



MINISTERUL EDUCAȚIEI  
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



INSTITUȚIA ORGANIZATOARE DE STUDII UNIVERSITARE DE DOCTORAT

UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI

DOMENIUL FUNDAMENTAL – ȘTIINȚE INGINEREȘTI

DOMENIUL DE DOCTORAT – INGINERIE MECANICĂ

# TEZĂ DE DOCTORAT

## *CERCETĂRI PRIVIND CREȘTEREA DURATEI DE VIAȚĂ A STAȚIILOR DE TRATARE ȘI INJEȚIE APĂ*

**Autor: Ing. Cristian DUDU**

**Conducător științific: Prof. Univ. Habil. Dr. Ing. Răzvan George RÎPEANU**

Ploiești, 2022

INSTITUȚIA ORGANIZATOARE DE STUDII UNIVERSITARE DE DOCTORAT

UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI

DOMENIUL FUNDAMENTAL – ȘTIINȚE INGINEREȘTI

DOMENIUL DE DOCTORAT – INGINERIE MECANICĂ

# TEZĂ DE DOCTORAT

*CERCETĂRI PRIVIND CREȘTEREA DURATEI DE  
VIAȚĂ A STAȚIILOR DE TRATARE ȘI INJEȚIE APĂ*

*RESEARCH ON INCREASING THE LIFETIME OF  
WATER TREATMENT AND INJECTION PLANTS*

**Autor: Ing. Cristian DUDU**

**Conducător științific: Prof. Univ. Habil. Dr. Ing. Răzvan George RÎPEANU**

**Nr. Decizie 534/09.09.2022**

**Comisia de doctorat:**

<b>Președinte</b>	Conf. Univ. Dr. Ing. Mat. <b>Ion PANĂ</b>	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești
<b>Conducător științific</b>	Prof. Univ. Habil. Dr. Ing. <b>Răzvan George RÎPEANU</b>	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești
<b>Referent oficial</b>	Prof. Univ. Dr. Ing. DHC <b>Polidor – Paul BRATU</b>	de la	Universitatea “Dunărea de Jos” Galați
<b>Referent oficial</b>	Prof. Univ. Habil. Dr. Ing. <b>Ioan Călin ROȘCA</b>	de la	Universitatea Transilvania din Brașov
<b>Referent oficial</b>	Conf. Univ. Dr. Ing. <b>Alin DINIȚĂ</b>	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești

**Ploiești, 2022**

## CUPRINS

<b>LISTĂ DE FIGURI</b> .....	<b>5</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>10</b>
<b>INTRODUCERE</b> .....	<b>13</b>
<b>1. PRINCIPIILE UTILIZATE LA COLECTAREA ȚIȚEIULUI ȘI APEI DE ZĂCĂMÂNT/INJEȚIE</b> .....	<b>18</b>
1.1. Considerații generale.....	18
1.2. Apa de zăcământ .....	19
1.3. Tipuri de separatoare .....	24
1.4. Sisteme de colectare și transfer .....	24
1.4.1. Sistemul STIP - Echipament de transfer sub presiune .....	25
1.4.2. Sistemul SATSS – Echipament automatizat de transport cu stabilizare în schelă .....	25
1.5. Circulația țiteiului în schele.....	25
1.5.1. Tratarea țiteiului .....	25
1.5.2. Filtrarea țiteiului cu paturi adsorbante.....	27
1.5.3. Centrifugarea .....	27
1.5.4. Tratarea termică.....	27
1.5.5. Tratarea chimică .....	27
1.5.6. Tratarea electrică .....	28
1.5.7. Metode biologice de tratare .....	28
1.5.8. Desalinizarea și deshidratarea țiteiului .....	29
1.5.9. Stabilizarea țiteiului.....	29
1.6. Stații de pompare.....	30
1.7. Concluzii .....	32
<b>2. SISTEME DE TRATARE A APEI DE INJEȚIE</b> .....	<b>33</b>
2.1. Generalități .....	33
2.2. Separarea și curățirea apei de injecție .....	33
2.2.1. Îmbunătățirea indicilor fizici prin înlăturarea suspensiilor.....	33
2.2.2. Decantarea și coagularea .....	33
2.2.3. Filtrarea .....	34
2.3. Tratarea apei de injecție .....	35
2.3.1. Îmbunătățirea indicilor chimici ai apei de injecție .....	35
2.3.2. Reducerea durtății temporare a apei de injecție .....	35
2.3.3. Stabilizarea apei de injecție .....	35
2.3.4. Înlăturarea fierului din apa de injecție.....	35

2.4.	Procedee recente de tratare a apei de injecție .....	36
2.4.1.	Curățirea cu solvent gazos .....	36
2.4.2.	Descrierea procedeeului .....	36
2.4.3.	Regenerarea solventului .....	37
2.4.4.	Separarea centrifugală sub presiune .....	37
2.4.5.	Tratarea cu soluții de polimeri organici .....	38
2.4.6.	Tratarea apelor sulfuroase .....	38
2.4.7.	Tratamentul pentru prevenirea hidratării argilelor .....	38
2.4.8.	Tratamentul pentru combaterea efectului corosiv al apei de injecție .....	40
2.4.9.	Instalații de epurare a apei în sistem semideschis sau în sistem închis .....	40
2.5.	Sisteme de tratare a apei .....	43
2.5.1.	Sisteme deschise .....	43
2.5.2.	Sisteme închise .....	44
2.5.3.	Sisteme de tratare de tip semiînchis .....	46
2.6.	Sistemul de tratare SPINSEP .....	47
2.7.	Construcția și operarea SPINSEP .....	50
2.7.1.	Descrierea sistemului .....	50
2.7.2.	Principii de funcționare .....	51
2.7.3.	Inspectare și întreținere .....	54
2.8.	Concluzii .....	55
<b>3.</b>	<b>CONTROLUL COROZIUNII PRIN UTILIZAREA INHIBITORILOR. SELECȚIE, APLICARE ȘI EVALUARE .....</b>	<b>56</b>
3.1.	Introducere .....	56
3.2.	Noțiuni generale despre coroziune .....	59
3.2.1.	Definiție și reacția electrochimică .....	59
3.2.2.	Medii corozive .....	61
3.2.3.	Medii corozive externe .....	61
3.2.4.	Medii corozive interne .....	62
3.2.5.	Tipuri de coroziune .....	65
3.2.6.	Coroziunea uniformă .....	65
3.2.7.	Pittingul .....	66
3.2.8.	Coroziunea galvanică .....	66
3.2.9.	Fisurarea corozivă .....	67
3.2.10.	Eroziune-coroziune .....	67
3.2.11.	Coroziunea fisurantă sub tensiune .....	68
3.2.12.	Coroziunea microbiologică .....	68
3.2.13.	Măsurători de pH .....	69

