

**MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE
ȘI CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE
UNIVERSITATEA PETROL – GAZE DIN PLOIEȘTI
FACULTATEA DE INGINERIE MECANICĂ ȘI ELECTRICĂ
DEPARTAMENTUL INGINERIE MECANICĂ**

TEZĂ DE DOCTORAT

- REZUMAT -

**CONTRIBUȚII PRIVIND EVALUAREA STĂRII DE
DEGRADARE A REȚELELOR URBANE DE DISTRIBUȚIE A
GAZELOR NATURALE**

Conducător științific
Prof. Dr. Ing. Ioan TUDOR

Doctorand
Ing. Ștefan Mihai FILIP

Ploiești 2016

REZUMAT

Problemele diverse apărute în exploatarea rețelelor urbane de distribuție gaze naturale au condus la studierea, cercetarea inginerască și întocmirea tezei de doctorat cu denumirea *„Contribuții privind evaluarea stării de degradare a rețelelor urbane de distribuție a gazelor naturale”*.

Capitolul I, *„Rețelele de distribuție a gazelor naturale”* are ca scop descrierea sistemelor de alimentare cu gaze naturale, modul de realizare și exploatare al acestora și descrie tipurile de defecte întâlnire pe conductele care fac parte din sistem și cercetarea fenomenului de cedare a unei conducte la presiunea interioară când pe peretele exterior al acesteia există defecte de coroziune și de tipul deformare de material; simularea fiind făcută în Catia.

Al II-lea capitol, *„Degradarea prin coroziune a rețelelor subterane de distribuție gaze naturale”* descrie detaliat procesele de coroziune a conductelor și prezintă o clasificare a acestora; analizează fenomenele fizice care conduc la degradarea elementelor sistemelor de distribuție gaze naturale, grăbind coroziunea acestora.

Capitolul III, *„Protecția conductelor contra coroziunii”*, prezintă aspecte care aplicate și respectate pot îmbunătăți calitatea rețelelor urbane de distribuție, fiind vorba aici despre protejarea anticorozivă a conductelor urbane de oțel.

Un alt subpunct foarte important al acestui capitol este cercetarea realizată în laboratorul Universității Petrol-Gaze din Ploiești cu referire la fenomenul de electroosmoză.

Cel de-al IV-lea capitol, *„Cercetarea factorilor care conduc la deteriorarea izolațiilor rețelelor urbane de distribuție gaze naturale”* este integral destinat cercetării, în deosebi a fenomenelor mecanice care conduc la degradarea izolație.

În cadrul acestui capitol s-a realizat și o analiză specifică cu elemente finite a izolației aplicate la rece pe conductele de distribuție gaze naturale.

Al V-lea capitol, *„Evaluarea stării de degradare a rețelelor urbane de distribuție”* este un capitol care prezintă și propune variante de evidențiere și gestionare a datelor referitoare la rețelele urbane de distribuție gaze naturale în scopul generării de strategii referitoare la mentenanța și modernizarea acestora.

Cuvinte cheie: gaze naturale, rețele urbane de distribuție, conducte, coroziune, protecție anticorozivă, protecție catodică, izolație, forțe de tracțiune, forțe de compresiune, rezistența izolației, exploatarea sistemelor de distribuție, izolarea țevelor, element finit, evaluare, expertizare.

CUPRINS

	nr. pag.	
	rezumat	teză
REZUMAT	1	3
CUPRINS	2	5
ABSTRACT.....	5	9
CONTENTS.....	6	11
I. REȚELELE DE DISTRIBUȚIE A GAZELOR NATURALE	9	15
1.1 Introducere	9	15
1.2 Sisteme de alimentare cu gaze naturale	9	15
1.3 Instalarea conductelor de distribuție	9	17
1.4 Condiții de instalare	9	19
1.5 Integrarea conductelor de distribuție gaze în infrastructura utilităților locale	10	20
1.6 Instalarea subterană în șanț deschis	10	21
1.7 Geometria șanțului de pozare a conductei	10	22
1.8 Sudarea țevelor din oțel	10	23
1.9 Compactarea umpluturii	11	27
1.10 Instalarea conductelor aeriene de gaze	11	28
1.11 Recepția tehnică și punerea în funcțiune a rețelilor de distribuție a gazelor naturale	11	29
1.12 Întreținerea sistemelor de distribuție a gazelor naturale	12	31
1.13 Defecte întâlnite la conductele de distribuție	12	33
1.13.1 Analiza și clasificarea defectelor	12	33
1.13.2 Cercetarea comportării la presiune interioară	14	36
II. DEGRADAREA PRIN COROZIUNE A REȚELELOR SUBTERANE DE DISTRIBUȚIE GAZE NATURALE	17	41
2.1 Considerații generale	17	41
2.2 Procese specifice de coroziune la conductele de gaze	17	43
2.3 Gradul de coroziune	18	46
2.4 Coroziunea și agresivitatea solului	18	48
2.5 Tipuri de coroziune specifice conductelor subterane	19	50
2.5.1 Coroziunea uniformă	19	51
2.5.2 Coroziunea galvanică	19	51

2.5.3 Coroziunea prin aerare diferențială	19	51
2.5.4 Coroziunea interstițială	19	51
2.5.5 Coroziunea în puncte	19	52
2.5.6 Fisurarea prin coroziune sub tensiune	20	54
2.5.7 Coroziunea în condiții de deformarea locală	20	60
2.5.8 Coroziunea în condiții de oboseală	21	61
2.5.9 Coroziunea și fragilizarea în prezența hidrogenului sulfurat	21	61
2.5.10 Coroziunea microbiană	21	63
2.6 Analiza ruperilor de conducte subterane	21	63
2.7 Tensionarea conductei aflată în peretele unei excavații	21	65
2.8 Tensionarea conductei dispusă transversal pe excavație	22	69
III. PROTECȚIA CONDUCTELOR CONTRA COROZIUNII	23	71
3.1 Protecția prin acoperire	23	71
3.2 Generalități privind protecția pasivă	23	71
3.3 Protecția prin vopsire a conductelor aeriene	23	72
3.4 Protecția prin izolarea exterioară a conductelor subterane	23	73
3.5 Sisteme de izolație	23	75
3.5.1 Acoperirea cu bitum	23	75
3.5.2 Acoperirea prin extrudarea polietilenei	24	77
3.5.3 Izolarea țevelor și cordoanelor de sudură prin înfășurare de benzi adezive din polietilenă	24	78
3.5.4 Izolarea conductei la ieșirea din sol	24	82
3.6 Factorii de influență a integrității materialelor de acoperire	24	82
3.7 Repararea locală a defectelor de izolație	25	83
3.8 Protecția catodică	25	84
3.8.1 Noțiuni introductive	25	84
3.8.2 Sisteme de protecție catodică	25	85
3.8.3 Protecția catodică cu anodi galvanici	25	85
3.8.4 Protecția catodică prin injecție de curent	25	87
3.8.5 Stația de protecție catodică	26	88
3.8.6 Priza anodică	26	89
3.8.7 Controlul sistemului de protecție catodică	26	90
3.8.8 Eficacitatea protecției catodice	26	90
3.8.9 Desprinderea catodică a izolației	26	91
3.9 Cercetarea experimentală a fenomenului de electroosmoză	27	93
IV. CERCETAREA FACTORILOR CARE CONDUC LA DETERIORAREA	28	95

IZOLAȚIILOR REȚELELOR URBANE DE DISTRIBUȚIE GAZE NATURALE.		
4.1 Aspecte introductive	28	95
4.1 Încercarea la tracțiune	28	96
4.2.1 Construcția epruvetelor	28	96
4.2.2 Materialul epruvetelor	29	97
4.2.3 Mașina de încercare	29	99
4.2.4 Rezultate obținute	29	101
4.2.5 Interpretare	31	104
4.3 Rezistența electrică a izolație	31	104
4.3.1 Pregătirea epruvetelor	31	104
4.3.2 Metoda de încercare	32	106
4.4 Analiza specifică cu elemente finite a izolației aplicate la rece	35	110
V. EVALUAREA STĂRII DE DEGRADARE A REȚELELOR URBANE DE DISTRIBUȚIE	39	121
5.1 Analizarea stării rețelelor urbane de distribuție gaze naturale	39	122
5.2 Expertizarea rețelelor urbane de distribuție gaze naturale	42	127
VI. CONCLUZIILE TEZEI DE DOCTORAT	43	129
6.1 Concluzii generale	43	129
6.2 Contribuții originale	46	132
6.3 Direcții noi de cercetare	46	132
VII. BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ	47	135

ABSTRACT

Various problems occurring in operating the urban networks for natural gas distribution, led the study and engineering research thesis with the title: ***"Contributions regarding evaluation of the degradation condition of the urban networks for natural gas distribution"***.

Chapter I, *"Natural gas distribution networks"* has as scope the description of the natural gas supply systems, the way they are built and operated and describes the types of defects on those pipelines that are part of the supply system and it was researched the phenomena of the failure of a pipe under internal pressure when there are corrosion defects on its outer wall and the type of material deformation; simulation was done in Catia.

The second chapter, *„Degradation by corrosion of underground natural gas distribution networks"* describes in detail the processes of corrosion of pipes and brings forward their classification; analyzes the physical phenomena that lead to the degradation of natural gas distribution systems elements, accelerating their corrosion.

Chapter III, *"Pipeline protection against corrosion"*, presents aspects that if applied and followed can improve the quality of urban distribution networks for natural gas, the main aspect brought forward, being the anticorrosive protection for urban steel pipelines.

Another very important subitem of this chapter is the research conducted in the laboratory from Petroleum-Gas University in Ploiesti referring to the electroosmosis phenomena.

The IV-th chapter, *"Research of factors leading to the deterioration of the insulation of urban networks for gas distribution"* is entirely dedicated for research, especially of mechanical phenomena that lead to the insulation degradation.

In this chapter it was conducted and a specific analysis with insulation finite elements applied in cold environment on pipelines for gas distribution.

The V-th chapter, *"Evaluation of degradation of the urban distribution networks"* presents and proposes an assortment of recording, reveling and managing data for urban networks for natural gas distribution in order to generate strategies for maintenance and modernization, in one sentence: integrity management of urban gas distribution networks.

Keywords: natural gas, urban distribution networks, pipeline corrosion, corrosion protection, cathodic protection, insulation, tensile force, compressive force, insulation resistance, operation of distribution systems, pipe insulation, finite element, evaluation, examination.

CONTENTS

	pg. no.
	abstract thesis
ABSTRACT RO	1 3
CONTENTS RO	2 5
ABSTRACT.....	5 9
CONTENTS.....	6 11
I. I. NATURAL GAS DISTRIBUTION NETWORKS	9 15
1.1 Introduction	9 15
1.2 Natural gas supply systems	9 15
1.3 Installation of distribution pipelines	9 17
1.4 Conditions for installation	9 19
1.5 Integration of gas distribution pipelines in local utilities infrastructure	10 20
1.6 Installing underground in open trench	10 21
1.7 The geometry of the trench laying pipe	10 22
1.8 Welding steel pipes	10 23
1.9 Filler compaction	11 27
1.10 Above-ground gas pipelines installation	11 28
1.11 Technical take-over and commissioning of natural gas distribution networks ..	11 29
1.12 Exploitation of natural gas distribution systems	12 31
1.13 Defects encountered in distribution pipelines	12 33
1.13.1 Analysis and defects classification	12 33
1.13.2 Research reaction to internal pressure	14 36
II. DEGRADATION BY CORROSION OF UNDERGROUND NATURAL GAS DISTRIBUTION NETWORKS	17 41
2.1 General considerations	17 41
2.2 Specific processes for gas pipelines corrosion	17 43
2.3 Degree of corrosion	18 46
2.4 Corrosion and soil aggressiveness	18 48
2.5 Types of corrosion specific to underground pipelines	19 50
2.5.1 Uniform corrosion	19 51
2.5.2 Galvanic corrosion	19 51
2.5.3 Corrosion by differential aeration	19 51

2.5.4 Interstitial corrosion	19	51
2.5.5 Corrosion in points	19	52
2.5.6 Fissure under pressure corrosion	20	54
2.5.7 Corrosion under local deformation conditions	20	60
2.5.8 Corrosion under fatigue conditions	21	61
2.5.9 Corrosion and weakening under the presence of hydrogen sulfide	21	61
2.5.10 Microbial corrosion	21	63
2.6 Analysis of breaks of underground pipelines	21	63
2.7 Tension of pipeline in the wall of an excavation	21	65
2.8 Tension of pipeline in a transverse position to the excavation	22	69
III. PIPELINE PROTECTION AGAINST CORROSION	23	71
3.1 Protection by cover	23	71
3.2 Background of passive protection	23	71
3.3 Painting protection of the above-ground pipelines	23	72
3.4 Protection of underground pipes by outer insulation	23	73
3.5 Insulation systems	23	75
3.5.1 Bitumen coating	23	75
3.5.2 Coverage by extruding polyethylene	24	77
3.5.3 Isolation of pipelines and band welds by wrapping adhesive polyethylene tape	24	78
3.5.4 Isolation of the pipeline when getting out of the soil	24	82
3.6 Factors influencing the integrity of coating materials	24	82
3.7 Repairs for local insulation faults	25	83
3.8 Cathodic protection	25	84
3.8.1 Introduction	25	84
3.8.2 Cathodic protection systems	25	85
3.8.3 Cathodic protection with galvanic anodes	25	85
3.8.4 Cathodic protection by current injection	25	87
3.8.5 Cathodic protection station	26	88
3.8.6 Anode socket	26	89
3.8.7 Cathodic protection system control	26	90
3.8.8 Effectiveness of cathodic protection	26	90
3.8.9 Cathodic detach of insulation	26	91
3.9 Experimental research of electroosmosis phenomena	27	93
IV. RESEARCH OF FACTORS LEADING TO THE DETERIORATION OF THE INSULATION OF URBAN NETWORKS FOR GAS DISTRIBUTION	28	95
4.1 Preliminary aspects	28	95

4.2 Tensile test	28	96
4.2.1 Specimens construction	28	96
4.2.2 Specimens material	29	97
4.2.3 Test machine	29	99
4.2.4 Results	29	101
4.2.5 Interpretation	31	104
4.3 Insulation resistance	31	104
4.3.1 Preparation of specimens	31	104
4.3.2 Test method	32	106
4.4 Specific analysis with finite element insulation applied in cold	35	110
V. EVALUATION OF DEGRADATION OF THE URBAN DISTRIBUTION NETWORKS	39	121
5.1 Assessment of urban gas distribution networks	39	122
5.2 Expertise of urban gas distribution networks	42	127
VI. CONCLUSIONS	43	129
6.1 General conclusions	43	129
6.2 Original contributions	46	132
6.3 Directions for new research	46	132
VII. BIBLIOGRAPHY	47	135

I. REȚELELE DE DISTRIBUȚIE A GAZELOR NATURALE

1.1 Introducere

Rețelele de distribuție a gazelor naturale în funcție de extinderea localității sunt constituite din conducte intercomunicante, stații de reglare a presiunii de serviciu și branșamente. Cele mai complexe sunt rețelele urbane, iar cele mai simple sunt cele din localitățile rurale dar, indiferent de instalare, acestea trebuie să satisfacă cât mai bine condițiile de siguranță în exploatare. Conform standardului european EN 10208-2 toate aceste componente trebuie să fie etanșe și să reziste la presiunea de serviciu.

