

REZUMAT

TEZĂ DE DOCTORAT

Cercetări privind soluțiile tehnice de diminuare a pierderilor de fluide din conductele destinate transportului produselor petroliere lichide și gazelor naturale

Conducător științific,
Prof. univ. dr. ing. Gheorghe Zecheru

Doctorand,
MSc. ing. Cătălin Gabriel Albulescu

Sistemele destinate transportului produselor petroliere și gazelor naturale din România sunt extrem de eterogene, fiind realizate într-un interval mare de timp, cu tehnologiile și mijloacele materiale existente la momentul construcției fiecărui tronson sau rețea de conducte. Timpul scurs de la punerea în funcțiune a rețelelor, precum și condițiile de exploatare variază în limite largi, determinând grade de uzură foarte diferite.

Principalul risc în legătură cu securitatea sistemelor de conducte pentru transportul fluidelor îl reprezintă cedarea unei conducte prin micșorarea grosimii de perete până la o anumită valoare, la care aceasta își pierde etanșeitățile și se produce eliberarea fluidului transportat în exterior. Deși transportul prin conducte este considerat cea mai sigură metodă de transport pe distanțe lungi, datele culese în urma diferitelor avarii produse au ridicat nivelul de risc aferent exploatării acestora la cel corespunzător funcționării unei rafinării. Abilitatea de a prezice cedarea conductelor poate crea un avantaj foarte mare în vederea reducerii acestor riscuri.

Pe lângă pierderile economice, scăpările de produse petroliere și gaze din conducte pot genera incidente majore prin inițierea exploziilor. Exploatarea conductelor de transport cu grad minim de risc presupune monitorizarea permanentă a eventualelor scăpări de fluide.

Gazele din defectele conductelor de transport, care ajung la suprafața solului, stau la baza posibilelor incidente ce pot să apară. Din această cauză este important să se cunoască atât debitele de gaze scăpate cât și configurația geometrică a ariei afectate.

Teza de doctorat și-a propus analizarea factorilor care determină producerea evenimentelor de mare gravitate în funcționarea conductelor, prezentarea principiilor managementului riscului cu aplicații la sistemele de transport fluide, identificarea metodelor actuale de depistare a scăpărilor de fluide din conducte, realizarea unor modelări pentru a înțelege fenomenul de difuzie a fluidului din sol și până la suprafața solului iar în final stabilirea măsurilor care trebuie implementate pentru reducerea riscului și operarea sistemelor de transport în condiții de siguranță.

Capitolul 1 al tezei este intitulat „Caracteristicile tehnice ale sistemelor de transport pentru petrol, produse petroliere lichide și gaze naturale” și începe cu descrierea celor două mari sisteme de transport prin conducte din țara noastră, și anume Sistemul Național de Transport Țitei, Gazolină, Etan și Condensat și Sistemul Național de Transport Gaze Naturale (SNT). În continuare se analizează cedările, scăpările de fluide, exploziile și incendiile, precum și factorii care le determină și consecințele acestor evenimente de mare gravitate.

Capitolul 2 prezintă principiile managementului riscului, în conformitate cu standardul ISO 31000:2009 – Risk management - Guidelines on principles and implementation of risk management. Se introduce riscul tehnic, sunt prezentate scări de apreciere ale probabilității

aparitiei unei avarii majore pe durata exploatarei unui sistem de transport și se explică pașii care trebuie urmați pentru reducerea riscului.

Capitolul 3 este intitulat „Metodele de depistare a scăpărilor de fluide din conductele de transport” și se axează pe metodele actuale folosite pentru depistarea scăpărilor de fluide. Acestea se împart în două mari categorii, și anume metode interne - metode bazate pe măsurarea parametrilor fluidului transportat și metode externe - metode bazate pe monitorizarea traseului conductei și detectarea scăpărilor cu aparatură specializată. Indiferent de metoda de monitorizare, detectarea scăpărilor de gaze se realizează cu aparatură ce se bazează pe senzori sensibili la modificările fizice sau chimice ale atmosferei sau solului în prezența produselor petroliere sau a gazelor naturale. Sunt introduse principalele tehnologii de prevenire a scăpărilor de produse petroliere și gaze naturale din conducte, bazate pe monitorizarea coridorului conductei iar în finalul capitolului sunt prezentate rezultatele unei inspecții realizate prin metoda teledetecției cu laser acordabil cu diodă –DIAL asupra conductelor aparținând Sistemului Național de Transport Gaze Naturale.