3.2.14. Monitorizarea oxigenului .....	70
3.2.15. Determinarea conținutului de fier .....	70
3.2.16. Determinarea concentrației de inhibitor remanent .....	70
3.2.17. Monitorizarea coroziunii .....	70
3.2.18. Determinarea vitezei de coroziune .....	72
3.2.19. Caracteristicile pittingului .....	72
3.2.20. Aspectul atacului coroziv .....	72
3.2.21. Analizarea depunerilor .....	72
3.3. Noțiuni generale despre controlul coroziunii prin inhibare .....	73
3.3.1. Clasificarea inhibitorilor .....	73
3.3.2. Inhibitori anorganici .....	74
3.3.3. Inhibitori organici .....	75
3.3.4. Tipuri de inhibitori .....	76
3.3.5. Inhibitori cu atom de oxigen .....	76
3.3.6. Inhibitori cu atom de azot .....	77
3.3.7. Inhibitori cu atom de sulf .....	77
3.3.8. Polimeri .....	77
3.3.9. Complecși de coordinație .....	77
3.3.10. Proprietățile inhibitorilor .....	77
3.3.11. Influența densității .....	77
3.3.12. Influența solubilității .....	78
3.3.13. Caracteristicile tensioactive .....	78
3.3.14. Formarea de nămoluri sau precipitate .....	78
3.3.15. Influența temperaturii .....	78
3.3.16. Tratamentul continuu .....	78
3.3.17. Tratamentul discontinuu .....	79
3.3.18. Tratamentul sub presiune (squeeze treating) .....	80
3.4. Efectul parametrilor constructivi și de lucru asupra durabilității echipamentelor .....	80
3.5. Concluzii .....	90
<b>4. ÎNCERCĂRI LA COROZIUNE EXECUTATE ÎN STAȚIA DE TRATARE APE DE INJECȚIE OPRIȘENEȘTI ȘI ÎN LABORATOR .....</b>	<b>92</b>
4.1. Degradări produse în stația de tratare ape de injecție Oprișenești .....	92
4.2. Rezultatele încercărilor la coroziune executate în anii 2015 -2016 .....	93
4.3. Rezultatele încercărilor la coroziune executate în anii 2017 -2018 .....	98
4.4. Încercări la coroziune efectuate în laborator .....	100
4.4.1. Pregătirea epruvetelor .....	100
4.4.2. Calculul vitezei de coroziune .....	101

4.4.3	Rezultatele obținute pentru viteza de coroziune.....	103
4.5.	Concluzii .....	105
<b>5.</b>	<b>CARACTERIZAREA METALOGRAFICĂ A MATERIALELOR UTILIZATE LA CONSTRUCȚIA ȚEVILOR ȘI COTURILOR DIN INSTALAȚIA DE TRATARE A APEI DE INJECȚIE .....</b>	<b>106</b>
5.1.	Introducere.....	106
5.2.	Analiza experimentală efectuată.....	106
5.2.1.	Descrierea eșantioanelor pe care s-au efectuat determinările.....	106
5.2.2.	Aparatura folosită în cadrul încercărilor experimentale .....	107
5.3.	Rezultate analizelor și testelor efectuate .....	108
5.4.	Concluzii .....	113
<b>6.</b>	<b>ANALIZE NUMERICE PRIVIND ECHIPAMENTULUI DE TIP SPINSEP.....</b>	<b>114</b>
6.1.	Aspecte generale privind analizele numerice .....	114
6.2.	Realizarea modelului 3D simplificat al echipamentului de flotație de tip SPINSEP .....	115
6.3.	Concluzii .....	119
<b>7.</b>	<b>REALIZAREA UNUI STAND EXPERIMENTAL PENTRU STUDIUL INFLUENȚEI COROZIUNII ASUPRA LINIILOR DE CONEXIUNE ALE SPINSEPULUI .....</b>	<b>120</b>
7.1.	Proiectarea și realizarea standului experimental .....	120
7.2.	Evaluări de grosimi de perete pentru analiza coroziunii .....	124
7.3.	Analize de tip CFD pentru modul de curgere al fluidului prin standul experimental realizat.....	135
7.4.	Concluzii .....	141
<b>8.</b>	<b>VERIFICAREA EXPERIMENTALĂ A STĂRII TEHNICE A LINIILOR DE INTERCONECTARE ALE STANDULUI EXPERIMENTAL.....</b>	<b>142</b>
8.1.	Aspecte generale ale inspecției cu metoda Guided Wave .....	142
8.1.1.	Modurile Guided Wave și frecvența utilizată pentru inspecția conductelor de lungimi mari .....	143
8.2.	Alcătuirea unui sistem Guided Wave .....	145
8.3.	Etapele generale de evaluare prin metoda Guided Wave .....	148
8.4.	Analiza stării tehnice a liniile de conectare, utilizând metoda GuidedWave .....	151
8.5.	Concluzii .....	157
<b>9.</b>	<b>CONCLUZII FINALE, CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE.....</b>	<b>158</b>
	<b>BIBLIOGRAFIE .....</b>	<b>163</b>
	<b>ANEXA 1</b> Analiză microbiologică ape uzate .....	174
	<b>ANEXA 2</b> Încercări pentru determinarea ratei de coroziune .....	183
	<b>ANEXA 3</b> Diagrame Evans cu dreptele lui Tafel .....	191
	<b>ANEXA 4.</b> Codul de calcul al tensiunilor pentru skid, folosind ANSYS .....	202