Conductele locale de distribuție, în funcție de consumator, lucrează la presiuni maxime de 6 bar. Normele tehnice și cerințele minime ale proiectării, construcției, exploatării și întreținerii sistemului de racordare sunt prezentate în [25] și [20].

Accesul la rețeaua actualizată de distribuție se face conform [30] și Legii 123 din 2012 [23], iar condițiile de livrare sunt precizate în contractele încheiate între furnizor și consumator.

1.2 Sisteme de alimentarea cu gaze naturale

Sistemele de alimentare cu gaze naturale pornesc de la stațiile de reglare-măsurare (SRM) ale transportatorului de gaze (SNT) și ajung la consumatorul eligibil.

Tipurile de elemente de rețea prezentate în cadrul acestui capitol sunt:

- conducte de repartiție;
- conductele de distribuție;
- conductele de branșament;
- teurile de branșament;
- postul de reglare-măsurare;
- alte componente: tuburile de protecție, răsuflătorile, refulatoarele de gaze, separatoarele de apă condensată, robinetele, îmbinările tip flanșe, îmbinările electroizolante etc.

1.3 Instalarea conductelor de distribuție

Conductele și branșamentele se instalează pe baza documentației tehnice elaborată de o societate recunoscută de ANRE ce îndeplinește condițiile tehnice de construcție și exploatare [25]. Conductele din oțel sunt pozate în principal subteran și numai în situații deosebite suprateran.

1.4 Condiții de instalare

Conductele de distribuție și branșamentele se instalează pe baza documentației tehnice

stabilită prin caietul de sarcini și normativele în vigoare. Această documentație conține: tipul rețelei de distribuție (liniară, inelară, ramificată, buclată), mărimea și configurația zonei sau localității deservite, presiunea de lucru a fiecărui sector, dimensionarea materialului tubular și a celorlalte componente, echipamentele de măsurare și contorizare, protecția anticorozivă, criteriile de asigurare a condițiilor de funcționare în siguranță și de neîntreruperea alimentării cu gaze naturale.

Proiectarea și executarea sistemelor de distribuție a gazelor naturale, a modificării, extinderii sau reviziei acestora, se fac numai pe baza reglementărilor în vigoare, după obținerea aprobărilor legale [20].

1.5 Integrarea conductelor de distribuție gaze în infrastructura utilităților locale

Conductele de distribuție a gazelor naturale din localitățile urbane, dar și în unele localități rurale, se află integrate în infrastructura de utilități locale ce cuprind: alimentarea cu apă potabilă, rețeaua de canalizare, rețeaua de termoficare, rețeaua de alimentare cu energie electrică de joasă și înaltă tensiune, rețeaua de telecomunicații, rețeaua de iluminat stradal, rețeaua de semnalizare electrică, rețeaua de televiziune prin cablu. Utilitățile menționate se dezvoltă permanent și de acest aspect trebuie să se țină seama la extinderea rețelei de gaze, multe dintre ele impunând o serie de restricții.

1.6 Instalarea subterană în șanț deschis

Instalarea în șanț deschis prevede:

- lucrări preliminare;
- studiul geotehnic;
- stabilirea traseului conductei sau bransamentului.

1.7 Geometria șanțului de pozare a conductei

Conductele și bransamentele de gaze sunt pozate în șanțuri care în secțiune transversală au forma de U pentru soluri stabile, sau V pentru soluri puțin stabile.

1.8 Sudarea țevelor din oțel

Conductele din oțel care formează rețeaua de distribuție se realizează din următoarele categorii de țevi:

- țevi din oțel fără sudură, laminate la cald, STAS 404/3-87, pentru conducte de distribuție și bransamente;
- țevi sudate elicoidal pentru conducte, STAS 6898/2-90, pentru conducte de repartiție.

Tipuri de sudare a conductelor de oțel:

- *sudarea electrică* se aplică la țevile de oțel cu un conținut de carbon mai mic de 0,26%. Ca material de aport se folosesc electrozi corespunzători oțelului și felului curentului electric de sudat.

- *sudarea oxiacetilenică* se poate aplica la țevile din oțel cu un conținut maxim de carbon de 0,12% și cu grosimea de până la 8÷10mm. Pentru cunoașterea calității oțelului țevii se vor cere certificate de calitate de la furnizor sau în lipsa acestuia, conform STAS 5442-87, se vor face probe de sudură cu sârmă moale tip DL sau GL conform STAS 1127-81.

- *sudarea conductelor de repartitie* se poate considera ca un procedeu aparte datorită construcției, materialului și diametrului important.

Pentru realizarea conductelor de repartitie se recomandă oțelul X60 cu $\sigma_t=5400\text{daN/cm}^2$; $\sigma_c=4100\text{daN/cm}^2$; $\sigma_5=20\%$, a cărei compoziția chimică este [12]:

$$C, \text{ max} = 0,26\%; \text{ Mn, max} = 1,35\%; \text{ P, max} = 0,04\%; \text{ S, max} = 0,05\% \quad (1.1)$$

$$\text{Nb, min} = 0,105\%; \text{ V, min} = 0,02\%; \text{ Ti, min} = 0,03\% \quad (1.2)$$

1.9 Compactarea umpluturii

Odată încheiată asamblarea tronsoanelor și efectuarea izolației îmbinărilor sudate se trece la acoperirea parțială a conductei, cu excepția sudurilor, care se acoperă după realizarea probelor de recepție.

Compactarea pământului la umplerea șanțului are o influență directă asupra procesului de coroziune al conductei și asupra parametrilor protecției catodice. O compactare slabă conduce accesul direct al apei și oxigenului la conductă, iar o compactare excesivă determină o suprasolicitare mecanică a izolației exterioare a conductei ce face posibilă imprimarea în izolație a particulelor dure din sol, chiar dacă acestea au dimensiuni reduse.

Detalii privind aparatura și desfășurarea lucrărilor de stabilire a compacității umpluturii șanțului se găsesc în [27].

1.10 Instalarea conductelor aeriene de gaze

Instalarea aeriană este permisă numai la conductele de gaze din oțel și face obiectul unui document justificativ referitor la protecția contra coroziunii și protecția față de agresiunile previzibile.

Poziționarea aeriană a conductelor de distribuție a gazelor naturale constituie o situație excepțională și este admisă numai în situațiile de imposibilitate tehnică și economică de a se monta îngropat.

1.11 Recepția tehnică și punerea în funcțiune a rețelelor de distribuție a gazelor naturale

Recepția tehnică reprezintă o parte din sistemului calității în construcții, prin procesul verbal de recepție certificându-se faptul că executantul și-a îndeplinit sarcinile menționate în

contractul și documentația de execuție.

Din cadrul recepției tehnice fac parte următoarele probe tehnice:

Proba de rezistență reprezintă o formă particulară de control la o presiune interioară mai mare decât presiunea de serviciu timp de minim 1 oră.

Proba de etanșeitate se poate face și ca încercare preliminară, înainte de coborârea în șanț, probă denumită probă de casă, atenția acordându-se îmbinărilor sudate, dar și după pozarea conductelor în șanț, durata minimă fiind de 24 ore pentru rețelele de distribuție gaze naturale.

Punerea în funcțiune se desfășoară în trei etape, în prima etapă se procedează la refularea aerului din conducte, a doua etapă constă în verificarea și închiderea tuturor robinetelor, inclusiv ale instalațiilor de utilizare și verificarea legăturii la centura de punere la pământ a părților metalice ale stațiilor și posturilor de reglare sau reglare-măsurare, iar a treia etapă corespunde punerii în funcțiune a instalațiilor de utilizare, când se urmărește comportarea reguletoarelor de presiune, sistemul de contorizare și aparatele consumatorilor de gaze, precum și stabilitatea și aspectul calitativ al flăcării.[18]

1.12 Întreținerea sistemelor de distribuție a gazelor naturale

Exploatarea sistemului local de distribuție a gazelor naturale cuprinde ansamblul activităților de operare, întreținere, reparații planificate, revizii și intervenții, precum și reabilitarea și retehnologizarea acestuia. Toate aceste activități se realizează cu respectarea normelor de exploatare în vigoare și ele urmăresc asigurarea condițiilor de siguranță și de continuitate a furnizării de gaze naturale.

Operatorul licențiat verifică starea sistemului de distribuție, urmărind în principalele imperfecțiuni și defecte ce le prezintă conductele și bransamentele. Imperfecțiunile și/sau defectele depistate sunt analizate pe baza următoarelor criterii [26]:

- cauza care a determinat apariția imperfecțiunii;
- configurația, dimensiunile, natura și localizarea imperfecțiunii;
- efectele imperfecțiunii asupra etanșeității conductei sau bransamentului și asupra siguranței în exploatare.

1.13 Defecte întâlnite la conductele de distribuție

1.13.1 Analiza și clasificarea defectelor

Tubulatura conductelor destinate distribuției gaze naturale și echipamentele acesteia pot să prezinte o serie de defecte și imperfecțiuni, care afectează siguranța în exploatare, care se pot clasifica astfel:

- **imperfecțiuni și defecte geometrice:** *scobituri și deformări locale* - urme de lovituri sau de interacțiuni cu forțe exterioare (fig. 1.1.).



Fig.1.1. Defecte de tipul deformări locale, depistate pe tubulaturile conductelor

- **lipsa de material** este imperfecțiunea sau defectul care constă în subțierea peretelui tubulaturii conductei prin pierderea de metal în prezența sau absența unui proces corosiv (fig.1.2.).

- **fisurile și crăpăturile** (fig.1.3.) sunt defecte cu cea mai mare nocivitate, care produc puternice efecte de concentrare a tensiunilor mecanice și micșorează sensibil capacitatea portantă a conductelor.

Pentru a evalua rezistența mecanică reziduală și probabilitatea de cedare în exploatare a conductelor ce prezintă defecte de tip lipsă de material, este necesară parcurgerea următoarelor etape:

- clasificarea defectelor, stabilirea principalelor cauze care determină apariția acestora pe tubulatura conductelor, cu stabilirea modului de depistare;

- stabilirea modului de caracterizare a acestor defecte din punct de vedere al dimensiunilor, configurației și modificărilor pe care le produc asupra caracteristicilor mecanice ale materialului tubular;

- stabilirea măsurilor de evitare a cauzelor care duc la apariția defectelor;

- stabilirea modului de remediere a defectelor de tipul lipsă de material.[19]



Fig.1.2. Defect de tip lipsă de material creat prin coroziune



Fig.1.3. Defect de tip fisură cauzat de alunecare terenului

1.13.2 Cercetarea comportării la presiune interioară

Am considerat că este importantă cunoașterea comportării la presiunea interioară a conductelor ce prezintă defecte de material și defecte create prin coroziune, așa cum se prezintă în imaginile din figurile 1.4. a) și b). Pentru ambele tipuri de defecte s-a considerat aceeași grosime restantă de perete.

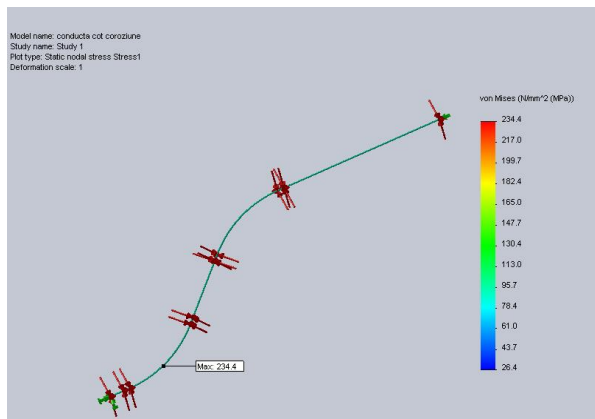
Astfel am efectuat 6 determinări la valorile grosimii de perete și a presiunilor interioare prezentate în tabelul 1.1..

Geometria defectelor de corozine și a celui de material este prezentată în figurile 1.5, respectiv 1.6.

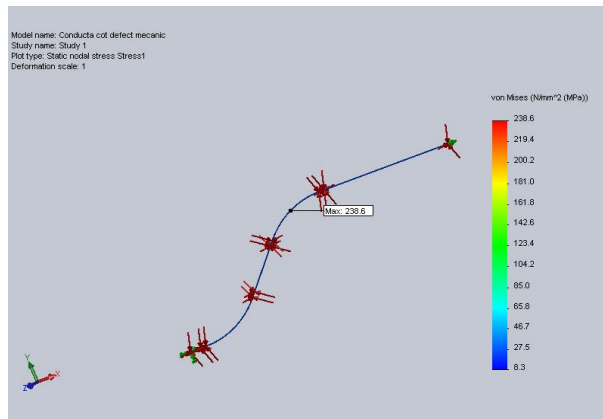
Prin determinarea geometria defectului de coroziune am încercat să simulez pe cât posibil dimensiunile unui defect real, doar pe zona afectată de ruptura conductei, ci nu pe întreaga arie de acțiune a coroziuni.

Defectul de material simulează deteriorarea pe care o produce pe o conductă dinte la cupele unui excavator, ci nu doar ca o acțiune de deformare, cât și ca formă geometrică a corpului contondent care produce defectul.

Determinarea valorilor de rupere a fost simulată cu ajutorul programului informatic Catia.



a) Simularea unui defect de coroziune



b) Simularea unui defect de material

Fig.1.4. Tronsonul supus măsurărilor

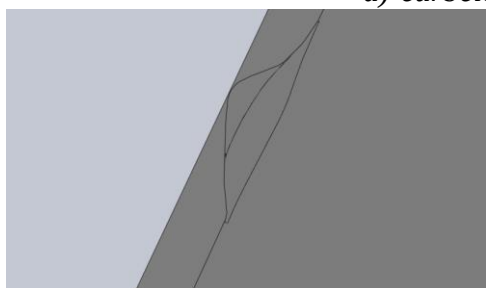


vedere laterală

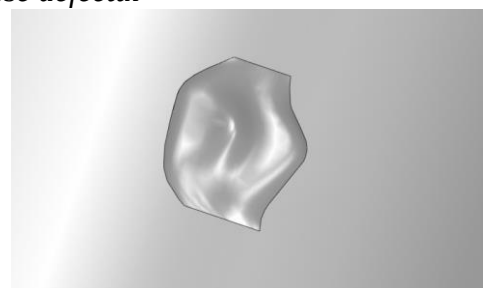


vedere longitudinală

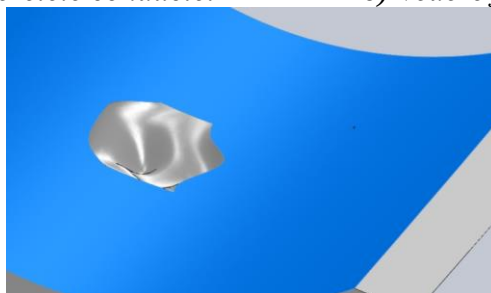
a) curbele ce definesc defectul



b) secțiune defectului în peretele conductei



c) vedere frontală a defectului



d) vedere în spațiu a defectului

Fig.1.5. Geometria defectului de coroziune

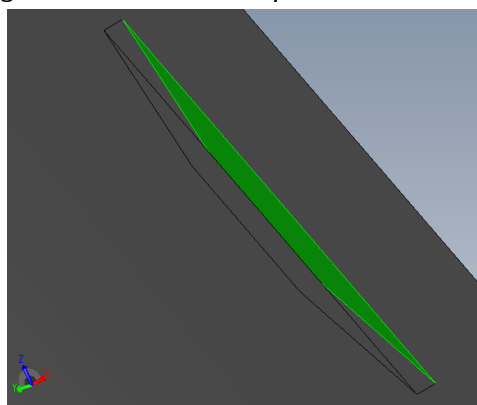


Fig.1.6. Imaginea defectului de material

Valorile calculate ale presiunii la care conducta a cedat în zona defectului în funcție de adâncimea acestuia sunt prezentate în tabelul 1.1., iar graficul de variație în figura 1.7.