În cadrul capitolului 4, pentru a studia diversele aspecte legate de scurgerea gazelor prin defectele conductelor îngropate s-a realizat un model numeric tridimensional original, capabil să simuleze mișcarea nestaționară a gazelor prin solul din jurul conductelor, ținând seama de geometria reală. Modelul numeric original a permis analiza factorilor care influențează procesul scurgerii gazelor prin defecte, cum sunt: influența poziției defectului pe conductă asupra debitului de gaze scurse prin defect, influența adâncimii de îngropare a conductei precum și variația debitului de gaze funcție de distanța dintre defectele multiple ale conductei. O altă problemă care a fost abordată cu acest model constă în determinarea perioadei tranzitorii a scurgerii gazelor prin defectul conductei, precum și variația debitului în această perioadă. În ceea ce privește scurgerea lichidelor din conductele îngropate, s-a realizat un stand experimental în cadrul Departamentului de Foraj, Extracție și Transport, prin care s-a testat cum este influențat volumul de fluid care se pierde prin defect, funcție de mai mulți factori, și anume: dimensiunea defectului, poziția defectului pe conductă, definită prin unghiul pe care îl face raza care trece prin centrul defectului cu un plan perpendicular pe axa conductei, înălțimea materialului din recipient și tipul de material utilizat. S-au folosit diverse produse software existente pe piață sau dezvoltate special pentru acest experiment iar în final s-a căutat o formulă pentru debitul scurgerii printr-o conductă îngropată.

Capitolul 5 este destinat măsurilor de diminuare a riscului atașat funcționării conductelor de transport și considerațiilor practice privind securitatea tehnică a conductelor destinate transportului fluidelor. Sunt prezentate și aspecte privind stabilirea grosimii de perete a țevilor și verificarea comportării conductei la solicitările compuse în cursul exploatarei și probării.

Cuvinte cheie: conducte de transport gaze naturale și produse petroliere lichide, sisteme de transport, cedarea conductelor, scăpări de fluide, explozii, incendii, fenomene de mare gravitate în funcționarea conductelor, managementul riscului la conductele de transport, metode de depistare a pierderilor de fluide, metode externe și metode interne de depistare a scăpărilor, model numeric tridimensional original, mișcare nestaționară a gazelor prin sol, influența factorilor asupra debitului de gaze scurse prin defect, stand experimental lichide, influența factorilor asupra volumului de apă care se scurge printr-un defect, măsuri de diminuare a riscului asociat conductelor, aspecte practice privind securitatea tehnică a conductelor, stabilirea grosimii de perete a țevilor și verificarea comportării conductei la solicitări compuse.

ABSTRACT

DOCTORAL DISSERTATION

Research concerning technical solutions for the reduction of fluid losses from the transmission pipelines for liquid petroleum products and natural gas

Doctoral supervisor,
Professor dr. engineer Gheorghe Zecheru

Graduand,
MSc. engineer. Cătălin Gabriel Albulescu

The systems designed for the transport of petroleum products and natural gas in Romania are extremely heterogeneous, being built in a long period of time with the technologies and the material means existing at the moment of the development of each section or pipeline network. The time elapsed from the commissioning of networks, as well as the operating conditions vary widely, determining various degrees of wear.