## **LISTĂ DE FIGURI**

### ***INTRODUCERE***

Figura I.1. Distribuția rezervelor probate de țiței în anii 1996, 2006 și 2016 [1]

### ***CAPITOLUL 1***

Figura 1.1. Structura atomică a moleculei de apă, [17]

Figura 1.2. Clasificarea impurităților din apa de zăcământ, [28]

Figura 1.3. Nomograma de stabilire a rezistivității soluției apă – NaCl, [17,78]

Figura 1.4. Factorul de multiplicare pentru stabilirea conținutului echivalent în NaCl, [17,78]

Figura 1.5. Nomograma pentru stabilirea rezistivității apei mineralizate, [17,78]

Figura 1.6. Sistemul automat de transfer LACT, [11]

Figura 1.7. Schema circulației țițeiului de la sonde la rafinărie, [11]

Figura 1.8. Schema unui parc de separatoare, [11]

Figura 1.9. Schema tehnologică a unei stații de tratare, [30,31]

Figura 1.10. Instalație de filtrare prin vată de sticlă, [11]

Figura 1.11. Instalație de dezemulsionare chimică, [11]

Figura 1.12. Deshidrator electric, [10,12]

Figura 1.13. Schema instalației de tratare biologică, [10]

Figura 1.14. Schema tehnologică a instalației de stabilizare prin stripare la rece, [10,11]

Figura 1.15. Schema tehnologică a instalației de stabilizare prin stripare la cald, [10,11]

Figura 1.16. Schema tehnologică a unei stații principale la pompare pentru petrol brut, [10]

Figura 1.17. Schema sistemelor de pompare, [10]

### ***CAPITOLUL 2***

Figura 2.1. Schema unei instalații de decantare, limpezire, tratare prin coagulare, filtrare, dezaerare, refiltrare și depozitare a apei pentru injecție, [44,52,57]

Figura 2.2. Schema curățirii apei de țiței și uleiuri prin solventare și separare centrifugală, [10,11,12]

Figura 2.3. Schema unei instalații de curățire-tratare și injecție pentru apa sărată și apa dulce, [10]

Figura 2.4. Schema unei instalații de epurare a apei sărate prin decantare și filtre în sistem semideschis, [12]

Figura 2.5. Schema unei instalații de epurare a apei în sistem închis prin tratare chimică decantare-filtrare inhibitare, [12]

Figura 2.6. Schema instalației de tratare a apei extrase din sondele de reacție în procesele de injecție de abur sau combustie subterană prin decantare, coagulare, limpezire și filtrare, [12]

Figura 2.7. Instalație pentru tratarea apei prin cădere liberă [3]

Figura 2.8. Schema unei instalații de tratare a apei sub presiune [3]

Figura 2.9. Instalație pentru decarbonatarea apei prevăzută cu reactor turbional [79]

Figura 2.10. Schema unei instalații de tratare a apei în sistem semiînchis [80]

Figura 2.11. Stația de tratare a apei Oprișenești [13]

Figura 2.12. Unitate de flotație cu gaz (sistem secundar de delubrifiere) SPINSEP [13]

Figura 2.13. Filtru cu coji de nucă (sistem terțiar de delubrifiere) MONOSEP™ [13]

Figura 2.14. Sistemul de flotație vertical, Spinsep - Vedere izometrică [13]

Figura 2.15. Sistemul de flotație vertical, Spinsep - Vedere în plan [13]

### **CAPITOLUL 3**

Figura 3.1. Costurile asociate cu coroziunea pentru diferite categorii de industrie [65]

Figura 3.2. Avariile cauzate de coroziune în industria chimică și petrochimică [65]

Figura 3.3. Cauzele responsabile de apariția avariilor în cazul unei companii [61]

Figura 3.4. Forța electromotoare a diferitelor metale [63]

Figura 3.5. Componentii celulei electrochimice [65]

Figura 3.6. Zonele anodice și catodice la suprafața unui metal [65]

Figura 3.7. Efectul sărurilor asupra corozivității apei [13, 64]

Figura 3.8. Echilibrul carbonat - bicarbonat - acid carbonic, funcție de pH [64]

Figura 3.9. Coroziune Mesa, [64]

Figura 3.10. Crusta formată în interiorul țevii [64]

Figura 3.11. Coroziunea uniformă [67]

Figura 3.12. Tipuri de pitting [67]

Figura 3.13. Coroziunea galvanică [67]

Figura 3.14. Fisurarea corozivă [67]

Figura 3.15. Eroziune-coroziune [67]

Figura 3.16. Coroziunea fisurantă sub tensiune [67]

Figura 3.17. Coroziunea microbiologică [67]

Figura 3.18. Aranjarea epruvetelor în flux [64]

Figura 3.19. Aspectul epruvetelor de coroziune după expunerea în flux [64]

Figura 3.20. Clasificarea inhibitorilor [69]

