



MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII
UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI

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



DOMENIUL FUNDAMENTAL – ȘTIINȚE INGINEREȘTI
DOMENIUL DE DOCTORAT – MINE, PETROL ȘI GAZE

TEZĂ DE DOCTORAT

(rezumat)

***CONTRIBUȚII LA ÎMBUNĂȚĂȚIREA TEHNOLOGIILOR DE
MENTENANȚĂ A SISTEMELOR DE TRANSPORT PRIN
CONDUCTE A HIDROCARBURILOR FLUIDE ÎN SCOPUL
CREȘTERII GRADULUI DE SIGURANȚĂ ÎN EXPLOATARE***

Autor: Ing. Robert – Gheorghe Vlădescu

Conducător științific: Prof. univ. habil. dr. ing. Florinel Dinu

Ploiești 2022

Lucrarea elaborată pentru obținerea titlului de doctor inginer în domeniul de doctorat Mine, Petrol și Gaze, intitulată *CONTRIBUȚII LA ÎMBUNĂȚĂȚIREA TEHNOLOGIILOR DE MENȚENANȚĂ A SISTEMELOR DE TRANSPORT PRIN CONDUCTE A HIDROCARBURILOR FLUIDE ÎN SCOPUL CREȘTERII GRADULUI DE SIGURANȚĂ ÎN EXPLOATARE*, a fost elaborată în șase capitole și cuprinde cuprinde 166 de pagini, 70 de figuri, 28 tabele și 112 referințe bibliografice.

Capitolul I	- Riscul și factorii de risc în exploatarea sistemelor de transport al fluidelor petroliere
Capitolul II	- Analiza timpului de funcționare în siguranță a sistemelor de transport fluide petroliere
Capitolul III	- Îmbunătățirea tehnologiilor de mentenanță a sistemelor de transport hidrocarburi lichide
Capitolul IV	- Utilizarea analizei de regresie în determinarea avariilor la sistemele de transport țiței și gaze naturale
Capitolul V	- Efectul dimensiunilor defectelor asupra integrității conductelor
Capitolul VI	- Evaluarea integrității conductelor cu defecte de tip pierderi de material (coroziune)

În Capitolul I sunt analizate cauzele producerii de avarii la sistemele de transport al fluidelor petroliere, inclusiv sub prelucrare statistică.

Am studiat literatura internațională de specialitate și bazele de date privind avariile care s-au produs la:

- sisteme de transport gaze prin conducte;
- sisteme de transport fluide petroliere;
- utilajele din exploatarea instalațiilor de tratare a țițeiului și a gazelor.

De asemenea, am analizat baza de date a accidentelor produse la conductele de transport al fluidelor petroliere (țiței, gazolină, etan) din România, concluziile mele reliefând faptul că accidentele la instalațiile petroliere și de transport fluide petroliere (țiței, gaze naturale, gazolină, gaze lichefiate, produse petroliere) pot să apară:

- la darea în folosință a instalațiilor (în perioada punerii în funcțiune);
- în primii 3-5 ani de exploatare;
- după unele reparații și revizii programate;
- în cazul nerespectării disciplinei tehnologice;
- la operațiunile de abandonare a conductelor.

Totodată am clasificat factorii care pot produce defectarea sistemelor de transport fluide petroliere în următoarele categorii:

- a. Factori naturali de exploatare:
 - *factori datorati mediului ambiant în care se montează conductele* (acțiunea erozivă a solului și a apei, acțiunea corozivă a apei, acțiunea microbiologică a organismelor din sol etc.);
 - *factori datorati parametrilor meteorologici ai zonei de amplasare* (acțiunea vântului și a precipitațiilor);
 - *factori datorati mișcării tectonice a zonei de amplasare.*
- b. factori datorati utilizării necorespunzătoare a materialelor și montajului defectuos al acestora (*calitatea oțelului, calitatea sudurilor etc.*);
- c. factori provenind din proiectarea neadecvată a sistemelor de conducte (*alegerea unor standarde de proiectare depășite sau omisiunea unor factori de mediu prezenți în zona de montaj al conductelor*);
- d. factori datorati montajului defectuos a conductelor (*sudură defectuoasă la capete, montaj defectuos al izolației, instalare neadecvată a echipamentelor de protecție și control, montaj defectuos al sistemului de protecție catodică etc.*);
- e. factori provenind din nerespectarea tehnologiei de exploatare (*presiuni mari de pompare, opriri dese ale procesului de livrare a produselor finite etc.*).
- f. factori datorati utilizării unor substanțe transportate care nu sunt în concordanță cu cerințele de proiectare (*țiței cu conținut mare de apă de zăcământ, apă sărată, deșeuri corozive etc.*).
- g. Factori datorati modificării dese a regimului de lucru și a tehnologiilor de întreținere (*modificarea frecvență a structurii organizatorice, reducerea cheltuielilor de întreținere, neadecvarea sistemului de conducte unei exploatare judicioase etc.*).

Un subcapitol important al acestei teze îl reprezintă descrierea imperfecțiunilor și a defectelor conductelor de transport fluide petroliere, reușind să introduc în lucrare un bogat material fotografic (în mare parte preluat din cazurile întâlnite de mine în activitatea desfășurată în managementul mentenanței sistemului național de transport fluide petroliere - țiței, gazolină, etan).