Tabelul 1.1. Presiunea de cedare a materialului tubular

Grosimea peretelui		Presiune de cedare [MPa]	
[mm]	%	Defect de material	Coroziune
4,5	100	181	181
2,25	50	88,9	104
1,125	25	57	103
0,45	10	54,4	90
0,225	5	52	86,5
0,1125	2,5	33,1	84,8

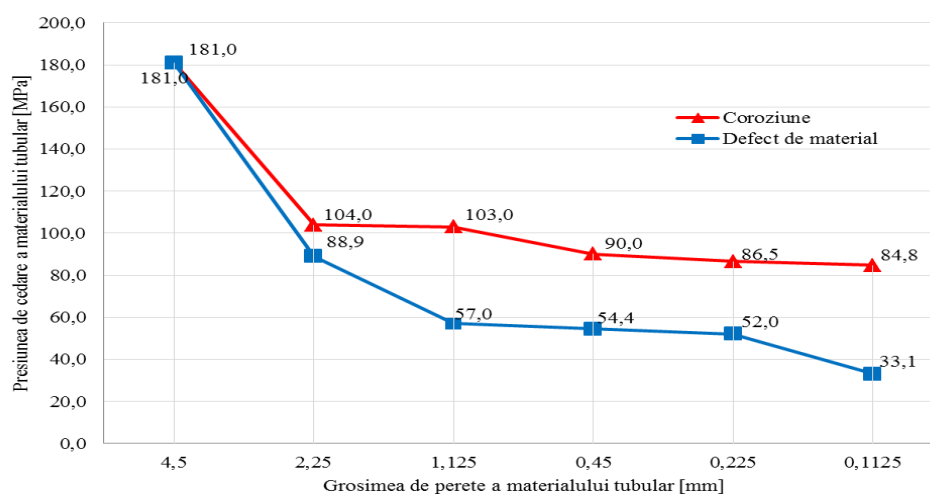


Fig.1.7. Presiunea de străpungere funcție de grosimea de perete

Din rezultatele testărilor am concluzionat următoarele:

- comparând modul de comportare a celor două tipuri de defecte sub influența presiune interioare a conductei am dedus faptul că, împotriva considerațiilor inițiale, pentru defectul de coroziune presiunea de cedare a materialului tubular este mai mare, în condițiile aceleiași grosimi de perete; acest lucru punându-l pe seama faptului că este posibil ca influența să fie dată și de faptul că defectele sunt simulate pe exteriorul conductei, ci nu pe interiorul acesteia;
- presiunea maximă de cedare corespunde lipsei defectelor de material și de coroziune;
- în cazul defectelor de material sau prin coroziune efectul se resimte după ce grosimea de perete s-a redus la jumătate;
- presiunea minimă de cedare corespunde defectelor de material, deoarece acestea au o extindere mai mare decât defectele create prin coroziune și o geometrie ce determină concentrația tensiunilor.

II. DEGRADAREA PRIN COROZIUNE A REȚELELOR SUBTERANE DE DISTRIBUȚIE GAZE NATURALE

2.1 Considerații generale

Coroziunea, conform ISO 8044:1999, este definită ca interacțiunea fizico-chimică între metal și mediu în care se află ce antrenează modificări ale proprietăților metalului și degradarea funcțională a metalului.

În figura 2.1 se prezintă o clasificare a coroziunii în funcție de diferite criterii.[18]

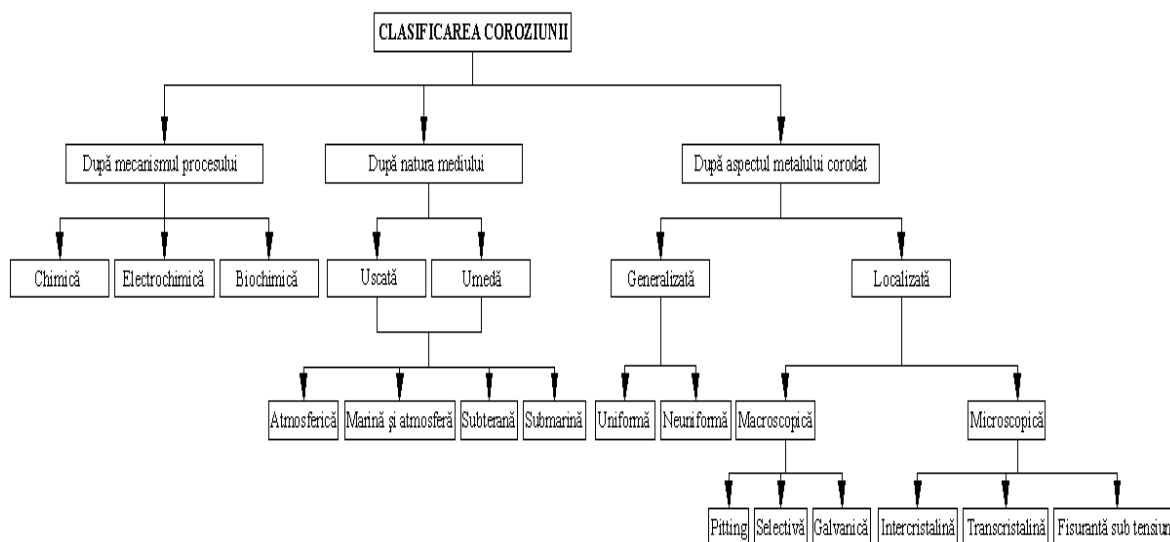


Fig.2.1. Clasificarea coroziunii

2.2 Procese specifice de coroziune la conductele de gaze

Procesul de coroziune poate fi definit ca o succesiune de reacții datorită cărora metalul este afectat de către existența elementului agresiv, producându-se transformarea acestuia parțial sau total în stare ionică sau combinată.[15]

- **coroziunea chimică** este un proces prin care se distruge metalul, având la bază acțiuni chimice directe cu mediului înconjurător, fără a avea loc schimburi de sarcini electrice;

- **coroziunea electrochimică** se consideră ca principala formă de distrugere a conductelor din oțel;

- **coroziunea în sol**. În general conductele de distribuție se montează în soluri cu proprietăți diferite și la adâncimi care pot varia, acest lucru conducând la o serie complexă de procese de coroziune care sunt generate în principal de migrarea oxigenului prin soluri a căror diversitate conduce la un mediu mai mult sau mai puțin coroziv;

- **coroziunea microbiologică** reprezintă fenomenul prin care sunt distruse metalele sub influența micro-organismelor;

- **coroziunea prin eroziune** poate fi definită ca un proces determinat de abraziunea mecanică și atacul corosiv bazat pe prezența unui gaz sau lichid.

2.3 Gradul de coroziune

Gradul de coroziune mai poate fi interpretat ca rezistența metalului la coroziune sau stabilitatea chimică a acestuia; determinarea lui se poate face prin măsurători experimentale ale vitezei de coroziune în baza proprietăților optice, electrice și mecanice ale probelor de încercare, confecționate special din materialul testat.

Indicele gravimetric k reprezintă variația masei probei Δm ca rezultat al coroziunii, în unitatea de suprafață și timp, potrivit relației

$$k = \frac{\Delta m}{S \cdot t} [\text{g/m}^2\text{h}] \quad (2.1)$$

în care:

t este durata coroziunii,

S - suprafața probei.

Indici sau coeficienți de penetrație, sunt dați de formula:

$$d = \frac{\Delta \delta}{t} = 8,76 \frac{V_{cor}}{\gamma}, [\text{mm/an}] \quad (2.2)$$

unde:

d este indicele de penetrație,

$\Delta \delta$ - micșorarea medie a grosimii metalului supus coroziunii,

t - timpul de atac,

8760 ore în decursul unui an,

V_{cor} - viteza de coroziune,

γ - greutatea specifică a materialului probei.

La conducte, coroziunile de tip pitting sunt periculoase întrucât și printr-un singur oficiu format se pierd gaze care pot produce accidente. În situația în care în timpul exploatării conductei, întâmplător se descoperă fenomenul pitting, este indicat să se verifice o zonă cât mai întinsă și să se ia măsuri de înlocuire a întregului tronson de conductă afectat de o astfel de coroziune.[9]

2.4 Coroziunea și agresivitatea solului

Solul, prin compoziție mineralogică, structură, porozitate, compactitate, umiditate, activitate bacteriană, poluare, acționează în mod diferit asupra conductei îngropate. La acestea se pot adăuga caracteristicile materialului conductei, procedurile de protecție și condițiile de instalare.

Pe baza unor cercetări de lungă durată asupra coroziunii conductelor subterane, Japan Gas Association, citat în [8], propune pentru soluri saturate următoarea relație de calcul a adâncimii coroziunii uniforme:

$$X = 0,314 + 0,015 t(\text{ani}) [\text{mm}] \quad (2.3)$$

iar Laboratorul Central de Poduri și Șosele din Paris propune următoarea relație:

$$X = 25.t(\text{ani})^{0,8} \text{ } [\mu\text{m}] \quad (2.4)$$

Din păcate, nu se precizează numărul de ani pentru care aceste relații sunt valabile.

În mai toate documentele consultate, curba $X = f(t)$ este trasată pentru primii 10 ani, peste această durată, curba se extrapolează presupunând că viteza de coroziune rămâne constantă, iar pe conductă nu se formează puncte de coroziune.

2.5 Tipuri de coroziune specifice conductelor subterane

La conductele de gaze coroziunea este în principal de natură electrochimică și mai puțin chimică. Apa din sol conține, pe lângă oxigen, o serie de săruri dizolvate ce-i conferă conductivitate electrică și caracterul de electrolit. În timp, caracteristicile apei din sol nu sunt stabile. Toate modificările de compoziție au o influență directă a agresivității apei. O diminuare a conținutului în oxigen și în dioxid de carbon, de exemplu, reduce agresivitatea, iar poluarea cu produse dizolvabile în apă, ce-i dau un caracter acid, măresc agresivitatea.

2.5.1 Coroziunea uniformă

Coroziunea uniformă este forma curentă de manifestare exterioară și interioară și constă în pierderea cvasi constantă a grosimii peretelui conductei, când zonele anodice și cele catodice sunt apropiate.

2.5.2 Coroziunea galvanică

Coroziunea galvanică este rezultatul contactului electric al conductei cu un alt metal cu un potențial electrochimic diferit, când conducta constituie anodul pilei galvanice care se formează.[14]

2.5.3 Coroziunea prin aerare diferențială

Coroziunea prin aerare diferențială intervine când conducta de gaze prezintă zone cu umiditate ridicată și zone uscate sau cvasi uscate. Acest proces de coroziune este specific acelor conducte ce traversează zone de relief relativ accidentat.

2.5.4 Coroziunea interstițială

Coroziunea interstițială sau de tip cavernă sau crevasă este asociată pieselor metalice asamblate, care prezintă interstiții foarte înguste, cu adâncimi de ordinul a mai multor milimetri și lățimi de ordinul micrometrilor, care pot fi considerate ca spații cvasi închise, cum este cazul îmbinărilor tip flanșă, îmbimărilor cu filet, etanșărilor, suporturilor de susținere ale conductelor aeriene, ghidajelor de deplasare în caz de dilatare-contrație etc.

2.5.5 Coroziunea în puncte

Pittingul sau coroziunea în puncte o putem defini ca o formă de degradare a metalului localizat. Odată distrusă pelicula de protecție a metalului, mediul agresiv acționează, atacând și producând o deteriorare rapidă a peretelui țevii de metal.

Un caz particular de coroziune, din păcate foarte frecvent în examinarea conductelor subterane perforate, este cel al contactului cu un corp dur (piatră), fig.2.2.,a, b).

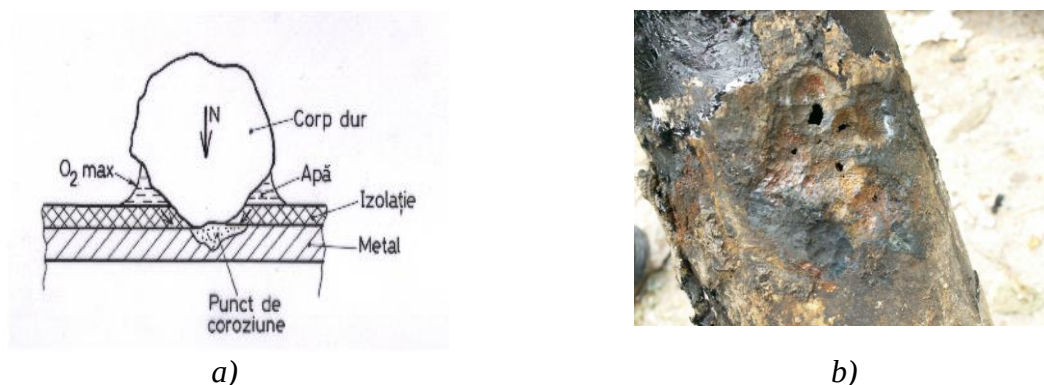


Fig.2.2. Coroziunea la contactul cu un corp dur (a) și efectul asupra conductei (b)

2.5.6 Fisurarea prin coroziune sub tensiune

Oțelurile carbon de conducte aflate într-un mediu corosiv și expuse în același timp unor solicitări mecanice de tracțiune și/sau forfecare, suferă un proces aparte de coroziune, proces numit coroziune fisurantă sub tensiune.

Sub acțiunea tensiunilor de întindere, potențialul electrochimic al oțelului se deplasează către domeniul anodic. Deplasarea potențialului poate avea valori de 30 ... 80mV când în oțel se atinge limita de curgere. [16]

Factorii care influențează coroziunea sub tensiune sunt numeroși dintre care cei mai importanți care determină susceptibilitatea oțelului la fisurare sub tensiune în medii corozive sunt: structura metalografică eterogenă, calitatea suprafeței, tensiunile de întindere și/sau forfecare, conținutul în hidrogen rezultat prin electroliză, natura mediului de lucru. [14]

După o perioadă îndelungată de exploatare a conductelor subterane, izolate cu bitum sau benzi adezive, se constată la exterior fisuri multiple, sub formă de colonii în imediata apropiere a cordoanelor de sudură. [30]

Coloniile de fisuri puse în evidență prin controlul defectoscopic cu ultrasunete, la început se poate aprecia că nu sunt importante, dar cunoscând poziția pe care o ocupă, la viitoarea inspecție acestea trebuie examinate obligatoriu și luate măsuri corective înainte ca fisura să atingă mărimea critică. [28]

2.5.7 Coroziunea în condiții de deformarea locală

Deformarea locală a peretelui conductei poate fi rezultatul:

- cutării sub greutatea proprie la lansarea în șanț, când distanța dintre punctele de ridicare este mare;
- unor lovituri directe, care conduc la înfundări în zona de impact;
- contactului de scurtă durată cu elementele active ale unei mașini de construcții.

2.5.8 Coroziunea în condiții de oboseală

Solicitarea la oboseală a conductei subterane este generată de vibrațiile transmise de circulația rutieră de suprafață.