The main risk regarding the security of the pipeline systems for fluid transport is the pipeline failure due to the diminishing of the wall thickness up to a certain value, at which it loses its tightness and the loss of the transported fluid can occur outside. Although pipeline transport is considered to be the safest method of transport on long distances, the data collected from different damages raised the risk level associated with pipeline usage to the one corresponding to the functioning of a refinery. The ability to forecast pipeline failure may represent an important advantage to reduce these risks.

Besides economic losses, losses of petroleum products and natural gas from the pipelines can lead to major incidents due to the occurrence of explosions. The exploitation of the transport pipelines with a minimum risk implies a continuous monitoring of the possible fluid losses.

Gas resulting from transport pipeline failures, which gets to the ground surface, lies at the base of possible incidents that might occur. Because of this, it is very important to know both the lost gas flow and the geometric configuration of the affected area.

The doctoral dissertation aims at analyzing the factors that may lead to the occurrence of serious incidents related to the functioning of the pipelines, presenting the risk management principles with applications to the fluid transport systems, identifying the present methods of tracing fluid losses from pipelines, making simulations for a better understanding of the fluid diffusion phenomenon from the ground to its surface and lastly establishing the measures which must be implemented to reduce the risk and to operate transport systems in safety conditions.

The first chapter of the thesis is entitled “The Technical Characteristics of the Transport Systems for Petroleum, Liquid Petroleum Products and Natural Gas” and starts with the description of the two major pipeline transport systems in our country: The National System of Crude Oil, Gasoline, Ethane and Condensate Transport and The National System of Natural Gas Transport. Furthermore, the chapter analyses failures, fluid losses, explosions and fires, as well as the factors which cause them and the consequences of these major incidents.

Chapter 2 presents the principles of risk management in compliance with the ISO31000:2009 standard - Risk management - Guidelines on principles and implementation of risk management. The chapter also introduces the concept of technical risk, presents some probability assessment scales in case of major damage during the exploitation of a transport

system and explains the steps which must be followed to reduce risks.

Chapter 3 is entitled “Methods of Detecting Fluid Losses from Transport Pipelines” and focuses on present methods used for detecting fluid losses. These are divided in two major categories, that is, internal methods - methods based on measuring the parameters of the transported fluid and external methods - methods based on monitoring the pipeline route and detecting the losses with special equipment. Irrespective of the monitoring method, the gas loss detection is made with equipment based on sensors sensitive to the physical or chemical atmosphere or soil changes in the presence of petroleum products or gas. The chapter introduces the main technologies for the prevention of petroleum products and natural gas losses from the pipelines, based on monitoring the pipeline passage and in the final part the chapter presents the results of a check performed on the pipelines belonging to the National System of Natural Gas Transport using the method of teledetection with tunable/adjustable laser – DIAL.

In order to study various aspects related to gas losses resulted from the faults of the buried pipelines, Chapter 4 presents an original tridimensional numeric model, capable to simulate unsteady movement of gas through the soil around the pipelines, taking into consideration the real geometry. The original numeric model allowed the analysis of the factors which influence the process of gas leak due to faults such as: the influence of fault position on the pipeline on the gas flow through the respective fault, the influence of pipeline ground depth as well as the gas flow variation depending on the distances among the multiple faults of the pipeline.

Another aspect dealt with this model consists in determining the transient period of the gas loss through the fault of the pipeline, as well as flow variation during this period of time. As far as the fluid loss from the buried pipelines is concerned, an experimental stand has been made within The Department of Drilling, Extraction and Transport; the stand tested the influence of the volume of the fluid loss through the fault, depending on several factors such as: the fault size, its position on the pipeline, defined by the angle made by the beam which crosses the centre of the fault in a perpendicular plane on the pipeline axis, the height of the material in the recipient and the type of used material. Different software products existing on the present market or especially developed for this experiment have been used and lastly a formula for the leak flow through a buried pipeline has been searched for.

Chapter 5 shows the risk minimizing measures in the case of the transport pipeline functioning as well as practical considerations regarding the technical security of the fluid transport pipelines. It also presents several aspects regarding the calculation of the wall thickness of the pipes and the checking of the pipeline behaviour in complex conditions during the exploitation and check stages.

