture pressure gradients</i>	143
<i>c) Temperature gradients</i>	148
4.4.4) <i>The sealing potential</i>	148
<i>a) Cementing analyze</i>	148
<i>b) Perforation analysis</i>	149
<i>c) Injection analysis</i>	149
4.4.5) <i>Studying the contamination of the formations</i> <i>(the porous reservoir properties changes)</i>	150
4.4.6) <i>Forecasts on differentn events recurrence</i>	153
Conclusions and personal contributions	155
List of figures	159
List of tables	162
List of graphical appendices	163
Bibliography	164

INTRODUCTION

The underground storage of natural gas is an efficient technology that has been in use since 1915. It is used to regulate the supply of natural gas reported to fluctuating gas demand.

The first underground natural gas deposit in the world was built in 1915 and was successfully experimented in depleted field in Walland County – Ontario Canada where after the reconditioning of the wells, the natural gas was stored in the summer and extracted in the next winter.

The first underground storage of modern natural gas in Romania carried out in a depleted reservoir was made in 1979 at Urziceni, which has the role of taking over and ensuring natural gas supply for the capital during the cold period.

In our country, the gas consumption has a seasonal character, so there exist a cold period (November - April) when the gas consumption has a very high level and also a hot period (May - October) when the gas consumption is reduced and the gas production increases as a result of low demand.

SUMMARY

The main objective of the PhD thesis "*Contributions to Geological Conditions and Natural Hazards of Underground Gas Storage Study*" is represented by the realization of a deposit model in terms of the underground natural gas storage and the analysis of the natural hazard factors that can intervene to operate an underground gas storage operating.

The paper is structured in 4 chapters, being followed by conclusions, personal contributions and also a separate volume which contains 23 graphical annexes.

Chapter I is dedicated to the study of physical and thermal properties of natural gas.

In the second chapter are analyzed the terminologies and both internationally and Romanian normative acts regarding the underground storage of natural gas. Also, the conditions necessary for the construction of an underground storage of natural gas and the main types of deposits that can be converted into underground deposits are studied. In the Chapter II are detailed presented the advantages and disadvantages of these deposits.

Chapter III is intended to analyze the main factors regarding natural hazards both in surface and in deposit conditions.

The fourth chapter is represented by the case study – ZD Structure, a structure that is analyzed geologically, physically and natural hazard factors. The main personal contributions can be synthesized as follows:

- The analyzing the of necessary conditions for the realization of the underground natural gas deposits and the optimal choice of the deposits used as underground gas deposits. In the paper, the author points out that an essential point in the design of an underground storage deposit is the identification of any leakage caused by loosing wells' integrity due to geological complexes / packets, columns, weak cements leading to gas migration. This is the reason why many depleted deposits converted to underground storage of natural gas are abandoned.

- The author also analyzes the advantages and disadvantages both from geologically and physically point of view of the main types of deposits used as underground storage of natural gas and brings a number of important contributions and recommendations to the process.

- The author recommends that when the salt domes are used for the natural gas storage, the depth of the dome should not be very high (over 1500 m), because of the tendency of salt to flow through the flow / creep, which implies the occurrence of two cases:

- it may be produce the filling of the deposits, situation where it does not retain the initial form;

- it can be created migration routes and in this case the deposits doesn't correspond to the initial purpose.

- The analysis regarding the highlighting of natural hazard factors both on the surface and in depth of structures used in underground natural gas storage processes. These natural hazard factors were also identified and analyzed in the case study investigated.

- The analyzing of a case study (generically called the ZD Structure) on which a natural gas storage facility can be designed. This is analyzed from the geological model point of view (drawing of structural maps, geological sections, parallelization of geophysical wells diagrams, isobatic representation of perforations), from the physical model point of view (by studying the exploitation behavior of the deposit, its types and storage performances) as well as geohazards point of view.

- An essential point emphasized in this paper is the leakage behind wells case (cementation). The author proposes two basic conditions for the execution or restoration well cementation, namely:

- wells drilling to be achieved at the end of injection cycle in order to present formations fracturing and sealing loose;

- for wells casing cementing restoration this has to be done with light densities and high viscosity cements by water percentage increase but this implies a large cementing time, high filtration and low cement strength.

- In this paper it is proposed to be constructed two injection and extraction maps, with which the flow of each well to the storage process is delimited according to the flow rate;

- The author proposes a calculation algorithm for the determination of production history of the underground natural gas deposits;

- Regarding the insufficient volume of pore used for storage, the author proposes an algorithm for calculating the pore volume for each storage complex.

- It is proposed that each complex used for the natural gas storage to be analyzed through the variation in compaction consistency. Following this analysis, it is possible to specify the influence of physical properties and the fracture advancement degree.

-The author calculates and graphs the gradients of pressure and fracture for the underground natural gas storage on the ZD Structure. Based on the results, the limit values to which the gases can be stored in the geological formations and up to which the latter "resist" (does not fracture) have been identified. Considering the aspect that maximum pressure is an essential condition in the natural gas injection process, the author identifies two situations:

-first case refers to the fact that gas can be injected depending on injection pressure (p_{inj}) the rocks presenting a fracture gradient of gas ($\Gamma_{fis,final} = 1,6$ bar/10m);

-second case refers to the fact that gas can be injected depending on the injection pressure (p_{inj}) resulting a final fracture gradient by calculation;

- Given that the investigated case study (Structure of ZD) presents leakages of the Sarmatian III complex, the author conclude that the further storage on this complex is no longer indicated;

-The author proposes a rigorous analysis of the wells perforation. The graphical representation of perforations on the case study ZD structure is presented in appendix no. 15.

- Regarding the natural hazard factors on the case study, the author analyzed both surface lithology (performing two deep geotechnical drilling) and the influence of these factors on the storage process (inefficient cementation, gas migration behind the columns, contamination of formations, floods of formations).

- The author also analyzes the possibilities of some events in the wells. One of the events, that may occur as a result of using of a natural gas storage facility, is the one in which it communicates with the producing complexes, case in which the gases migrate so that a single hydrodynamic unit is formed. At the beginning of the operation, all the complexes represented distinct hydrodynamic units, but by the exploitation mode (simultaneous and non-selective perforation) the resulting gases migrated due to the inefficient isolation of the well columns that facilitated the migration of the gases from the storage in the lower and higher adjacent

complexes which led to the situation in which the complexes considered exploitation objectives constitute a single hydrodynamic unit together with the storage complex.

Recommendation!

If all the problems with the wells integrity involving massive gas migrations are remedied, the multi-cycle (short cycle) injection can be experienced (in case of large gas demand) and depending on results, the method can be implemented also at other underground natural gas storage.

Key words: reservoir, structural map, geological cross section, underground gas storage, natural hazardous, monitoring systems, dynamic reservoir behavior.