2.5.9 Coroziunea și fragilizarea în prezența hidrogenului sulfurat

Coroziunea în prezența hidrogenului sulfurat (H_2S) intervine când concentrația H_2S în gazele naturale transportate este mai mare de 0,5mol/l.

2.5.10 Coroziunea microbiană

Coroziunea de origine microbiană (ISO 8044:2000) este generată de bacteriile existente în apa stagnantă din sol. Trebuie arătat că bacteriile nu atacă direct metalul, ci prin producții agresive creați de bacterii. Procesul de coroziune se poate desfășura cu sau fără oxigen. Unele bacterii oxidează sulful transformându-l în acid sulfuric, reducând pH-ul apei.

2.6 Analiza ruperilor de conducte subterane

În cazul producerii unei rupe se face o analiză detaliată a legăturii între procesul de rupere, factorii generatori și vârsta conductei. O asemenea analiză servește la stabilirea viitoarelor activități de mentenanță care trebuie să ducă la creșterea securității rețelei.

Cercetând numeroasele cazuri de rupere, s-a constatat că frecvența maximă o prezintă ruperile cauzate de coroziune și o frecvență minimă, ruperile imediate. Pornind de la această constatare, un control sistematic poate să conducă la reducerea numărului de rupe generate de condițiile din sol. [13]

2.7 Tensionarea conductei aflată în peretele unei excavații

Rețelele de conducte subterane, indiferent de produsul transportat, sunt afectate de excavațiile executate în apropiere fără autorizație. Efectul excavației este maxim dacă conducta rămâne în perete, dar nu poate fi neglijat dacă se execută transversal pe conductă.

În condiții urbane sunt numeroase cazurile când în lungul străzilor se execută excavații adânci, conductele de gaze rămânând în sol la o distanță mică de perete lucrării. Un caz tipic este cel al realizării sau refacerii canalizării stradale, când excavația se face la adâncimi mai mari 2 m, conductele de distribuție gaze aflându-se la adâncimi de max. 1 m.

Tensiunile verticale σ_{zv} și orizontale σ_{zh} la adâncimea z a peretelui pot fi exprimate, conform modelului Aubertin. [1]

În timpul execuției și înainte de umplere, apare riscul prăbușirii peretelui dacă unghiul taluzului este mai mic decât unghiul de frecare. Tendința de prăbușire crește odată cu mărirea raportului între lungime și lățime. Pentru a preveni accidentele, adesea se mărește unghiului de înclinarea a taluzului la peste 45^0 sau se iau măsuri de consolidare. [5]

În domeniul deplasării peretelui excavației s-au elaborat numeroase lucrări teoretice și experimentale. Toate aceste lucrări scot în evidență efectele secundare ale intervențiilor

efectuate prin excavare în apropierea conductelor subterane care conduc la crearea de tensiuni de întindere, cu afectarea directă a siguranței în exploatare. [3][4][7]

2.8 Tensionarea conductei dispusă transversal pe excavație

O situație frecventă de degradare este cea în care se execută un șanț adânc transversal pe conducta de gaze. În timp, ca urmare a încovoierii sub greutatea proprie și apoi a tasării naturale a umpluturii, conducta de gaze va fi expusă unor tensiuni deosebite. Zona de rupere se află în apropierea peretelui șanțului, unde momentul încovoietor este maxim.

III. PROTECȚIA CONDUCTELOR CONTRA COROZIUNII

3.1 Protecția prin acoperire

Conductele metalice aflate permanent în contact cu atmosfera sau cu solul suferă o serie de degradări prin diferite forme de coroziune ce fac să se reducă mult durata previzibilă de exploatare apreciată la cca. 40 ani. Pentru a se ajunge la o asemenea durată de exploatare în deplină siguranță se recurge la aplicarea unui sistem duplex de protecție contra coroziunii, sistem ce constă în izolarea exterioară față de mediul electrolitic (protecția pasivă) și deplasarea potențialului conductei în domeniul de imunitate (protecție catodică).

3.2 Generalități privind protecția pasivă

Protecția pasivă constă în acoperirea conductei, de preferință la fabricarea tubulaturii, precum și pe șantier, în special după realizarea îmbinărilor sudate, cu un material ce asigură separarea electrolitică între sol și conductă.

3.3 Protecția prin vopsire a conductelor aeriene

Conductele aeriene de gaze pot fi încadrate în categoria construcțiilor din oțel expuse acțiunii corozive a atmosferei. Protecția lor contra coroziune se face prin vopsire, protejare ce face partea din protecțiile de natură fizică, normele de realizare fiind prezentate în [22].

3.4 Protecția prin izolarea exterioară a conductelor subterane

Pentru a obține o durată de serviciu optimă a conductei, echivalentă cu 40 ani, alegerea materialelor de acoperire, tehnologia de aplicare și controlul după aplicare sunt esențiale. Toate aceste etape trebuie să se desfășoare conform normelor naționale și europene.

3.5 Sisteme de izolație

Alegerea sistemului de izolație exterioară a conductelor subterane din oțel se face în funcție de agresivitatea solului, de stabilitatea adezivului în mediu alcalin sau care devine alcalin, de condițiile de lucru, de condițiile de aplicare, de posibilitatea formării în timp a defectelor, de tendința de îmbătrânire etc. În alegerea sistemului de izolație nu trebuie neglijate aspectele economice și de garantare a protecției catodice.

3.5.1 Acoperirea cu bitum

Bitumul de petrol este un material organic termoplastic rezultat la distilarea petrolului, constituit dintr-un amestec complex de compuși hidrocarbonați cu structuri și mase molare foarte diferite.

Bitumul este cunoscut pentru puterea sa de aderare la conducte metalice, pentru calitatea de material impermeabil, relativ inert față de cei mai mulți agenți chimici prezenți în sol.

În funcție de temperatura ambiantă la care realizează izolarea și montarea conductelor, conform STAS 2484-85, se folosesc două sortimente de bitum [29]:

- SP 95 pentru temperaturi ambiante mai mari de 0°C , cu punctul de înmuiere minim de $95 - 110^{\circ}\text{C}$ și temperatura de aplicare de $140 - 195^{\circ}\text{C}$;
- SPP 70 pentru temperaturi ambiante cuprinse între -15°C și $+15^{\circ}\text{C}$, cu punctul de înmuiere minim de 70°C și temperatura de aplicare de $130 - 170^{\circ}\text{C}$.

3.5.2 Acoperirea prin extrudarea polietilenei

Protecția prin acoperire cu polietilena extrudată se face în condiții de fabrică după o pregătire adecvată a țevelor de diametru mic sau mediu. O asemenea acoperire asigură o protecție superioară celei realizate cu benzi autoadezive, temperatura la extrudare fiind cuprinsă între 200 și 300°C .

3.5.3 Izolarea țevelor și cordoanelor de sudură prin înfășurare de benzi adezive din polietilenă

Izolarea cu benzi de polietilenă este practic universală, fără limite de diametre de conducte sau de geometrie a echipamentelor acestora. Când izolarea este realizată în stații fixe, capetele țevelor se lasă neacoperite. În cazuri speciale, izolarea locală cu benzi adezive se poate aplica pentru etanșarea temporară a unor defecte de mici dimensiune, când presiunea din conductă este slabă.

3.5.4 Izolarea conductei la ieșirea din sol

La ieșirea din sol conductele se izolează, caracteristicile izolației fiind stabilite în funcție de natura solului, de caracterul atmosferei, de calitățile apelor și de solicitările mecanice specifice.

3.6 Factorii de influență a integrității materialelor de acoperire

Integritatea izolației aplicată pe conductele subterane poate fi afectată de prezența corpurilor dure (pietre sau alte corpuri dure) în contact direct cu conducta, de creșterea rădăcinilor arborilor de talie înaltă, de lucrările executate de terți în apropierea conductelor de gaze fără obținerea avizului operatorului sistemului de distribuție.

Pe lângă acestea mai intervin absorbția și difuzia apei și îmbătrânirea materialelor, inclusiv a adezivului.

Toate aceste procese conduc la crearea de defecte generatoare de coroziune locală ce trebuie puse în evidență prin măsurători specifice și efectuarea de intervenții când gradul de degradare devine avansat. Rezultă că în activitatea de urmărire a stării protecției pasive a conductelor o are detectarea defectelor de izolație fără decopertare, dintre care mai accesibile sunt metoda ON – OFF [21], metoda Pearson [24] ș. a..

3.7 Repararea locală a defectelor de izolație

Repararea defectelor de izolație după îngropare presupune localizarea, extinderea și efectele ce le au asupra conductei, defecte ce pot fi:

- defecte de reparat fără întârziere;
- defecte ce necesită o investigație amănunțită pentru a nu afecta în viitor conducta;
- defecte ce urmează a fi reparate în cadrul programului de mentenanță;
- defecte de supravegheat, care nu afectează imediat viața conductei.

Refacerea izolației ce prezintă defecte cuprinde următoarele activități:

- pregătirea suprafeței conductei prin îndepărtarea izolației existente;
- examinarea stării conductei;
- aplicarea noii izolații formată din benzi de polietilenă.

3.8 Protecția catodică

3.8.1 Noțiuni introductive

Coroziunea conductelor constituie un proces distructiv. La nivel național, pierderile materiale cauzate de coroziune sunt foarte mari. Aceste pierderi nu cuprind numai pierderile de metal, ci și efectele acestora asupra siguranței în exploatare a instalațiilor afectate de coroziune, care impun reparații și înlocuiri.

3.8.2 Sisteme de protecție catodică

Sistemul de protecție catodică, cu anodi galvanici sau cu injecție de curent, a conductelor subterane se stabilește în funcție de datele ce diferențiază cele două posibilități și de criteriile economice.

3.8.3 Protecția catodică cu anodi galvanici

Protecția galvanică a conductelor subterane se asigură cu anodi executați din zinc, material mai electronegativ decât oțelul conductei și se recomandă în cazul unui necesar relativ scăzut de curent.

3.8.4 Protecția catodică prin injecție de curent

Protecția catodică prin injecție de curent (PC) oferă posibilitatea obținerii unui curent suficient de ridicat pentru protejarea conductei subterane. Elementele principale ale acestui sistem de protecție sunt:

- stația de protecție cu transformatorul coborât de tensiune și redresorul ce asigură o tensiune continuă de până la 50V;
- anozii de sacrificiu realizați în principal de oțel silicios, dimensionați pentru o durată de viață de 20 – 50 ani;
- cablurile de legătură ale stației cu conducta și anodul.

3.8.5 Stația de protecție catodică

Stația de protecție catodică asigură curentul necesar polarizării conductei subterane. Un exemplu de stație se prezintă în figura 3.1..



Fig.3.1. Stație de protecție catodică

3.8.6 Priza anodică

Priza anodică, formată dintr-un anod sau mai mulți anodi de sacrificiu legați la borna anodică a stației, plasați la mică sau de mare adâncime, asigură densitatea de curent necesară protecției conductei contra coroziunii.

3.8.7 Controlul sistemului de protecție catodică

Controlul protecției catodice se impune a fi efectuat în mod periodic datorită îmbătrânirii materialelor de izolație ce acoperă conducta, consumării anozilor, modificării condițiilor în care se află conducta în sol etc. Periodicitatea controlului depinde de mulți factori. În cazul protecție prin injecție de curent se recomandă un control lunar, de rutină, controlul de fond fiind efectuat conform programului de mentenanță. Neglijarea controlului conduce întotdeauna la situații neprevăzute, cu efecte dintre cele mai nedorite.

3.8.8 Eficacitatea protecției catodice

Eficacitatea protecției catodice a conductelor subterane este influențată de mai mulți factori, dintre care mai importanți sunt: mărimea potențialului asigurat conductei, continuitatea electrică atât a conductei subterane, cât și a legăturii prin sol dintre anodul stației și conductă, starea izolației, interferența cu alte conducte protejate catodic, prezența curenților de dispersie ș.a.

3.8.9 Desprinderea catodică a izolației

Desprinderea catodică a izolației se datorează în principal pătrunderii apei și oxigenului sub acțiunea unui potențial exagerat al protecției catodice, când se formează la suprafața

conductei oxizi de fier și/se acumulează gaze sub izolație.

Formarea oxizilor se face sub izolație și este caracteristică materialelor poroase prin care apa și oxigenul pătrund ca urmare a gradientului de concentrație. [16]

Potențialul exagerat conduce la desprinderea izolației prin fenomenul de electroosmoză. [17]

3.9 Cercetarea experimentală a fenomenului de electroosmoză

Am considerat utilă cercetarea fenomenului de electroosmoză ce se desfășoară în cazul protecției catodice a conductelor subterane, deoarece pe durata de exploatare s-a constatat modificarea rezistivității solului dintre anodul de injecție și conductă. Pentru aceasta am folosit standul de protecție catodică realizat de Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești.

Rezultatele obținute sunt prezentate în tabelul 3.1..

Tabelul 3.1. Rezistivitatea solului

Durata protecției catodice, în zile	0	3	10	20
Rezistivitatea în zona anodului, în $\Omega\cdot m$	10,5	10,5	11	12
Rezistivitatea în zona conductei, în $\Omega\cdot m$	10,45	10,45	10,3	8,9

Concluziile care se deprind sunt următoarele:

- solul din jurul anodului de injecție își mărește rezistivitatea prin deplasarea apei către conducta protejată catodic;
- solul din jurul conductei protejată catodic își reduce rezistivitatea ca urmare a deplăsării apei;
- cantitatea de curent injectat în conductă se reduce ca efect al creșterii rezistivității solului din jurul anodului;
- uscarea solului din jurul anodului de injecție impune umezirea periodică pentru a se asigura cât mai constant potențialul conductei protejate catodic.

IV. CERCETAREA FACTORILOR CARE CONDUC LA DETERIORAREA IZOLAȚIILOR REȚELELOR URBANE DE DISTRIBUȚIE GAZE NATURALE

4.1 Aspecte introductive

Deteriorarea izolației conductelor subterane de distribuție a gazelor naturale este generată de o multitudine de factori dintre care mai importanți sunt tehnologia de aplicare și condițiile de lucru ale conductei respective.

După cum s-a prezentat anterior, protecția pasivă modernă contra coroziune se realizează prin acoperirea țevelor cu polietilenă extrudată sau prin aplicarea prin înfășurare tensionată la rece a unor benzi autoadezive într-un strat sau în mai multe straturi.

În cadrul acestui capitol se cercetează caracteristicile mecanice ale benzilor autoadezive de tip Xunda, stratul de polietilenă extrudată Fucsh și modificările produse prin crearea de defecte prin imprimare.

4.2 Încercarea la tracțiune

4.2.1 Construcția epruvetelor

Pornind de la premiza că în foarte multe cazuri, în urma săpăturilor conductele de distribuție sunt atinse, lovite sau pur și simplu agățate, au fost supuse testării epruvete de polietilenă realizate după modelul din figura 4.1., pe o parte dintre acestea fiind simulate și defecte cu dimensiunea de 3mm.