Figura 3.21. Mecanismul de acțiune a inhibitorilor [69]

Figura 3.22. Mecanismul de acțiune a inhibitorilor organici [69]

Figura 3.23. Dependența dintre viteza de coroziune și viteza fluidului [74]

Figura 3.24. Dependența dintre viteza de coroziune și viteza de curgere pentru diferite temperaturi ale fluidelor [74]

Figura 3.25. Dependența dintre viteza de curgere proiectată și densitatea lichidelor pentru diferite



compoziții ale acestora [74]

Figura 3.24. Dependența dintre viteza de eroziune și densitatea amestecului pentru diferite valori ale constantei „C” [74]

#### **CAPITOLUL 4**

Figura 4.1. Degradări prin coroziune electrochimică ale instalațiilor și echipamentelor

Figura 4.2. Influența concentrației de CO<sub>2</sub> asupra vitezei de coroziune

Figura 4.3. Influența concentrației de H<sub>2</sub>S asupra vitezei de coroziune

Figura 4.4. Influența concentrației de cloruri asupra vitezei de coroziune

Figura 4.5. Influența vitezei de curgere asupra micșorării grosimii de perete a conductelor

Figura 4.6. Punctele de monitorizare și aspectul epruvetelor [sursă ICPT Câmpina]

Figura 4.7. Evoluția vitezei de coroziune [sursă ICPT Câmpina]

Figura 4.8. Aspectul pittingului pe epruvetele de coroziune: a) Parc 15 – ieșire apă; b) Parc 4 – ieșire apă

Figura 4.9. Celula de coroziune (a) și potențiostatul (b)

Figura 4.10. Parametrii electrochimici și curbele Evans pentru Proba 3 de apă la 25<sup>0</sup>C

Figura 4.11. Parametrii electrochimici și curbele Evans pentru Proba 3 de apă la 30<sup>0</sup>C

#### **CAPITOLUL 5**

Figura 5.1. Eșantioanele metalografice utilizate la realizarea analizelor experimentale

Figura 5.2. Microstructura eșantioanelor analizate - Cot\_4"

Figura 5.3. Microstructura eșantioanelor analizate - Cot\_3"

Figura 5.4. Microstructura eșantioanelor analizate - Cot\_2"

Figura 5.5. Analiza valorilor de duritate pentru Cot\_4"

Figura 5.6. Analiza valorilor de duritate pentru Cot\_3"

Figura 5.7. Analiza valorilor de duritate pentru Cot\_2"

#### **CAPITOLUL 6**

Figura 6.1. Modelul simplificat pentru SPINSEP – vedere din față

Figura 6.2. Modelul simplificat pentru SPINSEP – vedere din lateral 1

Figura 6.3. Modelul simplificat pentru SPINSEP – vedere din lateral 2

Figura 6.4. Modelul simplificat pentru SPINSEP – vedere din lateral 3

Figura 6.5. Modelul simplificat pentru SPINSEP – vedere de sus

Figura 6.6. Modelul simplificat pentru SPINSEP – vedere de jos

Figura 6.7. Solicitățile la care este supus echipamentul și elementelor de conectare

Figura 6.8. Discretizarea modulului analizat

Figura 6.9. Starea de tensiuni maxime localizate în coturile de legătură

## **CAPITOLUL 7**

Figura 7.1.a. Proiectarea standul experimental realizat în cadrul tezei de doctorat

Figura 7.1.b. Standul experimental realizat în cadrul tezei de doctorat

Figura 7.2. Rezervorul cu apă uzată (v. tab. 7.1 ) și sensul de curgere prin elementele de interconectare; a fost aleasă intrarea pe la partea inferioară pentru a avea și un efect de amestecare lichidului din rezervor

Figura 7.3. Elementele de control al curgerii folosite (robinet DN80 N40 GP240GH; debitmetru pentru determinarea vitezei de curgere; manometru)

Figura 7.4. Primul segment de țevă (T1) conectat printr-un cot (C1) la  $90^{\circ}$  de segmentul 2 (lungimea 1320 mm) P1, P2 – puncte de măsurare a grosimii de perete

Figura 7.5. Al doilea segment de țevă (T2) conectat printr-un cot la  $60^{\circ}$  (C2) de segmentul 3 (lungimea 680 mm) P2, P3, P4 – puncte de măsurare a grosimii de perete

Figura 7.6. Al treilea segment de țevă (T3) conectat printr-un cot II la  $30^{\circ}$  (C3) de segmentul 4 (lungimea 570 mm) P4, P5, P6 – puncte de măsurare a grosimii de perete

Figura 7.7. Al patrulea segment de țevă (T4) conectat printr-un cot la  $45^{\circ}$  (C4) de segmentul 5 (lungimea 770 mm) P6, P7, P8 – puncte de măsurare a grosimii de perete

Figura 7.8. Al cincilea segment de țevă (T5) conectat printr-un cot la  $45^{\circ}$  (C5) și unul de  $90^{\circ}$  (C6) de țeva de PE (lungimea 665 mm) P8, P9, P10, P11 – puncte de măsurare a grosimii de perete

Figura 7.9. Centralizarea grafica a primei și ultimei determinări de grosime prin metoda cu ultrasunete

Figura 7.10. Centralizarea grafica comparativă a primei și ultimei determinări – coturile C1 și C2

Figura 7.11. Centralizarea grafica comparativă a primei și ultimei determinări – coturile C3 și C4

Figura 7.12. Centralizarea grafica comparativă a primei și ultimei determinări – coturile C5 și C6

Figura 7.13. Centralizarea grafica comparativă a primei și ultimei determinări – tronson țevă T1 și T2

Figura 7.14. Centralizarea grafica comparativă a primei și ultimei determinări – tronson țevă T3 și T4