Analiză Protecție exterioară																					
Analiză Montaj bandă avertizare conductă																					
Analiză creșterea grosimea perete																					
Monitorizare sisteme de protecție catodică																					
Curățire interioară																					
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Inspecție internă (ILI)																					
Reducerea solicitării exterioare																					
Monitorizare stare vremea																					
Reîncadrare în clasă de locație																					
Reabilitarea conductă și sistem protecție catodică																					
Injectare inhibitori																					
Analiză Protecție termică																					
Creșterea adâncimea pozare																					

Pentru a asigura un mod de raportare în conformitate cu standardele internaționale, am propus în lucrare un model de clasificare a defectelor conductelor de transport fluide petroliere, apropiat standardului ASME B 31.8S-2004 și anume:

a. *Pericole care sunt dependente de timpul de exploatare (time dependent):*

- A.1. coroziune exterioară a conductei (external corrosion);
- A.2. coroziune interioară a conductei (internal corrosion);
- A.3. coroziune fisurată (datorită tensiunilor interne ale materialului țevii) (stress corrosion cracking).

b. *Pericole care se datorează construcției necorespunzătoare a echipamentelor, a aparatelor de măsură și control, a materialului tubular și a sistemelor de pompare (stable):*

b.1. Defecte datorate fabricării necorespunzătoare a conductelor (manufacturing related defects):

- B.1. defecte ale sudurilor de asamblare a conductelor (defective pipe seam);
- B.2. defecte de fabricare a materialului țevelor (pipe defective).

b.2. Defecte datorate amplasării și realizării necorespunzătoare a montajului conductelor:

- B.3. defecte ale îmbinărilor sudate dintre țevile conductei (defective pipe girth weld);
- B.4. defecte datorate realizării sudurilor (defective fabrication weld);
- B.5. bucle sau cute datorită curburii necorespunzătoare a țevelor (wrinkle bend or buckle);
- B.6. filete deteriorate / țevi necorespunzătoare / mufe sau manșoane deteriorate (stripped threads / broken pipe / coupling failure).

b.3. Defecte ale echipamentelor conductelor (equipment failure):

- B.7. deteriorare inele (garnituri) de etanșare (gasket O-ring failure);
- B.8. funcționare necorespunzătoare a echipamentelor de control și de siguranță (control/relief equipment malfunction);
- B.9. fisurarea carcaselor pompelor/cedarea sistemelor de etanșare (seal/pump packing failure);
- B.10. Cauze diverse (miscellaneous).

c. *Pericole independente de timpul de exploatare:*

c.1. Deteriorarea mecanică produsă de o terță parte:

- C.1. deteriorarea cauzată de prima secundă de funcționare (probe de producție și de rezistență-teste hidraulice) sau datorită unei terțe părți (damage inflicted by first, second or third parties);
- C.2. țevi deteriorate în timpul transportului și depozitării (previously damaged pipe - delayed failure mode);
- C.3. avarii datorate actelor de vandalism sau intervenții ilicite (vandalism).

c.2. Avarii datorate operării incorecte (incorrect operational procedure).

c.3. Forțe exterioare sau determinate de intemperii (weather-related and outside force):

- C.5. vreme rece cu temperaturi scăzute (cold weather);
- C.6. trăsnete (lightning);

- C.7. ploi puternice sau inundații (heavy rains or floods);
- C.8. cutremure /alunecări de teren (earth movements).

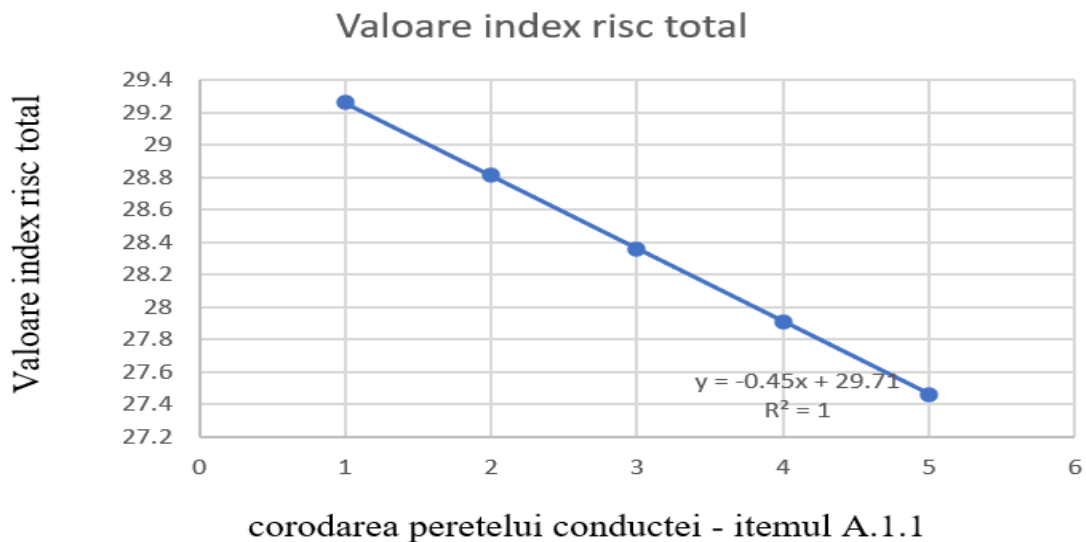
În finalul acestui capitol, am analizat riscul ca un element determinant în politica de asigurare a mentenanței sistemelor de transport fluide petroliere, prezentând tehnicile de evaluare a acestuia bazate pe:

- a. analiza riscului pe baza schemei de priorități;
- b. analiza riscului pe baza studiului efectelor produse asupra mediului înconjurător și a factorului uman în cazul unui accident tehnic;
- c. analiza riscului pe baza evaluării calitative a sistemului de transport fluide petroliere.

Experiența mea în analiza mentenanței sistemelor de transport mi-a dat posibilitatea de a crea o nouă tehnică de evaluare a riscului în exploatarea sistemelor de conducte, bazat pe notificarea tuturor condițiilor de exploatare a sistemului de conducte și pe eventuală degradare a sistemului.

În modelul propus de mine am introdus și efectul unei dispersii asupra mediului și populației, precum și efectul provocat de scurgerea fluidului din conductă. Modelul Risk Evaluator a fost testat la valori maxime / minime și, de asemenea, s-a analizat influența scurgerii de produse asupra valorilor riscului, rezultând o ecuație liniară de gradul I.