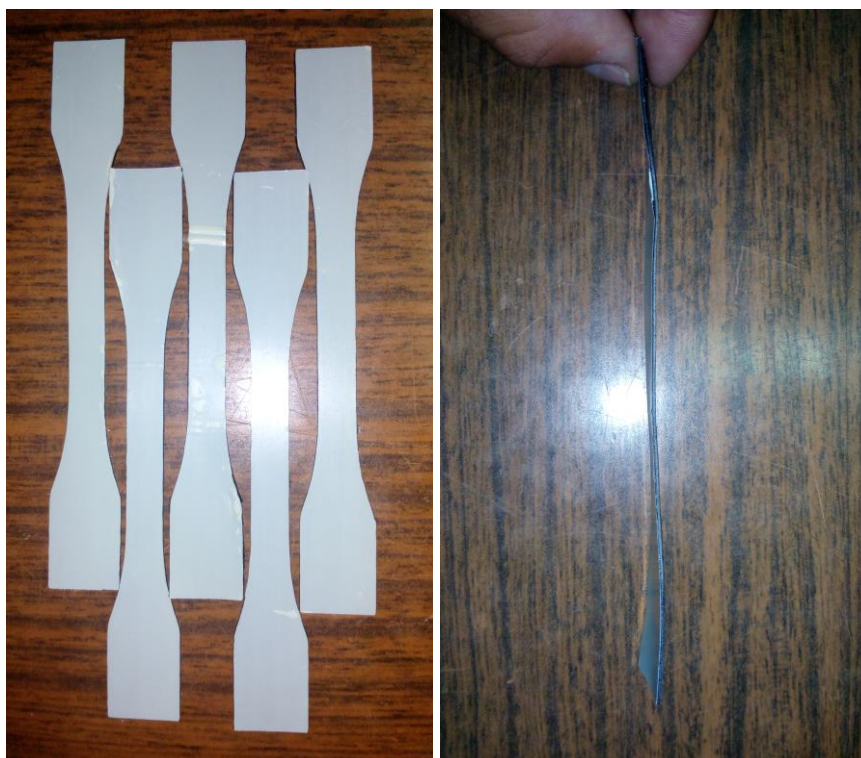


Fig.4.1. Epruvete realizate din polietilenă

4.2.2 Materialul epruvetelor

Materialul folosit este banda de polietilenă și cauciuc butilic de tip Xunda indicat pentru izolarea capetelor sudate ale țevelor din oțel preizolate cu polietilenă extrudată, ramificațiilor, reducățiilor, fittingurilor de tranziție etc.

4.2.3 Mașina de încercare

Încercarea la tracțiune am efectuat-o pe mașina pentru încercări mecanice de tip Instron 5587 aflată în dotarea Universității „Lucian Blaga” din Sibiu.

4.2.4 Rezultate obținute

Programul experimental pentru determinarea caracteristicilor mecanice pentru epruvetele de polietilenă este bazat pe următoarele:

- s-au prelevat seturi de câte trei epruvete pentru fiecare tip de aplicare, 1, 2, respective 3 straturi, repetate și pentru cele pe care a fost simulat defectul. Forma epruvetelor a fost cea standard pentru acest tip de încercare, descrisă anterior;

- a fost elaborată metoda de testare în limbajul propriu al mașinii de încercare de tip Instron și anume Bluehill 2. S-a stabilit în această etapă: tipul încercării (tracțiune), datele de material (forma epruvetei, lățimea epruvetei, distanța dintre bacurile mașinii), viteza de încercare, limitele mașinii, rata de achiziție a mașinii (10 puncte/secundă), tipul fișierului de output (ASCII sau DIF – Data Interchange Format, un format de fișier care poate fi preluat de oricare din programele de prelucrare statistică a datelor), tipul datelor de ieșire care urmează să fie culese;

- viteza de încercare a fost stabilită la 10mm/min;

- lățimea epruvetei a fost de 20mm iar distanța liberă de măsurare de 115mm;

- testele de întindere uniaxială au fost realizate pe material de polietilenă, înaintea realizării experimentelor, epruvetele au fost păstrate în laborator la o temperatură constantă de 25°C;

- în afara datelor specificate anterior, se salvează datele primare ale încercării (curba caracteristică în coordonatele forța [N] – deplasare [mm]). Aceste date se regăsesc sub forma unor perechi de puncte în coordonatele menționate mai sus în fișierul fiecărei analize în format ASCII;

Valorile obținute sunt prezentate în tabelul 4.1.

Tabelul 4.1. Valorile determinate în urma măsurătorilor realizate

Nr. crt.	Tipul epruvetei	Modulul (E-Modulus) (MPa)	Alungire la Maximum Tensile stress (mm)	Încărcare la Maximum Tensile stress (N)	Deformație la tracțiune la Maximum Tensile stress (%)	Solicitare de tracțiune la Maximum Tensile stress (MPa)	Coeficient de rezistență mecanică la n-valoare (Automat) (MPa)
0	1	2	3	4	5	6	7
1.	1 strat fără defect	166,63	316,50	50,46	395,63	6,31	14,66
2.		95,86	306,50	51,17	383,12	6,40	14,86
3.		147,54	285,00	48,62	356,25	6,08	14,14
Media valorilor obținute		136,68	302,67	50,08	378,33	6,26	14,55
Abaterea medie		29,89	13,14	1,07	16,43	0,13	0,30
1.	2 straturi fără defect	80,61	362,50	96,48	453,12	6,03	14,83
2.		97,63	300,00	87,59	375,00	5,47	13,72
3.		92,20	347,50	92,77	434,37	5,80	14,53
Media valorilor obținute		90,14	336,67	92,28	420,83	5,77	14,36
Abaterea medie		7,10	26,64	3,64	33,30	0,23	0,47
1.	3 straturi fără defect	74,25	340,00	126,23	425,00	5,26	13,80
2.		80,33	354,00	133,54	442,50	5,56	14,20
3.		52,57	354,00	139,29	442,50	5,80	14,15
Media valorilor obținute		69,05	349,33	133,02	436,67	5,54	14,05
Abaterea medie		11,91	6,60	5,35	8,25	0,22	0,18
1.	1 strat cu defect	100,80	35,00	39,23	43,75	7,00	12,57
2.		233,82	32,00	36,58	40,00	6,53	10,45
3.		130,63	30,00	38,08	37,50	6,80	8,18
Media valorilor obținute		155,08	32,33	37,96	40,42	6,78	10,40
Abaterea medie		56,99	2,05	1,09	2,57	0,19	1,79
1.	2 straturi cu defect	105,63	29,54	67,77	37,54	4,05	10,12
2.		106,26	30,04	68,61	38,16	4,04	8,05
3.		121,11	29,79	67,44	37,85	3,88	7,00
Media valorilor obținute		111,00	29,79	67,94	37,85	3,99	8,39
Abaterea medie		7,15	0,20	0,49	0,26	0,08	1,30
1.	3 straturi cu defect	145,54	29,00	101,24	36,25	6,03	12,58
2.		103,48	32,50	103,22	40,62	6,14	8,46
3.		116,95	35,00	104,06	43,75	6,19	12,85
Media valorilor obținute		121,99	32,17	102,84	40,21	6,12	11,30
Abaterea medie		17,53	2,46	1,18	3,08	0,07	2,01

4.2.5 Interpretare

Analizând graficele și valorile obținute în urma măsurătorilor efectuate se constată că pentru epruvetele fără defecte, măsurătorile și datele obținute sunt foarte apropiate, diferențe notabile fiind între datele obținute pe epruveta într-un singur strat. Cea mai bună comportare la deformația sub tensiune o prezintă epruvetele formate din două straturi. Se deduce astfel că existența unui număr mai mare de straturi, sub influența unei tensiuni generate la tracțiune, epruvetele cedează aproape la aceleași valori, chiar și mai mici, acest aspect datorându-se aderenței dintre straturi, fapt ce duce ca la cedarea unuia dintre acestea să apară o rupere mai bruscă a epruvetei.

În cazul existenței unui defect de izolație cedarea este cu mult redusă, forța de tensiune care generează deformarea fiind mult mai mică.

4.3 Rezistența electrică a izolație

Rezistența electrică a izolației este dependentă de mai mulți factori, dintre care natura și grosimea stratului de acoperire, natura mediului în care își îndeplinește funcția de izolator, gradul de degradare prin imprimarea corpurilor dure din solul de acoperire ș. a.

Cercetările experimentale efectuate au urmărit modificarea rezistivității izolației ca urmare a imprimării unui dorn sferic ce simulează cazul unei pietre care acționează asupra izolației.

4.3.1 Pregătirea epruvetelor

Pentru efectuarea încercărilor s-au realizat patru seturi de epruvete din țevă cu lungimea de 600mm, unul acoperit cu polietilenă extrudată Fuchs, celelalte trei, cu un strat, cu două și cu trei straturi din bandă Xunda cu grosimea nominală de 0,8mm.

Un set s-a păstrat în starea avută inițial, unul s-a menținut 72 ore în apă colectată din precipitații (fig. 4.2, a), iar altul menținut 72 ore în nisip argilos (fig. 4.2, b)



Fig.4.2. Epruvete de țevă izolată după menținerea timp de 72 h în apă (a) sau în nisip argilos (b)

Acțiunea de compresiune locală de imprimare a fost realizată prin intermediul unui dorn special realizat din dur aluminiu (fig. 4.3), astfel încât să îndeplinească funcția de bun

conductor de electricitate și să aibă duritatea necesară aplicării forțelor de ordinul miilor de kgf.



Fig.4.3. Dorn realizat din dur aluminiu

Probele la compresiune au fost realizate într-un laborator specializat dotat cu aparatura necesară executării încercărilor și analizelor fizico-mecanice și controale nedistinctive, conform standardelor europene. [31]

4.3.2 Metoda de încercare

Determinarea forțelor aplicate și măsurarea rezistenței izolației în urma compresiunii la diferite forțe aplicate pe generatoarea superioară a tronsonului de țevă, a fost realizată cu ajutorul ansamblului prezentat în figura de mai jos, figura 4.4.



Fig.4.4. Detaliu ansamblului de determinare a rezistenței izolației

Cum se poate constata, conexiunile au fost realizate prin intermediul dornului și interiorul țevii, mod în care considerăm că se poate determina cel mai corect rezistența izolației.

Datele obținute în urma determinărilor sunt prezentate în tabelul 4.2.

Datorită faptului că determinările au fost făcute cu un aparat care nu poate indica valori decât în scara $M\Omega m$, a fost necesară mărirea sarcinii de încărcare, atingându-se astfel valori minime de 2.000kgf, necesare determinării primelor valori ale rezistenței izolației aplicate la rece.

Tabelul 4.2. Rezistența de izolație în funcție de sarcină

Nr. crt.	Forța aplicată [kgf]	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	Forța de străpungere
	Timpul de compresiune (min) constant pe sarcină	2	2	2	2	2	2	2	
		MΩm							[kgf]
1	Țeavă izolată cu PE la rece - 1 strat	54,10	20,34	6,30	1,85	0,00	0,00	0,00	4.546
2	Țeavă izolată cu PE la rece - 2 straturi	56,87	31,10	7,08	1,60	0,00	0,00	0,00	4.600
3	Țeavă izolată cu PE la rece - 3 straturi	58,20	34,50	7,61	2,10	0,00	0,00	0,00	4.630
4	Țeavă izolată Fuchs	∞	∞	∞	48,67	30,30	12,30	0,60	6.820*
5	Țeavă izolată cu PE la rece - 1 strat păstrată 72h în apă	52,64	18,30	7,10	0,03	0,00	0,00	0,00	4.450
6	Țeavă izolată cu PE la rece - 2 straturi păstrată 72h în apă	53,28	22,47	4,01	0,55	0,00	0,00	0,00	4.550
7	Țeavă izolată cu PE la rece - 3 straturi păstrată 72h în apă	53,10	21,30	6,70	0,83	0,00	0,00	0,00	4.630
8	Țeavă izolată Fuchs păstrată 72h în apă	∞	∞	∞	38,42	22,30	10,19	0,04	6.500*
9	Țeavă izolată cu PE la rece - 1 strat păstrată 72h în nisip	54,30	27,62	10,02	3,80	0,00	0,00	0,00	3.530
10	Țeavă izolată cu PE la rece - 2 straturi păstrată 72h în nisip	59,87	29,12	12,50	3,80	0,00	0,00	0,00	3.550
11	Țeavă izolată cu PE la rece - 3 straturi păstrată 72h în nisip	60,20	29,80	11,70	3,87	0,00	0,00	0,00	3.650
12	Țeavă izolată Fuchs păstrată 72h în nisip	∞	∞	∞	58,27	20,26	5,86	0,03	6.600*

*- valorile reprezintă forța maxima la care materialul tubular cedează în non sarcină.

Cum se poate constata din valorile prezentate, forța necesară pentru deteriorarea izolației aplicată prin extrudare de către producătorul de țeavă, cu alte cuvinte în fabrică, este net superioară celei aplicate la rece, chiar și într-o succesiune mai mare de straturi, astfel primele determinări ale rezistenței s-au putut determina, în cazul izolației extrudate, la o forță de 3.500kgf, față de 2.000kgf în cazul izolației aplicate la rece.

Analizând graficele prezentate mai jos, comparativ între numărul de straturi aplicate, și medii diferite, concluzionăm următoarele:

- supuse unei forțe de compresiune constantă, ci nu prin șocuri, numărul de straturi ideal este de minim două, perfecționând cu aplicarea în plus, figura 4.5;

- forța de străpungere a izolației este în principiu aceeași pentru epruvetele menținute în mediul atmosferic și apă din precipitații, în schimb diferă foarte mult, scăzând semnificativ, în cazul epruvetei păstrată în nisip, acest lucru datorându-se granulației și durității nisipului existent pe conductă în momentul aplicării forței de compresiune, putând concluziona astfel că deteriorarea izolației în cazul existenței de corpuri contondente în stratul de nisip este grăbită de pelicula de nisip existentă între acestea și țevă, figura 4.7. [11]