Figura 7.15. Centralizarea grafica comparativă a primei și ultimei determinări – tronson țevă T5

Figura 7.16. Valorile grosimii de perete după prima determinare de grosime de perete

Figura 7.17. Valorile grosimii de perete după **ultima** determinare de grosime de perete

Figura 7.18. Etapa I. Realizarea modelului geometric al fluidului care trece prin elementele de interconectare

Figura 7.19. Etapa II. Discretizare modelului geometric al fluidului

Figura 7.20. Etapa II. Discretizare modelului geometric al fluidului – detalii

Figura 7.21. Etapa III. Modelul de vâscozitate ales (k-epsilon)

Figura 7.22. Etapa IV. Rezultate. Modul de curgere al fluidului prin elementele de interconectare

Figura 7.23. Modul de curgere al fluidului prin elementele de interconectare – detalii

## **CAPITOLUL 8**

Figura 8.1. Deplasările particulelor pe cele trei direcții ortogonale în conductă

Figura 8.2. Modul de propagare al undelor Guided Wave pe direcție axială în conductă

Figura 8.3. Exemplu de unde lărgite în funcție de distanța de propagare

Figura 8.4 Echipamentul utilizat în cadrul unei inspecții folosind metoda Guided Wave

Figura 8.5. Exemplu de reprezentare grafică pentru ambele direcții: pozitivă și negativă

Figura 8.6. Exemplu de reprezentare grafică sub formă de imagine C-scan

Figura 8.7. Componenta sistemului Guided Wave MsS

Figura 8.8. Selectarea datelor

Figura 8.9. Selectarea frecvenței

Figura 8.10. Calibrarea distanței

Figura 8.11. Calibrarea amplitudinii

Figura 8.12. Revizuirea datelor

Figura 8.13. Raportul final de inspecție

Figura 8.14. Echipamentul de analiză MSSR3030

Figura 8.15. Informații privind caracteristicile geometrice ale elementelor componente ale standului experimental

Figura 8.16. Modalitatea de amplasare a benzilor de FeCo utilizate pentru transmiterea undelor acustice (s-au utilizat 3 locuri de amplasare)

Figura 8.17. Rezultatul analizei la începutul testărilor experimentale – iulie 2020 (locația 1)

Figura 8.18. Rezultatul analizei la sfârșitul testărilor – decembrie 2020 (locația 1)

Figura 8.19. Rezultatul analizei la începutul testărilor experimentale – iulie 2020 (locația 2)

Figura 8.20. Rezultatul analizei la sfârșitul testărilor – decembrie 2020 (locația 2)

Figura 8.21. Rezultatul analizei la începutul testărilor experimentale – iulie 2020 (locația 3)

Figura 8.22. Rezultatul analizei la sfârșitul testărilor – decembrie 2020 (locația 3)

## **LISTĂ DE TABELE**

### **CAPITOLUL 1**

Tabelul 1.1 Buletinul de analiză al apei de zăcământ

Tabelul 1.2 Salinitatea și conținutul echivalent în NaCl ale apei de zăcământ

Tabelul 1.3 Unele rezultate ale folosirii de biosurfactanți, [10]

### **CAPITOLUL 3**

## *Cercetări privind creșterea duratei de viață a stațiilor de tratare și injecție apă*

Tabelul 3.1. Grupările funcționale active prezente în inhibitori organici [71]

Tabelul 3.2. Valori maxime recomandate pentru vitezele de curgere, pentru diferite medii [74]

Tabelul 3.3 Viteze tipice de curgere [75]

### **CAPITOLUL 4**

Tabelul 4.1. Rezultatele determinărilor in situ ale analizelor de apă și vitezelor de coroziune [sursă ICPT Câmpina]

Tabelul 4.2. Compoziția chimică (%) a oțelului P285NH (1.0477)

Tabelul 4.3. Compoziția apei de injecție la ieșirea din Parcul 15

Tabelul 4.4. Probele de apă de injecție

Tabelul 4.5. Parametri electrochimici obținuți pentru epruvetele testate în probele de ape

Tabelul 4.6. Parametri electrochimici pentru materialul prelevat din extradusul coturilor testat în proba de apă 3 la diferite temperaturi

Tabelul 4.7. Parametri electrochimici pentru materialul prelevat din extradusul cotului testat în apa de injecție cu diferite concentrații ale inhibitorului de coroziune CRW 85579

### **CAPITOLUL 5**

Tabelul 5.1 Tipodimensiunile de coturi utilizate la examinări

Tabelul 5.2. Rezultatele determinărilor de duritate Vickers

### **CAPITOLUL 7**

Tabelul 7.1. Probă de apă de injecție - Parc 4 Oprisenesti (inainte de injecție azotat)

Tabelul 7.2. Rezultatele centralizate ale valorilor obținute prin măsurarea cu aparatul cu ultrasunete

Tabelul 7.3. Centralizarea grafică a primei și ultimei determinări de grosime prin metoda cu ultrasunete

## **REZUMAT**

Teza de doctorat cu titlul “*Cercetări privind creșterea duratei de viață a stațiilor de tratare și injecție apă*” are ca obiectiv principal îmbunătățirea duratei de viață a skidurilor utilizate pentru tratarea și injecție a apelor uzate. Obiectivul principal al tezei de doctorat a fost atins prin atingerea a trei obiective secundare:

- Evaluarea coroziunii a celor mai afectate elemente componente ale skidurilor (coturile din traseele conductelor de intrare/ieșire);
- Realizarea unui stand experimental pentru studiul coroziunii pe un traseu continuu de coturi și țevi;
- Evaluarea numerică prin simularea CFD utilizând ANSYS și COMSOL Multiphysics.