În cazul modificării unei categorii din zona de calcul a defectărilor posibile (corodarea peretelui conductei, de exemplu) vom obține o ecuație de forma $y = -0,45x + 29,71$, modelul propus de mine fiind funcțional și util mentenanței conductelor de transport fluide petroliere.



Capitolul al II-lea a fost dedicat studiului siguranței în exploatare a sistemelor de transport prin conducte a fluidelor petroliere.

În prima parte a acestui capitol am analizat istoricul introducerii standardelor de evaluare a timpului optim de funcționare a conductelor, fără a avea incidente predictive (incidente care pot apărea în urma unor elemente care pot produce aceste defectări și care pot fi monitorizate și reduse la valori minime ale riscului rezidual).

În analiza programelor de mentenanță elaborate de către firmele de profil de pe plan mondial am creat o grilă necesară a fi respectată în elaborarea acestor documente.

Concluziv, programele anuale de mentenanță trebuie:

- să identifice și să analizeze toate evenimentele care ar putea conduce la o distrugere sau avariere a sistemului de transport fluide petroliere;
- să examineze probabilitatea și consecințele potențialelor incidente apărute în exploatarea conductelor;
- să examineze și să compare toate riscurile;
- să ofere un cadru pentru selectarea și punerea în aplicare a măsurilor de reducere a riscurilor;
- să urmărească performanța în exploatare a sistemului de conducte.

Programul de exploatare în siguranță a sistemelor de transport fluide petroliere trebuie să înceapă cu o bună proiectare și construcție a conductei și cu respectarea tuturor celorlalte prevederi legale și a cerințelor standardelor, codurilor și normelor internaționale.

De asemenea programul trebuie să fie:

- flexibil;
- bazat pe oameni instruiți, folosind procese definite;
- adaptat la nevoile operatorului;
- parte integrantă de evaluare a riscurilor;
- auditat extern.

După cum se observă, nu există o "abordare optimă" a acestor planuri de mentenanță, deoarece nu analizează toate posibilitățile și condițiile de proiectare, exploatare și întreținere care ar putea să apară în timpul utilizării acestor sisteme de conducte.

De asemenea am analizat posibilitatea de a utiliza tehnicile statistice de interpretare a datelor măsurate.

Tehnicile de inspecție a conductelor oferă un număr foarte mare de date culese, care sunt distribuite pe lungimea și diametrul conductei.

Dar față de toate sistemele umane și industriale inspectate, conductele de transport fluide petroliere mai au și o repartitie statistică punctiformă, care este de obicei amplasată în corpul conductei analizate.

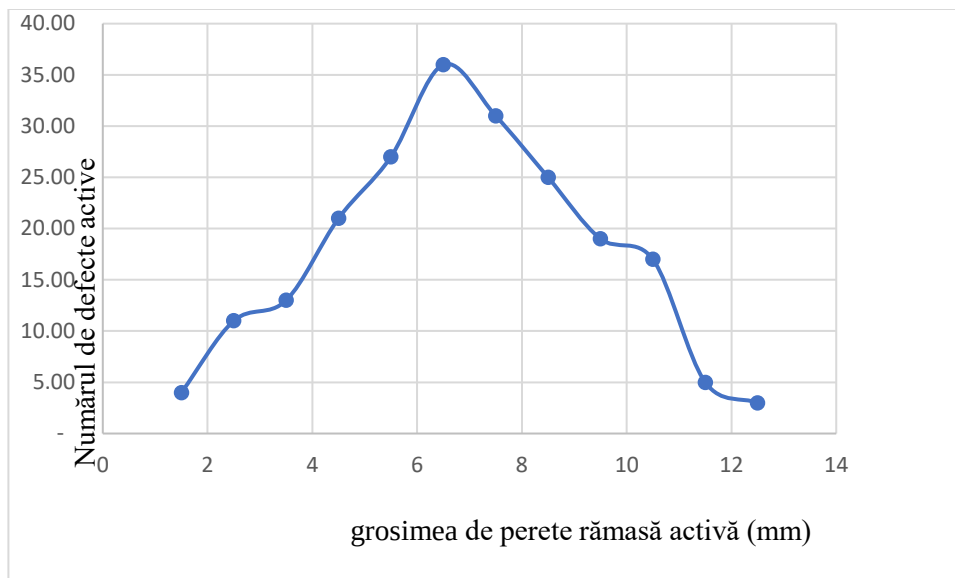
În cazul datelor culese ca urmare a inspecției conductelor, am calculat următorii parametri de evaluare:

- a. media aritmetică;
- b. amplitudinea varianței datelor;
- c. varianța datelor;
- d. deviația standard.

Pentru a exemplifica alegerea intervalelor de calcul și o valoare medie a amplasării defectului (aflată la mijlocul intervalului de calcul), funcție de calculul statistic al valorilor tuturor defectelor, am studiat o conductă de 2 km de la subtraversarea Dunării, pe care (în urma inspecției inteligente), au fost identificate 212 defecte.

număr clase	valoarea centrala a defectului	interval clase grosime perete	grosime de perete activa	frecvența clasei, absolută	frecvenț a clasei, relativă	frecvența cumulată absolută	frecvența cumulată relativă
1	1,5	1.-2.	6,00	4,00	0,02	4,00	0,02
2	2,5	2.-3.	27,50	11,00	0,05	15,00	0,07
3	3,5	3.-4.	45,50	13,00	0,06	28,00	0,13
4	4,5	4.-5.	94,50	21,00	0,10	49,00	0,23
5	5,5	5.-6.	148,50	27,00	0,13	76,00	0,36
6	6,5	6.-7.	234,00	36,00	0,17	112,00	0,53
7	7,5	7.-8.	232,50	31,00	0,15	143,00	0,67
8	8,5	9.-10.	212,50	25,00	0,12	168,00	0,79
8	9,5	11.-12.	180,50	19,00	0,09	187,00	0,88
10	10,5	12.-13.	178,50	17,00	0,08	204,00	0,96
11	11,5	13.-14.	57,50	5,00	0,02	209,00	0,99
12	12,5	14.-15.	37,50	3,00	0,01	212,00	1,00

Analiza avariilor este foarte apropiată de o statistică de tipul curba lui Gauss, adică există o comportare a posibilelor defectări foarte apropiată de o comportare a sistemelor umane haotice.