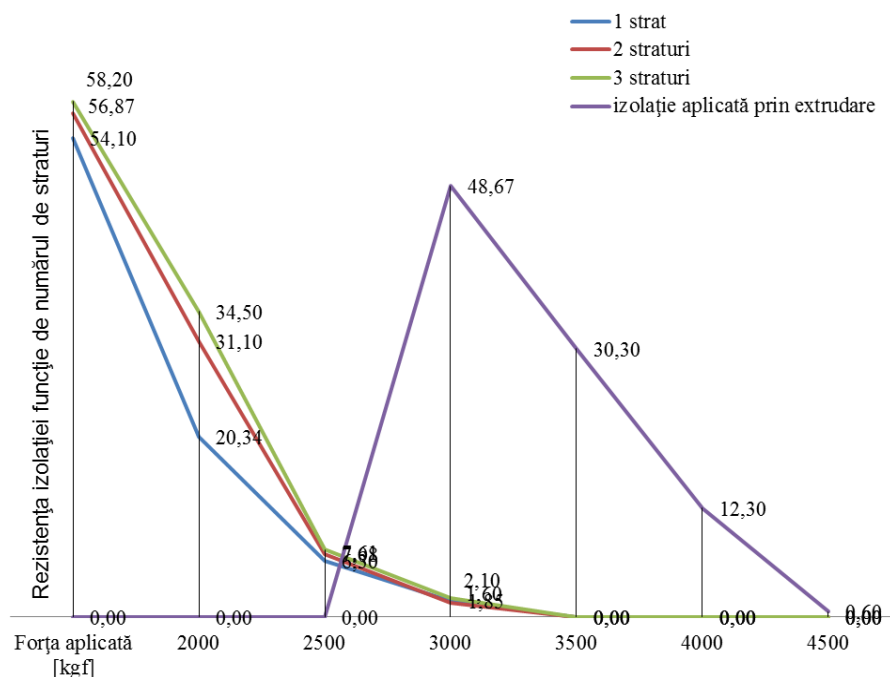


Fig.4.5. Distribuția valorilor rezistenței funcție de forța de compresiune

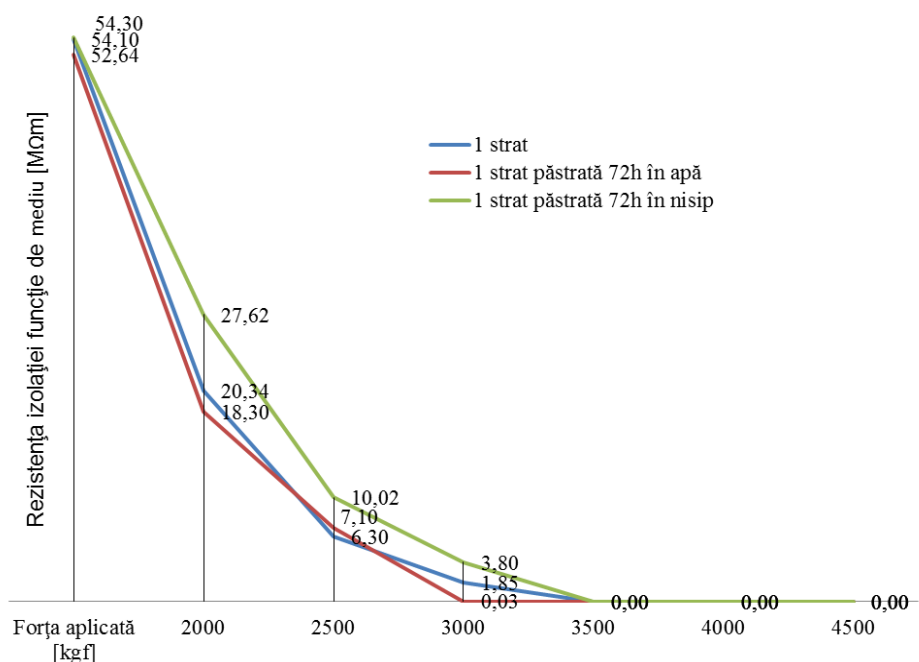


Fig.4.6. Influența mediului în care este pozată conducta

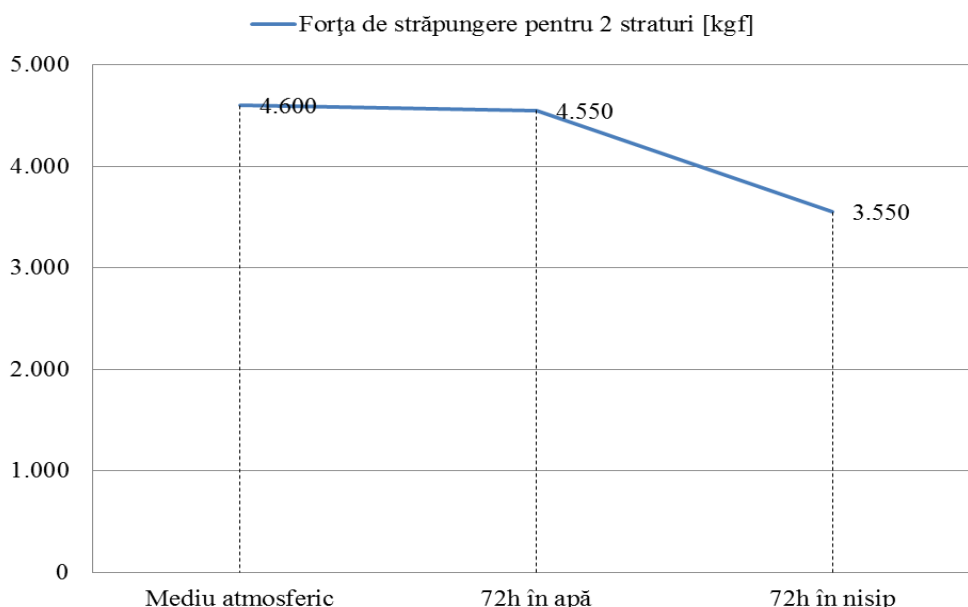


Fig.4.7. Forța la care izolația este străpunsă funcție de mediul de existent

4.4 Analiza specifică cu elemente finite a izolației aplicate la rece

Modelarea produsului costă în descrierea unui obiect nu numai din punct de vedere pur geometric, ci și în funcție de un oarecare număr de caracteristici, fie funcționale, fie legate de fabricația sa. Un model de produs conține:

- informații geometrice, care pot corespunde cu ceea ce se manipulează în modelele de produse solide;
- informații tehnologice, de exemplu operații de prelucrare (strunjire, găurire, frezare, filetare, tarodare) care dau o informație mai completă asupra întregii forme geometrice sau a unei părți a acesteia;
- informații de precizie, care explicitează toleranțele de fabricație în raport cu forma ideală;
- informații materiale, care dau tipul de material și proprietățile sale;
- informații administrative, care ușurează gestiunea obiectului (referința, furnizori, existența în stoc). [2]

În cazul de față au fost supuse analizei țevile izolate cu 1, 2 și 3 straturi și păstrate în mediul atmosferic.

Datorită diferențelor semnificative ale valorii forțelor aplicate pentru epruvetele izolate prin extrudare, aceste rezultate nu s-au inclus în determinarea elementului finit.

Tehnologia abordată pentru derularea etapelor privind optimizarea constructiv-funcțională aplicând MEF (metoda elementului finit) s-a bazat în acest caz pe simularea în Catia.

Pornind de la premisele asigurate de măsurătorile și determinările realizate pe țevile

izolate cu polietilenă la rece a fost modelată izolația în programul Catia având dimensiuni alese astfel încât să fie vizibile rezultatele, respectiv un sector de izolație de lungime 50mm și grosimi de 0,8mm, 1,6mm, respectiv 2,4mm, funcție de numărul de straturi aplicate (figura 4.8).

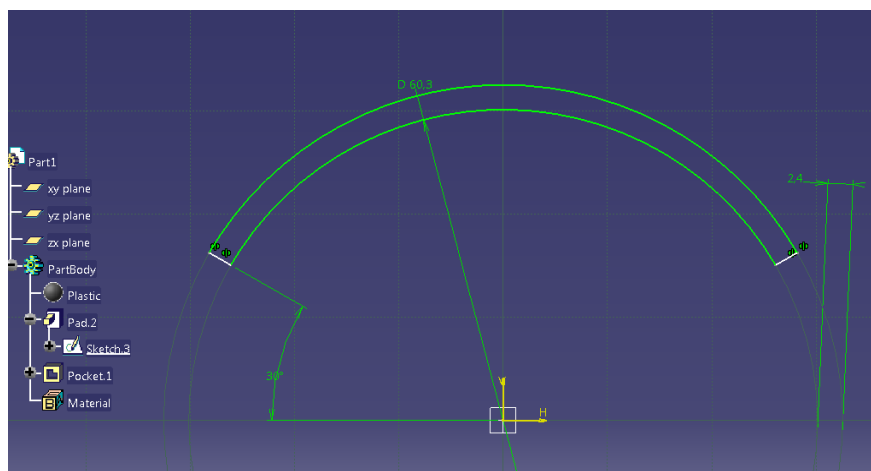


Fig.4.8. Secțiune transversală în izolație funcție de numărul de straturi

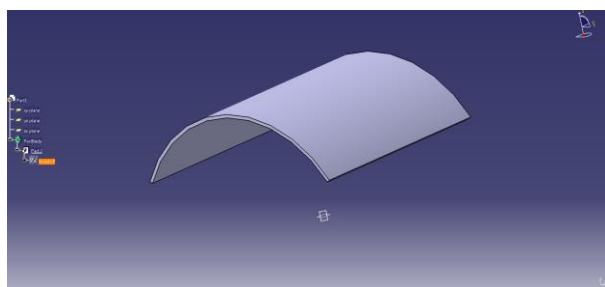


Fig.4.9. Vedere tridimensională

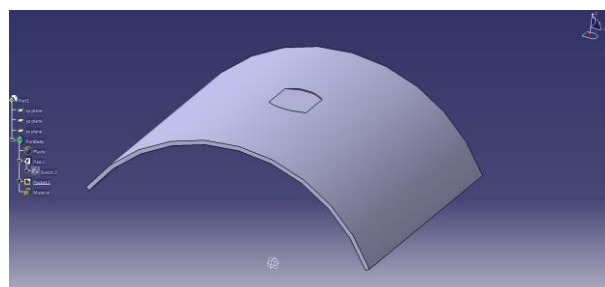


Fig.4.10. Aplicarea amprentei dornului pe suprafața izolației

Prezentei piese impuse spre analiză i se vor atribui caracteristicile mecanice și elastice în programul de analiză cu element finit (figura 4.11).

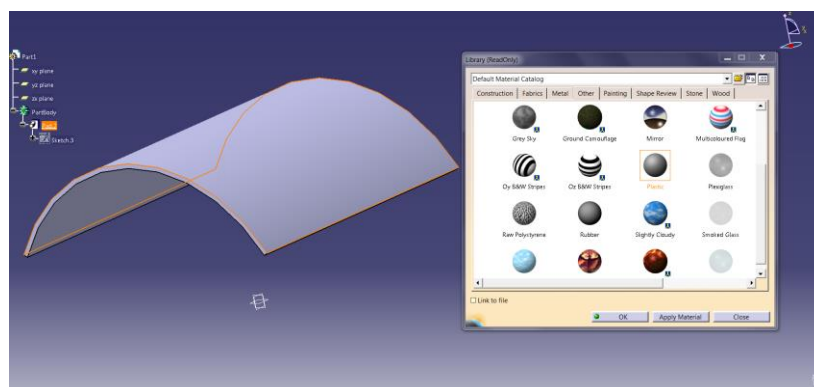


Fig.4.11. Încărcarea proprietăților materialului pentru analiza cu elemente finite în programul Catia

După încărcarea proprietăților specifice de material, izolația a fost trecută în modulul de analiză din Catia și s-au aplicat constrângeri (o încastrare) care simulează lipirea acestei

izolații pe conducta de oțel de Ø2” (figura 4.12).

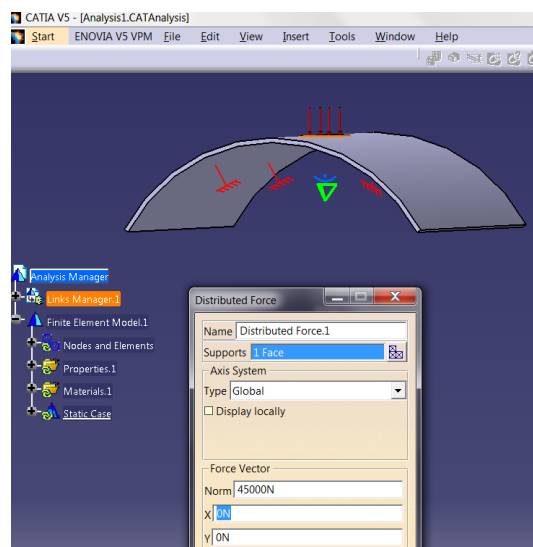


Fig.4.12. Aplicarea forței maxime determinate experimental

După ce au fost aplicate constrângerile și solicitările pe izolație, s-a lansat programul de analiză rezultând modul în care a fost discretizată (împărțită) izolația pentru analiză, tensiunea Von Mises (figura 4.13) și deplasările maxime (figura 4.14).

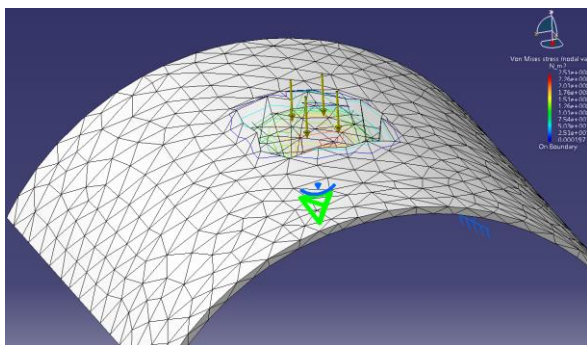


Fig.4.13. Tensiunea Von Mises pe zona de contact dintre izolația de polietilenă și țeava de oțel Ø2”

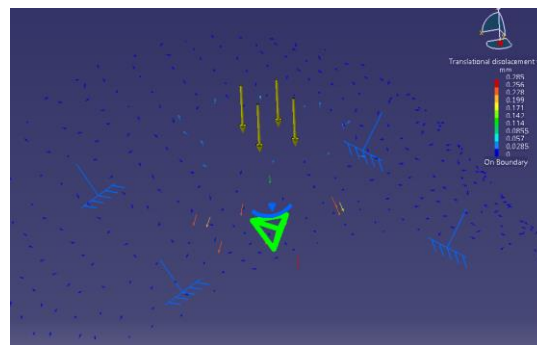


Fig.4.14. Deplasările polietilenei pe zona de aplicare a dornului

Măsurătorile obținute în urma simulării pentru cele trei tipuri de aplicare a izolației (unu, două, respectiv trei straturi) sunt prezentate în tabelul 4.3; de asemenea valorile deplasării și deformării izolației pentru cele trei determinări.

Tabelul 4.3. Valorile obținute în urma simulării Catia

Nr. crt.	Tipul epruvetei	Tensiunea Von Mises (Mpa)	Deplasarea polietilenei (mm)
1.	1 strat de izolație	227	0,285
2.	2 straturi de izolație	251	0,536
3.	3 straturi de izolație	276	0,866

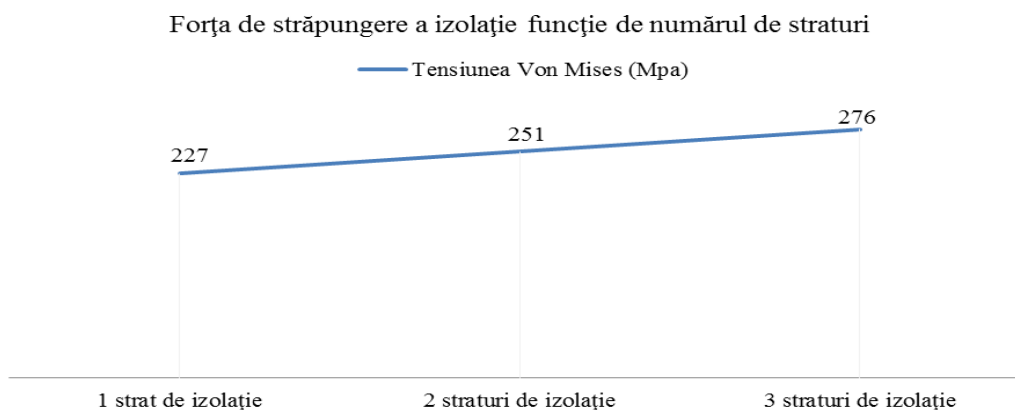


Fig.4.15. Valorile forței Von Mises la străpungerea izolației de polietilenă aplicată la rece

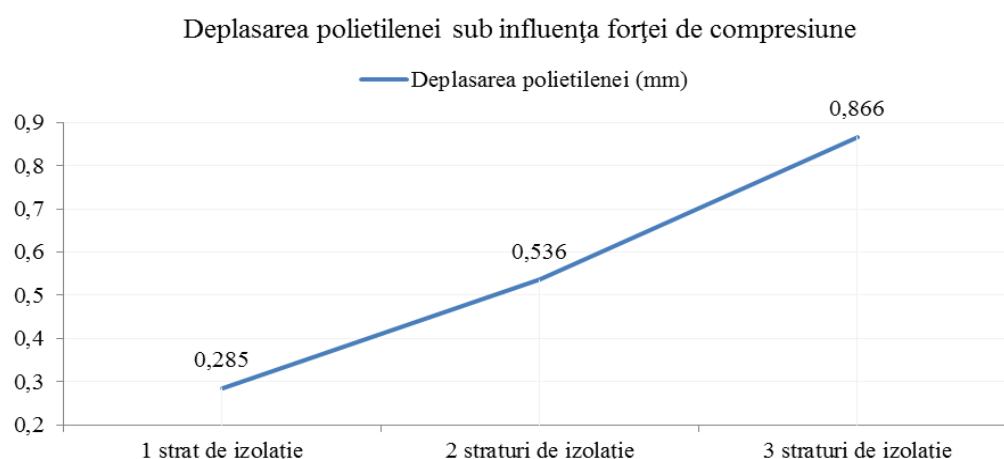


Fig.4.16. Valorile de deplasare a polietilenei sub acțiunea forțelor de compresie

Concluzionând toate aceste determinări, încercări și simulări deducem faptul că zonele cele mai expuse ale conductelor care alcătuiesc o rețea urbană de distribuție gaze naturale sunt elementele care se izolează ulterior pozării rețelei, astfel: sudurilor cap-cap, curbele, ramificațiile (teurile simple), reducățiile, partea metalică a fittingurilor de tranziție oțel-polietilenă etc.