În acest scop, în cadrul tezei de doctorat, pentru atingerea obiectivelor propuse:

- S-a o analiză amplă asupra fenomenelor întâlnite în domeniul colectării țiteiului și apei de zăcământ (**subcap. 1.4, 1.5**);
- S-a realizat un studiu privind procedeele, și sistemele de tratare a apei de injecție cu descrierea unui sistem modern de tip SPINSEP (**subcap. 2.4, 2.5, 2.6**);
- S-a analizat modul de limitarea a coroziunii elementelor componente ale sistemelor de tratare a apelor de injecție utilizând inhibitori (**subcap. 3.3**);
- S-a realizat un program experimental pentru determinarea cantitativă a inhibitorilor de coroziune utilizați într-o stație de tratare a apelor de injecție (**subcap. 4.4**);
- S-a realizat o analiză metalografică a 3 tipuri de coturi, punându-se în evidență modificările structurale și de grosime de la intrados și extrados (**subcap. 5.2, 5.3**);
- S-a realizat o analiză numerică pentru a scoate în evidență faptul că cele mai solicitate, din punct de vedere coroziv, elemente ale traseelor de intrare/ieșire din skiduri sunt coturile (**subcap. 6.2**);
- S-a realizat un stand experimental pentru analiza influenței atât a coroziunii fluidului vehiculat în skiduri cât și a unghiului coturilor - 30, 45, 60, 90 (**subcap. 7.1, 7.2**);
- S-a realizat o analiză de tip CDD pentru evaluarea turbulențelor produs în coturile utilizate la realizarea standului experimental (**subcap. 7.3**);
- S-a realiza o analiză de tip GuidedWave pentru a scoate în evidență coroziunea generalizată produsă prin vehicularea timp de 6 luni a unei ape uzate prin traseul standului experimental (**subcap. 8.5**).

**Capitolul 1** al tezei de doctorat intitulat ***Colectarea țițeiului și apei de zăcământ în schelele de petrol*** prezintă aspecte generale privind condițiile de colectare a fluidelor vehiculate în instalațiile petroliere, cu accent pe caracteristicile apei de zăcământ. Au fost centralizate informațiile bibliografice privind modalitățile de eliminare a apei și gazelor din țițeiului prin sisteme de colectare și transfer.

***Sisteme de tratare a apei***, denumire ce face obiectul **capitolului 2**, sunt centralizate și exemplificate în funcție de principiile pe care le utilizează. Capitolul 2 centralizează modalitățile de separare și curățire a apei de injecție și prezintă principiile utilizate în cadrul acestui proces. Procedeele de tratare a apei de injecție sunt centralizate și explicate în cadrul acestui capitol: instalație de epurare a apei sărate prin decantare și filtre în sistem semideschis; instalație de epurare a apei în sistem închis prin tratare chimică decantare-filtrare inhibitare; instalație de tratare a apei extrase din sondele de reacție în procesele de injecție de abur sau combustie subterană prin decantare, coagulare, limpezire și filtrare. Sistemul de tratare a apei de injecție de tip SPINSEP luat în considerare în cadrul tezei de doctorat cuprinde un pachet de condiționare chimică, o unitate de flotație cu gaz dizolvat SPINSEP și un filtru cu coji de nucă MONOSEP.

**Capitolul 3**, cu titlul ***Controlul coroziunii prin utilizarea inhibitorilor. Selecție, aplicare și evaluare***, a fost realizat un amplu studiu privind fenomenul de coroziune, începând cu analiza diferitelor medii corozive, continuând cu studiul tipurilor de coroziune și metodele de control al fenomenului de coroziune. A fost realizat o analiză bibliografică a inhibitorilor de coroziune utilizați pentru scăderea și/sau prevenirea reacției dintre metal și mediul coroziv. Capitolul conține o analiză a efectului parametrilor constructivi și de lucru a diferitelor echipamente asupra durabilității acestora.

**Capitolul 4** denumit ***Încercări la coroziune executate în stația de tratare ape de injecție Opișenești și în laborator*** realizează o centralizare a unor încercări de coroziune efectuate în stația de tratare a apei uzate de la Opișenești. Au fost centralizate și analizate încercările realizate în 2 perioade diferențiate în funcție de inhibitorul utilizat: în perioada noiembrie 2015 – martie 2016 au fost determinate vitezele de coroziune, conform cu standardul NACE SP0775-2013, pe epruvete de coroziune instalate în punctele critice ale echipamentelor din componența instalațiilor. În această perioadă s-a utilizat pentru micșorarea coroziunii, inhibitorul KI 350; în perioada ianuarie 2017 – august 2018, s-a continuat monitorizarea coroziunii conductelor, conform cu standardul NACE SP0775-2013, atât în parcul de tratare a apei de injecție, cât și la parcurile de colectare și separare a amestecului apă-țiței, în această perioadă s-a utilizat inhibitorul de coroziune CRW 85579. În cadrul tezei de doctorat au fost realizate teste de laborator utilizând apă uzată cu

inhibitor de tip CRW 85579 pentru a determina influența asupra vitezei de coroziune. Comportarea materialelor în medii agresive a fost evaluată prin tehnici electrochimice: măsurători ale punctelor de coordonate Evans (care oferă cele mai rapide informații privind viteza de coroziune).

În **capitolul 5**, intitulat *Caracterizarea metalografică a materialelor utilizate la construcția țevilor și coturilor din instalația de tratare a apei de injecție*, a fost realizată o analiză metalografică realizată pe 3 tipodimensiuni caracteristice de coturi (*DN50 – 2 inch; DN80 – 3 inch și DN100 – 4 inch*), realizate din oțelul P275NL. Au fost scoase în evidență structura cu grăunți cristalini poliedrici de ferită și perlită, iar capitolul 5 se încheie cu o analiză comparativă a durității la intrados și extradadosul coturilor.