Key words: natural gas and liquid petroleum products transport pipelines, transport systems, pipeline flaw, fluid losses, explosions, fires, major phenomena of the pipeline functioning, risk management of transport pipelines, methods of tracing fluid losses, external and internal methods of detecting losses, original tridimensional numeric model, unsteady movement of the gas through the ground, the influence of the factors on the gas flow lost through the flaw, liquid experimental stand, the influence of the factors on the lost water volume through the flaw, methods of reducing risks related to pipelines, practical aspects regarding the technical security of the pipelines, calculating the wall thickness of the pipelines and checking the pipeline behaviour in complex conditions.

CUPRINS

pag.

Introducere	3
1. Caracteristicile tehnice ale sistemelor de transport pentru petrol, produse petroliere lichide și gaze naturale	
1.1. Prezentarea generală a sistemelor de transport petrol, produse petroliere lichide și gaze naturale	7
1.1.1. Descrierea procesului de transport țiței	7
1.1.2. Descrierea procesului de transport gaze naturale	10
1.2. Fenomenele de degradare a conductelor de transport	14
1.2.1. Evenimentele de mare gravitate în funcționarea conductelor: cedările, scăpările de gaze, incendiile și exploziile	14
1.2.2. Clasificarea imperfecțiunilor și defectelor tubulaturii din oțel a conductelor de transport	25
1.3. Concluzii	32
2. Managementul riscului la conductele destinate transportului petrolului, produselor petroliere lichide și gazelor naturale	
2.1. Principiile managementului riscului	35
2.2. Particularitățile aplicării managementului riscului la conductele de transport al hidrocarburilor	41
2.3. Concluzii	57
3. Metodele de depistare a scăpărilor de fluide din conductele de transport	
3.1. Metodele externe de depistare a scăpărilor de fluide din conducte	61
3.1.1. Metodele externe și folosirea lor în prezent	61
3.1.2. Fuziunea datelor și procesarea imaginilor	71
3.2. Metodele interne de depistare a scăpărilor de fluide din conducte	76
3.2.1. Metoda bilanțului masic	76
3.2.2. Metoda de detectare a scăderii presiunii	76
3.2.3. Metoda modelării în timp real a regimurilor tranzitorii	76
3.3. Metodele de prevenire a scăpărilor de produse petroliere și gaze naturale din conducte	77
3.3.1. Metoda detecției cu avioane mici teleghidate (drona)	79
3.3.2. Metoda monitorizării conductei cu fibră optică	79
3.3.3. Metoda depistării acțiunii terților cu senzori seismici	81
3.3.4. Metoda detecției prin intermediul senzorilor acustici	82
3.3.5. Detectarea acțiunii terților prin analiza imaginilor din satelit	84
3.3.6. Detectarea acțiunii terților cu ajutorul unei rețele de baloane de mare altitudine	84
3.4. Cercetările experimentale privind utilizarea inspecției aeriene pentru detectarea scăpărilor pe conductele de transport al gazelor naturale amplasate în zone greu accesibile	85
3.4.1. Descrierea echipamentului ALMA G2 utilizat în cadrul inspecției	85

3.4.2. Prezentarea rezultatelor obținute în urma inspecției aeriene	89
3.5. Concluzii	94
4. Modelarea producerii scăpărilor de fluide combustibile din conductele de transport	
4.1. Modelarea scăpărilor de lichide din conducte	97
4.1.1. Prezentarea programului experimental	97
4.1.2. Prezentarea rezultatelor obținute	103
4.1.3. Interpretarea rezultatelor experimentului cu lichide	116
4.2. Modelarea scăpărilor de gaze din conducte	125
4.2.1. Prezentarea modelului numeric creat	125
4.2.2. Prezentarea rezultatelor obținute cu modelul numeric original	128
4.3. Concluzii	145
5. Soluțiile tehnice de diminuare a scăpărilor de fluide din conductele de transport și menținerea riscului în domeniul acceptat	
5.1. Măsurile de diminuare a riscului atașat funcționării conductelor de transport	151
5.2. Particularizarea măsurilor de diminuare a riscului în cazul conductelor de transport al gazelor naturale	156
5.3. Particularități privind stabilirea grosimii de perete a țevilor și verificarea comportării conductei la solicitările compuse din cursul exploatării și probării	158
5.4. Considerații practice privind securitatea tehnică a conductelor destinate transportului gazelor naturale	161
5.5. Concluzii	167
6. Concluzii, contribuții originale și direcții de continuare a cercetărilor	
6.1. Concluzii	171
6.2. Contribuții originale	178
6.3. Direcții de continuare a cercetărilor	181
Bibliografie	183
Anexa 1	191
Anexa 2	195
Anexa 3	199
Abstract	203

CONTENTS

	pg.
Introduction	3
1. Technical characteristics of petroleum, liquid petroleum products and natural gas transport systems	
1.1. General description of petroleum, liquid petroleum products and natural gas transport systems	7
1.1.1. Description of crude oil transport process	7
1.1.2. Description of natural gas transport process	10
1.2. Degradation phenomena of transport pipeline	14
1.2.1. Major incidents related to the functioning of pipelines: faults, gas leaks, fires and explosions	14
1.2.2. Classification of faults and flaws of steel tubing in the transport pipelines.....	25
1.3. Conclusions	32
2. Risk management of the pipelines used for the transport of petroleum, liquid petroleum products and natural gas	
2.1. Risk management principles	35
2.2. Customization of risk management applied to pipelines	41
2.3. Conclusions	57
3. Methods of detecting fluid leaks in the transport pipelines	
3.1. External methods of fluid leak detection in pipelines	61
3.1.1. External methods and their present usage	61
3.1.2. Data fusion and image processing	71
3.2. Internal methods of fluid leak detection in pipelines	76
3.2.1. Mass balance method	76
3.2.2. Method of pressure decrease detection	76
3.2.3. Real time modeling method of transient state	76
3.3. Methods for preventing losses of petroleum products and natural gas from pipelines	77
3.3.1. Unmanned aircraft systems (drones)	79
3.3.2. Fiber optic detection	79
3.3.3. Seismic sensor detection	81
3.3.4. Acoustic impact detection systems	82
3.3.5. Landfall satellite detection	84
3.3.6. Detection with a high altitude secured balloon network	84
3.4. Experimental research on the use of aerial inspection for detecting gas leak in natural gas transport pipelines situated in less accessible areas	85
3.4.1. ALMA G2 equipment description	85
3.4.2. Presentation of the results obtained with the aerial inspection	89
3.5. Conclusions	94

4. Modeling the generation of inflammable fluid losses from the transport pipelines	
4.1. Modeling liquid losses from pipelines	97
4.1.1. Presentation of the designed experimental stand	97
4.1.2. Presentation of the obtained results	103
4.1.3. Interpretation of the results of the liquid experiment	116
4.2. Modeling gas leak in pipelines	125
4.2.1. Presentation of the designed numerical model	125
4.2.2. Presentation of the results obtained with the initial numerical model	128
4.3. Conclusions	145
5. Technical solutions to diminish fluid leak in transport pipelines and risk maintenance at accepted rates	
5.1. Risk mitigation measures related to the transport pipeline functioning	151
5.2. Customization of risk mitigation measures for natural gas transport pipelines	156
5.3. Aspects regarding the calculation of the pipe wall thickness and the observation of the pipeline behavior in complex circumstances during exploitation and checking	158
5.4. Practical considerations regarding the technical security of natural gas transport pipelines	161
5.5. Conclusions	167
6. Conclusions, personal contributions and future research directions	
6.1. Conclusions	171
6.2. Personal contributions	178
6.3. Future research directions	181
Bibliography	183
Appendix 1	191
Appendix 2	195
Appendix 3	199
Abstract	203