De asemenea deducem faptul că amplasarea conductelor într-un strat de nisip unde există pietre sau alte corpuri străine cu o duritate ridicată reprezintă un risc mai crescut de deteriorare rapidă a stratului izolației; asemenea efecte putându-se întâlni și în cazul neresptării grosimii stratului de nisip de deasupra conductei, cât și a celui aflat sub aceasta. Un alt factor influent este și tasarea necorespunzătoare a statului de nisip și straturilor superioare acestuia, fapt ce poate permite, datorită vibrațiilor solului rezultate în urma unui trafic greu intens, pătrunderea de corpuri care pot deteriora izolația, de exemplu pietre de râu sau chiar sparte, care prezintă un pericol și mai mare decât tot ceea ce a fost prezentat în acest capitol, dar care face subiectul unei cercetării științifice viitoare.[10]

V. EVALUAREA STĂRII DE DEGRADARE A REȚELELOR URBANE DE DISTRIBUȚIE

Ca măsuri principale pentru îmbunătățirea sistemelor de distribuție putem enumera două categorii mari de lucrări:

1. remedierea/întreținerea sistemului;
2. modernizarea/înlocuirea rețelelor de gaz.

În acest sens s-au identificat două soluții care pot determina punerea în aplicare a celor două categorii de măsuri:

- **analizarea stării rețelelor de gaze de către OSD** (operatorul sistemului de distribuție) cu ajutorul unei baze de date care să conțină informații despre rețea, incluzând aici și intervențiile, în baza cărora să se prioritizeze rețelele cu cel mai mare risc în exploatare;
- **expertizarea rețelei** cu ajutorul experților autorizați, care în baza măsurătorilor și a determinărilor să recomande una din cele două variante, cu eventuale suplimentări de măsuri menite să asigure o cât mai bună exploatare la valori justificabile de cheltuieli.

5.1 Analizarea stării rețelelor urbane de distribuție gaze naturale

Pornind de la aceste două posibilități, în continuare am dezvoltat prima variantă. Plecând de la premiza că operatorul de distribuție nu deține toate informațiile necesare pentru o analiză corespunzătoare, am definit structura unei baze de date care să poată asigura informațiile de bază.

JURIDIC									
Proprietarul terenului	Proprietarul conductei	Modul de predare în exploatare		Contract DA/NU					
		Donatie	P.V. Predare	Nr. Contract					

CONDUCTA									
Lungime conducta	Material OL/PE	Diametre	Stare conducta	Anul punerii în funcțiune	Tipul de montaj aerian, subteran, alternant	Treapta de presiune	Localitate	Strada	
						Proiectat	Exploatat		

BRANSAMENT			Date suplimentare	
Tronson conducta	Nr. Imobil	Ramificat DA/NU		

DEFECTE			
Anul remedierii 2000...	Tronson/Bransament	Nr imobil	Cauza defectului

FINANCIAR		
Data punerii în funcțiune	Valoare	Cod de clasificare

Fig.5.1. Câmpuri de date necesare pentru statistica unei rețele urbane de distribuție a gazelor naturale

În figura 5.2. se prezintă principalele date necesare susținerii și actualizării informațiilor utile evaluării rețelelor de gaze naturale.

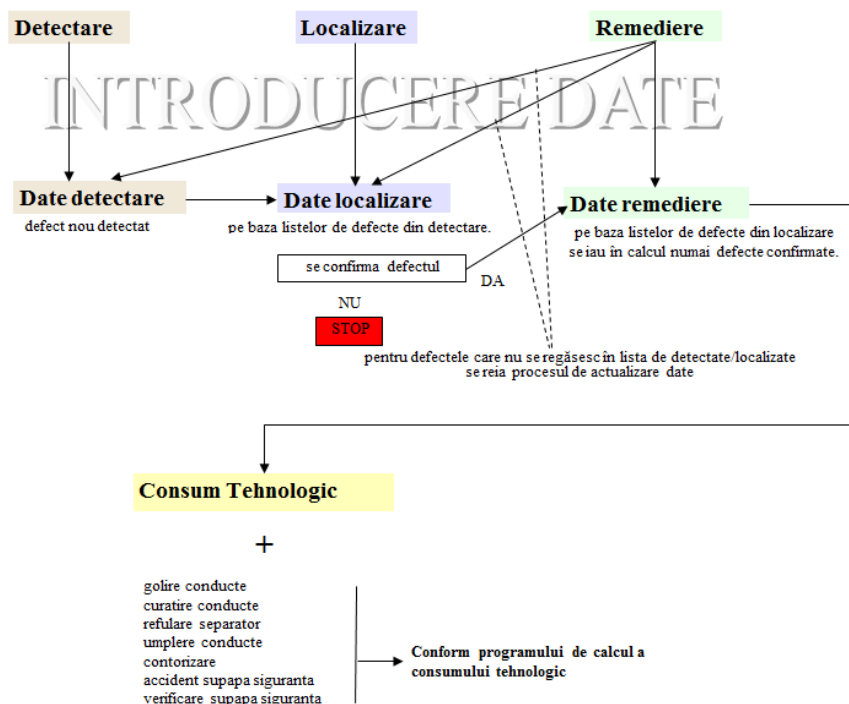


Fig.5.2. Introducerea datelor referitoare la intervențiile în sistemul de distribuție

În figura 5.3. este prezentat mai detaliat modul de interpretare și introducere a datelor în sistem.

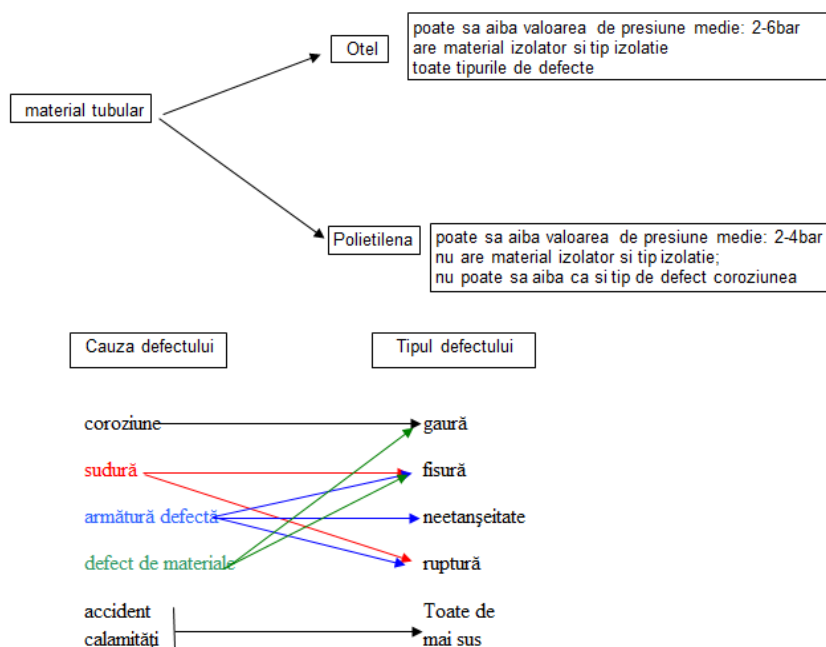


Fig.5.3. Modul de interpretare a defectelor funcție de tipul materialului tubular

În figura 5.4. este prezentat fluxul complet de introducere a datelor referitoare la detectarea, localizarea și remedierea defectelor depistate pe rețelele urbane de distribuție gaze naturale.

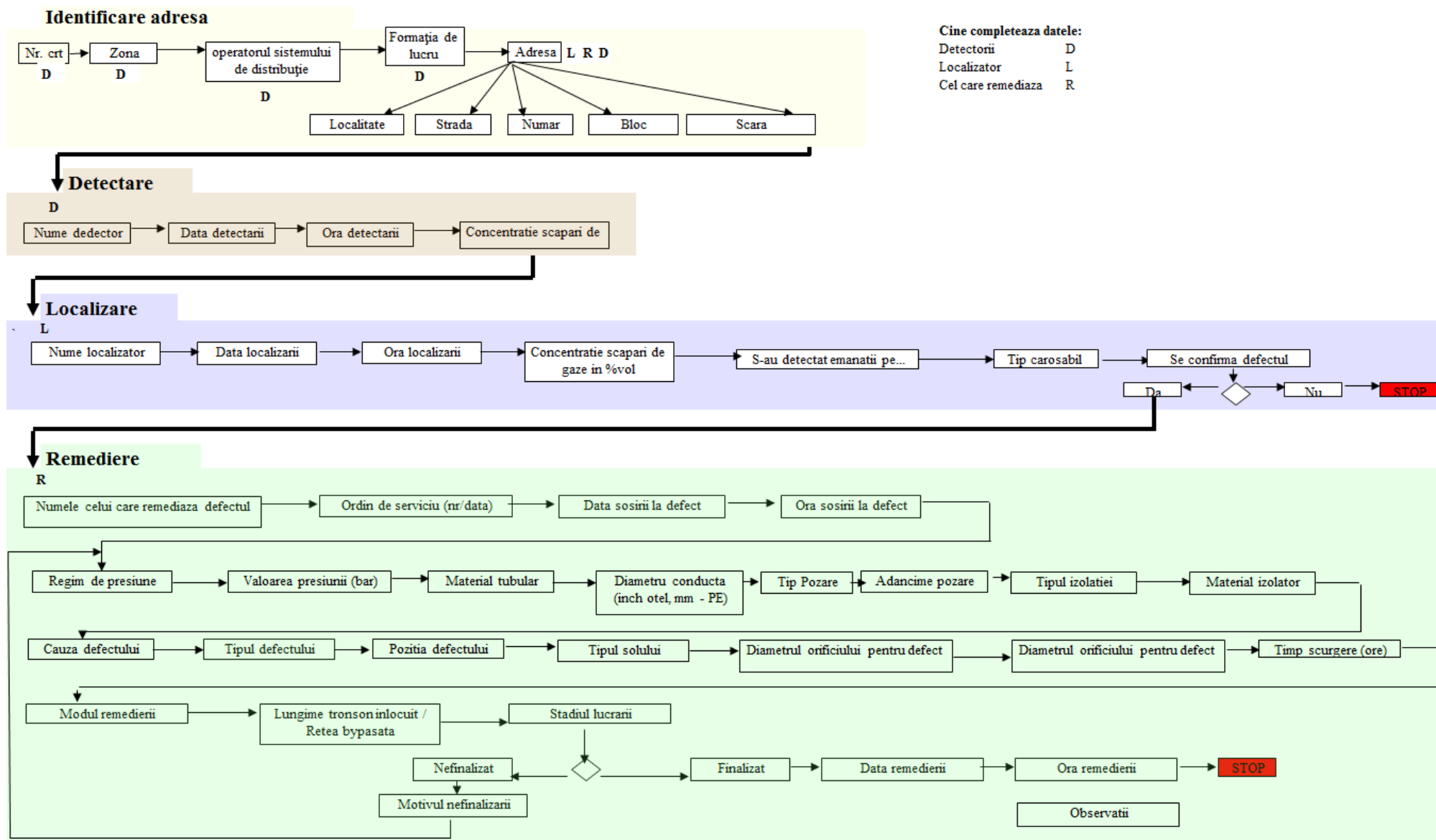


Fig.5.4. Fluxul complet de introducere și actualizare a bazei de date

Astfel că punctând principali factori care influențează exploatarea rețelei putem obține o ierarhie în ceea ce utilizăm și definim ca fiind evaluarea unei rețele.

În tabelul 5.1. se prezintă un model de notare a criteriilor de delimitare.

Tabelul 5.1. Criterii de delimitare și prioritizare a rețelelor cu probleme

Criteriu/Punctaj		1	2	3	4	5	6					
Proprietate	EGR	1	ALTII	0								
Regim de presiune proiectat	pres. joasă	2	pres. redusă	0	pres. medie	1	pres. înaltă	3				
Regim de presiune exploatat	pres. joasă	2	pres. redusă	0	pres. medie	1	pres. înaltă	3				
Material tubular	OL	1	PE	0								
Tipul izolației	normală	2	întărită	1	foarte întărită	0						
Starea izolației	foarte bună	4	bună	3	relativ bună	2	nesatisfăcătoare	1	deteriorată	0		
Material izolator	carton asfaltat	3	bitum	1	polietilenă extrudată	0	vopsea	2	alte	4		
Diametru	rețea subdimensionată	1										
Tipul de pozare al rețelei	S - subteran	0	A - aerian	1	SA - alternat	2						
Pozare improprie	DA	1	NU	0								
Material tubular	OL	1	PE	0								
Tipul solului	argilos (cleios)	1	nisipos	0	pietros	2	petrolifer	5	salin	3	mlăștinis	4
Existența curenților c.c. și c.a. în zona	c.c.-zonă industrială	1	c.c.-tranvai	2	c.a.-rețele electrice supratereane	0	c.a.-cale ferată electrificată	3	protecție catodică ptr. alte rețele	4	alte influențe negative	5
Protecție catodică	DA	0	NU	1								
Tipul protecției catodice	cu injecție de curent	0	cu anodi de sacrificiu	1	cu injecție de curent prin sutiraj	2						
Coroborare programe de investiții autorități locale	DA	1	NU	0								
Tip defect depistat pe rețea	coroziune	6	sudură	4	armătură defectă	3	defect de materiale	5	accident	1	calamități	2

Punând cap la cap toate aceste informații, coroborat cu programe geografice ale rețelelor de distribuție, putem susține că am creat un sistem de management al integrității sistemelor de distribuție gaze naturale, bazat pe evaluare analizei tehnice a rețelelor de distribuție gaze naturale. [6]

5.2 Expertizarea rețelelor urbane de distribuție gaze naturale

Luând în considerare faptul că analiza unei rețele urbane de distribuție gaze naturale este o acțiune premergătoare realizării unei expertize tehnice, în contextul actualului capitol, și că această acțiune este soluția cea mai completă și concludentă referitor la evaluarea stării unei rețele de distribuție, în cadrul acestui subcapitol se prezintă câteva criterii de bază necesare realizării unei expertize tehnice.