*Analize numerice privind echipamentul de tip SPINSEP*, analize care fac obiectul **capitolului 6**, au fost realizate prin utilizarea softului ANSYS pentru a scoate în evidență zonele cele mai afectate din cadrul sistemelor de conducte utilizate în cadrul sistemului SPINSEP pentru intrare/ieșire fluide.

**Capitolul 7** cu titlul *Realizarea unui stand experimental pentru studiul influenței coroziunii asupra liniilor de conexiune ale SPINSEPULUI* a avut ca scop studiul experimental al fenomenului de coroziune asupra unor elemente componente de tip țevi și coturi. Standul experimental realizat în cadrul tezei de doctorat este realizat din 5 tronsoane de țevă și 6 coturi, putându-se astfel analiza influența apei de injecție din punct de vedere al coroziunea, fluidul fiind vehiculat continuu prin instalație timp de 6 luni. Influența unghiul coturilor a fost analizată prin intermediul unei analize numerice de tip CFD luându-se în considerare traseul standului experimental.

În **capitolul 8** s-a realizat *Verificarea experimentală a stării tehnice a liniilor de interconectare ale standului experimental* prin implementare unei metode moderne de verificare a stării tehnice a unui element de tip țevă și/sau cot utilizând metoda GuideWave. Principiul de funcționare al tehnologiei Guided Wave se bazează pe utilizarea ultrasunetelor, care reprezintă niște unde ghidate propagate de-a lungul structurii asupra căreia se efectuează inspecția, acestea fiind limitate și ghidate de formele geometrice ale structurii respective.

**Capitolul 9** prezintă concluziile generale desprinse din analiza rezultatelor realizate în cadrul tezei de doctorat pentru *Creșterea duratei de viață a stațiilor de tratare și injecție apă*, contribuțiile personale la acest studiu și direcțiile viitoare de cercetare.

## **ABSTRACT**

The doctoral thesis with the title "**Research on increasing the lifetime of water treatment and injection plants**" has as its main objective the improvement of the lifetime of the skids used for the treatment and injection of wastewater. The main objective of the doctoral thesis was achieved by achieving three secondary objectives:

- Corrosion assessment of the most affected component elements of the skids (elbows in the inlet/outlet pipe routes);
- Realization of an experimental stand for the study of corrosion on a continuous route of elbows and pipes;
- Numerical evaluation through CFD simulation using ANSYS and COMSOL Multiphysics.

*For this purpose, in the doctoral thesis, to achieve the proposed objectives:*

- An extensive analysis of the phenomena encountered in the field of crude oil and reservoir water collection (**subchapter 1.4, 1.5**);
- A study was carried out regarding the procedures and systems for treating injection water with the description of a modern SPINSEP type system (**subchapter 2.4, 2.5, 2.6**);
- The way to limit the corrosion of the component elements of the injection water treatment systems using inhibitors was analysed (**subchapter 3.3**);
- An experimental program was carried out for the quantitative determination of corrosion inhibitors used in an injection water treatment station (**subchapter 4.4**);
- A metallographic analysis of 3 types of bends was carried out, emphasizing the structural and thickness changes from intrados and extrados (**subchapter 5.2, 5.3**);
- A numerical analysis was carried out to highlight the fact that, from a corrosive point of view, the most requested elements of the skid entry/exit paths are the bends (**subchapter 6.2**);
- An experimental stand was created to analyse the influence of both the corrosion of the fluid transported in the skids and the angle of the bends - 30, 45, 60, 90 (**subchapter 7.1, 7.2**);
- A CDD-type analysis was carried out for the evaluation of the turbulence produced in the bends used in the construction of the experimental stand (**subchapter 7.3**);



- A Guided Wave type analysis was carried out to highlight the generalized corrosion produced by the circulation for 6 months of a wastewater through the route of the experimental stand (**subchapter 8.5**).

**Chapter 1** of the doctoral thesis entitled *Collection of crude oil and reservoir water in oil rigs* presents general aspects regarding the conditions of recovery of fluids circulated in oil installations, with an emphasis on the characteristics of reservoir water. Bibliographical information on ways to remove water and gases from crude oil through collection and transfer systems has been centralized.

*Water treatment systems*, the name that is the subject of **chapter 2**, are centralized and exemplified according to the principles they use. Chapter 2 focuses on ways to separate and clean injection water and presents the principles used in this process. The injection water treatment processes are centralized and explained in this chapter: saltwater treatment plant by decantation and filters in a semi-open system; water treatment plant in a closed system by chemical treatment decantation-inhibition filtration; installation for treating the water extracted from the reaction wells in the processes of steam injection or underground combustion by decantation, coagulation, clarification and filtration. The SPINSEP water injection treatment system considered in the PhD thesis comprises a chemical conditioning package, a SPINSEP dissolved gas flotation unit and a MONOSEP walnut shell filter.

**In chapter 3**, entitled *Corrosion control by using inhibitors. Selection, application and evaluation*, an extensive study on the phenomenon of corrosion was carried out, starting with the analysis of different corrosive environments, continuing with the study of types of corrosion and methods of controlling the phenomenon of corrosion. A bibliographic review of corrosion inhibitors used to decrease and/or prevent the reaction between the metal and the corrosive environment was performed. The chapter contains an analysis of the effect of construction and working parameters of different equipment on their durability.