Analiza datelor statistice confirmă următoarele:

- se observă că pe 2000 m sunt 212 defecte care ar putea afecta integritatea sistemului de conducte;
- analiza statistică trebuie efectuată pe defecte interioare, defecte exterioare precum și în funcție de lungimea și adâncimea acestora;
- există și analiza stresului din conductă și anume alungirea materialului țevii;
- nu sunt cuprinse defectele de izolație;
- sunt necesare pentru fiecare grilă de defecte, modalități de calcul a duratei de viață în exploatare (în acest caz de reducere a presiunii de operare).

Pe cale de consecință, tehnicile clasice de analiză și interpretare statistică a datelor culese nu sunt utile în cazul sistemelor de transport fluide petroliere, deoarece în aceste spețe avem mai multe elemente care pot concura la defectarea sistemelor de transport.

De asemenea, am calculat și rata de corodare a conductei, în funcție de timpul de exploatare și mai ales timpul optim de exploatare a acesteia.

Luând în calcul datele de măsurare ale conductei analizate, putem afirma că timpul de exploatare în siguranță poate fi între 0,3 ani și 32 de ani (la valoarea maximă a grosimii de perete), însă relația de determinare a timpului de reparare (durata optimă de operare) nu este utilă decât pentru a prevedea data de intervenție a reparării defectului (luând în considerare doar rata de coroziune și nu valoarea de îmbătrânire a oțelului).

Capitolul III este dedicat studiului mentenanței conductelor magistrale de transport produse petroliere.

Inexistența unui standard al intervenției și al tehnicilor de reparare a unui oleduct petrolier în cazul defectării acestuia se datorează faptului că nu se poate procedura un accident aleatoriu.

Standardele existente au procedurat determinarea siguranței în exploatare, plecând de la considerația că sistemele de transport produse petroliere fluide sunt asemănătoare cu echipamentele care lucrează sub presiune.

În România nu a existat un standard care să ofere linii directoare pentru elaborarea politicilor de întreținere a unui sistem de conducte, astfel că atât operatorii au elaborat propriile norme de mentenanță.

S.U.A. este țara care a implementat cel mai bine standardele de evaluare a riscului în exploatarea conductelor de transport țiței și gaze, cel mai util fiind standardul elaborat de către American Petroleum Institute sub titulatura de Recommended Practice for Risk-Based Inspection.

De asemenea, exploatarea sistemelor de transport produse petroliere în S.U.A. este urmărită de către Departamentul de Siguranță în Transportul prin Conduce (Department of Transportation's Office of Pipeline Safety), care emite acte normative federale pentru acest domeniu industrial.

Politicile de întreținere a conductelor au fost împărțite de mine în această lucrare în patru categorii, funcție de tipologia operațiunilor care se efectuează în timpul exploatării oleductelor petroliere și anume:

- politici corective;
- management de mentenanță operațional;
- politici proactive;
- mentenanța integrată.

Astfel am definit pentru prima oară în literatura de specialitate tehnicile necesare întreținerii conductelor de transport fluide petroliere prin metoda managementului de mentenanță integrată.

În acest concept de mentenanță și anume, mentenanța integrată a sistemelor de conducte, sistemul de conducte este împărțit în patru subsisteme:

- a. sub-sistemul conductelor magistrale;
- b. sub-sistemul conductelor tehnologice;

- c. sub-sistemul echipamentelor tehnologice (vane, aeratoare, decongelatoare etc.);
- d. sub-sistemul de protecție catodică.

Mentenanța integrată constă în patru tipuri de întreținere:

- mentenanța proactivă;
- controlul instalațiilor;
- inspecția non intruzivă;
- mentenanța analitică.

Analiza tehnologiilor de reparare a conductelor magistrale de transport țiței indică tehnologia prin sudare de manșoane drept cea mai avantajoasă tehnică de prelungire a vieții și integrității conductei.

Acest fapt se datorează, în primul rând, eficacității crescute și costurilor economice reduse, putând fi realizată fără a fi afectată livrarea produselor petroliere.

Singura problemă care poate să apară este dată de decălirea materialului țevii și, mai ales, de posibilitatea de a se străpunge peretele conductei, respectiv de incendiere a produsului petrolier.

În acest caz este util ca înainte de a se stabili tehnologia optimă de sudare să fie analizată grosimea de perete, temperatura produsă în timpul sudării și condițiile de aprindere a produsului transportat.

Am creat, cu caracter de noutate în analiza influenței temperaturilor de sudură asupra conductelor, modele numerice care studiază:

- transferul temperaturii capetelor de sudare către produsul petrolier din conductă;
- transferul de căldură din conductă către manșonul de sudare.

$$\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{2\sigma}{rk} T^4 \quad \text{Ecuația se poate scrie și sub forma:} \quad \frac{d^2T}{dx^2} = \alpha T^4$$

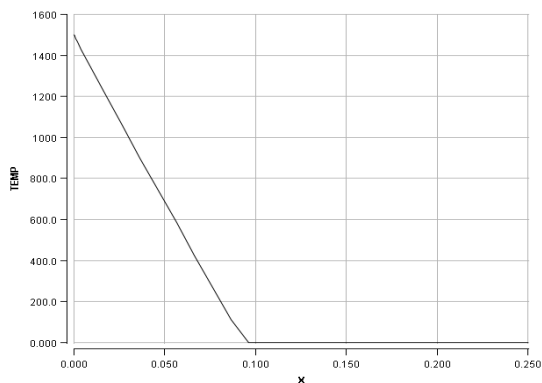
- Unde:
- T este temperatura K;
- σ este coeficientul de emisivitate kJ/s m²K⁴;
- k este conductivitatea oțelului kJ/s mK;
- r este raza conductei, m;
- x este distanța de la sudură către centrul manșonului, m;

α reprezintă o constantă (coeficient de transfer termic) = $1,25 \cdot 10^{-8}$ 1/m²K³.

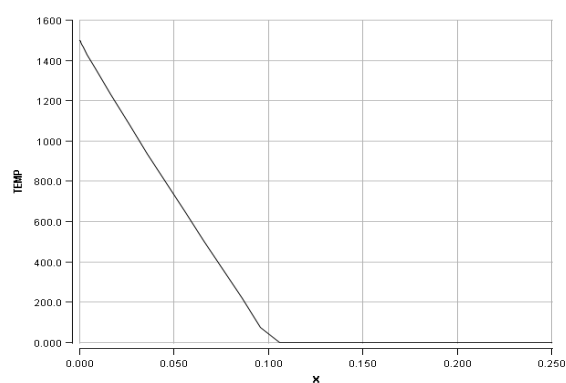
σ kJ/s m ² K ⁴	k , kJ/s mK	r , m	α 1/m ² K ³
300	$0,0143 \times 10^{-8}$	0,5	2,145
500	$0,0143 \times 10^{-8}$	0,5	3,575
1000	$0,0143 \times 10^{-8}$	0,5	7,150
1500	$0,0143 \times 10^{-8}$	0,5	10,725

Modelele numerice dinamice au reliefat următoarele concluzii:

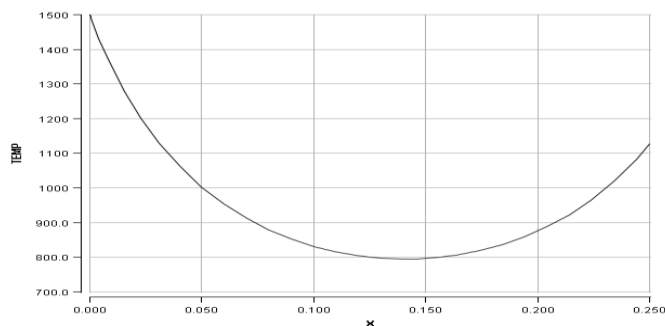
- un flux redus de sudură duce la transfer rapid de căldură în fluidul din conductă, deci este necesar a se suda cu un flux termic ridicat, pentru a asigura un balans optim al transferului căldurii în fluidul din conductă;
- în urma simulărilor realizate, temperatura transferată către zona de sudură variază de la 5 grade K la începutul simulării până la 3 grade K după circa 20 minute.



Flux termic de 300 J/s m² K⁴ - variație de transfer de temperatură în primii 10 cm



Flux termic de 500 kJ/s m² K⁴ - variație de transfer de temperatură în primii 12,5 cm



Flux termic de 1500 kJ/s m² K⁴ - variație de transfer de temperatură în primii 15 cm

În situația sudării în timpul pompării țițeiului prin conductă va exista un aport de temperatură în cazul de maximum 5 grade peste valoarea temperaturii țevii la dezgolirea ei și pregătirea pentru sudură.

Chiar dacă în literatura de specialitate nu se specifică cum să se efectueze sudura (cu conducta în stare de funcționare sau cu conducta în staționare), simularea efectuată indică utilitatea sudării în stare de repaos a conductei.

Capitolul IV studiază aplicarea ecuațiilor de regresie în analiza timpului optim de funcționare a conductelor petroliere.

În prima parte a acestui capitol sunt analizate tehnicile de simulare a mentenanței comportării sistemelor de transport fluide petroliere prin conducte.

Sunt descrise:

- abordarea sistemului de conducte și instalații petroliere pe bucăți;
- metoda analizei fiabilității conductelor;
- metoda bayesian network;
- metoda stochastică.

Concluziile reieșite din studiul literaturii de specialitate indică faptul că orice operator de conducte trebuie să își dezvolte un sistem de mentenanță predictivă a sistemelor de transport fluide petroliere.

Acest sistem trebuie să ia în evidență:

- a. tipul avariilor care s-ar putea produce;
- b. modalitatea de intervenție și costurile asociate;
- c. tipurile de mentenanță predictivă și costurile asociate.

În acest capitol am introdus o nouă tehnică de prioritizare a intervențiilor de reparare a conductelor de transport fluide petroliere, pornind de la studierea ratei de accident.

Pentru a introduce rata de accident în acest mod de prioritizare a reparării conductelor am studiat sistemul de transport țiței a societății CONPET S.A. Ploiești.

Analiza avariilor sistemelor de conducte din CONPET S.A. a reliefat următoarele cauze care ar putea produce accidente la sistemele de conducte:

1. forțele exterioare sistemului;
2. coroziunea exterioară și interioară;

3. cauze datorate operatorilor;
4. cauze datorate defectelor de material;
5. cauze datorate defectelor de sudură;
6. defecțiuni ale aparatelor de măsură și control.

Forțele exterioare pot fi cauza următoarelor tipuri de avarii:

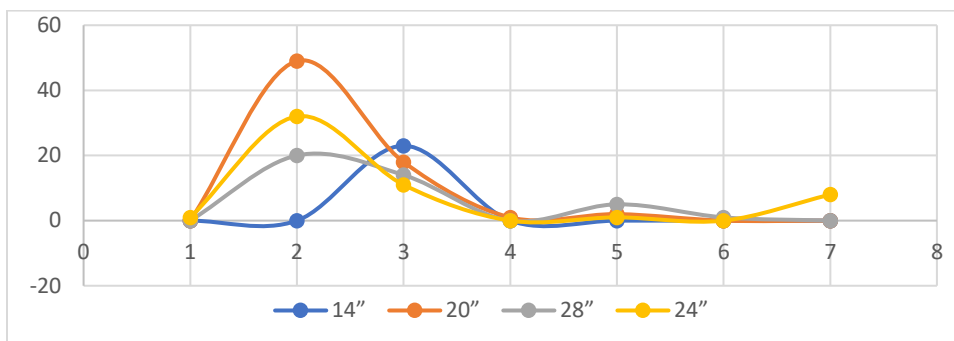
- a. avarieri datorate intervenției asupra conductelor a altor persoane sau companii;
- b. avarieri datorate intervenției asupra conductelor a contractorului de lucrări sau a operatorului;
- c. avarieri datorate forțelor naturale;
- d. avarieri datorate altor forțe exterioare;
- e. avarieri datorate efectelor meteorologice și hidrogeologice deosebite;
- f. avarieri datorate alunecărilor de teren;
- g. avarieri datorate mișcărilor tectonice.

Cauza accidentului	Numarul de accidente raportate				Procentul avariilor			
	14"	20"	28"	24"	14"	20"	28"	24"
Forte exterioare	-	-	-	1	-	-	-	2
Coroziune	-	49	20	32	-	70	50	60
Alte cauze	23	18	14	11	100	25	35	20
Eroare de operator	-	1	-	-	-	2	-	-
Defect de material	-	2	5	1	-	3	12	2
Defect de sudura	-	-	1	-	-	-	3	-
Defectiuni ale aparatelor de masura si control	-	-	-	8	-	-	-	16
TOTAL	23	70	40	53	100	100	100	100

Analiza probabilă de producere a unui accident la un sistem de conducte de transport fluide petroliere este o componentă a analizei securității exploatarei conductelor.

Metodologia utilizată pentru determinarea ratei de accident a unui sistem de conducte este compusă după modele dezvoltate în industria nucleară.

În esență, modelul de simulare compus în această lucrare anticipează rata probabilă de producere a unui accident într-un sistem de transport produse petroliere, bazându-se pe analiza accidentelor pe o perioada anterioară de timp.



Numărul de accidente grupate pe conductele analizate (1-forțe exterioare, 2-coroziuni, 3-alte cauze, 4-eroare de operator, 5-defect de material, 6-defect de sudură, 7-defecțiuni ale aparatelor de măsură)

Studiul efectuat confirmă faptul că sistemele de conducte se află într-o probabilitate de avarie mare (peste 50 %) ceea ce implică lucrări de întreținere complexe.

Conducta	Timpul de expunere (ani)			
	20	25	30	35
14"	-	-	0.38	0.43
20"	-	0.76	0.82	0.86
28"	0.58	0.66	0.72	0.78
24"	0.79	0.86	0.90	0.93

Probabilitatea de accident în funcție de timpul de expunere a conductei în viitor
 Prognoza pe anii viitori confirmă creșterea probabilității producerii unui accident cu 70 %.
 Am stabilit corelații între rata de accident și timpul de expunere.

Conducta	Ecuția (rata de accident x funcție de timpul de expunere y)	Factorul R ²
14"	$y = -0.0009x^3 + 0.0786x^2 - 2.0933x + 18$	R ² = 1
20"	$y = 0.0009x^3 - 0.082x^2 + 2.4593x - 23.64$	R ² = 1
28"	$y = 3E-05x^3 - 0.0024x^2 + 0.0833x - 0.34$	R ² = 1
24"	$y = 3E-05x^3 - 0.0026x^2 + 0.0903x - 0.19$	R ² = 1

Astfel, prin metoda celor mai mici pătrate am scris ecuațiile de modelare a evoluției ratei de accident a conductelor analizate funcție de timpul de expunere.

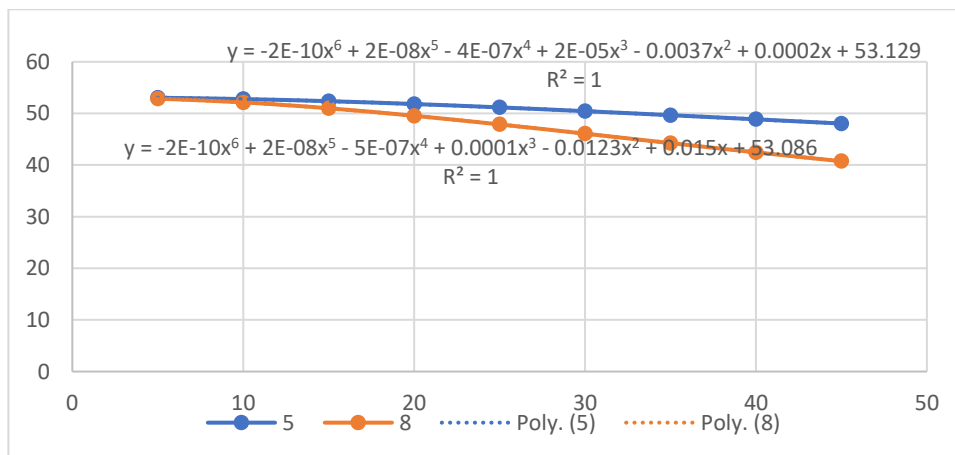
Utilizând metoda celor mai mici pătrate și probabilitatea de accident în funcție de timpul de expunere a conductei în viitor am scris ecuațiile matematice aferente.

În concluziile desprinse din acest capitol putem spune că:

- sistemul de conducte analizat poate fi descris de ecuații polinomiale de ordinul 3, care dau cea mai sigură descriere și cel mai aproape de realitate rezultat;
- după cum se observă în analiza efectuată, cea mai apropiată de valoarea 1 a probabilității de avariere este conducta de 24 inch (chiar dacă este cea mai nouă);
- conducta de 14 inch (având cea mai mare grosime de perete), este cea mai sigură în exploatare;
- conducta de 20 inch are și ea rată de accident mare, deoarece are cea mai mică grosime de perete și perioadă de exploatare mare;
- prin ceea ce am realizat prin această simulare am reușit să creez un sistem de control a conductelor și de pririotizare a investițiilor;
- ca urmare a analizei efectuate se poate observa că inspecțiile se vor axa pe conducta de 24 inch și de 20 inch.

Capitolul V analizează efectul dimensiunilor defectelor asupra integrității conductelor.

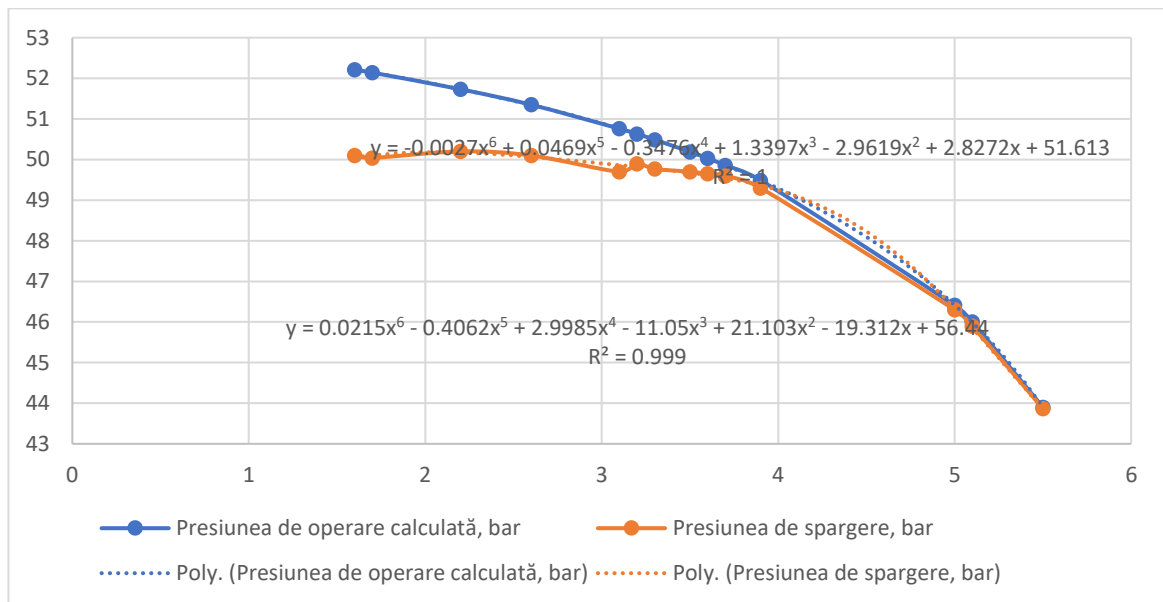
În studiul efectuat de mine variația adâncimii defectului asupra presiunii de spargere a conductei (bar) a dus la reducerea cu 43% din presiunea de operare dacă apare un defect de 1 mm și până la 72 % din presiunea de operare dacă apare un defect de 8 mm.



Influența variației lungimii defectului asupra presiunii de pompare

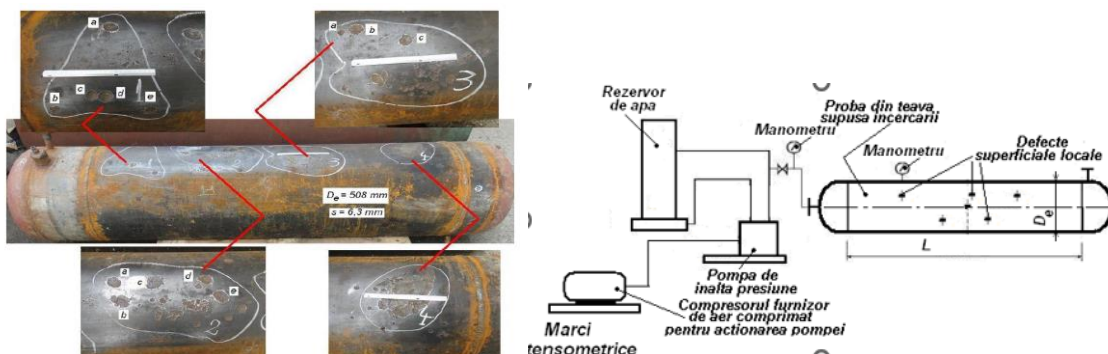
De asemenea, am analizat variația lungimii defectului asupra presiunii de operare (grosime perete de 5 mm și 8 mm), observând o reducere a presiunii de operare destul de mică comparativ cu adâncimea defectului.

Pentru verificarea modelului numeric am efectuat o analiză a variației tensiunii din pereții conductei în funcție de presiunea din conductă; rezultatul a evidențiat că diferența de presiune dintre valoarea calculată cu softul scris de mine conform standardului B31 G și presiunea reală de spargere a fost de maximum 2,11 atm și de minimum 0,03 atm.

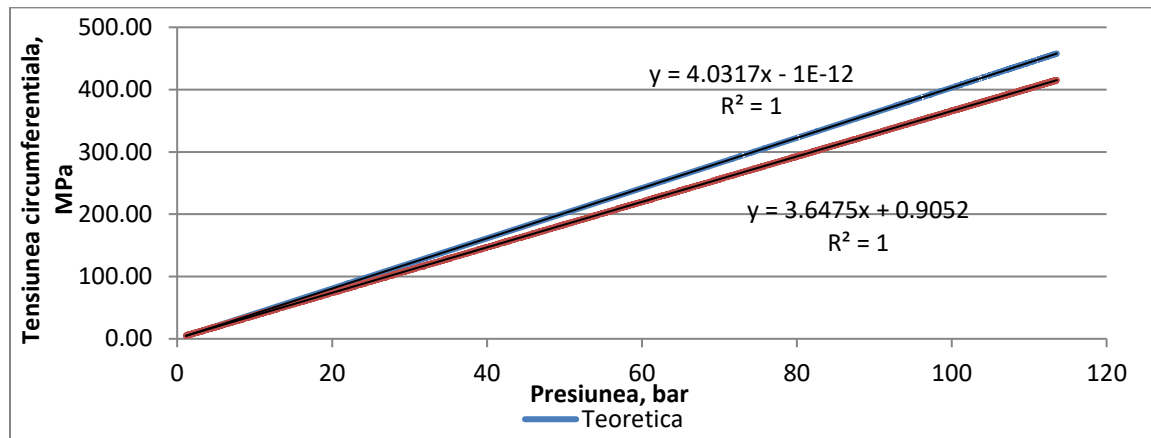


Variația presiunii de operare calculată (bar) și a presiunii de spargere (bar) funcție de adâncimea defectului (mm)

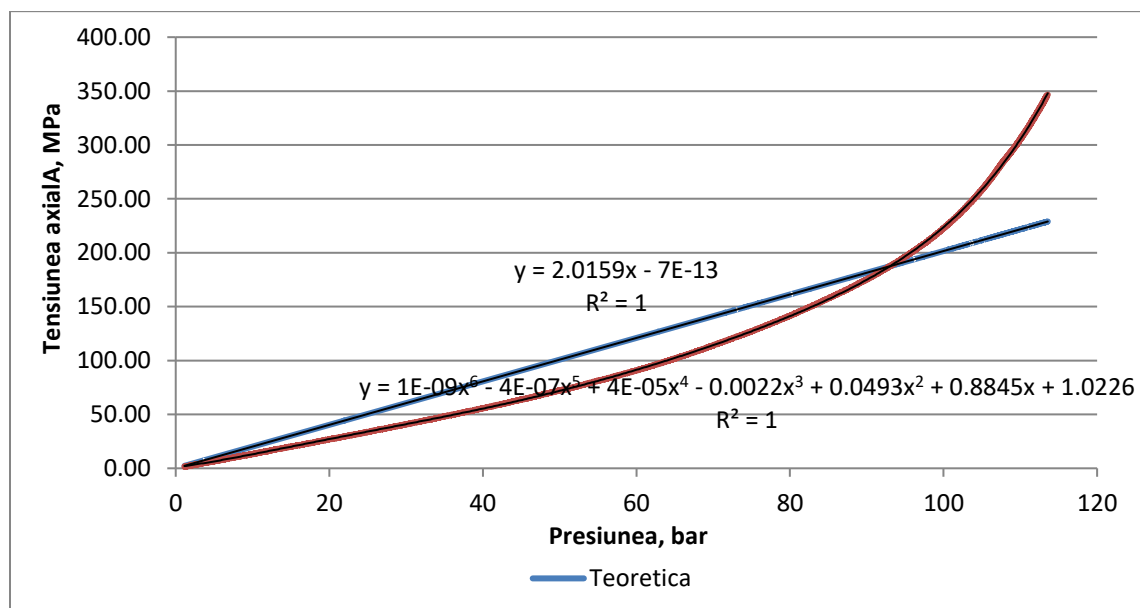
Capitolul VI asigură verificarea experimentală a comportării la solicitări mecanice a elementelor de conductă cu defecte de diferite tipuri, determinând gradul de încredere în modelele matematice realizate.



Rolul acestei analize l-a reprezentat determinarea experimentală a stărilor de tensiuni mecanice și mai ales a deformațiilor produse în zona defectelor.



S-a efectuat ridicarea presiunii într-o mostră de țevă prelevată dintr-o conductă cu defecte reliefate prin godevilare inteligentă până a avut loc spargerea unui defect.



Rezultatele analizei experimentale prin metoda tensometriei rezistive pentru proba cu defecte de tip pierdere de material

Verificarea experimentală a comportării la solicitări mecanice a elementelor de conductă cu defecte de diferite tipuri este o metodă prin care se stabilește rezerva de rezistență mecanică a acestora.

De asemenea, obținem nivelul de încredere care trebuie asociat rezultatelor evaluării gravității defectelor prin metodele analitice.

În final, prin realizarea acestui experiment am reușit să determin ecuații de simulare atât teoretice cât și determinate în urma experiențelor realizate care să simuleze variația tensiunii circumferențiale și axiale în funcție de presiunea de încercare.

	Model	Ecuația	
Tensiunea axială (MPa) funcție de presiune (bar)	Teoretic	$y = 4,0317x - 1E-12$	$R^2 = 1$
Tensiunea axială (MPa) funcție de presiune (bar)	Experimental	$y = 1E-09x^6 - 4E-07x^5 + 4E-05x^4 - 0,0022x^3 + 0,0493x^2 + 0,8845x + 1,0226$	$R^2 = 1$
Tensiunea circumferențială (MPa) funcție de presiune (bar)	Teoretic	$y = 4,0317x - 1E-12$	$R^2 = 1$
Tensiunea circumferențială (MPa) funcție de presiune (bar)	Experimental	$y = 3,6475x + 0,9052$	$R^2 = 1$

În ceea ce privește noile direcții de cercetare pentru viitor, consider oportună axarea pe:

- aplicarea de noi tehnologii de reparare proactivă;
- analiza integrată a utilizării sistemelor de conducte (mentenanță proactivă, reactivă);
- dezvoltarea de noi tehnologii de control nedistructiv.