VI. CONCLUZIILE TEZEI DE DOCTORAT

6.1 Concluzii generale

Obiectivele principale ale tezei de doctorat constau în cercetarea fenomenelor mecanice, electrice și chimice care conduc la deteriorarea rețelelor. Pe lângă aceste cercetări s-a încercat stabilirea unor reguli de analizare a stării tehnice a conductelor de oțel îngropate care să ajute la realizarea și susținerea unui management de integritate a rețelelor de distribuție gaze naturale.

Astfel că începând încă din capitolul I al tezei s-a relizat o simulare a rezistenței mecanice a conductelor la presiunea gazului în condițiile existenței pe perețele acesteia a două tipuri de defecte, unul de coroziune și unu de deformare de material, concluzionând următoarele aspecte:

- împotriva considerațiilor inițiale, pentru defectul de coroziune presiunea de cedare a materialului tubular este mai mare, în condițiile aceleiași grosimi de perete; acest lucru fiind pus pe seama faptului că este posibil ca influența să fie dată și de faptul că defectele sunt simulate de exteriorul conductei, ci nu pe interiorul acesteia;

- în cazul defectelor de material sau prin coroziune efectul se resimte după ce grosimea de perete s-a redus la jumătate;

- presiunea minimă de cedare corespunde defectelor de material, deoarece acestea au o extindere mai mare decât defectele create prin coroziune și o geometrie ce determină concentrația tensiunilor;

Analizând acțiunea forțelor mecanice care apar și acționează pe o conductă de gaze naturale existentă în perețele unei excavații concluzionăm următoarele aspecte:

- tensionarea conductei transversale se datorează continuării deplasării pe verticală a umpluturii ca urmare a tasării naturale în timp. Deplasările din zona centrală a conductei pot depăși 5% din diametru și acestea depind de diametrul conductei, de lățimea șanțului, de gradul inițial de tasare al umpluturii. Asemenea încovoieri indică existența unor tensiuni mari de întindere în partea inferioară a conductei, unde se manifestă coroziunea sub tensiune;

- este dificil de stabilit locul exact de încastrare în teren a conductei datorită comportării plastice a terenului din spatele peretelui. Dacă plasticitatea este mică, în perete, la o anumită distanță se creează tensiunea maximă, zona respectivă fiind asemănătoare unei încastrări. Dacă plasticitatea peretelui este mare, tensiunea maximă se dezvoltă în zona centrală a șanțului, unde momentul încovoietor este maxim;

- tensiunea din conductă este cu mult mai mare dacă aceasta traversează oblic șanțul;

- una din măsurile de întârziere a ruperii conductelor ce traversează șanțurile adânci excavate constă în compactarea umpluturii până la valori apropiate de cele ale terenului din perete;

- o a doua măsură constă în plasarea conductei într-un tub metalic, suficient de larg, ce preia sarcina creată de pământul de deasupra în procesul natural de tasare (deplasare).

Fenomenul electrochimic care conduce la deteriorarea conductelor de gaze este coroziunea, în acest sens în capitolul al III-lea s-a cercetat fenomenul de electroosmoză ce se desfășoară în cazul protecției catodice a conductelor subterane de oțel, determinările au condus la următoarele concluzii:

- solul din jurul anodului de injecție își mărește rezistivitatea prin deplasarea apei către conducta protejată catodic;

- solul din jurul conductei protejate catodic își reduce rezistivitatea ca urmare a deplăsării apei;

- cantitatea de curent injectat în conductă se reduce ca efect al creșterii rezistivității solului din jurul anodului;

- uscarea solului din jurul anodului de injecție impune o umezirea periodică pentru a se asigura cât mai constant potențialul conductei protejate catodic.

Capitolul IV, un capitol destinat cercetărilor mecanice ale izolațiilor conductelor de oțel pentru distribuția gazelor naturale, aduce în atenție două tipuri de determinări mecanice, una prin aplicarea unor forțe de tracțiune asupra benzii izolatoare care se folosește pentru izolarea la rece a țevelor, pe șase tipuri de epruvete, în 1, 2 și 3 straturi, fără simulare de defecte și cu simulare de defecte; iar cea de-a doua determinare sub acțiunea pe conducte izolate în diferite moduri (la rece în 1, 2 și 3 straturi și prin extrudare) și menținute în medii diferite (atmosferic, nisip și apă), a unor forțe de compresiune, având ca scop simularea existenței unui corp contondent cu raza de 12,5mm pe conductă.

Astfel am făcut următoarele aprecieri:

1. pentru determinările mecanice la tracțiune:

- în urma măsurărilor efectuate s-a constatat că pentru epruvetele fără defecte, măsurătorile și datele obținute sunt foarte apropiate, diferențe notabile fiind între datele obținute pe epruveta într-un singur strat. Cea mai bună comportare la deformația sub tensiune o prezintă epruvetele formate din două straturi. Se deduce astfel că existența unui număr mai mare de straturi, sub influența unei tensiuni generate la tracțiune, epruvetele cedează aproape la aceleași valori, chiar și mai mici, acest aspect datorându-se aderenței dintre straturi, fapt ce duce ca la cedarea unuia dintre acestea să apară o rupere mai bruscă a epruvetei;

- în cazul existenței unui defect de izolație cedarea este cu mult redusă, forța de tensiune care generează deformarea fiind mult mai mică. Și în acest caz se poate discuta pe marginea

deformării la tracțiune în cazul celor trei tipuri de epruvete, diferența fiind însă alta, iar valoarea cea mai mare fiind deținută de izolația aplicată într-un singur strat, fapt ce demonstrează aceeași interpretare referitoare la aderența între straturi menționată mai sus. Astfel, putem spune că în cazul unei suprafețe reduse, datorată existenței defectelor de izolație și a rezistenței generate de aderența între straturile aplicate pentru izolare, tensiunile prin care se generează deteriorarea izolației sunt cu mult reduse față de caracteristicile normale ale izolației.

2. pentru determinările mecanice la compresiune:

- supuse unei forțe de compresiune constantă, ci nu prin șocuri, numărul de straturi ideal de izolație este de minim două, perfectând cu aplicarea în plus;

- forța de străpungere a izolației este în principiu aceeași în mediul atmosferic și apă din precipitații, în schimb diferă foarte mult, scăzând semnificativ, în cazul epruvetei păstrate în nisip. Acest lucru datorându-se granulației și durității nisipului existent pe conductă în momentul aplicării forței de compresiune, putând concluziona astfel că deteriorarea izolației în cazul existenței de corpuri contondente în stratul de nisip este grăbită de pelicula de nisip existentă între acestea și țevă.

Tot în cadrul capitolului IV, pe baza determinărilor mecanice la compresiune s-a făcut și o analiză specifică cu elemente finite în urma căreia am dedus următoarele aspecte:

- am observat că valorile obținute ale tensiunii Von Mises în zona de contact se încadrează în limita de deformare a oțelului ceea ce coincide cu rezultatele obținute experimental (deformarea conductei de oțel), iar pentru partea de deformare a izolației se observă că deplasarea are o valoare mare față de forma inițială de la care s-a pornit, ajungând la un maxim de 0,866mm;

- de asemenea deducem faptul că zonele cele mai expuse ale conductelor care alcătuiesc o rețea urbană de distribuție gaze naturale sunt elementele care se izolează la rece, ulterior pozării rețelei, astfel: sudurilor cap-cap, curbele, ramificațiile (teurile simple), reducățiile, partea metalică a fittingurilor de tranziție oțel-polietilenă etc;

- amplasarea conductelor într-un strat de nisip unde există pietre sau alte corpuri străine cu o duritate ridicată reprezintă un risc mai crescut de deteriorare rapidă a stratului izolației. Asemenea efecte putându-se întâlni și în cazul nerespectării grosimii stratului de nisip de deasupra conductei, cât și a celui aflat sub aceasta; un alt factor influent fiind și tasarea necorespunzătoare a statului de nisip și straturilor superioare acestuia, fapt ce poate permite, datorită vibrațiilor solului rezultate în urma unui trafic greu intens, pătrunderea de corpuri care pot deteriora izolația, de exemplu pietre de râu sau chiar sparte, care prezintă un pericol crescut.

În capitolul V se propune un model de structură de bază de date care poate conduce și determina modelarea și definirea unui sistem de management de integritate a rețelelor de distribuție gaze naturale, cu scopul de suport în exploatarea rețelelor și de generare de strategii de modernizare a acestora.

6.2 Contribuții originale

Determinările realizate pe izolațiile pentru conductelor de oțel reprezintă aspecte importante cu un aport considerabil în exploatarea rețelelor de distribuție gaze naturale, mai ales că acest element poate fi considerat cel mai important și cel mai influent în integritatea conductelor de oțel; de aceea consider cercetările experimentale de-o importanță considerabilă, astfel că o contribuție utilă o au determinările mecanice realizate la compresiune.

De asemenea, un aspect foarte important, chiar dacă mai poate suporta anumite modificări, este modul de inițiere a analizării stării tehnice a rețelelor de distribuție prin colectarea de date și generarea de statistici specifice, care pot conduce la derularea unui management specific de integritate a conductelor.

Nu în ultimul rând cercetarea fenomenului de electroosmoză este un aport benefic, aducând în atenție măsuri ce pot fi luate pentru asigurarea unui potențial cât mai constant în jurul conductei protejate catodic.

6.3 Direcții noi de cercetare

Având în vedere domeniul vast de fenomene și evenimente care este generat de exploatarea și existența rețelelor urbane de distribuție gaze naturale, se au în vedere mai multe direcții noi de cercetare pe care le voi enumera mai jos, dar care foarte probabil nu se vor rezuma la doar atât.

- determinarea presiunilor maxime de cedare a materialului tubular în situația existenței unor defecte interioare specifice de tubulatură;

- influența factorului de tasare a straturilor de soluri de deasupra conductei în situațiile când în stratul protector pot exista corpuri care sub influența unor forțe de compresiune pot deteriora conductele de gaz;

- influența forțelor generate de alunecarea/deplasarea peretelui excavației asupra conductelor din carosabil cu trafic greu intens;

- factori influenți care conduc la scurtarea perioadei în care rețelelor urbane de distribuție se degradează, în urma modernizării carosabilului sau a altor utilități adiacente acestora.

VII. BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- 1 Aubertin M ș.a., „*Methodes d'estimation des pression induites dans les chantiers remblayés*”, www.polymtl.ca/enviro/geremi/
- 2 Avrigean, E., "Verifying the Strength of the Cardan Transmission Joint through the Finite Element Method", Advanced Materials Research, 2014.
- 3 Azzeddine L., "Etude parametrique de l'interaction entre ouvrage tunnel - batiment – excavation", Universite El Hadj Lahkdar. Batna. Algeria. Teză de doctorat. 2006.
- 4 Boussaid K., „Sols intermediaires pour la modelisation physique: Application aux fondations superficielles”. Ecole Centrale de Nantes. Teză de doctorat. 2005.
- 5 Brachman R.W. Moore I.D. Rowe R.K., „The design of a laboratory facility for evaluating the structural response of small-diameter buried pipes”. Can. Geotech. J. nr. 37 – 2000.
- 6 Călin C., Filip Ș., „Corrosion protection – less defects, more operational safety”, 3R International, Germania, 2008
- 7 Degoutte G. Royet P., „Aide memoire de mecanique des sols”. 2005. www.cemagref.fr
- 8 Dridi, W., “Couplage entre corrosion et comportement diphasique dans un milieu poreux”. L'Ecole Nationale des Ponts est Chaussees. These de doctorat. 2005.
- 9 Filip S., „Stadiul actual al cercetărilor privind procedurile de evaluare și verificare a conductelor cu defecte de tip lipsă de material”, Referatul nr.1, 2009.
- 10 Filip Ș., Avrigean E., „Numerical Analysis on Polyethylene Insulation of Steel Pipelines”. International Journal of Science and Research (IJSR). 2016.
- 11 Filip Ș., Rîpeanu R., Avrigean E., „Studies and research on the electrical resistance of the polyethylene insulation used for the chemical protection of steel pipelines used in natural gas distribution”, Revista de Chimie. București. 2016. (articol în curs de publicare).
- 12 Fotiadis, Dimitrios I, and Christos V Massalas., "Electromagnetic scattering from real scatterers: impact of material electrical characteristics to the scattered field", Advances in Scattering and Biomedical Engineering, 2004
- 13 Jeglic F., „Analyse des ruptures dans les principaux reseaux pipeliniers du Canada et releve de tendance”. Office National de l'Energie. Calgary - Canada 2004.
- 14 Tudor I. ș.a., „Protecția anticorozivă și reabilitarea conductelor și rezervoarelor”. Editura Universității din Ploiești. 2007.
- 15 Tudor I., “Materiale speciale și coroziune”, Editura Universității din Ploiești, 1992.

- 16 Tudor I., Rîpeanu R.G., „*Ingineria coroziunii*”. Vol. I și II. Editura Universității din Ploiești. 2002.
- 17 Vâlcu, R., Dobrescu. A., „*Termodinamica proceselor ireversibile*”. Editura Tehnică. București. 1982.
- 18 Vermeșan H., “*Coroziune*”, Editura Risoprint, Cluj Napoca 2005.
- 19 Zecheru, Ghe.; Drăghici, Ghe.; Dumitrescu, A. and Iukhymets, P., “*Design of Composite Material Reinforcing Sleeves Used to Repair Transmission Pipelines*”, Editura Universității din Ploiești, 2014.
- 20 xxx „*Codul tehnic al sectorului gazelor naturale.*” www.anre.ro/download.php
- 21 xxx „*Control of External Corrosion on Underground or Sumerged Metallic Pipeling System*”. NACE RP 0169–2002. www.NACE-RP-0169-2002-Control-of-External-Corrosion
- 22 xxx „*Ghid de proiectare privind protecția împotriva coroziunii a construcțiilor din oțel*”. Indicativ GP 121/1-2013. www.mdrap.ro/userfiles/GP_111_faza3.pdf
- 23 xxx „*Legea energiei electrice și gazelor naturale*”. M. Of. 485/16 iulie 2012
- 24 xxx „*Metoda Pearson modificată. Sistem de măsură pentru protecția împotriva coroziunii*” corScan. www.sebakmt.com
- 25 xxx „*Norma tehnică pentru proiectarea, executarea și exploatarea sistemelor de alimentare cu gaze naturale*”, NTPEE. M. Of. Partea I. nr. 255 bis din 16.04.2009.
- 26 xxx „*Norme tehnice specifice SNT. Mentenanța conductelor de transport gaze naturale – NTCM*”. www.transgaz.ro/Downloads/exploatare.../ntsm_srm_final.pdf
- 27 xxx „*Norme XP P 94-105. Contrôles de la qualite du compactage*”. www.solution.com/.../Norme%20XP%20P94-105.pdf 2006.
- 28 xxx „*Pipeline Intraprovincial Inc. OH-4-96*”. Office National de l’Energie. Canada. 1997.
- 29 xxx „*Proiect tehnic mutări și protejări instalații*”. Louis Berger SAS-PROINTEC S A. 2005. www.cnadnr.ro/DN/DN5/Volumul%205/.../Produse%20petroliere.pdf
- 30 xxx „*Rapport d’enquete de pipeline P01H0004 - Rupture d’un oleoduc*”. Bureau de la Securite des Transports du Canada. tsb.gc.ca/fr/rapport/pipe/2001.
- 31 xxx „*Specificații laborator de încercări S.C. UPRUC CTR S.A. Făgăraș*”, <http://www.uprucctr.com/ro/about-us.php>