**Chapter 4** called *Corrosion tests performed in the Opișenești injection water treatment plant and in the laboratory* makes a centralization of some corrosion tests performed in the Opișenești wastewater treatment plant. The tests carried out in 2 periods, differentiated according to the inhibitor used, were centralized and analysed: in the period from November 2015 to March 2016, the corrosion rates were determined, according to the NACE SP0775-2013 standard, on corrosion samples installed in the critical points of the equipment in the composition of the installations. During this period, the KI 350 inhibitor was used to reduce corrosion; in the period January 2017 - August 2018, the monitoring of pipe corrosion continued, in accordance with the NACE SP0775-2013 standard, both in

the injection water treatment park and in the collection and separation parks of the water-crude mixture, in this period the corrosion inhibitor CRW 85579 was used. As part of the doctoral thesis, laboratory tests were carried out using wastewater with CRW 85579 type inhibitor to determine the influence on the corrosion rate. The behaviour of the materials in aggressive environments was evaluated by electrochemical techniques: measurements of Evans coordinate points (which provide the fastest information on the corrosion rate).

In **chapter 5**, entitled *Metallographic characterization of the materials used in the construction of pipes and bends in the water injection treatment plant*, a metallographic analysis was carried out on 3 characteristic types of bends (DN50 – 2 inches; DN80 – 3 inches and DN100 – 4 inch), made of P275NL steel. The structure with polyhedral crystalline grains of ferrite and pearlite were highlighted, and chapter 5 concludes with a comparative analysis of the hardness at the inside and outside of the bends.

*Numerical analysis of the SPINSEP equipment*, which are the subject of **Chapter 6**, were performed using ANSYS software to highlight the most affected areas within the piping systems used in the SPINSEP fluid inlet/outlet system.

**Chapter 7** with the title *Construction of an experimental stand for the study of the influence of corrosion on the connection lines of the SPINSEPULI* had as its purpose the experimental study of the phenomenon of corrosion on some component elements such as pipes and elbows. The experimental stand made as part of the PhD thesis is made of 5 pipe sections and 6 elbows, thus being able to analyse the influence of the injection water from the point of view of corrosion, the fluid being circulated continuously through the installation for 6 months. The influence of the bend angle was analysed by means of a numerical CFD analysis taking into account the route of the experimental stand.

In **chapter 8**, *The experimental verification of the technical state of the interconnection lines of the experimental stand* was carried out by implementing a modern method of verifying the technical state of a pipe and/or elbow type element using the Guided Wave method. The working principle of Guided Wave technology is based on the use of ultrasound, which represents some guided waves propagated along the structure on which the inspection is carried out, these being limited and guided by the geometric shapes of the respective structure.

**Chapter 9** presents the general conclusions derived from the analysis of the results of the doctoral thesis on *Increasing the lifetime of water treatment and injection stations*, personal contributions to this study and future research directions.

**A. Articole publicate în reviste indexate WOS sau SCOPUS**

- [1] Lospa A.M., Ripeanu R.G., Dinita A., and **Dudu C.**, *CFD Evaluation of sand erosion wear rate in pipe bends used in technological installations*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 514 (1), 012009, 2019 (indexată Scopus)
- [2] **Dudu C.**, R.G. Ripeanu, A.C. Drumeanu, A. Dinita, A.M. Lospa, *Evaluation of the corrosion wear speed of different equipment in the water injection treatment plant*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 514 (1), 012008, 2019 (indexată Scopus)
- [3] **Dudu C.**, A.C. Drumeanu, R.G. Ripeanu, A. Dinita, *Some considerations regarding the influence of working conditions on the corrosion wear of the injection water treatment plant equipment*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 724 (1), 012033, 2020 (indexată WOS și Scopus)

**B. Lucrări/studii publicate (prezentate) la manifestări științifice internaționale sau naționale cu comitet de program**

- [1] Lospa A.M., Ripeanu R.G., Dinita A., and **Dudu C.**, *CFD Evaluation of sand erosion wear rate in pipe bends used in technological installations*, The 10th International Conference of Product Design, Robotics, Advanced Mechanical & Mechatronic Systems and Innovation Conference (PRASIC 18), 8-9 November 2018
- [2] **Dudu C.**, Ripeanu R.G., Drumeanu A.C., Dinita A., Lospa A.M., *Evaluation of the corrosion wear speed of different equipment in the water injection treatment plant*, The 10th International Conference of Product Design, Robotics, Advanced Mechanical & Mechatronic Systems and Innovation Conference (PRASIC 18), 8-9 November 2018
- [3] **Dudu C.**, Drumeanu, A.C., Ripeanu, R.G., Dinita, A., *Some considerations regarding the influence of working conditions on the corrosion wear of the injection water treatment plant equipment*, The 14th International Conference on Tribology September 19-21, 2019 – Cluj Napoca, [https://minas.utcluj.ro/rotrib\\_program.html#header16-9](https://minas.utcluj.ro/rotrib_program.html#header16-9), ROMANIA
- [4] Ripeanu R.G., Lospa A.M., **Dudu C.**, Dinita A., *Numerical and experimental evaluations of the elbows corrosion used for the interconnection of the pipes*, 10th International Conference on Tribology 20 – 22 May 2021, Belgrade (Online Conference), <http://balkantrib.mas.bg.ac.rs/>, Belgrade, Serbia, 2021

**C. Rapoarte de cercetare elaborate în cadrul tezei de doctorat cu titlul Cercetări privind Creșterea Duratei de Viață a Stațiilor de Tratare și Injecție Apă**

- [1] Stadiul actual al cercetarilor privind durata de viata a statiilor de tratare si injectie apa, Raport cercetare nr. 1, Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești
- [2] Cercetari teoretice privind solutiile tehnologice de neutralizare mecanica si chimica a apei, Raport cercetare nr. 2, Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești
- [3] Cresterea duratei de viata a statiilor de tratare si injectie apa, Raport cercetare nr. 2, Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești