





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 ASUPRA CĂILOR DE CREȘTERE A DURABILITĂȚII ROBINETELOR PETROLIERE DE SECȚIONARE

Autor : Ing. Ri Jong Hyok

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 ASUPRA CĂILOR DE CREȘTERE A DURABILITĂȚII ROBINETELOR PETROLIERE DE SECȚIONARE

# RESEARCH ON WAYS TO INCREASE THE DURABILITY OF CUT OFF OIL VALVES

# Autor : Ing. Ri Jong Hyok

Conducător științific: Prof.Univ.Habil. Dr. Ing. Răzvan George RÎPEANU Nr. Decizie 425 din 15.07.2022

### Comisia de doctorat:

Președinte	Conf. Univ. Dr. Ing. Mat. Ion PANĂ	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești
Conducător științific	Prof. Univ. Habil. Dr. Ing. Răzvan George RÎPEANU	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești
Referent oficial	Prof. Univ. Dr. Ing. DHC Anton HADĂR	de la	Universitatea Politehnica din București
Referent oficial	Prof. Univ. Habil. Dr. Ing. Sorin CĂNĂNĂU	de la	Universitatea Politehnica din București
Referent oficial	Conf. Univ. Dr. Ing. Alin DINIȚĂ	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești

# **CUPRINS**

		Pag.
SIN	IBOLURI ȘI NOTAȚII	6
LIS	STĂ FIGURI ·····	11
LIS	STĂ TABELE ·····	15
AB	STRACT	18
INT	<b>FRODUCERE</b>	21
1.	STUDII PRIVIND CONSTRUCȚIA ROBINETELOR DE SECȚIONARE	26
	1.1. Tipurile de robinete de secționare destinate industriei petroliere	26
	1.2. Materiale pentru construcția robinetelor	
	1.2.1. Clasificarea materialelor pentru robinete	31
	1.2.2. Materiale pentru corpul și boneta robinetelor	35
	1.2.3. Materiale pentru Trim-urile robinetelor	40
	1.2.4. Materiale pentru etanșările robinetelor	43
	1.2.5. Materiale pentru lubrifiere	46
	1.3. Caracteristicile structurale ale robinetului de secționare cu sertar paralel tip	
	21/16 <sup>°</sup> – 3/5M, FLS······	
	1.3.1. Construcția robinetului de secționare cu sertar paralel 21/16–3/5M, FLS·········	
	1.3.2. Etanșările robinetului de secționare cu sertar paralel 21/16–3/5M, FLS ·········	53
	1.4. Concluzii	54
2.	CERCETARI TEORETICE PRIVIND DEGRADĂRILE TIPICE ALE ROBINETELOR DE	
	SECȚIUNARE ȘI MASURILE DE CREȘTERE A DURABILITAȚII ACESTURA	
	2.1. Pierderea etanșeitații robinetului de secționare	
	2.1.1. Reducerea etanșeitații datorită coroziunii	
	2.1.1.1. Coroziune chimica	
	2.1.1.2. Coroziune galvanica	
	2.1.1.3 Coroziune prin cavitație ·····	
	2.1.1.4. Coroziune microbiologica	60
	2.1.1.5. Influența factorilor de mediu asupra coroziunii ·····	
	2.1.2. Reducerea etanșeitații datorită uzuril	63
	2.1.2.1. Uzarea la robinetele de secționare cu sertar ·····	
	2.1.2.2. Uzarea de adeziune	65
	2.1.2.3. Uzarea prin abraziune	
	2.1.2.4. Uzarea prin eroziune coroziva	
	2.2. Reducerea etanșeitații la asamolarile cu nanșe	
	2.3. Stadiul actual al metodelor de creștere a durabilității robinetelor	
	2.3.1. Metoda de incarcare prin sudare	
	2.3.2. Metoda prin pulverizare termica	
	2.5.5. Metoda prin garvanizare și placare ionica	
	2.5.4. Metoda prin acoperire cu iubrinant	
	2.5.5. Formarea stratului protector folosind piacarea prin turnare	
	2.5.0. Formarea stratului protector loiosind metalurgia pulderilor	c
	2.4. CONCIUZII	80

3.	CERCETĂRI PRIVIND CARACTERISTICILE FLUIDULUI ȘI EVALUAREA RATELOR DE EROZIUNE LA ROBINETUL DE SECȚIONARE CU SERTAR PARALEL 21/16''-3/5M, FLS FOLOSIND ANSYS88
	3.1. Analiza ecuațiilor pentru evaluarea eroziunii materialelor metalice
	<b>3.2. Proiectarea modelului robinetului cu sertar pentru analiza CFD</b>
	3.2.1. Proiectarea formei geometrice a modelului robinetului pentru analiza CFD93
	3.2.2. Discretizarea modelului pentru analiza CFD și stabilirea condițiilor la limită······94
	<b>3.3. Modelarea curgerii fluidului și a eroziunii prin analiza CFD</b> 96
	3.3.1. Modelarea curgerii fluidului·····96
	3.3.2. Modelarea pentru evaluarea eroziunii······98
	3.4. Evaluarea influenței gradului de deschidere a robinetului asupra caracteristicilor de curgere a fluidului și a ratelor de eroziune
	3.4.1. Evaluarea influenței stării de deschidere a robinetului asupra vitezei de curgere a lichidului98
	3.4.2. Evaluarea influenței stării de deschidere a robinetului asupra presiunilor fluidului pe suprafetele elementelor din robinet
	3.4.3. Evaluarea influentei stării de deschidere a robinetului asupra eroziunii
	<b>3.5. Concluzii</b>
4.	CERCETĂRI PRIVIND EVALUAREA REZISTENȚEI ROBINETULUI CU SERTAR LA PRESIUNE INTERIOARĂ FOLOSIND ANSYS
	4.1. Modelarea matematică pentru calculul analitic al tensiunilor la robinetul tip 21/16
	- 3/5M, FLS 105
	4.2. Proiectarea 3D a modelului pentru analiza tensiunilor la robinetul cu sertar tip 21/16" – 3/5M, FLS······ 111
	4.2.1. Proiectarea formei geometrice a robinetului cu sertar pentru analiza tensiunilor… 111
	4.2.2. Compunerea discretizării modelului și condițiile la limită pentru analiza tensiunilor. 112
	4.3. Modelarea matematică pentru analiza cu elemente finite a robinetului cu sertar $\cdots 113$
	4.3.1. Modelarea matematică a analizei tensiunilor folosind elemente finite tetraedrice… 114
	4.3.2. Modelarea matematică a analizei tensiunilor folosind elemente finite hexaedrice… 119
	<b>4.4. Evaluarea rezistenței robinetului cu sertar tip 21/16" – 3/5M, FLS la presiune interioară sub regimurile de lucru din exploatare</b>
	<b>4.5. Determinarea presiunii maxime admise a robinetului cu sertar tip 21/16'' – 3/5M, FLS</b> . 129
	4.5.1. Evaluarea influenței presiunilor asupra tensiunilor interioare la robinetul cu sertar care a fost închis complet 129
	4.5.2. Determinarea presiunii maxime admise a robinetului cu sertar prin MCMMP 132
	4.5.3. Validarea exactității funcției optime pentru calcularea tensiunilor robinetului folosind MATLAB
	<b>4.6. Concluzii</b>
5.	CERCETĂRI PRIVIND DETERMINAREA RATEI DE EROZIUNE ȘI ANALIZA STRUCTURALĂ LA ROBINETELE CU SERTAR ACOPERITE ȘI NEACOPERITE UTILIZÂND "COMSOL MULTIPHYSICS"
	<ul> <li>5.1. Proiectarea modelelor pentru analiza eroziunii robinetului de secționare cu sertar tip 21/16" -3/5M, FLS acoperit si neacoperit.</li> </ul>
	5.1.1. Proiectarea formei geometrice a modelelor robinetului acoperit si neacoperit 142
	5.1.2. Discretizarea și condițiile la limită ale modelelor robinetului acoperit și neacoperit. 143
	5.2. Modelarea CFD pentru analiza caracteristicilor de curgere ale fluidului și evaluarea eroziunii
	5.2.1. Modelarea CFD pentru analiza caracteristicilor de curgere ale lichidului········ 145

	5.2.2. Modelarea CFD a mișcării particulelor solide ······ 146
	5.2.3. Modelarea CFD a eroziunii ·····147
	5.3. Evaluarea influenței stratului de acoperire asupra caracteristicilor de curgere a fluidului și a ratelor de eroziune
	5.3.1. Evaluarea influenței stratului de acoperire asupra vitezei și presiunii lichidului 148
	5.3.2. Evaluarea influenței stratului de acoperire asupra vitezei de mișcare a particulelor solide······151
	5.3.3. Evaluarea influenței stratului de acoperire asupra ratelor de eroziune······153
	5.3.4. Evaluarea influenței grosimii peliculei de lac lubrifiant asupra ratelor de eroziune.156
	5.4. Evaluarea influenței stratului de acoperire asupra rezistenței la presiune a robinetului
	5.4.1. Proiectarea formei geometrice a robinetului cu sertar pentru analiza tensiunilor și compunerea discretizării modelului
	5.4.2. Evaluarea comparativă a tensiunilor interne între robinetele acoperite și neacoperite······160
	<b>5.5. Concluzii</b>
6.	CERCETĂRI PRIVIND DETERMINAREA PARAMETRILOR TEHNICI PENTRU ELEMENTELE DE ASAMBLARE ALE FLANȘELOR ROBINETELOR DE SECȚIONARE CU SERTAR·······165
	6.1. Determinarea parametrilor materialelor pieselor de robinet în funcție de temperatură165
	6.2 Calculul analitic pentru construcția elementelor de asamblare a flanșei cu corpul robinetului
	6.2.1. Determinarea forței inițiale de strângere a garniturii în etapa procesului de asamblare······169
	6.2.2. Determinarea forței de strângere a garniturii în exploatare173
	6.2.3. Determinarea forței totale de strângere a prezoanelor în exploatare
	6.2.4. Determinarea ariei totale a secțiunilor necesare a prezoanelor necesare și a numărului de prezoane·····177
	6.2.5. Verificarea tensiunilor din prezoane·····179
	6.2.6. Verificarea lățimii garniturii ·····181
	6.3. Determinarea elementelor constructive de asamblare a flanșei cu corpul robinetului folosind Excel
	6.3.1. Determinarea presiunii nominale și a parametrilor pentru calculul garniturii182
	6.3.2. Determinarea parametrilor pentru calculul prezoanelor185
	6.3.3. Calculul forțelor de strângere ale garniturii și prezoanelor și verificarea stabilității…186
	<b>6.4. Determinarea prin MEF a elementelor de asamblare ale flanșelor</b> 187
	6.4.1. Proiectarea formei geometrice a flanșei robinetului cu sertar și stabilirea condițiilor la limită ······187
	6.4.2. Determinarea forțelor și cuplurilor maxime de strângerea ale șuruburilor pentru flanșa cu garnitura din material 5Cr-0,5Mo······188
	<b>6.5. Concluzii</b>
7.	<b>DETERMINAREA EXPERIMENTALĂ A CARACTERISTICILOR TRIBOLOGICE ȘI DE COROZIUNE</b> <b>ALE ELEMENTELOR ACTIVE ALE ROBINETULUI CU SERTAR PARALEL</b> 198
	7.1. Determinarea parametrilor electrochimici de coroziune a suprafețelor active ale robinetului cu sertar paralel······198
	7.1.1. Descrierea încercărilor experimentale pentru determinarea parametrilor electrochimici de coroziune

	7.1.2.	Interpretarea rezultatelor testelor de coroziune electrochimică······202
	7.2. Deter ale ro	rminarea experimentală a caracteristicilor tribologice ale elementelor active obinetului cu sertar paralel······204
	7.2.1.	Determinarea durității suprafeței elementelor active ale robinetului cu sertar paralel······204
		7.2.1.1. Descrierea încercării de măsurare a durității204
		7.2.1.2. Rezultatul măsurării durității ······205
	7.2.2.	Încercări experimentale la uzare ale elementelor active ale robinetului cu sertar paralel205
		7.2.2.1. Descrierea testelor la uzare······205
		7.2.2.2. Calculul cantității de uzură a bilei și a discului
		7.2.2.2.1. Calculul cantității de uzură a bilei······ 208
		7.2.2.2.2. Calculul cantității de uzură a discului······209
		7.2.2.3. Interpretarea rezultatelor testelor de uzare obținute pe tribometrul HFRR.211
		7.2.2.4. Interpretarea rezultatelor testelor de uzare obținute pe tribometrul CSM $\cdots$ 214
	7.3. Comj	pararea rezultatelor teoretice cu cele obținute prin încercări experimentale 219
	7.4. Conc	<b>luzii</b> 221
8.	CONCLUZ	II FINALE, CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE ··· 224
	8.1. Conc	luzii finale ······224
	8.2. Cont	ribuții personale225
	8.3. Dired	cții viitoare de cercetare······234
BIB	LIOGRAFI	<b>E</b>
AN	EXE	
	Anexa 1	Codul de calcul al ratei de eroziune pentru robinetul neacoperit în care sertarul a fost deschis cu 1/4, folosind ANSYS 19.2······245
	Anexa 2	Imagini Print Screen ale modelului CFD din ANSYS Workbench pentru simularea eroziunii robinetului neacoperit în care sertarul a fost deschis cu 1/4254
	Anexa 3	Codul de calcul al tensiunilor pentru robinetul neacoperit în care sertarul a fost complet închis, folosind ANSYS 19.2·····256
	Anexa 4	Codul de calcul al tensiunilor pentru robinetul neacoperit în care sertarul a fost deschis cu 1/4, folosind ANSYS 19.2 ······278
	Anexa 5	Imagini Print Screen ale modelului structural static din ANSYS Workbench pentru analiza tensiunilor robinetului neacoperit în care sertarul a fost complet închis297
	Anexa 6	Codul de calcul al ratei de eroziune pentru robinetul acoperit cu 0,02 mm în care sertarul a fost deschis cu 1/4, folosind COMSOL Multiphysics (Model Finnie)299
	Anexa 7	Codul de calcul al ratei de eroziune pentru robinet acoperit cu 0,02 mm în care sertarul a fost deschis cu 1/4. folosind COMSOL Multiphysics (Model Oka)
	Anexa 8	Imagini Print Screen ale modelului CFD din COMSOL Multiphysics pentru simularea eroziunii robinetului acoperit cu 0,02mm în care sertarul a fost deschis cu 1/4······· 323
	Anexa 9	Codul de calcul al tensiunilor pentru robinet acoperit cu 0,02 mm folosind COMSOL Multiphysics 5.4 ···································
	Anexa 10	Imagini Print Screen ale modelului structural static din COMSOL Multiphysics pentru analiza tensiunilor robinetului acoperit cu 0,02 mm în care sertarul a fost deschis cu 1/4
	Anexa 11	Rezultatele calculelor analitice pentru construcția elementelor de asamblare a flanșei cu corpul robinetului ······· 328

Anexa 12	Rezultatele analizei forței și cuplului maxim de strângere a șuruburilor pentru flanșa cu garnitura din fier tehnic·····334
Anexa 13	Rezultatele analizei forței și cuplului maxim de strângere a șuruburilor pentru flanșe cu garniturile din AISI 304, 316 și 347 ······ 335
Anexa 14	Rezultatele analizei forței și cuplului maxim de strângere a șuruburilor pentru flanșa cu garnitura din AISI 410
Anexa 15	Rezultatele măsurărilor pentru variația densității curentului în funcție de potențial pentru discul neacoperit
Anexa 16	Rezultatele măsurărilor pentru variația densității curentului în funcție de potențial pentru discul acoperit
Anexa 17	Valorile măsurate pentru curba Tafel folosind discurile acoperite și neacoperite345
Anexa 18	Rezultatele încercărilor pentru discul acoperit testat în apă de zăcământ folosind tribometrul HFRR
Anexa 19	Rezultatele încercărilor pe tribometrul CSM······351

## SIMBOLURI ȘI NOTAȚII

#### <u>ACRONIME</u>

AEF	Analiza elementelor finite
ASTM	Societatea Americană de Testare și Materiale
AISI	Institute americană de fier și otel (American Iron and Steel Institute)
API	Institutul American de Petrol (American Petroleum Institute)
BBO	Basset-Boussinesg-Oseen(Ecuatia miscării particulelor dintr-un fluid cu un numărul Revnolds
	relativ mic)
CFD	Calcul de dinamica fluidelor (Computing Fluid Dynamic)
CMH3	Oțel austenitic Cr-Mn-N care conține Mo
CMH4	Oțel austenitic Cr-Mn-N
CMH5	Oțel austenitic Cr-Mn-N
DIN	Standardul industriei germane (Deutsches Institut for Normung)
DPM	Model de fază discretă (Discrete Phase Model)
EDS	Spectroscopie dispersivă a energiei (Energy Dispersive Spectroscopy)
EN	Standard European
EPDM	Monomer etilen-propilen dien (Ethylene-Propylene Diene Monomer)
FC	Controlul debitului (Flow Control)
FCAW	Sudare prin arc cu flux (Flux cored arc welding)
MEF	Metoda elementelor finite (Finite element method)
FPD	Ecran cu panou plat (Flat Panel Display)
FTIR	Spectroscopie în infraroșu transformată Fourier (Fourier-transform infrared spectroscopy)
GP	Scop general (General Purpose)
HB	Duritatea Brinell (Brinell hardness)
HFRR	Aparatul alternativ de înaltă frecvență (High Frequency Reciprocating Rig)
HR10	Oțel austenitic Cr-Mn-N care conține Mo
HR11	Oțel austenitic Cr-Mn-N
HRC	Duritatea Rockwell (Rockwell Hardness)
HS	Fontă cu grafit nodular
HSM	Fontă cu grafit nodular care conține Mo
ISO	Organizația Internațională pentru Standarde
LSM	Metoda celor mai mici pătrate (Least squares method)
MAG	Gaz activ metalic (Metal Active Gas)
MIC	Coroziune afectată de microbi (Microbially influenced Corrosion)
MIG	Gaz inert metalic (Metal Inert Gas)
MCMMP	Metoda celor mai mici pătrate
MSS	Societatea de Standardizare a Producătorilor din industria armăturilor și armăturilor
MPA	Archaea care produc gaz metan (Methane Producing Archaea)
NACE	Asociația Națională a Inginerilor de Coroziune (National Association of Corrosion Engineers)
NBR	Cauciuc nitrilic butadienic (Nitrile butadiene rubber)
OLC	Uțel carbon
PSL	Presostat scazut (Pressure switch low)
PK	Presiunea de proba
PIFE	Politetraliuoretilena
	Cormiture inclului (Ding ioint gaglet)
KJ CAM/	Galintula inelului (King Joint gasket)
SAW	Microscon electronic du scanare (Scanning electron microscone)
SEM	Sudarea cu arc motalic ocranat (Shielded motal arc welding)
SMAW	Pactorii caro culfato, roducătoaro (Sulfato Doducing Pactoria)
TIC	Wolfram inert gaz (Tungsten inert gas)
TRR	Trihometru standard (Pin-On-Disk Trihometer)
WCR	Otel turnat de clasa B sudahil
WKM	Wingate Kray Maga
** 121*1	The second sec

#### SIMBOLURI LATINE

*a* Aria secțiunii unui șurub [mm<sup>2</sup>]

[A] Matricea care conține coordonatele nodurilor elementului [-]

Ac	Secțiunea conductei [m²]
Ag	Aria garniturii [mm <sup>2</sup> ]
A <sub>face</sub>	Aria elementului finit pe perete [m <sup>2</sup> ]
Apenetrare 4	Suprafața urmei penetratorului [mm²]
A <sub>real</sub>	Alla feata a șulubul lioi [lilili"] Parametrul pontru modelul realizabil []
As Assessed	Aria unui segment de cerc [mm <sup>2</sup> ]
Asegment At	Aria expusă de eroziuni [m <sup>2</sup> ]
Atotal	Aria totală a suruburilor [mm <sup>2</sup> ]
Auzură	Suprafata totală a părții uzate [mm <sup>2</sup> ]
$A_0$	Coeficientul modelului [-]
$A_1$	Aria suprafeței de contact dintre scaunul la intrare și sertarul [mm <sup>2</sup> ]
$A_2$	Aria suprafeței de contact dintre scaunul la ieșire și sertarul [mm <sup>2</sup> ]
b	Lățimea eficace de calcul a garniturii [mm]
b(v)	Funcția vitezei particulelor [-]
<b>b</b> 1	Constanta determinată prin experiment [-]
C1	Lonstanta determinata prin experiment [-]
{L} C	Constantă empirică ( $C_{-} = 2.17 \cdot 10^{-7}$ ) []
Cem	Conficiential de tractiune dat $\begin{bmatrix} 1 \end{bmatrix}$
$C(d_n)$	Functia diametrului narticulelor [-]
C(up)	Coeficientul de frecare de suprafată a conductei [-]
C.R.	Viteză de coroziune [mm/an]
$C_{\rm pa.}$	Fracțiune de particule care taie într-un mod idealizat ( $C_{pa.} = 0,1$ ) [-]
Cunitate	Factorul de conversie a unității (m/s → mm/year) [-]
$C_{\mu}$	Coeficientul modelului [-]
<i>C</i> <sub>1</sub> , <i>C</i> <sub>2</sub>	Constante de integrare [-]
$d_{ m medie}$	Lățimea medie a urmelor discurilor utilizate în test [m]
<i>d</i> <sub>p</sub>	Indicele de penetrație [-]
dpa.	Diametrul particulei abrazive [m]
<i>a</i> <sub>ref</sub>	Jiametrul de referința a particulei abrazive [m]
D D	Diametrul tubului [mm]
D Dh	Diametrul nominal al surubului [mm]
E	Modulul Young al unui material [Pa]
$E_{ m L}$	Rata de eroziune bazată pe adâncime [mm/an]
Em	Rata de eroziune de referință a materialului de erodat [kg/an]
ER	Rată de eroziune $[kg/(m^2 \cdot s)]$
ERrobinet	Rata totală de eroziune a robinetului [kg/h]
( <i>E.W.</i> )	Greutatea echivalentă [-]
$E_0$	Modulul Young al unui material la temperatura camerei [Pa]
E90 £	Rata de eroziune la un impact normal al particulei [kg/(m <sup>2</sup> s)]
l f(a)	Frecvença [112] Funcție ce deninde de unghiurile de import [1]
$f(\mathbf{v})$	Funcție ce depinde de unghiurile de impact [-]
$F_{\rm A}$	Forta de masă adăugată / virtuală [N]
Fb. min	Forta minimă de strângere a surubului [N]
$F_{\rm B}$	Forță de flotabilitate [N]
$F_{\rm D}$	Forța de tracțiune care acționează asupra particulei [N]
$F_{\rm ex}$	Forța de strângere a garniturii în exploatare [N]
$F_{\mathrm{fa}}$	Constanta lui Faraday [Coulombi]
Fg	Forța de strângere inițială a garniturii la montaj [N]
$F_{\rm n}$	Sarcina aplicată [N]
FP F	Forța gradientului de presiune [N]
r's Foor	Coencientui de loi ma a pal liculeior [-] Forta necesară nentru deschiderea sertarului [M]
FT Ser	Forta totală de strângere a surubului în exploatare [N]
$F(\alpha)$	Funcția care caracterizează ductilitatea unui material [-]
g	Accelerație gravitațională ( $g = 9.8 \text{ [m/s^2]}$ )
G	Diametrul poziției afectate de sarcină în garnitură [mm]

h	Înăltimaa nărții uzata a hilai [mm]
n	inalçımea parçlı uzate a biler [mm]
n <sub>g</sub>	Grosimea medie a stratului uzat [mm]
HB	Duritatea Brinell a materialului [MPa]
$H_{t}$	Duritatea materialului erodat [psi]
Hv	Duritatea Vickers a materialului [GPa]
<i>i</i> cor	Densitatea curentului de coroziune [µA/cm <sup>2</sup> ]
iox	Densitatea curentului măsurată [µA/cm²]
<i>i</i> <sub>măs</sub>	Densitatea curentului de oxidare [uA/cm <sup>2</sup> ]
Ired	Densitatea curentului de reducere [uA/cm <sup>2</sup> ]
I	Curent electric [uA]
k	Energia cinetică a turbulentelor [Nm]
к <i>b</i> ь	Conficientul de suruh [-]
$k_{\rm c}$	Indicele gravimetric $\left[ g / (m^2 \cdot h) \right]$
к <u>е</u> И	Constantă în funcție de tinul de materialul $(k_{\rm m} = 0.59)$ [-]
km	Constantă caractoristică a cuplului de materiale $[1]$
Kma Ir.	Evidentia caracteristica a cupititui de materiale [-]
	Exponentul ultrani [-]
K2	Exponentul diametrului []
K3	Exponentul diametrului [-]
	Constanta legata de gradul de material [-]
	Matricea de rigiditate a elementului [-]
K <sub>f</sub>	Coefficient de eroziune pentru modelui Finnie [-]
K <sub>F</sub>	Raportul dintre forțele normale și tangențiale ( $K_F = 2$ ) [-]
Kuzură	Coeficientul de uzura [1/MPa]
L <sub>alun</sub> .	Lungimea de alunecare [mm]
L <sub>curs</sub>	Lungimea cursei (stroke length=1mm) [mm]
Ldiagonală	Lungimea diagonală a urmei penetratorului [mm]
$L_{ m f}$	Lungimea de frecare [m]
$L_{ m tub}$	Lungimea conductei [mm]
Lurmă	Lungimea de frecare ( $L_{urma} = L_f$ ) [m]
т	Factorul garniturii [-]
$m_{ m p}$	Masa unei particule solide [kg]
$\dot{m}_p$	Rata de masă solidă din fluidul care curge în robinet [kg/s]
$m_{ m t}$	Masa totală pierdută din cauza acțiunii particulelor solide [kg]
Μ	Masa atomică a materialului [g]
$M_{ m b}$	Momentul de strângere care acționează asupra unui șurub [N·m]
$M_{ m g}$	Rata de curgere a gazelor în conductă [kg/s]
$M_l$	Rata de curgere a lichidului în conductă [kg/s]
$M_{ m m}$	Rata de curgere a amestecului fluid [kg/s]
Ms	Rata de masă solidă din fluidul care curge în robinet [%]
n	Valoarea exponentului (2,3 sau 2,5 radiani) [-]
$n_b^0$	Numărul de suruburi necesar pentru a asigura etanseitatea garniturii [-]
neichu	Numărul de cicluri [-]
no	Numărul de electroni implicați în reacțiile electrochimice [-]
n <sup>0</sup>	Numărul real de curuburi []
n <sub>real</sub>	Constantala functiai un abiulai [1]
<i>n</i> <sub>1</sub> , <i>n</i> <sub>2</sub>	Constanțele funcției ungniului [-]
N	Lațimea garniturii [mm]
	Matricea de interpolare a deplasarilor pe element [-]
N <sub>min</sub> .	Lațimea minima a garniturii pentru etanșeitate [mm]
N <sub>ref</sub>	Lățimea de referință a garniturii [mm]
N <sub>sa.</sub>	Sarcina de încărcare [N]
Pa	Presiunea interioară (sau presiunea de proiectare) [MPa]
Pc	limita de curgere a materialului mai moale [MPa]
$P_{\text{cine.}}$	Rata de producție a energiei cinetice (pe unitate de volum) [J/m <sup>3</sup> sau Pa]
$P_{\rm i}$	Presiunea interioară [Pa]
$P_{\rm k}$	Rata de producție a energiei cinetice [-]
$P_{\rm m}$	Presiunea medie de contact [MPa]
Probinet	Presiunea interioară a robinetului corespunzător stării deschise a sertarului [Pa]
$P_0$	Presiunea exterioară [Pa]
$P_1$	Presiunea la intrarea robinetului [MPa]

$P_2$	Presiunea interioară pe sertarul de robinet [MPa]
$P_3$	Presiunea la ieșirea robinetului [MPa]
P'	Presiunea medie a lichidului [MPa]
Q	Coulombi [-]
$Q_{\rm abr}$	Debitul de abraziv [bbl/month]
r	Raza cilindrului [m]
ri	Raza interioară a cilindrului [m]
r <sub>p</sub>	Raza unei particule [m]
$r_0$	Raza exterioară a cilindrului [m]
R	Raport dintre limita de curgere la temperatura 20°C și limita de curgere la temperatura reală [-]
$R_{\rm co}$	Coeficientul de corelație [-]
$R_{ m gaz}$	Constanta gazului [8,31J/(K·mol)]
$R_{ m e}$	Numărul Reynolds [-]
$R_{ m ep}$	Numărul Reynolds de alunecare a particulelor [-]
Rero.	Rata de eroziune [kg/m²s]
$R_{ m medie}$	Raza medie de rotație a bilei [m]
Rurmă	Raza de rotație a bilei pe disc [mm]
<i>S0</i>	Grosimea elementului <i>i</i> înainte de coroziune [mm]
Si	Grosimea reziduală a elementului <i>i</i> [mm]
Sa	Tensiunea maximă admisibilă a șurubului [MPa]
$S_{ m b,eff}$	Tensiunea eficace a șurubului [MPa]
Sg,max.	Tensiunea maximă admisibilă a garniturii [MPa]
$S_{ m lim}$	Grosimea admisibilă a elementului [mm]
$S_{ m uzur lpha}$	Suprafața uzată pe discul acoperit [m <sup>2</sup> ]
Sy	Limita de curgere a materialului [MPa]
$S_{y(T=20^{\circ}C)}$	Limita de curgere a materialului din oțel la temperatura de $20^{\circ}$ C [Pa]
t	Durata coroziunii [s]
$t_{ m alun.}$	Timpul de alunecare [s]
Т	Temperatura reală a materialului (Temperatură de lucru) [°C]
$T_{ m ab}$	Temperatura absolută [K]
$T_{\rm rem}$	Durata de viață rămasă a metalului care se corodează [h]
Trobinet	Durata de viată a robinetului [h]
$T^*$	Temperatura cu 20°C în minus față de temperatura reală [°C]
и	Viteza de curgere a fluidului [m/s]
Ufric	Viteza de curgere a particulei [m/s]
u <sub>i</sub>	Deplasarea în direcția X a nodului <i>i</i> pe un element finit [-]
<i>{U}</i>	vectorul funcțiilor de deplasare [-]
$U_{\rm i}$ , $U_{\rm j}$	Vectori de viteza [-]
Up	Viteza de impact a particuleior [m/s]
Valun.	Viteza de alunecare [mm/s]
V	Viteza de curgere a iluidului [m/s]
Ve	Viteza de curgoro e fluidului obraziu [m /c]
Vf	Vileza de cui gere a indidui doi aziv [iii/S] Donlasarea în direcția V.a nodului i ne un element finit [1]
	Vitaza gunarfigială a ( , ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ; ;
$VSG, V_g^{s}$	viteza superficiala a fazel gazoase [m/s]
$V_{ m SL}$ , $V_l^{ m s}$ , $V_{ m f}$	Viteza superficială a fazei lichide [m/s]
Vp	Viteza particulei abrazive [m/s]
$V_{ m bil \check{a}}$	Volumul bilei pierdut [mm <sup>3</sup> ]
Vcor.	Viteza de coroziune [g/an]
$V_{ m disc,HFRR}$	Volumul discului pierdut în testul HFRR [mm <sup>3</sup> ]
V <sub>disc,CSM</sub>	Volumul discului pierdut în testul CSM [mm <sup>3</sup> ]
$\tilde{V}_k$	Viteza medie a coroziunii [mm/h]
Vu	Volumul de metal îndepărtat prin uzare [mm <sup>3</sup> ]
V <sub>pa.</sub>	Viteza de impact a particulelor [m/s]
$V_{\rm ref}$	Viteza de referință a particulei solide [m/s]
W	Constantā determinată prin experiment [-]
Wi	Deplasarea în direcția Z a nodului <i>i</i> pe un element finit [-]
W	Lățimea suprateței de contact a garniturii [mm]
₩R <sub>bilă,volum</sub>	Rata de uzura a bilei [mm³/(N·m)]

WR <sub>disc,masa</sub>	Masa de uzura gravimetrică specifică a discului [kg/m²]
WR <sub>disc,volum</sub>	Rata de uzură a discului [mm³/(N·m)]
WR <sub>masa</sub>	Masa de uzură gravimetrică specifică [kg/m²]
x	Constantă determinată prin experiment [-]
X <sub>max.</sub>	Forța maximă de strângere a șurubului [KN]
y	Constantă determinată prin experiment [-]
<b>V</b> ele.	Dimensiunea unui element finit [m]
<b>V</b> fortă	Forța maximă de strângere a unui șurub [KN]
Vcuplu	Cuplul maxim de strângere a unui șurub [N·m]
$y_{0,16,\mathrm{flans}}$ ă	Tensiunea internă a flanșei atunci când coeficientul de frecare este 0,16 [MPa]
<b>V</b> 0,16,garnitură	Tensiunea internă a garniturii atunci când coeficientul de frecare este 0,16 [MPa]
<b>V</b> 0,16,piuliță	Tensiunea internă a piuliței atunci când coeficientul de frecare este 0,16 [MPa]
$y_{0,16, m surub}$	Tensiunea internă a șurubului atunci când coeficientul de frecare este 0,16 [MPa]
$y_{0,12,{ m flans}}$ ă	Tensiunea internă a flanșei atunci când coeficientul de frecare este 0,12 [MPa]
<b>V</b> 0,12,garnitură	Tensiunea internă a garniturii atunci când coeficientul de frecare este 0,12 [MPa]
<b>V</b> 0,12,piuliță	Tensiunea internă a piuliței atunci când coeficientul de frecare este 0,12 [MPa]
$y_{0,12,surub}$	Tensiunea internă a șurubului atunci când coeficientul de frecare este 0,12 [MPa]
Y	Presiunea de strivire a garniturii [MPa]

#### <u>SIMBOLURI GRECEȘTI</u>

α	Coeficientul de transfer al sarcinii electrice ( $\alpha = 0,5$ ) [-]
<i>βс, β</i>	Constante Tafel pentru catod și respectiv anod [-]
γ	Unghiul de impact al particulei solide [deg]
Ylim	Unghiul de referință al impactului particulelor solide [ $\gamma_{lim} = 15 \text{ deg}$ ]
ε	Rata de disipare a energie cinetice turbulente [-]
{ <i>ɛ</i> }	Vectorul deformațiilor [-]
Еθ	Deformarea circumferențială [-]
Er	Deformarea radială [-]
η	Rata de turbulență asupra timpului mediu de deformare [-]
$\eta_{C}, \eta_{A}$	Supratensiunile pentru catod și respectiv anod [V]
$\theta$	Unghiul de circumferință [radian]
μ	Vâscozitatea dinamică a fluidului [kg/(m·s)]
$\mu_g$	Vâscozitatea fazei gazoase [kg/(m·s)]
$\mu_l$	Vâscozitatea fazei lichide [kg/(m·s)]
$\mu_m$	Vâscozitatea amestecului fluid [kg/(m·s)]
$\mu_T$	Vâscozitatea turbulentă [kg/(m·s)]
$\mu_1$	Coeficientul de frecare între sertarul și scaunul la intrare [-]
$\mu_2$	Coeficientul de frecare între sertarul și scaunul la ieșire [-]
ν	Coeficientul lui Poisson [-]
ho	Densitatea petrolului brut [kg/m³ sau g/cm³]
$ ho_{\it disc}$	Densitatea discului [kg/m³]
$ ho_g$	Densitatea fazei gazoase [kg/m³]
$ ho_{l,} ho_{f}$	Densitatea fazei lichide [kg/m³]
$ ho_m$	Densitatea amestecului fluid [kg/m³]
$ ho_p$	Densitatea particulei [kg/m³]
$ ho_t$	Densitatea materialului țintă [kg/m³]
σ	Tensiunea de tracțiune [MPa]
{σ}	Vectorul tensiunilor [-]
$\sigma_{a,}\sigma_{b}$	Abateri standard [-]
$\sigma_r$	Tensiune radială [Pa]
$\sigma_{x,\sigma_{y}}$	Abateri standard [-]
$\sigma_{ heta}$	Tensiune circumferențială [Pa]
$\tau_p$	Timpul de relaxare a particulelor [s]
τw	Valoare legată de caracteristica fluidă $[kg/(m \cdot s^2)]$
λ	Rezistența hidraulică [-]
$\phi_g$	Fracția volumică a gazului [-]
Ψi	Factorul de forma al particulei abrazive [-]
∆m	Masa pierdută de coroziune [g]

- $\Delta M_{robinet}$  Pierderea de masă critică pentru robinetul care trebuie înlocuit [kg]
- $\Delta \delta$  Micșorarea medie a grosimii metalului supus coroziunii [mm]
- VP Gradientul de presiune local într-un fluid purtător [-]
- $\Omega_{ij}$  Tensorul vitezei de rotație [-]

## LISTĂ FIGURI

#### Introducere

- Fig.1.1. Uzare corozivă a robinetelor [77]
- Fig.1.2. Uzare erozivă a robinetelor [32, 33]
- Fig.1.3. Diverse metode de acoperire [199, 200, 207, 212, 215, 216]

#### Capitolul 1

- Fig.1.4. Robinet cu sertar paralel [230]
- Fig.1.5. Robinete în funcție de materialul corpului [34, 35, 36, 208]
- Fig.1.6. Robinete în funcție de modul racordului între corp și bonetă [37, 38, 228]
- Fig.1.7. Robinete cu sertar în funcție de tipurile de pană [213]
- Fig.1.8. Robinete în funcție de modul mișcării tijei [197]
- Fig.1.9. Alte robinete cu sertar întâlnite frecvent în industria petrolieră [197]
- Fig.1.10. Relația dintre rata de uzură și viteza de alunecare și dintre temperatura suprafeței de contact și viteza de alunecare, între oțelul carbon și oțelul Cr17, în aer [142]
- Fig.1.11. Pierderea de masă din cauza coroziunii intergranulare conform indicelui Larson Miller pentru oțeluri inoxidabile martensitice tip Cr13 și Cr17 în apă cu temperatură ridicată [144]
- Fig.1.12. Rezultatele fotografice ale fenomenelor de precipitări la interiorul și limita grăunților în funcție de cantitatea de elemente de aliere adăugate [86]
- Fig.1.13. Creșterea și reducerea oxidării după încălzirea de 100 de ore, în atmosferă [86]
- Fig.1.14. Rezultatul încercărilor de rezistență la coroziune [56]
- Fig.1.15. Rezultatul încercărilor de rezistență la uzură [56]
- Fig.1.16. Tipuri de garnituri metalice [30]
- Fig.1.17. Garnituri plane simple [30]
- Fig.1.18. Garnituri spirometalice [30]
- Fig.1.19. Tipuri de garnituri metaloplastice [30]
- Fig.1.20. Tipuri de garnituri preformate [30]
- Fig.1.21. Țiatim 221 [222]
- Fig.1.22. Unsoare grafitată [222]
- Fig.1.23. Unsoarea UZN [222]
- Fig.1.24. Unsoarea de tip GP și lubrifiantul 601 [202]
- Fig.1.25. Lubrifiantul 701 [206]
- Fig.1.26. Modengy-uri [198]
- Fig.1.27. Secțiunea transversală a robinetului de secționare cu sertar paralel 21/16"-3/5M, FLS

- Fig.2.1. Poziționarea etanșărilor la robinetul de secționare cu sertar
- Fig.2.2. Coroziunea fierului în atmosferă umedă [1]
- Fig.2.3. Forma tubului de la ieșirea robinetului cu sertar pană [83]
- Fig.2.4. Distribuția vitezei lichidului [83]
- Fig.2.5. Coroziune prin cavitație produsă pe diferite suprafețe de materiale în aceleași condiții de testare [29]
- Fig.2.6. Viteza de coroziune a fierului în condiții anaerobe (N<sub>2</sub>(80%)+CO<sub>2</sub>(20%)) și aerobe (aer) [104]
- Fig.2.7. Coroziunea cu o formă de fagure în CO<sub>2</sub>[148]
- Fig.2.8. Viteza de coroziune a fierului în soluție de metanol cu conținut diferit de apă [137]
- Fig.2.9. Diferența de presiune în interiorul robinetului cu sertar
- Fig.2.10. Conductă de ocolire pentru reducerea presiunii instalată la robinet [232]
- Fig.2.11. Schema uzării prin adeziune [13]
- Fig.2.12. Uzura prin abraziune [14]
- Fig.2.13. Ratele de eroziune al oțelului inoxidabil în funcție de viteza de impact a particulelor și unghiul de impact [88]
- Fig.2.14. Ratele de eroziune în funcție de viteza de impact a particulelor, [136]
- Fig.2.15. Ratele de eroziune în funcție de dimensiunea particulelor, [136]
- Fig.2.16. Formarea cavității prin eroziune [57]
- Fig.2.17. Poziția eroziunilor corozive

- Fig.2.18. Tipuri de flanșe [190]
- Fig.2.19. Influența curentului și vitezei de sudare asupra dezlipirii stratului sudat [105]
- Fig.2.20. Influența ratei de diluție și a vitezei de sudare asupra dezlipirii stratului sudat [105]
- Fig.2.21. Duritate și uzură în funcție de raportul oxigen-combustibil (WC17%Co) [118]
- Fig.2.22. Duritate și uzură în funcție de distanță de pulverizare (WC17%Co) [118]
- Fig.2.23. Microfotografie pentru determinarea grosimii și porozității [152]
- Fig.2.24. Microstructura stratului examinat prin microscopie cu scanare electronică (SEM) [152]
- Fig.2.25. Valorile *R*tot în funcție de aplicarea sarcinii [110]
- Fig.2.26. Pierderea de masă în funcție de aplicarea sarcinii [110]
- Fig.2.27. Relația dintre temperatura și coeficientul de frecare [82]
- Fig.2.28. Relația dintre sarcină și coeficientul de frecare [82]
- Fig.2.29. Coeficient de frecare în funcție de cantitatea de MoS<sub>2</sub> adăugată [139]
- Fig.2.30. Rata de uzură în funcție de cantitatea de MoS<sub>2</sub> adăugată [133]
- Fig.2.31. Schema de turnare în straturi bimetalice prin două cupe [126]
- Fig.2.32. Schema de turnare în straturi bimetalice printr-o cupă [126]
- Fig.2.33. Structura microscopică a joncțiunii dintre fonta cenușie și oțelul inoxidabil AISI304 [124]
- Fig.2.34. Modificarea dimensiunii stratului carburat în funcție de raportul de volum lichid solid [124]
- Fig.2.35. Modificarea dimensiunii stratului decarburat în funcție de raportul de volum lichid solid [124]
- Fig.2.36. Presă izostatică la cald cu zonă fierbinte [203]
- Fig.2.37. Echipamentul CIP [229]

- Fig.3.1. Funcția  $F(\alpha)$  pentru materiale ductile și fragile [205]
- Fig.3.2. Forma geometrică a robinetului cu sertar
- Fig.3.3. Forma discretizării modelului pentru analiza lichidului și a eroziunii
- Fig.3.4. Modificarea vitezei lichidului în funcție de starea de deschidere a robinetului
- Fig.3.5. Viteza de curgere a lichidului în funcție de starea de deschidere a robinetului cu sertar
- Fig.3.6. Distribuția presiunilor fluidului în funcție de starea de deschidere a robinetului cu sertar
- Fig.3.7. Presiunile fluidului în funcție de starea de deschidere a robinetului cu sertar
- Fig.3.8. Eroziuni în funcție de starea de deschidere a robinetului cu sertar
- Fig.3.9. Rate de eroziune în funcție de starea de deschidere a robinetului cu sertar

#### **Capitolul 4**

- Fig.4.1. Secțiunea cilindrului cu perete gros supus presiunilor
- Fig.4.2. Deformarea unui element dintr-un cilindru supus presiunilor
- Fig.4.3. Comparația rezultatelor calculelor cu cele ale analizei (MEF) [147]
- Fig.4.4. Dimensiunea geometrică a secțiunii robinetului cu sertar
- Fig.4.5. Modelul robinetului pentru analiza tensiunilor în care sertarul este deschis complet
- Fig.4.6. Forma discretizării modelului pentru analiza tensiunilor robinetului cu sertar care este deschis complet
- Fig.4.7. Tipurile de elemente finite
- Fig.4.8. Elementul tetraedric cu patru noduri [18]
- Fig.4.9. Elementul hexaedric cu opt noduri [18]
- Fig.4.10. Distribuția tensiunilor interioare la robinetul cu sertar paralel
- Fig.4.11. Modificările valorilor maxime ale tensiunilor în funcție de starea de deschidere a robinetului cu sertar tip 21/16″–3/5M, FLS
- Fig.4.12. Distribuția tensiunilor în funcție de presiune asupra corpului robinetului
- Fig.4.13. Distribuția tensiunilor în funcție de presiune asupra sertarului robinetului
- Fig.4.14. Distribuția tensiunilor în funcție de presiune asupra scaunului1 a robinetului
- Fig.4.15. Distribuția tensiunilor în funcție de presiune asupra inelului 1-1 a robinetului
- Fig.4.16. Distribuția valorilor maxime ale tensiunilor în funcție de presiunile aplicate unui robinet cu sertar complet închis
- Fig.4.17. Funcțiile optime și coeficienții de corelație în funcție de piesele robinetului
- Fig.4.18. Distribuția tensiunilor interne ale pieselor când presiunea este de 153MPa
- Fig.4.19. Funcțiile optime pentru piesele de robinet determinate folosind MATLAB

- Fig.5.1. Forma geometrică a robinetului cu sertar neacoperit
- Fig.5.2. Forma geometrică a robinetului cu sertar acoperit
- Fig.5.3. Forma discretizării modelelor de robinet în care sertarul este deschis cu o jumătate

- Fig.5.4. Modificarea vitezei lichidului în funcție de starea de deschidere a robinetului neacoperit cu lac lubrifiant
  Fig.5.5. Modificarea vitezei lichidului în funcție de starea de deschidere a robinetului acoperit cu lac lubrifiant
  Fig.5.6. Distribuția presiunilor în funcție de starea de deschidere a robinetului neacoperit cu lac lubrifiant
- Fig.5.6. Distribuția presiunilor în funcție de starea de deschidere a robinetului neacoperit cu lac lubrifiant
- Fig.5.7. Distribuția presiunilor în funcție de starea de deschidere a robinetului acoperit cu lac lubrifiantFig.5.8. Viteza lichidului în funcție de starea de deschidere a robinetului
- Fig.5.9. Presiunea fluidului în funcție de starea de deschidere a robinetului
- Fig.5.10. Modificarea vitezei de mișcare a particulei solide în funcție de starea de deschidere a robinetului neacoperit cu lac lubrifiant folosind modelul lui Finnie
- Fig.5.11. Modificarea vitezei de mișcare a particulei solide în funcție de starea de deschidere a robinetului neacoperit cu lac lubrifiant folosind modelul lui Oka
- Fig.5.12. Modificarea vitezei de mișcare a particulei solide în funcție de starea de deschidere a robinetului acoperit cu lac lubrifiant folosind modelul lui Finnie
- Fig.5.13. Modificarea vitezei de mișcare a particulei solide în funcție de starea de deschidere a robinetului acoperit cu lac lubrifiant folosind modelul lui Oka
- Fig.5.14. Vitezele particulelor în funcție de starea de deschidere a robinetului analizate prin modelele Finnie și Oka
- Fig.5.15. Distribuția eroziunii în funcție de starea de deschidere a robinetului neacoperit cu lac lubrifiant
- Fig.5.16. Distribuția eroziunii în funcție de starea de deschidere a robinetului acoperit cu lac lubrifiant
- Fig.5.17. Compararea rezultatelor calculului eroziunii utilizând modelul lui Finnie (timp=3600 s)
- Fig.5.18. Compararea rezultatelor calculului eroziunii utilizând modelul lui Oka (timp=3600 s)
- Fig.5.19. Distribuțiile eroziunii în funcție de grosimea peliculei de lac lubrifiant analizat folosind modelul lui Finnie
- Fig.5.20. Distribuțiile eroziunii în funcție de grosimea peliculei de lubrifiere analizat folosind modelul lui Oka
- Fig.5.21. Modificarea masei pierdute în funcție de grosimea peliculei de lac lubrifiant calculată prin modelul lui Finnie
- Fig.5.22. Modificarea masei pierdute în funcție de grosimea peliculei de lac lubrifiant calculată prin modelul lui Oka
- Fig.5.23. Modelul robinetului acoperit cu lac lubrifiant pentru analiza tensiunilor
- Fig.5.24. Forma discretizării modelului pentru analiza tensiunilor robinetului cu sertar care a fost complet închis
- Fig.5.25. Distribuția tensiunilor la robinetul cu sertar neacoperit cu lac lubrifiant
- Fig.5.26. Distribuția tensiunilor la robinetul cu sertar acoperit cu lac lubrifiant
- Fig.5.27. Modificarea tensiunii maxime în funcție de starea de deschidere a robinetului

- Fig.6.1. Relația între tensiuni și deformații în funcție de temperatură [153]
- Fig.6.2. Modificările limitelor de curgere ale diferitelor materiale din oțel în funcție de creșterea temperaturii [67, 102, 153, 154]
- Fig.6.3. Raportul dintre  $\sigma$  și  $S_y$  în funcție de temperatură pentru  $\varepsilon$  = 0,075 [153]
- Fig.6.4. Forma flanșei robinetului cu sertar
- Fig.6.5. Dimensiunea garniturii de tip RJ [170]
- Fig.6.6. Forme de contact în asamblările cu flanșă [171]
- Fig.6.7. Schema de calculul G pentru  $b_0 > 6,35$  mm
- Fig.6.8. Schema de calculul G pentru  $b_0 < 6,35$  mm
- Fig.6.9. Forțele inițiale de strângere ale garniturii în funcție de forma și tipul de garnitură, [kN]
- Fig.6.10. Forțele de strângere ale garniturii inelare ovale în funcție de tipul de garnitură și temperatură
- Fig.6.11. Modificarea forțelor de strângere ale prezoanelor în funcție de tipul de garnitură și
  - temperatură, în cazul garniturii inelare ovale
- Fig.6.12. Cuplurile de strângere ale prezoanelor în funcție de tipul de garnitură și temperatură, în cazul garniturii inelare ovale
- Fig.6.13. Aria minimă a prezonului în funcție de variația temperaturii, în cazul garniturii inelare ovale
- Fig.6.14. Tensiunea prezoanelor în funcție de temperatură, în cazul garniturii inelare ovale
- Fig.6.15. Modificarea lățimii minime a garniturii ovale în funcție de temperatură
- Fig.6.16. Determinarea în Excel a presiunii nominale a robinetului
- Fig.6.17. Determinarea în Excel a parametrilor geometrici ai garniturii
- Fig.6.18. Selectarea materialului pentru garnitura inelară
- Fig.6.19. Calculul ariei garniturii inelare
- Fig.6.20. Selectarea dimensiunii prezoanelor

- Fig.6.21. Determinarea parametrilor prezoanelor
- Fig.6.22. Determinarea forțelor de strângere ale garniturii și a cuplurilor prezoanelor
- Fig.6.23. Verificarea de stabilitate a garniturii și a prezoanelor
- Fig.6.24. Forma geometrică a asamblării flanșei
- Fig.6.25. Discretizarea modelului
- Fig.6.26. Coordonate relative în funcție de fiecare șurub
- Fig.6.27. Distribuția tensiunilor în modelul flanșei cu garnitura din 5Cr-0.5Mo la temperatura 20°C când coeficientul de frecare este de 0,16
- Fig.6.28. Distribuția tensiunilor în modelul flanșei cu garnitura din 5Cr-0.5Mo la temperatura 20°C când coeficientul de frecare este de 0,12
- Fig.6.29. Tensiunile maxime ale pieselor în funcție de forța de strângere, la temperatura 20°C când coeficientul de frecare este de 0,16
- Fig.6.30. Tensiunile maxime ale pieselor în funcție de forța de strângere, la temperatura 20°C când coeficientul de frecare este de 0,12
- Fig.6.31. Forțele maxime de strângere ale unui șurub în funcție de creșterea temperaturii la asamblări cu flanșe și garnituri din materialul 5Cr-0.5Mo
- Fig.6.32. Cuplurile maxime de strângere ale unui șurub în funcție de creșterea temperaturii la asamblări cu flanșe și garnituri din materialul 5Cr-0.5Mo
- Fig.6.33. Compararea rezultatelor analizei ANSYS cu rezultatele calculelor analitice la asamblări cu flanșe și garnituri din materialul 5Cr-0.5Mo

- Fig.7.1. Discul acoperit cu Everslik 1201 și 1301
- Fig.7.2. Discul neacoperit
- Fig.7.3. Apă de zăcământ
- Fig.7.4. Potențiostatul VoltaLab 10
- Fig.7.5. Celulă de coroziune
- Fig.7.6. Procesul de măsurare a vitezei de coroziune a unui disc
- Fig.7.7. Parametri selectați pentru testul de coroziune
- Fig.7.8. Curba de polarizare pentru discul neacoperit
- Fig.7.9. Curba de polarizare pentru discul acoperit cu lac lubrifiant Everslik
- Fig.7.10. Curba lui Tafel pentru discul neacoperit
- Fig.7.11. Curba lui Tafel pentru discul acoperit cu lac lubrifiant Everslik
- Fig.7.12. Starea suprafețelor discurilor după testele de coroziune electrochimică
- Fig.7.13. Tester de duritate Vickers
- Fig.7.14. Măsurarea durității discului
- Fig.7.15. Forma geometrică a urmei penetratorului
- Fig.7.16. Imaginile rezultatului măsurătorii pentru fiecare disc
- Fig.7.17. Discurile utilizate pentru testele de uzură pe tribometrul CSM
- Fig.7.18. Tribometrul HFRR și aparatul PCS
- Fig.7.19. Microscop electronic
- Fig.7.20. Teste de uzură pe tribometrul HFRR
- Fig.7.21. Tribometrul CSM
- Fig.7.22. Microscop electronic
- Fig.7.23. Teste de uzură cu ajutorul tribometrului CSM
- Fig.7.24. Partea uzată a bilei văzută la microscop optic [76]
- Fig.7.25. Forma geometrică a bilei
- Fig.7.26. Forma geometrică a discului uzat
- Fig.7.27. Urma uzurii pe o epruvetă [76]
- Fig.7.28. Forma părții uzate de-a lungul traseului rotației bilei
- Fig.7.29. Schema de calcul pentru suprafața uzată
- Fig.7.30. Variația coeficienților de frecare pentru fiecare disc
- Fig.7.31. Urme de uzură ale bilelor văzute cu un microscop electronic
- Fig.7.32. Volumul de uzură al bilei în funcție de condițiile de testare
- Fig.7.33. Rata de uzură a bilei în funcție de condițiile de testare
- Fig.7.34. Urme de uzură pe discuri văzute cu microscop electronic de tip S3400
- Fig.7.35. Rata de uzură pentru fiecare disc
- Fig.7.36. Uzura gravimetrică pentru fiecare disc
- Fig.7.37. Variația coeficienților de frecare în funcție de lungimea de frecare pentru discurile neacoperite și acoperite testate în aer

- Fig.7.38. Variația coeficienților de frecare în funcție de lungimea de frecare pentru discurile neacoperite și acoperite testate în apă de zăcământ
- Fig.7.39. Variația coeficienților de frecare dintre epruvete tip cub și epruvete tip disc
- Fig.7.40. Rata de uzură a discului în funcție de condițiile de testare
- Fig.7.41. Uzura gravimetrică a discului în funcție de condițiile de testare
- Fig.7.42. Ecranul de măsurare a parametrilor de frecare dintre bila și discul acoperit în apă de zăcământ obținut pe tribometrul CSM
- Fig.7.43. Variația coeficienților de frecare ai discurilor acoperite în funcție de diferite sarcini
- Fig.7.44. Rata de uzură a discului acoperit în funcție de diferite sarcini
- Fig.7.45. Corelație dintre sarcina și uzura gravimetrică specifică a discului acoperit
- Fig.7.46. Diferențele procentuale ale valorilor experimentale cu cele ale analizei CFD

### LISTĂ TABELE

#### **Capitolul 1**

- Tab.1.1. Compoziția chimică a materialelor pentru robinete [143]
- Tab.1.2. Clasă de temperaturi pentru selectarea materialelor [28]
- Tab.1.3. Clasa API de materiale în funcție de clasa de fluid [28]
- Tab.1.4. Materiale pentru robinete în funcție de clasa API [28]
- Tab.1.5. Compozițiile chimice ale probelor [86]
- Tab.1.6. Compoziția chimică a oțelurilor aliate pentru corpul robinetelor [175, 177]
- Tab.1.7. Proprietățile mecanice ale oțelurilor aliate pentru corpul robinetelor [175, 177]
- Tab.1.8. Lista cu specificații de materiale pentru grupul 1 : Specificații ASTM aplicabile [167, 168]
- Tab.1.9. Lista cu specificații de materiale pentru grupul 2 : Specificații ASTM aplicabile [167, 168]
- Tab.1.10. Lista cu specificații de materiale pentru grupul 3 : Specificații ASTM aplicabile [167, 168]
- Tab.1.11. Materiale pentru Trimul robinetelor indicate de API STD 600 și 602 [163, 164]
- Tab.1.12. Compoziția chimică a materialului pentru scaunul robinetului [56]
- Tab.1.13. Clasificarea sumară a lubrifianților [11, 15]
- Tab.1.14. Caracteristicile de lucru în funcție de tipul de "Molikote" [221]
- Tab.1.15. Materialele și proprietățile tehnice în funcție de tipul de "Everlube" [192]
- Tab.1.16. Proprietățile tehnologice în funcție de tipul de "Everslik" [183, 184, 185]
- Tab.1.17. Componența și materialele robinetului de secționare cu sertar paralel

#### **Capitolul 2**

Tab.2.1. Aliaje pentru încărcare prin sudare cu rezistența la temperaturi ridicate [116]

- Tab.2.2.Aliaje pentru încărcare prin sudare [31]
- Tab.2.3. Compozițiile chimice ale fazelor  $\alpha$ ,  $\beta$  și  $\gamma$  [152]
- Tab.2.4. Valorile parametrilor de rugozitate [132]
- Tab.2.5. Evaluarea rezultatelor experimentale [132]

#### **Capitolul 3**

- Tab.3.1.
   Valorile constantelor modelului de eroziune Oka [157]
- Tab.3.2.Valorile constantelor modelului de eroziune McLaury [66]
- Tab.3.3. Valorile constantei materialului și densitățile care sunt aplicate pentru ecuația (3-12) [205]
- Tab.3.4. Constante utilizate pentru ecuația (3-13) [205]
- Tab.3.5. Valorile A<sub>i</sub> pentru ecuația (3-22), [58]
- Tab.3.6. Modele de eroziune teoretice și empirice [59]
- Tab.3.7. Dimensiunile geometrice ale modelului robinetului cu sertar
- Tab.3.8. Proprietățile fizice ale pieselor în funcție de componentele robinetului
- Tab.3.9. Valorile parametrilor utilizați pentru a calcula rata de eroziune
- Tab.3.10. Rezultatele analizei vitezei lichidului în funcție de starea de deschidere a robinetului cu sertar
- Tab.3.11. Rezultatele analizei presiunii fluidului în funcție de starea de deschidere a robinetului cu sertar
- Tab.3.12. Rezultatele analizelor ratelor de eroziune în funcție de starea de deschidere a robinetului cu sertar

- Tab.4.1. Materialele pentru fiecare piesă de robinet cu sertar de înaltă presiune [147]
- Tab.4.2. Comparație între rezultatele calculului și ale analizei [147]
- Tab.4.3. Valorile maxime ale tensiunilor în funcție de starea de deschidere a robinetului
- Tab.4.4. Comparație rezultatelor calculelor analitice cu cele ale analizei prin ANSYS
- Tab.4.5. Modificarea tensiunii interne a pieselor robinetului în funcție de schimbarea presiunii

- Tab.4.6.
   Date de măsurare și date de calcul pentru calculul abaterii standard
- Tab.4.7. Abaterile standard și coeficienții de corelație în funcție de piesele robinetului
- Tab.4.8. Tensiunile interne ale pieselor când presiunea robinetului este de 153MPa
- Tab.4.9. Comparația rezultatelor MATLAB cu cele ale calculelor analitice

- Tab.5.1. Dimensiunile geometrice ale modelului robinetului cu sertar
- Tab.5.2. Proprietățile fizice ale pieselor componentele ale robinetului
- Tab.5.3. Valorile parametrilor utilizați pentru a calcula rata de eroziune
- Tab.5.4. Valorile constantelor pentru modelul de eroziune Oka
- Tab.5.5. Valorile vitezei lichidului și ale presiunilor în funcție de starea de deschidere a robinetului de secționare cu sertar tip 21/16"-3/5M, FLS
- Tab.5.6. Comparația vitezei particulelor între robinetele acoperite și cele neacoperite
- Tab.5.7. Comparația pierderii de masă între robinetele acoperite și neacoperite
- Tab.5.8. Rezultatele analizei ratelor de eroziune în funcție de grosimea peliculei de lac lubrifiant
- Tab.5.9. Compararea valorilor maxime ale tensiunilor între robinetele acoperite și neacoperite

- Tab.6.1.Proprietățile mecanice ale materialelor pentru piesele de robinet cu sertar [103, 176, 181, 209,<br/>210, 211, 214, 218]
- Tab.6.2. Rezultatele calculului limitei de curgere a pieselor de robinet în funcție de creșterea temperaturii
- Tab.6.3. Rezultatele calculului modulelor Young în funcție de creșterea temperaturii
- Tab.6.4. Rezultatele calculului ratelor de deformare ale pieselor de robinet la 20  $^{\circ}\mathrm{C}$
- Tab.6.5. Rezultatele calculului rezistențelor la tracțiune în funcție de temperatură
- Tab.6.6. Valorile *Y* și *m* în funcție de tipul de garnitură și materialele acestora [178, 191]
- Tab.6.7. Materialele garniturii pentru tipul RJ [169, 170]
- Tab.6.8. Rezultatele calculelor parametrilor geometrici ai garniturii inelare
- Tab.6.9. Rezultatele calculului *F*g în funcție de materialele garniturii
- Tab.6.10. Rezultatul calculului forței de strângere în funcție de materialele garniturii la temperatura 20 °C
- Tab.6.11. Modificarea presiunii nominale în funcție de temperatură pentru clasa 2500 [167]
- Tab.6.12. Rezultatele calculului forței de strângere a garniturii inelare ovale în exploatare, în funcție de temperatură
- Tab.6.13. Forța de strângere a prezoanelor flanșelor cu garnitură inelară ovală în funcție de schimbarea temperaturii
- Tab.6.14. Cuplul de strângere a prezoanelor în funcție de tipul de garnitură și creșterea temperaturii de la 20 la 300 °C, în cazul flanșei cu garnitură inelară ovală
- Tab.6.15. Cuplul de strângere a prezoanelor în funcție de tipul de garnitură și creșterea temperaturii de la 400 la 538 °C, în cazul flanșei cu garnitură inelară ovală
- Tab.6.16. Forțele minime de strângere ale prezoanelor în funcție de tipul de garnitură și creșterea temperaturii, în cazul flanșei cu garnitură inelară ovală
- Tab.6.17. Valorile tensiunilor maxime admisibile ale prezoanelor și numărul minim de prezoane în funcție de creșterea temperaturii, în cazul flanșei cu garnitură inelară ovală
- Tab.6.18. Rezultatele evaluării în funcție de tipul de garnitură și creșterea temperaturii de la 20 la 300 °C, în cazul flanșei cu garnitură inelară ovală
- Tab.6.19. Rezultatele evaluării în funcție de tipul de garnitură și creșterea temperaturii de la 400 la 538 °C, în cazul flanșei cu garnitură inelară ovală
- Tab.6.20. Rezultatele verificării de stabilitate a prezoanelor pentru garnitura inelară ovală în funcție de creșterea temperaturii de la 20 la 200 °C
- Tab.6.21. Rezultatele verificării de stabilitate a prezoanelor pentru garnitura inelară ovală în funcție de creșterea temperaturii de la 300 la 500 °C
- Tab.6.22. Rezultatele verificării de stabilitate a prezoanelor pentru garnitura inelară ovală la 538 °C
- Tab.6.23. Lățimea minimă a garniturii inelare ovale în funcție de temperatură
- Tab.6.24. Rezultatele analizei de tensiuni ale pieselor flanșei în funcție de forța de strângere a șuruburilor la temperatura 20 °C,
- Tab.6.25. Valorile a, b și  $R_{co}$  calculate cu ajutorul ecuațiilor (6-30) și (6-31)
- Tab.6.26. Tensiunile interioare ale garniturii și ale flanșei în funcție de temperatură
- Tab.6.27. Valorile coeficienților a, b și  $R_{co}$  pentru flanșă în funcție de creșterea temperaturii
- Tab.6.28. Valorile coeficienților a, b și  $R_{co}$  pentru garnituri în funcție de creșterea temperaturii
- Tab.6.29. Forțele și cuplurile maxime de strângere ale unui șurub în funcție de temperatură la asamblări cu flanșe și garnituri din materialul 5Cr-0.5Mo

Tab.6.30. Compararea rezultatelor analizei ANSYS cu rezultatele calculelor analitice la asamblări cu flanșe și garnituri din materialul 5Cr-0.5Mo

- Tab.7.1. Caracteristicile apei de zăcământ utilizate la încărcările de coroziune [72]
- Tab.7.2. Analiza microbiologică a apei de zăcământ utilizate la încărcările de coroziune [72]
- Tab.7.3. Rezultatele testelor de coroziune electrochimice
- Tab.7.4. Rezultatele măsurării durității pentru fiecare disc
- Tab.7.5. Rezultatele măsurării coeficientului de frecare în funcție de condițiile de testare
- Tab.7.6. Rezultatele ratelor de uzură a bilelor calculate folosind formula 7-9
- Tab.7.7. Rezultatele măsurării lățimii urmelor de uzură pe discurile testate pe HFRR
- Tab.7.8.
   Ratele de uzură a discurilor obținute după testele pe HFRR
- Tab.7.9. Coeficienți de frecare dintre bilă și disc obținuți pe tribometrul CSM
- Tab.7.10. Coeficienți de frecare dintre cub și disc obținuți pe tribometrul CSM
- Tab.7.11. Ratele de uzură ale bilelor și ale discurilor obținute după testele pe CSM
- Tab.7.12. Coeficienții de frecare ai discurilor acoperite în funcție de diferite sarcini
- Tab.7.13. Ratele de uzură ale discurilor acoperite și ale bilelor în funcție de diferite sarcini
- Tab.7.14. Compararea rezultatelor pe HFRR cu cele obținute pe CSM
- Tab.7.15. Compararea rezultatelor experimentale cu cele ale analizei CFD
- Tab.7.16. Diferențele procentuale ale valorilor experimentale cu cele ale analizei CFD

# REZUMAT

Teza de doctorat, întitulată *"Cercetări asupra căilor de creștere a durabilității robinetelor petroliere de secționare"*, are ca obiectiv principal îmbunătățirea rezistenței la uzare erozivă și corozivă a robinetelor de secționare cu sertar, care se utilizează pe scară largă în industria petrolieră, folosind lac lubrifiant "Everslik". Acest obiectiv, considerăm noi a fost atins, prin rezolvarea a două obiective secundare:

- Evaluarea uzurii erozive a elementelor active ale robinetului, obiectiv secundar realizat prin analiza simulării CFD utilizând ANSYS și COMSOL Multiphysics, și validat prin testele experimentale efectuate;
- Determinarea parametrilor tehnici pentru elementele de asamblare ale flanșei robinetului de secționare cu sertar supus la temperaturi diferite.

În **capitolul 1**, întitulat *"Studiu privind construcția robinetelor de secționare*", se efectuează un studiu bibliografic privind tipurile și materialele utilizate la construcția robinetelor de secționare cu sertar. Este efectuată o investigație cu privire la construcția robinetului de secționare cu sertar paralel 21/16"-3/5M, FLS și a etanșeității acestuia.

În **capitolul 2**, cu titlul *"Cercetări teoretice privind degradările tipice ale robinetelor de secționare și măsurile de creștere a durabilității acestora"*, se efectuează o sinteză a factorilor tipici care reduc etanșeitatea robinetului în exploatare. În plus, se efectuează o investigație asupra metodelor actuale care se desfășoară pentru a preveni degradările robinetelor.

**Capitolul 3**, denumit *"Cercetări privind caracteristicile fluidului și evaluarea ratelor de eroziune la robinetul de secționare cu sertar paralel 21/16″-3/5M, FLS folosind ANSYS"*, are ca scop evaluarea caracteristicilor de curgere ale lichidului și a ratei de eroziune la robinetul cu sertar neacoperit folosind ANSYS 19.2 care este un program de analiza inginerească. Pentru aceasta, se prezintă modelul de analiză al unui robinet cu sertar proiectat de autor, utilizând AutoCAD, și procesul de divizare a elementelor. Sunt prezentate ecuațiile hidrodinamice utilizate pentru evaluarea caracteristicilor de curgere ale lichidelor, modelul DPM utilizat pentru evaluarea ratei de eroziune și valorile parametrilor corespunzători. Acest capitol oferă, de asemenea, rezultatele analizei ratei de eroziune și modificarea caracteristicilor de curgere ale lichidului în funcție de starea de deschidere a robinetului, calculate utilizând modelul proiectat. Pentru simularea CFD, proprietățile materialelor în funcție de componentele robinetului sunt cele determinate în **subcap. 3.2**, iar valorile parametrilor pentru lichid (petrol) și particulele de nisip sunt setate la intrarea robinetului.

**Capitolul 4**, întitulat *"Cercetări privind evaluarea rezistenței robinetului cu sertar la presiune interioară folosind ANSYS"*, are ca scop evaluarea stabilității structurale a robinetului și determinarea presiunii maxime admisibile pe care robinetul o poate suporta, utilizând MEF. Pentru aceasta, mai întâi, pe baza teoriei lui Lame, este prezentată o modelare matematică pentru a calcula teoretic tensiunea interioară la un tub cilindric cu grosimea mare (cum este cazul corpului robinetului), supus presiunilor interioare și exterioare. Sunt prezentate forma geometrică a modelului pentru analiza structurală a robinetului, proiectată în AutoCAD, și condițiile analizei. De asemenea, este prezentat procesul de modelare matematică a analizei structurale cu ajutorul MEF, care este baza teoretică pentru analiză. Utilizând datele de distribuție a presiunii lichidului, obținute prin analiza CFD pentru robinet, și modelele

analizei structurale, este verificat cât de stabil este robinetul în condițiile reale de lucru. În plus, este observată modificarea tensiunii interioare în funcție de schimbarea presiunii lichidului la robinetul complet închis. Folosind rezultatele analizei tensiunii interioare pentru robinet și MCMMP, este obținută corelația dintre presiunea lichidului și tensiunea interioară, pe baza piesei cu cea mai mică tensiune admisibilă a materialului dintre componentele robinetului, presiunea maximă admisă a robinetului este determinată și precizia procesului de calcul de către MCMMP este verificată. Pentru analiza structurală a robinetului s-a utilizat ANSYS 19.2.

Capitolul 5, denumit "Cercetări privind determinarea ratei de eroziune și analiza structurală la robinetele cu sertar acoperite și neacoperite utilizând COMSOL Multiphysics", are ca scop evaluarea efectului stratului de lac lubrifiant asupra fenomenului de eroziune a robinetului și efortului intern al lui folosind COMSOL Multiphysics 5.4. Mai întâi, sunt prezentate forma geometrică a robinetului cu sertar acoperit, proiectat cu AutoCAD, condiția de discretizare a modelului, având în vedere stratul de acoperire și condițiile pentru analiză. Stratul de acoperire este setat la 20 µm, luând în considerare criteriile prezentate în ASME B16.34 [167, 168], iar materialul de acoperire este selectat ca "Everslik"1301. Pentru analiza caracteristicii curgerii lichidului, este utilizată metoda lui Euler și pentru analiza eroziunii sunt utilizate modelele Finnie și Oka. Analiza se efectuează prin compararea între robinetele acoperite și neacoperite. Pe lângă analiza influentei stratului de lac lubrifiant asupra cantității de eroziune a robinetului, este observată și modificarea cantității de eroziune în funcție de modificarea grosimii peliculei de lac. Pentru aceasta, grosimea filmului de lac lubrifiant este schimbată în unitatea de 10 µm, de la 20 µm la 50 µm. În acest capitolul este, de asemenea, observată influența stratului de lac asupra tensiunii interioare, utilizând modelele de robinete cu sertar acoperite și neacoperite, proiectate cu AutoCAD.

**Capitolul 6**, cu titlul *"Cercetări privind determinarea parametrilor tehnici pentru elementele de asamblare ale flanșelor robinetelor de secționare cu sertar"*, are ca scop determinarea parametrilor tehnici pentru elementele de asamblare a flanșei robinetului de secționare cu sertar. Pentru a determina elementele de asamblare a flanșei, mai întâi, se determină parametrii materialului pentru piesele robinetului în funcție de temperatură. Pe acestă bază, se efectuează calculele analitice și verificarea stabilității pentru elementele de asamblare a flanșelor. Este propus un algoritm, realizat de autor, pentru calcularea computerizată a elementelor de asamblare a flanșei utilizând Excel. Programul realizat de autor permite stabilirea facilă de către specialiștii din domeniu a momentelor de strângere ale prezoanelor funcție de temperatura de serviciu și de materialul de etanșare folosit cu respectarea condițiilor de menținere a etanșării, deci de evitarea producerii de scăpări de produs cu efect poluant, coroziv, exploziv etc. Folosind ANSYS, se determină forțele și cuplurile maxime de strângere ale șuruburilor flanșei cu corpul robinetului în funcție de temperatură.

**Capitolul 7**, cu denumirea *"Determinarea experimentală a caracteristicilor tribologice și de coroziune ale elementelor active ale robinetului cu sertar paralel"*, are ca scop evaluarea experimentală a proprietăților tribologice și de coroziune a suprafețelor active ale robinetului, acoperite cu lac lubrifiant de tip "Everslik" și compararea cu rezultatele numerice. Mai întâi, rezistența la coroziune a stratului de acoperire este stabilită folosind încercări de coroziune electrochimică. În plus, duritatea suprafeței stratului de acoperire și a suprafeței metalului este determinată folosind un tester de duritate Vickers. În continuare, caracteristicile tribologice ale suprafeței acoperite cu "Everslik" sunt evaluate folosind tribometrele HFRR și CSM și comparate cu rezultatele teoretice. Se demonstrează că prin acoperirea suprafețelor active cu lac lubrifiant de tip "Everslik" se reduc componentele erozive și corozive ale acestora și implicit durabilitatea creste.

În **Capitolul 8** sunt prezentate concluziile generale obținute prin cercetarea căilor de creștere a durabilității robinetelor petroliere de secționare, contribuțiile personale la acest studiu și direcțiile viitoare de cercetare.

# ABSTRACT

The PhD thesis entitled "Research on ways to increase the durability of cut-off oil valves", has the general objective to improve the wear and corrosion resistance of the gate valve, which is widely used in the oil industry, using "Everslik" lubricant. This objective has been achieved by solving two secondary objectives:

- Evaluation of the erosive wear of the active elements of the valve, which is secondary objective achieved by analyzing the CFD simulation using ANSYS and COMSOL Multiphysics, and validated by the performed tests;
- Determination of the technical parameters for the assembly elements of the flange of the gate cut off valve subjected to different temperatures.

In **Chapter 1**, entitled *"Bibliographic study on the construction of the section valves"* a bibliographic study is performed on the types and materials for the gate valve which is the subject of the thesis. Bibliographic studies are performed on the types of gate valves most commonly used in the oil industry and materials used for valve manufacturing. In addition, an investigation on the construction and sealing characteristics of the 21/16–3/5M, FLS type gate valve is performed.

In **Chapter 2**, entitled *"Theoretical research on typical degradation of the section valves and measures to increase their durability*", the theoretical observation is performed on the typical factors which reduce the sealing characteristics of the valve in operation. In addition, an investigation is performed carried on current methods for preventing valve damage.

**Chapter 3**, entitled *"Research on the fluid characteristics and the evaluation of erosion rates at the 21/16 "–3/5M, FLS parallel gate section valve using ANSYS"*, aims to evaluate the flow characteristics of the liquid and the erosion rate at the uncoated gate valve using ANSYS which is a program engineering analysis. For this, it shows the analysis model of a gate valve designed by using AutoCAD, which is a design support program, and the process of dividing the elements. The hydrodynamic equations used to evaluate the flow characteristics of the liquids, the DPM model used to evaluate the erosion rate and the values of the corresponding parameters are presented. This chapter also provides the results of the erosion rate analysis and the modification of the fluid flow characteristics according to the open state of the valve, calculated by using the designed model. For CFD simulation, the properties of the materials according to the valve components are determined in **subchapter 3.2**, and the engineering properties of the liquid and sand particles are set at the valve inlet.

**Chapter 4**, entitled *"Research on the evaluation of the resistance of the gate valve at internal pressure using ANSYS*", aims to assess the structural stability of the valve and determine the maximum allowable pressure that the valve can withstand, using FEM. For this, first, based on Lame's theory, a mathematical modelling is presented to theoretically calculate the internal stress in a cylindrical tube with a thick thickness or a valve, subjected to internal and external pressures. Next, the geometric shape of the model for structural analysis of the valve, designed by AutoCAD, and the conditions of the analysis are presented. The process of mathematical modelling of structural analysis using FEM, which is the theoretical basis for the analysis is also presented. Using the liquid pressure distribution data, obtained by the CFD analysis for the valve, and the structural analysis models, it is verified how stable the valve is in the real working conditions. In addition, there is a change in the internal stress depending on the change in liquid pressure at the completely closed valve. Using the results

of the internal stress analysis for the valve and LSM, the correlation between the liquid pressure and the internal stress is revealed, based on a part with the lowest allowable material stress between the valve components, the maximum permissible valve stress is determined and the accuracy of the calculation process by LSM (Least Square Method) is confirmed. ANSYS 19.2 is used for structural analysis of the valve.

**Chapter 5**, entitled *"Research on the determination of the erosion rate and the structural analysis of coated and uncoated gate valves using COMSOL Multiphysics*", aims to assess the erosion rate and structural stability for the coated gate valve where the multiphase fluid flows from oil and sand, using COMSOL Multiphysics 5.4. First, the geometric shape of coated gate valve, designed with AutoCAD, the condition of discretization of the model considering the coating layer and the conditions for analysis are presented. The coating is set at 20  $\mu$ m, taking into account the criteria presented in ASME B16.34 [167, 168], and the coating material is selected as "Everslik"1301. *Euler's* method is used to analyze the flow characteristic of the liquid and the Finnie and Oka models are used to analyze the erosion. The analysis is performed by comparing the coated and uncoated valves. In addition to analyzing the influence of the lubrication layer on the amount of erosion of the valve, it is also observed the change in the thickness of the lubrication film is changed in the 10  $\mu$ m unit, from 20  $\mu$ m to 50  $\mu$ m. In this chapter, the influence of the lubrication layer on the internal stress is also observed, using the models of coated and uncoated gate valves, designed with AutoCAD.

**Chapter 6**, entitled *"Research on the determination of technical parameters for the assembly elements of the flange of the gate cut off valve*", aims to determine the technical parameters for the assembly elements for the flange of the cut off gate valve. To determine the flange assembly elements, first are determined the material parameters for the valve parts depending on the temperature. Based on this, analytical calculations and stability checks are performed for the flange assembly elements. An algorithm is proposed for the automatic calculation of flange assembly elements using Excel. Using ANSYS, are determined the maximum tightening forces and torques of the flange bolts depending on the working temperature and the type of gasket.

**Chapter 7**, entitled *"Experimental determination of the tribological and corrosion characteristics of the active elements of the parallel gate valve* ", aims to experimentally evaluate the corrosion and wear properties of the surfaces coated with Everslik and to compare them with theoretical results. First, the corrosion resistance of the coating layer is evaluated using an electrochemical corrosion test. In addition, the hardness of the surface of the coating layer and the metal surface is determined using a Vickers hardness tester. Next, the wear characteristics of the surface coated with "Everslik" are evaluated using HFRR and CSM tribometers and are compared with the theoretical results.

**Chapter 8** presents the general conclusions obtained through research on ways to increase the durability of the cut off valves for oil, personal contributions to this study and future research directions.

### BIBLIOGRAFIE

- [1] A. Cojocaru, "Coroziunea și Protecția Metalelor", Chimie Fizică și Electrochimie, pp. 161–163, (https://alili2001.files.wordpress.com/2014/12/m09\_chimfiz.pdf, accesat : Dec. 5, 2014).
- [2] A. Bădănac, "Contribuții Privind Studiul Comportării Depunerilor de Straturi Subțiri de Titan pe Sculele Așchietoare", Teză de doctorat, Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași, 2017, pp. 16–37.
- [3] D. Pavelescu, M. Muşat şi A. Tudor, "Tribologie", Editura didactică și pedagogică, București, 1977, pp. 6– 362.
- [4] D. I. Aurel, "Cercetări privind Degradarea și Restabilirea Stării de Funcționare a Elemenților Pompelor de Injecție", Teză de Doctorat, Universitatea "Transilvania" din Brașov, 2013, pp. 53–76.
- [5] G. Coman, "Influența Calității Oțelurilor Inoxidabile Clasa Martensitică Asupra Durabilității Turbinelor Hidraulice", Teză de doctorat, Universitatea Politehnica din București, 2018.
- [6] G. l. Daniel, "Tribologie Noțiuni Teoretice și Aplicații de Laborator", Universitatea din Craiova Facultatea de Mecanică, Craiova, 2018, pp. 59–76.
- [7] I. Tudor, "Tribologie", Editura Universității din Ploiești, 2001, pp.11–359.
- [8] I. Tudor, R. G. Rîpeanu, "Ingineria coroziunii" Vol.I și II, Editura Universității din Ploiești, Ploiești, 2002.
- [9] I. Tudor, Gh. Zecheru, Gh. Drăghici, E. L. Ilie, R. G. Rîpeanu, M.G. Petrescu, F. Dinu, D. Georgescu, B. Roşu, "Protecția Anticorozivă şi Reabilitarea Conductelor şi Rezervoarelor", Ed. Univ. Petrol-Gaze din Ploieşti, 2007.
- [10] I. Pătîrnac,"Cercetări Privind Prelucrarea cu Jet de Apă a Unor Materiale Metalice Utilizate în Industria Petrolieră și Petrochimică", Teză de doctorat, Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești, România, 2020.
- [11] L. Ștefănescu, L. Deleanu și M. Rîpă, "Lubrifiere și Lubrifianți", Editura Europlus, Galați, 2008, pp.11–332.
- [12] L. Benea, "Coroziune și Protecții Anticorozive de la Teorie la Practică", Editură academică, Galați, May 2017, pp. 12–250.
- [13] L. Suciu, M. Suciu, M. Ghereş, G. Bâlc, V. Roş şi M. Bejan, "Considerații Asupra Uzurii Tehnice de Aderență", A XI-a Conferență Națională Multidisciplinară – cu participare internațională, Sebeş, Alba 2011, pp.709– 714.
- [14] L. Suciu, M. Suciu, M. Ghereş, G. Bâlc, V. Roş şi M. Bejan, "Considerații Asupra Uzurii de Abraziune", A XII-a Conferență Națională Multidisciplinară – cu Participare Internațională, SEBEŞ, 2012, pp. 467–473.
- [15] M. D. Pascovici și T. Cicone," Elemente de tribologie", Editura Bren, București, 2001.
- [16] M. Iancu, " Cercetarea Tehnologiei de Încărcare la Interior cu Aliaje Dure a Suprafețelor de Etanşare ale Robinetelor și altor Elemente Similare din Industria Petrolieră", Teză de doctorat, Universitatea "Petrol Gaze" din Ploiești, 2014, pp. 1–90.
- [17] M. Radeş, "Analiza cu Elemente Finite", 2006, pp 1-2. (http://www.resist.pub.ro/wpcontent/uploads/2019/01/Rades/04%20M%20Rades%20-%20Analiza%20cu%20elemente%20finite.pdf, accesat: 01, 2019)
- [18] N. Faur, "Elemente Finite:Fundamente", Timişoara, 2002, pp.143-150, (http://www.mec.upt.ro/rezi/EFF.pdf)
- [19] P. Popescu, "Teacher, Program de Perfecționare Profesională, Tema 13: Echipamente mecanice din industria extractiva de petrol și gaze", PETROM EPS Mentenanta, 2011, pp 45-50. (https://fdocuments.net/document/tema-13-statice.html)
- [20] R. G. Rîpeanu, I. Tudor, Gh. Zecheru, C. Trifan, A. C. Drumeanu, A. Dinita, "Ingineria Coroziunii și Managementul Riscului Rețelelor Metalice de Distribuție a Gazelor Naturale", Editura Karta Graphic Ploiești, 2013.
- [21] R. G. Rîpeanu, "Coroziunea și Protecția Contra Coroziunii Conductelor", Editura Karta Graphic Ploiești, 2013
- [22] R. G. Rîpeanu, "Establish the Reliability of Piston-Cylinder Couple of Downhole Pumps", Sofia, Bulgaria, Journal of the Balkan Tribological Association, Vol.11, No.3, 2005, pp. 384-394.
- [23] Șt. M. Filip, "Contribuții Privind Evaluarea Stării de Degradare a Rețelelor Urbane de Distribuție a Gazelor Naturale", Teză de doctorat, Universitatea "Petrol Gaze" din Ploiești, 2016, pp. 41–63.
- [24] Şt. I. Maksay şi D.A.Bistrian, "Introducere în Metoda Elementelor Finite", Editura Cermi, Iaşi, 2008, pp.7-102.
- [25] V. Palade și D. Panțuru,"Recipiente cu Dispozitive de Amestecare Îndrumar de Proiectare", Editură Național, București, 2002, pp. 26-56.
- [26] V. Ispas, "Cercetări Privind Construcția Armăturilor Pentru Industria Petrolieră, Petrochimică și Nucleară", Teză de Doctorat, Universitatea "Petrol-Gaz" din Ploiești, 1995, pp. 6–154.
- [27] V. C. Cândea, "Metalurgia Pulberilor", (https://sim.utcluj.ro/stm/download/MetPulberi/Candea/CAP1.pdf)

- [28] \*\*\* Anexa A2 Petal petal sa: Materiale pentru robinete (https://www.petal.ro/product/anexa-a2/, accesat: 06. 2021)
- [29] \*\*\* "Cercetări Fundamentale și Aplicative Privind Realizarea Bronzurilor cu Ni, Al Destinate Recondiționării Elicelor Navale – Elnav : ETAPA II / 2007 - Cercetări fundamentale privind obținerea semifabricatelor deformabile și a electrozilor înveliți de tip CuNiAl", Autori: Universitatea Dunărea de jos Galați, Universitatea Politehnică din București – CEMS, S.C. Sudotim AS S.R.L. Timișoara, S.C. Tehnomag Cluj – Napoca, S.C. Icepronav Galați , Mai. 2007, pp.14–135. (https://ro.scribd.com/doc/252507470/raport2 , Încărcat de Roxana Morosanu)
- [30] \*\*\* Garnituri de etanșare Grafex, Garnituri de etanșare (https://grafex.ro/produse/garnituri-de-etanșare/)
- [31] \*\*\* "Manual de Sudare, Reparații și Recondiționări : Ghid Pentru Alegerea și Utilizarea Materialelor de Adaos Pentru Reparații și Întreținere ", Köln, Mai, 2001, pp 40-101.(https://www.sfera.com.ro/manuale/manual-desudare-reparatii-si-reconditionari.pdf , accesat : 06, 2021).
- [32] \*\*\* Robinet cu fluture (https://gisullab.com/jayou/4229, accesat: 23,11, 2015)
- [33] \*\*\* Robinet de reținere (http://blog.daum.net/skyf0808/7078177, accesat: 05,05, 2020)
- [34] \*\*\* Robinet Închidere din Fontă Tip Sertar cu Flanșe și Etanșare pe Cauciuc, Hidră, DN. 50mm, (https://www.romstal.ro/robinet-inchidere-din-fonta-tip-sertar-cu-flanse-si-etansare-pe-cauciuc-hidra-dn-50mm-p25962.html, accesat: 06.2021)
- [35] \*\*\* Robinet sertar PN100 | Recondi Brasov, (https://www.recondi.ro/produs/robineti-sertar/robineti-sertarcu-actionare-manuala/robinet-sertar-pn100/, accesat: 06. 2021)
- [36] \*\*\* 130 Robinet Sertar Oțel Forjat 150 Lbs Vane Industriale, (https://www.vaneindustriale.ro/robinetisertar-actionare-manuala/86-130-robinet-sertar-otel-forjat-150-lbs.html. accesat: 06. 2021)
- [37] \*\*\* Robinete ventil inox forjat PN138 | Vannes Europe (https://vannes.ro/robinete-cu-ventil-inox-forjatpn138/, accesat: 06. 2021)
- [38] \*\*\* Robinet sertar | Vannes Europe: Robinete Sertar ANSI 300 (https://vannes.ro/k/robinet-sertar/ , accesat: 06. 2021)
- [39] \*\*\* SR EN 1984: 2010, "Robinetărie Industrială, Robinete cu Sertar, de Oțel", ASRO (Organismul Național de Standardizare din România), 12.08.2016.
- [40] \*\*\* SR EN 1349: 2010, "Robinete de Reglare Pentru Procese Industriale", ASRO, 12.08.2016.
- [41] \*\*\* SR EN 593+A1: 2011, "Robinetărie Industrială, Robinete Metalice cu Fluture", ASRO, 12.08.2016.
- [42] \*\*\* SR EN 1983: 2014, "Robinetărie Industrială, Robinete cu Sferă de Oțel", ASRO, 12.08.2016.
- [43] \*\*\* SR EN 1171: 2016, "Robinetărie Industrială, Robinete cu Sertar de Fontă", ASRO, 12.08.2016.
- [44] \*\*\* SR EN 1503-1: 2002, "Robinete. Materiale Pentru Corpuri, Părți Superioare și Capace. Partea 1: Oțeluri Specificate în Standardele Europene", ASRO, 25.09.2002.
- [45] \*\*\* SR EN 1503-2: 2002, "Robinete. Materiale Pentru Corpuri, Părți Superioare și Capace. Partea 2: Alte Oțeluri decât cele Specificate în Standardele Europene", ASRO, 25.09.2002.
- [46] \*\*\* SR EN 1503-3: 2002, "Robinete. Materiale Pentru Corpuri, Părți Superioare și Capace. Partea 3: Fonte Specificate în Standardele Europene", ASRO, 25.09.2002.
- [47] \*\*\* SR EN 17001:2019, "Componente cu Acoperiri prin Pulverizare Termică. Specificația Acoperirii", Pulverizare termică, ASRO, 12.04.2019.
- [48] \*\*\* SR EN 17002:2019, "Componente cu Acoperiri prin Pulverizare Termică. Specificația Procedurii de Pulverizare Termică", Pulverizare Termică, ASRO, 12.04.2019.
- [49] \*\*\* SR EN 13507:2019, "Pre tratamentul Suprafețelor Pieselor și Componentelor Metalice pentru Pulverizare Termică", Pulverizare Termică, ASRO, 28.02.2019.
- [50] \*\*\* SR EN ISO 12670:2016, "Componente cu Acoperiri prin Pulverizare Termică. Condiții Tehnice de Livrare", Pulverizare Termică, ASRO, 31.03.2016.
- [51] \*\*\* SR EN ISO 14922-1:2004, "Condiții de Calitate pentru Structurile Obținute prin Pulverizare Termică. Partea 1: Ghid pentru Selecție și Utilizare", Pulverizare Termică, ASRO, 28.01.2004.
- [52] \*\*\* SR EN ISO 14922-2:2004, "Condiții de Calitate pentru Structurile Obținute prin Pulverizare Termică. Partea 2: Cerințe de Calitate Complete", Pulverizare Termică, ASRO, 28.01.2004.
- [53] \*\*\* SR EN ISO 14922-3:2004, "Condiții de Calitate pentru Structurile Obținute prin Pulverizare Termică. Partea 3: Cerințe de Calitate Standard", Pulverizare Termică, ASRO, 28.01.2004.
- [54] \*\*\* SR EN ISO 14922-4:2004, "Condiții de Calitate pentru Structurile Obținute prin Pulverizare Termică. Partea 4: Cerințe de Calitate Elementare", Pulverizare Termică, ASRO, 28.01.2004.
- [55] \*\*\* Termodinamic SRL, Robinete Sertar Pana, Fonta Cenusie (https://www.termodinamic.com/)
- [56] A. Fujiki and A. Ishibashi, "Characteristics of P/M Mo Steel for Valve Seat Inserts", The Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy, Vol.40, No.6, 06.1993, pp. 585–588.

- [57] A. Philip and P. E. Schweitzer, "Metallic Materials–Physical, Mechanical, and Corrosion Properties", Marcel Dekker, Inc., New York, 2003, pp. 11–38.
- [58] A. Mansouri, "A Combined CFD Experimental Method for Developing an Erosion Equation for both Gas-Sand and Liquid-Sand Flows". Ph. D. Thesis , The University of Tulsa, USA , 2016.
- [59] A. M. Lospa, C. Dudu, R. G. Ripeanu and A. Dinita, "CFD Evaluation of Sand Erosion Wear Rate in Pipe Bends Used in Technological Installations", DOI:10.1088/1757-899X/514/1/012009, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 514, 2019, pp. 1–8.
- [60] A. M. Osama and E. D. Huckaby, "Simulation of a Swirling Gas-Particle Flow Using Different k-epsilon Models and Particle-Parcel Relationships", Engineering Letters 18(1), Advance Online Publication, 1 Feb. 2010. pp.1-12.
- [61] A. Vencl, B. Ilija, B. Biljana, J. Kristina, S. Petr and K. Mara, "Erosive Wear Properties of ZA-27 Alloy-based Nanocomposites: Influence of Type, Amount, and Size of Nanoparticle Reinforcements", DOI: 10.1007/s40544-018-0222-x, Friction 7(4), 2019, pp. 340-350.
- [62] A. Berradja, "Electrochemical Techniques for Corrosion and Tribocorrosion Monitoring: Methods for the Assessment of Corrosion Rates", Corrosion Inhibitors, IntechOpen, July 2019, DOI:10.5772/intechopen.86743, pp. 1–26.
- [63] Akiko Ogawa, "Metal corrosion involving microorganisms", Journal of Biological Engineering, Vol.95, No.10, 2017, pp. 608–611.
- [64] Br. Nesbitt, "Handbook of Valves and Actuators: Valves Manual International", 1st Edition, Butterworth –Heinemann, June, 2007, pp. 311–336.
- [65] B. Bozzini, M. E. Ricotti, M. Boniardi and C. Mele, "Evaluation of Erosion–Corrosion in Multiphase Flow Via CFD and Experimental Analysis", Wear, Vol. 255, Issues 1–6, August–September 2003, pp. 237–245.
- [66] B. S. McLaury, S. A. Shirazi, R. S. John and F. R. Edmund, "Modeling erosion in chokes", Erosion processes: ASME, FED, Volume 236, July 1996, pp. 773–782.
- [67] B. C. Gowda, "Tensile Properties of SA 516, Grade 55, Steel in the Temperature Range of 25 °C 927 °C and Strain Rate Range of 10–4 to 10–1sec–1 ", ASME/CSME pressure vessels and piping conference, Montreal, Canada, 25 Jun. 1978.
- [68] C. Y. Wong, Chr. B. Solnordal and H. Morand, "Flexible Pipe Erosion Modelling", Eleventh International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries, CSIRO, Melbourne, Australia, 7-9 Dec. 2015, pp. 1–7.
- [69] C. Runge, "Mechanics of Solid Bodies in the Plastically Deformable State", in: R. V. Mises (Ed.), Klasse 4, 1 November 1913, pp. 582-592. (http://neo-classical-physics.info/uploads/3/0/6/5/3065888/von\_mises\_-\_plastic\_deformation.pdf, accesat: 06.2021)
- [70] Ch. B. Yeow, "Deformation and Stress Analysis of Gate Valves", Master's Thesis in Engineering, Nanyang Technological University School of Mechanical and Aerospace Engineering, 2009, pp.1-123.
- [71] C. Xianghui, B. S. McLaury and S. A. Shirazi, "Application and Experimental Validation of a Computational Fluid Dynamics (CFD)-based Erosion Prediction Model in Elbows and Plugged Tees", Computers & Fluids, Volume 33, 2004, pp. 1251-1272.
- [72] C. Dudu, R. G. Ripeanu, A. C. Drumeanu, A Dinita and A. M. Lospa, "Evaluation of the Corrosion Wear Speed of Different Equipment in the Water Injection Treatment Plant", Materials Science and Engineering, Vol. 514, 2019, pp. 1–8, DOI :10.1088/1757-899X/514/1/012008.
- [73] D. Ifezue and F.Tobins, "Failure Investigation of a Gate Valve Eye Bolt Fracture During Hydrotesting", Journal of Failure Analysis and Prevention, Vol. 13, 2013, pp. 249-256.
- [74] D.S.Shivaji and S.S.Dharmarao, "Stress Analysis of Gate Valve by ANSYS", DAV International Journal of Science, Vol.3, Issue1, 2014, pp.33-41.
- [75] D. Loveday, "Electrochemical Corrosion Rate Measurement A Comparison", Gamry Instruments, pp. 1–54, (https://www.gamry.com/assets/Uploads/Electrochemical-Corrosion-Measurements.pdf, accesat : Dec. 5, 2014).
- [76] D. A. Smith, "T-09-113 –Wear and Friction Analysis of Thin Coatings An in-depth Study of the Tribological Properties of Thin Coatings on Stainless Steel Substrates Using a CSM Instruments Tribometer", pp.1-20, (https://www.silcotek.com/hs-fs/hub/22765/file-341679011-pdf/docs/t-09-113\_silcotek\_tribology\_testing\_final\_report.pdf)
- [77] E. Lyublinski, Ye. Vaks, G. Begunova, E. Kopilova, M. Schultz and R. Singh, "Corrosion Protection of Flanges and Valves", International Journal of Corrosion and Scale Inhibition, Vol. 3, Issue 4, 2014, pp 279–285.
- [78] E.M.K.Hillier and M.J.Robinson, "Hydrogen Embrittlement of High Strength Steel Electroplated with Zinc–Cobalt Alloys", Corrosion Science, Vol.46, Issue 3, March 2004, pp. 715–727.
- [79] F. Darihaki, J. Zhang and S. A. Shirazi, "Solid Particle Erosion in Gradual Contraction Geometry for a Gas-Solid System", Wear, 426–427, 2019, pp. 643–651.

- [80] F. P. Beer, E.R.Johnston, Jr. J.T.Dewolf and D.F.Mazurek, "Mechanics of Materials", Sixth Edition, McGraw-Hill, New York, 2012, pp. 704-706.
- [81] G. V. Messa, N. Marco, Y. Wang and M. Stefano, "Estimation of the Useful Lifetime of a Gate Valve Subjected to Impact Erosion", AIMETA 2017, XXIII Conference, The Italian Association of Theoretical and Applied Mechanics, Salerno, Italy, 4–7 September 2017, pp. 147–163.
- [82] G. Hui, H. S. Xia and J. Xiaoming, "Research of New Composite Solid Lubricant Coating", Tool technology, Vol.46, No. 9, 2012, pp. 51–53.
- [83] G. N. Kolesnikov and E. A. Tikhonov, "Influence of the Angle of Taper of Output Channel of Wedge Gate Valve on the Movement of a Liquid", Chemical and Petroleum Engineering, Vol. 52, Issue 9–10 January, 2017, pp. 707-709.
- [84] G. Kear and F. C. Walsh, "The characteristics of a true Tafel slope", Corrosion & Materials , Vol. 30, No. 6, December 2005, pp. 1–4.
- [85] Goro Ito, "Aqueous Corrosion of Ferrous Materials at Elevated Temperature", Technical Information, Iron and steel, No.2, UDC 669. 14. 019. 355. 2: 669. 14. 019. 52, April 23, 1976, pp. 147-162.
- [86] H. Tsuda, N. Suzuki, S. Ishizuka and Ts. Kurikuma, "Effects of Molybdenum and Vanadium on Properties at Elevated Temperature of High Silicon Spheroidal Graphite Cast Iron", Journal of Japan Foundry Society, Vol. 76, No. 10, 2004, pp. 815–822.
- [87] H.Czichos, "Tribology : A System Approach to the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear", 1st Edition, Elsevier Science, 1st April 2000, pp.119–123.
- [88] H. Arabnejad, A. Mansouri, S. A. Shirazi and B. S. McLaury, "Evaluation of Solid Particle Erosion Equations and Models for Oil and Gas Industry Applications", DOI:10.2118/174987-MS, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Houston, Texas, USA, Sep. 28–30, 2015, pp.1–20.
- [89] H. A. Khanouki, "Development of Erosion Equations for Solid Particle and Liquid Droplet Impact", Dissertation, University of Tulsa, 2015, pp. 1–107.
- [90] H. Wu, J.-ye Li and Zh.-xin Gao, "Flow Characteristics and Stress Analysis of a Parallel Gate Valve", MDPI, Processes, Vol. 7, Issue 11, November 2019, pp. 1-13.
- [91] H. Reismann and P. S. "Pawlik, Elasticity: Theory and Applications", John Wiley & Sons Inc., August 1980, pp. 370-425.
- [92] I. Finnie, "Erosion of Surfaces by Solid Particles", Wear, Volume 3, Issue 2, March-April 1960, pp. 87–103.
- [93] I. Barsoum and A. Muñoz, "Failure Analysis of a Large Knife Gate Valve Subjected to Multiaxial Loading", ASME 2017 Pressure Vessels and Piping Conference, Waikoloa, Hawaii, USA, 16–20 July, 2017, pp.1-6.
- [94] J. K. Edwards, B. S. McLaury and S. A. Shirazi, "Modeling Solid Particle Erosion in Elbows and Plugged Tees," DOI: https://doi.org/10.1115/1.1413773, ASME, Journal of Energy Resources Technology, Volume 123, Issue 4, December 2001, pp. 277-284.
- [95] J. Xiao, J.-min Chen, H.-di Zhou and P. Huang, "Research on Solid Film Lubricant And Its Failure For Seeker Valve", DOI:10.1108/00368790910929494, Industrial Lubrication and Tribology, Vol. 61 Issue 1, February 2009, pp. 22–26,
- [96] J. Jiang, W. P. Yan, G. Q. Li, "Analysis on Micro-motion of Cylinder Block Based on Elasto-Hydrodynamic Lubrication", DOI:10.1108/ilt-04-2019-0120, Industrial Lubrication and Tribology, Vol. 72 Number 5, 2020, pp. 645–650.
- [97] J. H. Ri, R. G. Ripeanu and A. Dinita, "Erosion Modeling in Parallel Gate Valve", FME Transactions, Vol. 48, No 4, 2020, pp. 808-815.
- [98] J. H. Ri and R. G. Ripeanu, "Modeling Analysis of the Valve Flange with Octagonal Ring Gasket Under the Influence of Temperature", Scientific Bulletin of University "Politehnica" of Bucharest Series D, 83 (4), 2021, pp.239-252, ISSN 1454-2358(print), ISSN 2286-3699(online).
- [99] J.H. Ri, R.G. Ripeanu and A. Diniță, "Erosion Modeling of Coated Gate Valves", Tribology in Industry, Vol. 44, No. 1, 2022, pp. 113-122, DOI: 10.24874/ti.1145.06.21.09, ISSN: 0354-8996 (print version); 2217-7965 (online version), Kragujevac, Serbia.
- [100] J.H. Ri and R. G. Ripeanu, "Evaluation of the Wear and Corrosion Resistance of Coated Parallel Gate Valve", Tribology and Materials, Vol.1, No.1, 2022, pp.11-20, ISSN 2812-9717, Belgrade, Serbia, 2022.
- [101] Jian Dongmei, "Study on Wear Resistance of the Electrodes of Cr13 Alloy System for Valve Sealing Surface", Teză de Master, Jilin University, 2007.
- [102] J. Chen, B. Young, and Brian Uy, "Behavior of High Strength Structural Steel at Elevated Temperatures", Journal of Structural Engineering, Materials Science, Vol.132, No. 12, 2006, pp. 1945-1954.

- [103] J. Abou-Jahjah and J. Dobránszky, "Mechanical Properties Improvement of Low Carbon Steel by Combined Heat Treatments", (https://core.ac.uk/download/pdf/11857591.pdf, accesat : 06, 2021).
- [104] K. Ito, S. Wakai, H. Tsurumaru, T. Iino, K. Mori, T. Uchiyama, O. Miki and Sh. Harayama, " Iron Corrosion by Methane Producing Archaea (MPA) and Sulfate Reducing Bacteria (SRB) Utilizing Metallic Iron as an Electron Donor", Japanese Journal of Materials and Environment, Vol. 60, No 9, 2011, pp. 402–410.
- [105] K. Ohnishi, A. Fuji, R. Chiba, T. Adachi, K. Naito and H. Okada. "Effects of Strip Overlay Welding Conditions on Resistance to Hydrogen Induced Disbonding – Study on Stainless Steel Overlay Welding Process of Superior Resistance to Disbonding (Report I) – ", Quarterly Journal of the Japan Welding Society, Vol.1, No.3, 1983, pp. 377–384.
- [106] K. Sotoodeh, "A Review of Valve Stem Sealing to Prevent Leakage from the Valve and Its Effect on Valve Operation", DOI:10.1007/s11668-020-01050-1, Journal of Failure Analysis and Prevention, Vol. 21, Issue 1, February 2021, pp. 9-16.
- [107] K. B. Wan, "Theory of Composite Making Process by Casting Process and Its Prospect", (https://www.reseat.or.kr > cmmn > file > fileDown, accesat: Sep. 8, 2004)
- [108] K. Sotoodeh, "A Review and Analysis of Industrial Valve Material Failures Due to Corrosion and Proposals for Prevention Measures Based on Industrial Experiences in the Offshore Sector of the Oil and Gas Industry", DOI:10.1007/s11668-020-01064-9, Journal of Failure Analysis and Prevention, Vol. 21, Issue 1, February 2021, pp. 261-267.
- [109] K.Punitharani, N.Murugan and S.M.Sivagami, Finite element analysis of residual stresses and distortion in hard faced gate valve, Journal of Scientific and Industrial Research, Vol. 69, Feb. 2010, pp.129-134.
- [110] L. Fedrizzi, S. Rossi, F. Bellei and F. Deflorian, "Wear–Corrosion Mechanism of Hard Chromium Coatings", Wear, No.253, August 2002, pp.1173–1181.
- [111] M. Okano and H. Hotta, "Study on the Materials for Valve Seatings at High Temperature and High Pressure (3rd Report)", Announced at the Tokyo Convention, Vol.14, No. 5, 1950, pp. 50–52.
- [112] M. Okano and H. Hotta, "Study on the Materials for Valve Seatings at High Temperature and High Pressure (4th Report)", Announced at the Tokyo Convention, Vol.15, No. 7, 1951, pp. 305–306.
- [113] M. Okano and H. Hotta, "Study on the Materials for Valve Seatings at High Temperature and High Pressure (5th Report)", Announced at the Tokyo Convention, Vol.16, No. 4, 1952, pp. 225–228.
- [114] M. Varenberg, "Towards a Unified Classification of Wear", Research Article, Friction, Vol. 1, Issue 4, December 2013, pp. 333–340.
- [115] M.A. Al-Baghdadi, K. K. Resan and M. Al-Waily, "CFD Investigation of the Erosion Severity in 3D Flow Elbow During Crude Oil Contaminated Sand Transportation", Engineering and Technology Journal, Vol. 35, Part A, No. 9, May 2017, pp. 930–935.
- [116] M. Kobayashi, "Heat Resistant Hardfacing for Valves", Journal of the Japan Welding Society, Vol. 40, No. 10, 1971, pp. 34–40.
- [117] M. Badicioiu, M. Caltaru, C. Teodoriu and M. Minescu, "Investigations on the Mud Pumps Valves Repair Using Hard Metal Depositing by Welding", ASME 2018 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, Madrid, Spain, June 17-22. 2018, pp.1–7.
- [118] M. Caltaru, M. Badicioiu and R. G. Ripeanu, "Establishing the Tribological Behavior of the HVOF Hardfacing Applied at Petroleum Gate Valves", Journal of the Balkan Tribological Association, Vol.19, No.3, September 2013, pp. 448–460.
- [119] M. Balaceanu, V. Braic, A. Kiss, C. N. Zoita, A. Vladescu, M. Braic, I. Tudor, A. Popescu, R. G. Ripeanu, C. Logofatu and C. C. Negrila, "Characteristics of arc plasma deposited TiAlZrCN coatings", Surface and Coatings Technology, Vol. 202, No. 16, May 2008, pp. 3981–3987, DOI :10.1016/j.surfcoat.2008.02.005.
- [120] M. Braic, V. Braic, M. Balaceanu, C.N. Zoita, A. Kiss, A. Vladescu, A.Popescu and R. G. Ripeanu, "Structure and properties of Zr/ZrCN coatings deposited by cathodic arc method", Materials Chemistry and Physics, Vol.126, Issue 3, April 15. 2011, pp. 818–825.
- [121] M. L. Kuz'mitskii and N. M. Ksenofontov, "Corrosive Wear of Gate and Valve Metal Structures at Navigation Locks and Assessment of Their Remaining Lifetime", Power Technology and Engineering, Vol. 50, No. 2, July, 2016, pp. 164-167, DOI:10.1007/s10749-016-0677-8.
- [122] M. Parsi, K.N.F. Najafifard, S. Hassani, B.S. McLaury and S.A. Shirazi, "A Comprehensive Review of Solid Particle Erosion Modeling for Oil and Gas Wells and Pipelines Applications", Journal of Natural Gas Science and Engineering, Vol.21, November 2014, pp. 850-873, DOI:10.1016/j.jngse.2014.10.001.
- [123] M. M. Zakirnichnaya and I. M. Kulsharipov, "Wedge Gate Valves Selected during Technological Pipeline Systems Designing Service Life Assessment", International Conference on Industrial Engineering, ICIE, Procedia Engineering, Vol. 206, December 2017, pp. 1831-1838, DOI:10.1016/j.proeng.2017.10.721.

- [124] M. Ramadan, "Interface Characterization of Bimetallic Casting with a 304 Stainless Steel Surface Layer and a Gray Cast Iron Base", DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1120-1121.993, Advanced Materials Research Vol. 1120-1121, July 2015, pp. 993-998.
- [125] M. Ramadan, N. Fathy, K. S. A. Halim and A. S. Alghamdi, "New trends and advances in bi-metal casting technologies", International Journal of Advanced and Applied Sciences, Vol.6, No.2, 2019, pp. 75-80.
- [126] M. Cholewa, T. Wróbel and S. Tenerowicz, "Bimetallic layer castings", Journal of Achievements of Materials and Manufacturing Engineering, Vol.43, Issue 1, Nov. 2010, pp.385-392.
- [127] M. A. Habib, H. M. Badr, M. S. Syed and B.-M. Rached, "Solid-Particle Erosion in the Tube end of the Tube Sheet of a Shell-and-Tube Heat Exchanger", DOI:10.1002/fld.1083, International Journal for Numerical Methods in Fluids, Volume 50, Issue 8, March 2006, pp. 885-909.
- [128] N. Lin, H.-Q. Lan, Y.-G. Xu, Y. Cui and G. Barber, "Coupled Effects between Solid Particles and Gas Velocities on Erosion of Elbows in Natural Gas Pipelines", Procedia Engineering, Vol.102, 2015, pp. 893– 903, DOI:10.1016/j.proeng.2015.01.210.
- [129] N. H. Kamarudin, R. A K. Prasada and A. Azhari, "CFD Based Erosion Modelling of Abrasive Waterjet Nozzle using Discrete Phase Method", IOP Conference Series Materials Science and Engineering, Vol.114, Issue 1, February 2016, pp.1-8, DOI:10.1088/1757-899X/114/1/012016.
- [130] O. Jinlin, N. Shuqin, R. Husheng and Zh. Jiapei, "Study on Nichel Alloy Base Self: Lubricating Composite", Tribology, Vol.13, No.1, jan.1993, pp. 33–47.
- [131] P. L. Skousen," Valve Handbook", 3rd Edition, McGraw-Hill Companies, Inc., 2011, pp. 49–53.
- [132] R. G. Ripeanu, M. Minescu and Cr. A. Nita, "Wear Behavior of Antifriction Coatings Applied at Parallel Gate Valves", Journal of the Balkan Tribological Association, Vol.22, Issue 1, 2016, pp. 240–249.
- [133] R. G. Ripeanu, V. Ulmanu and M. Minescu, "Tribological Characterisation of HVOF Hardfacing Applied at Parallel Slide Gate Valves", OilDoc Conference 2013, Lubricants, Maintenance, Tribology (Rosenheim, Germany, 22-24 January), 2013, pp. 1–6.
- [134] R. G. Ripeanu, A. Ispas and D. Ispas, "Experimental Analysis of Axial and Radial Stress Distribution in Soft Materials Used for Petrochemical Valve Stem Sealing Package", IOP Conference Series : Materials Science and Engineering, Vol. 174, Issues 1, February 2017, pp.1-7, DOI:10.1088/1757-899X/174/1/012004.
- [135] R. M. Cornell and U. Schwertmann, "The Iron Oxides : Structure, Properties, Reactions, Occurrences and Uses", 2nd Edition, E-Book, ISBN: 978-3-527-60644-3, December 2006, pp. 345–364.
- [136] R.H.Al-Khayat, M.A.R.S.Al-Baghdadi, R.Az.Neama and M.Al-Waily, "Optimization CFD Study of Erosion in 3D Elbow During Transportation of Crude Oil Contaminated with Sand Particles", International Journal of Engineering and Technology, Vol. 7, Issue 3, July 2018, pp. 1420–1428.
- [137] Sh.Toshima, T. Tsuru, Sh. Haruyama, Y. Nakagawa and Y. Hirose, "Effect of Water Contents and Dissolved Oxygen on Corrosion Behaviour of Iron in Methanol", Journal of the Japan Institute of Metals, Vol. 54, No. 9, 1990, pp. 1018–1023.
- [138] S. Rossi, L. Fedrizzi, M. Leoni, P. Scardi and Y. Massiani, "(Ti,Cr)N and Ti/TiN PVD Coatings on 304 Stainless Steel Substrates: Wear-Corrosion Behaviour", Thin Solid Films, Vol. 350, Issues 1–2, 15 Aug. 1999, pp. 161–167.
- [139] S. M. Sharma and A. Anand, "Solid Lubrication in Iron Based Materials A Review", Tribology in Industry, Vol. 38, No. 3, 2016, pp. 318–331.
- [140] S.-R. G.-González, R. Marcelo, and G. Francois, "Assessment Study of k-ε Turbulence Models and Near-Wall Modeling for Steady State Swirling Flow Analysis in Draft Tube Using Fluent", DOI: 10.1080/19942060.2011.11015386, Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, Volume 5, Issue 4, December 2011, pp. 459-478.
- [141] S, Choudhury, "Stress Analysis of Thick Walled Cylinder", Mechanical Engineering Master's Thesis, National Institute of Technology Rourkela, India, (http://ethesis.nitrkl.ac.in/5203/1/109ME0365.pdf, accesat: 2013)
- [142] Shin Kawamoto, Susumu Shintani, Takumi Sone and Kunio Okabayashi, "Relation Between Wear Characteristics and the Temperature of Friction Surface at the Carbon Steel and 17Cr Stainless Steel", Journal of the Japan Institute of Metals, Vol. 37, Issue 04, 1973, pp. 1236–1242.
- [143] Seiji Nishikiori, Tatsuo Fujiwara and Akio Arakawa, "A Study on Nickel-Saving Valve Steel Characteristics of Various Cr-Mn-N Valve Steels", Electric steelmaking, Vol. 30, Issue 5, 1959, pp. 398–439.
- [144] T. Ozaki and Y. Ishikawa, "Intergranular Corrosion of 13Cr and 17Cr Martensitic Stainless Steels in Accelerated Corrosive Solution and High–Temperature, High–Purity Water", Journal of the Japan Institute of Metals, Vol. 52, No.12, 1988, pp. 1276–1284.
- [145] T. John and Jr. Burwell, "Survey of Possible Wear Mechanisms", Wear, Vol. 1, Issue 2, October 1957, pp, 119–141.

- [146] T.-H. Shih, W. L. William, Sh. Aamir, Zh. Yang and Z. Jiang. "A New k-ε Eddy Viscosity Model for High Reynolds Number Turbulent Flows – Model Development and Validation", Computers & Fluids, Vol. 24, No. 3, September 1994, pp. 227-238.
- [147] T.E.Boye, T.C.Nwaoha and O.I.Adeyemi, "Finite Element Analysis and Design Validation of High Pressure Gate Valve for a Typical Nigerian Oil Wellhead", Journal of multidisciplinary engineering science and technology, Vol. 3 Issue 7, July 2016, pp.5296-5306.
- [148] Tomoe Yasuyoshi and Honda Hiroshi, "Recent challenges related to corrosion and its prevention in crude oil development", Oil and natural as review, Vol. 43, No. 4, 2009, pp. 73–85.
- [149] Tomoe Yasuyoshi and Kazuaki Miyata, "Corrosion in Petroleum Development and Recent Initiatives at the Petroleum Development Technology Center", Oil and natural as review, No.07, 2001, pp.115-129. (https://oilgas-info.jogmec.go.jp/\_res/projects/default\_project/\_project\_/pdf/0/398/200107\_115a.pdf, accesat : Feb. 16, 2018).
- [150] U. Schwertmann and R. M. Cornell, "Iron Oxides in the Laboratory: Preparation and Characterization", 2nd Edition, July 2000, pp. 5–18.
- [151] V. Singh, S. Kumar and S. K. Mohapatra, "Modeling of Erosion Wear of Sand Water Slurry Flow through Pipe Bend using CFD", DOI:10.29252/jafm.12.03.29199, Journal of Applied Fluid Mechanics, Vol. 12, No. 3, 2019, pp. 679–687.
- [152] V. Ulmanu, M. Călţaru and M. Bădicioiu, "Preliminary Research Regarding the Hardfacing of Petroleum Gate Valves by Using High Velocity Oxygen Fuel Technology", Journal of the Balkan Tribological Association, Vol.15, Issue 2, January 2009, pp. 206–211.
- [153] W. E. Luecke, St. W. Banovic and J. D. McColskey, "High-Temperature Tensile Constitutive Data and Models for Structural Steels in Fire", National Institute of Standards and Technology, Technical Note 1714, Nov. 2011, pp. 8-27.
- [154] W. E. Luecke, J. D. McColskey, Chr. N. McCowan, St. W. Banovic, R. J. Fields, T. Foecke, Th. A. Siewert, and Fr. W. Gayle. "Federal building and fire safety investigation of the World Trade Center disaster : Mechanical Properties of Structural Steels (Draft)", National Construction Safety Team Act Reports (NIST NCSTAR) 1-3, National Institute of Standards and Technology, September 1, 2005, pp.11-126.
- [155] X.-L.Gao. "Elasto-plastic Analysis of an Internally Pressurized Thick-Walled Cylinder Using a Strain Gradient Plasticity Theory", International Journal of Solids and Structures, Vol. 40, Issue 23, November 2003, pp. 6445-6455.
- [156] Yuichi Tokita, Tatsuya Nakagaito, Yoshikiyo Tamai and Toru Inazumi, "Sliding Behavior of Steel Sheets at High Temperature", Journal of the JSTP, Vol.55, No.642, 07.2014, pp.38-43.
- [157] Y. I. Oka and T. Yoshida. "Practical estimation of erosion damage caused by solid particle impact: Part
   2: Mechanical properties of materials directly associated with erosion damage", DOI:10.1016/j.
   wear.2005.01.040, Wear 259(1), July 2005, pp. 102–109.
- [158] Y.-Y.Wang, C.-J.Li and A.Ohmori, "Influence of Substrate Roughness on the Bonding Mechanisms of High Velocity Oxy-fuel Sprayed Coatings", DOI:10.1016/j.tsf.2005.03.024, Thin Solid Films, Vol. 485, Issues 1– 2, Aug. 2005, pp. 141–147.
- [159] Y. S. Muzychka and M. M. Yovanovich, "Laminar Flow Friction and Heat Transfer in Non–Circular Ducts and Channels Part I – Hydrodynamic Problem", Compact Heat Exchangers, Grenoble, France, August 24, 2002. pp. 1–8, (http://www.mhtl.uwaterloo.ca/pdf\_papers/mhtl02-11.pdf.)
- [160] Yi Xiaoyong, "Experimental Research on Composite Solid Lubricating Film", Teză de master, Jiangsu University, 2010.
- [161] Zhao Zhongsheng. "Measuring the Valve Leakage Rate by Applying Pressure Approach", Applied Science and Technology, DOI: 10.11991/yykj.201703016, Vol.44, No.2, 2017, pp 95-98.
- [162] Zr.Uzi and B.-Y. Pinhas, "Alternative Designs Towards Thermal Optimization of Coated Valves Using Space-time Finite Elements", International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow, Vol. 4 Issue 3, 1994, pp. 189–206.
- [163] \*\*\* API Standard 602: 1993, "Compact Steel Gate Valves Flanged, Threaded, Welding, and Extended-Body Ends", American Petroleum Institute, june 1993.
- [164] \*\*\* API Standard 600: 1997, "Steel Gate Valves–Flanged and Butt Welding Ends, Bolted and Pressure Seal Bonnets", American Petroleum Institute, feb.1997.
- [165] \*\*\* API Standard 600 : 2001, "Bolted Bonnet Steel Gate Valves for Petroleum and Natural Gas Industries", American Petroleum Institute, 1 October 2001.
- [166] \*\*\* API Specification 6D, ISO 14313:1999, MOD, "Petroleum and natural gas industries Pipeline transportation systems–Pipeline valves", American Petroleum Institute, Twenty-second Edition, January 2002.

- [167] \*\*\* ASME B16.34: 2004(Revision of ASME B16.34: 1996), "Valves-Flanged, Threaded, and Welding End", American National Standard, New York, September 2, 2005.
- [168] \*\*\* ASME B16.34: 2013(Revision of ASME B16.34: 2009), "Valves Flanged, Threaded, and Welding End", American National Standard, New York, March 29, 2013.
- [169] \*\*\* ASME B16.20: 2007(Revision of ASME B16.20: 1998), "Metallic Gaskets for Pipe Flanges -Ring-Joint, Spiral-Wound, and Jacketed", American National Standard, New York, May 19, 2008.
- [170] \*\*\* ASME B16.20 : 2012(Revision of ASME B16.20 : 2007), "Metallic Gaskets for Pipe Flanges-Ring-Joint, Spiral-Wound, and Jacketed", American National Standard, New York, June 25, 2013.
- [171] \*\*\* ASME PCC-1:2019(revision of ASME PCC-1:2013),"Guidelines for Pressure Boundary Bolted Flange Joint Assembly", American National Standard, September 30, 2019.
- [172] \*\*\* ASME PCC-1:2010(revision of ASEM PCC-1:2000),"Guidelines for Pressure Boundary Bolted Flange Joint Assembly ", American National Standard, March 5, 2010.
- [173] \*\*\* ASTM G5–94, Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements, American Society for Testing and Materials, May 1994.
- [174] \*\*\* ASTM E92–17, "Standard Test Methods for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials", ANSI, DOI:10.1520/E0092-17, May 2017, (https://www.koopaco.com/standards/ASTM-E92-17-3-01-standard-test-vickers-knoop-hardness.pdf)
- [175] \*\*\* ASTM A351 Grade CF8 Heat-Treated Austenitic Stainless (https://matmatch.com/materials/minfm66886-astm-a351-grade-cf8-heat-treated, accesat: 06. 2021)
- [176] \*\*\* ASTM A193 Grade B7 Specification: High Temperature High Pressure Bolting Material (https://www.a193gradeb7.com/specification/, accesat: 06. 2021)
- [177] \*\*\* Alloy Steel ASTM A217 GRADE WC6 Sand Casting (http://www.castingquality.com/castingspicture/Alloy-Steel-ASTM-A217-GRADE-WC6.pdf, accesat: 06. 2021)
- [178] \*\*\*An International Code, "Rules for Construction of Pressure Vessels", VIII Division 2 Alternative Rules, 2007 ASME Boiler & Pressure Vessel Code, The American Society of Mechanical Engineers, July 1, 2007, pp. 305(4)-343(4).
- [179] \*\*\* BME's Complete History of Valves | Who Invented the Valve? (bmengineering.co.uk), The History of Valve (ntgdvalve.com) (https://www.bmengineering.co.uk/the-complete-history-of-valves/)
- [180] \*\*\* "Basics of Corrosion Measurements Application Note CORR-1", Princeton Applied Research, 801 S, pp.1–13, (https://www.ameteksi.com/-/media/ameteksi/download\_links/documentations/library/princetonappliedresearch/application\_note\_corr-1.pdf?revision=72ff248d-93aa-470e-a16b-ea23a8f8148a)
- [181] \*\*\* "Design Guidelines for the Selection and Use of Stainless Steel", A Designers, Handbook Series, 9014, American Iron and Steel Institute and Specialty Steel Institute of North America, pp. 1-18. (https://nickelinstitute.org/media/1667/designguidelinesfortheselectionanduseofstainlesssteels\_9014\_.pdf, accesat: 06. 2021)
- [182] \*\*\* Designation: G 99 95a (Reapproved 2000), "Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus", ASTM, pp.1-6, (https://lopezva.files.wordpress.com/2011/09/g99.pdf, 09,2011)
- [183] \*\*\* Ever-Slik 1201-Everlube Products (https://everlubeproducts.com/prod/docs/tds/Everslik1201TDS.pdf, accesat: 06. 2021)
- [184] \*\*\* Ever-Slik 1301-Everlube Products (https://everlubeproducts.com/prod/docs/tds/Everslik1301TDS.pdf, accesat: 06. 2021)
- [185] \*\*\* Ever-Slik 1221-Everlube Products (https://everlubeproducts.com/prod/docs/tds/Everslik1221TDS.pdf, accesat: 06. 2021)
- [186] \*\*\* EN 1092-1:2001, "Flanges and their Joints Circular Flanges for Pipes, Valves, Fittings and Accessories, PN Designated Part 1: Steel Flanges", European Committee for Standardization, 12.2001.
- [187] \*\*\* EN 1092-1:2007+A1, "Flanges and their Joints Circular Flanges for Pipes, Valves, Fittings and Accessories, PN Designated Part 1: Steel Flanges", European Committee for Standardization, 01.2013.
- [188] \*\*\* EN 1092-2:1997, "Circular Flanges for Pipes, Valves, Fittings and Accessories, PN Designated Part2 : Cast Iron Flanges", European Committee for Standardization, 06.01.1997.
- [189] \*\*\* Gate Valves Bonney Forge®: Welded Bonnet Gate 2500 lb. & 4500 lb. valves, p.14 (https://bonneyforge.com/resources/FSV01.pdf, accesat: 06. 2021)
- [190] \*\*\* "Gasket Handbook",1st Edition, FSA (Fluid Sealing Association, USA) and ESA (European Sealing Association, France), 2017, pp. 22-138.
- [191] \*\*\* "Gasket & Fastener Handbook A Technical Guide To Gasketing & Bolted Flanges", Lamons, 2016, pp. 17-186,

- [192] \*\*\* High Load Coatings Everlube Products (https://everlubeproducts.com/wp-content/uploads/2018/09/High-Load-Coatings.pdf, accesat : 09. 2018)
  [193] \*\*\* ISO 14313 : 2007 (Identical), "Petroleum and natural gas industries-Pipeline transportation systems-Pipeline valves", American Petroleum Institute, Second Edition, April 2008.
  [194] \*\*\* ISO 10434 : 2020, "Bolted Bonnet Steel Gate Valves for the Petroleum, Petrochemical and Allied Industries", 1 August 2020.
  [195] \*\*\* ISO 15614-1:2017, "Specification and Qualification of Welding Procedures for Metallic Materials – Welding Procedure Test-Part1: Arc and Gas Welding of Steels and Arc Welding of Nickel and Nickel Alloys", International Standard, Second Edition, 06. 2017.
  [196] \*\*\* ISO 15614-3:2008(E), "Specification and qualification of welding procedures for metallic materials – Welding procedure test – Part 3: Fusion welding of non-alloyed and lowalloyed cast irons", International Standard, 03. 2008.
- [197] Ion Vasîlca, Catalog 2011 petal sa, Oil & Gas Equipment, pp. 27-35, (https://www.petal.ro/wpcontent/uploads/2019/10/Catalog-PETAL-2011-ro-en.pdf, accesat: 10. 2019)
- [198] \*\*\* Modengy lubricants for lock and control valves ATF.RU (http://www.atf.ru/en/articles/materialy\_dlya\_promyshlennogo\_oborudovaniya/smazochnye\_materialy\_mol ykote\_dlya\_zapornoy\_i\_reguliruyushchey\_armatury/, accesat: 06. 2021)
- [199] \*\*\* Nickel Plating E.N.P., BBD srl Valve Components (http://www.bbdsrl.it/quality/material-quality-treatments-and-coatings/nickel-plating-n-p/?lang=en, accesat : 06, 2021)
- [200] \*\*\* Ni-Silicon Carbide Plating | BBD srl Valve Components (http://www.bbdsrl.it/quality/material-qualitytreatments-and-coatings/ni-silicon-carbide-plating/?lang=en, accesat : 06, 2021)
- [201] \*\*\* NORSOK M-506 "CO<sub>2</sub> Corrosion Rate Calculation Published", Edition 3, June 2017, pp.1-24.
- [202] \*\*\* Oil & Gas Industry Valve Lubrication (http://pteplus.com/files/RS%20Clare%20-%20Valve%20Lubricants%20Brochure%20PTE%20Plus.pdf, accesat: 06. 2021)
- [203] \*\*\* Recent trends in Hot Isostatic Pressing (HIP) technology: Part 1 Equipment, (https://www.pm-review.com/articles/recent-trends-in-hot-isostatic-pressing-hip-technology-part-1-equipment/)
- [204] \*\*\* Recent trends in Hot Isostatic Pressing (HIP) technology: Part 2 Powder based HIP products, (https://www.pm-review.com/articles/recent-trends-in-hot-isostatic-pressing-hip-technology-part-2-powder-based-hip-products/)
- [205] \*\*\* "Recommended Practice RPO 501: Erosive Wear in Piping Systems ", Revision 4.2-2007, Det Norske Veritas (DNV), November 12, 2007, pp.10-15, (https://rules.dnv.com/docs/pdf/dnvpm/codes/docs/2007-11/RP-O501.pdf).
- [206] \*\*\* RS Clare 701 Heavy Duty Gate Valve Sealants (https://shop.dnow.com/no/product/rs-clare-701-valve-sealants, accesat: 06. 2021)
- [207] \*\*\* Solid lubricant coating is NASA's Invention of the Year (https://www.aerospacemanufacturinganddesign.com/article/solid-lubricant-coating-nasa-invention-year-072418/, accesat: 24 July 2018)
- [208] \*\*\* Stainless Steel Gate Valve Price List, Ss Gate Valves, (https://www.zecovalve.com/products/stainlesssteel-gate-valve.html, accesat: 06. 2021)
- [209] \*\*\* Stainless Steel-Grade 304, (https://www.dm-consultancy.com/TR/dosya/1-59/h/aisi-340-info.pdf, accesat: 06. 2021)
- [210] \*\*\* Specification Sheet: Alloy 316/316L Sandmeyer Steel (https://www.sandmeyersteel.com/images/316-316l-317l-spec-sheet.pdf, accesat: 06. 2021)
- [211] \*\*\* Stainless Steel Types 321, 347 and 348 (http://www.metserve.co.za/pdf/al321.pdf, accesat: 06. 2021)
- [212] \*\*\* Thermal spray coatings to protect ball valves (https://www.ee.co.za/article/thermal-spray-coatings-toprotect-ball-valves.html, accesat : 24 July 2018)
- [213] \*\*\* Types of Gate Valve and Parts A Complete Guide for Engineer (https://hardhatengineer.com/gatevalve-types-parts/, accesat: 06. 2021)
- [214] \*\*\* Table 2 Mechanical Properties of ASTM A182, (https://www.octalflange.com/pdf/astm-a182mechanical-properties.pdf, accesat : 06, 2021)
- [215] \*\*\* Valve Weld Overlay (https://blog.naver.com/kmwelding/220795558484, accesat: 24.08.2016)
- [216] \*\*\* Valve Stem Tungsten Carbide Coating Equipment: HVAF Thermal Spray Corrosion and Wear Resistant Coatings for Valve Stems, KERMETICO (https://kermetico.com/applications/hvaf-thermal-spraycorrosion-wear-resistant-coatings-valve-stems, accesat : 06, 2021)

[217]	*** Valve Sealant 701 – RS Clare
	(https://www.rsclare.com/wp-content/uploads/2020/07/TDS_Valve_Sealant_701_20170922.pdf, accesat: 06. 2021)
[218]	***410 Stainless Steel - AK Steel (https://www.aksteel.com/sites/default/files/2018-11/410-stainless.pdf , accesat: 20.11.2015)
[219]	G. D. Mezhetsky, G. G. Zagrebin and N. N. Reshetnik, " Mechanics of Materials", Textbook, 5th edition, Moscow, 2016, pp 101-102.
[220]	*** John Wilkinson   English ironmaster – Encyclopedia Britannica (https://www.britannica.com/biography/John-Wilkinson)
[221]	*** Molykote Lubricants for Protecting Gate Valve Assemblies (https://borfi.ru/press/87.html, accesat: 06. 2021)
[222]	*** Lubricant for Gate Valve Stems, Siberian Pipeline Valve Company, (https://sibzta.su/blog/zadvizhki/smazka-dlya-shtokov-zadvizhki/, accesat :25.09.2019)
[223]	*** Overview and History of Industrial Safety Relief Valves, Overview of Safety Relief Valves (https://www.valsource.net/overview-of-safety-relief-valves/, accesat: Sep. 5, 2018) 3
[224]	*** The Gate Valve's Long History
	(https://unitedvalve.com/blog/the-gate-valves-long-history/#:~:text=It%20wasn't%20until%201840,Mr.)
[225]	*** Valve History–Stoneleigh Engineering Services, Valve History (http://www.stoneleigh- eng.com/valvehistory.html)
[226]	*** Valve Engineering 1[The History of Valve] (https://m.cafe.daum.net/esisun/BIVq/31?q=D_4F4ifOkqeso0&)
[227]	*** Valve Parts (Body, Bonnet, Trim) – Projectmaterials, Valve Parts (Body, Bonnet, Trim) (https://blog.projectmaterials.com/valves/valve-parts/, accesat: Sep. 20, 2017)
[228]	*** Welded Bonnet Forged Gate Valve – Dervos, (https://www.dervosforge.com/welded-bonnet-forged- gate-valve.html)
[229]	*** Wet Bag CIP Equipment, (https://www.kobelco.co.jp/english/products/ip/product/cip/cip_01.html)
[230]	*** Gate Valve , NABI, Study/ Valve (https://nabi29.tistory.com/8, accesat: 31. 12. 2017)
[231]	*** Gate Valve – How They Work (https://tameson.com/gate-valve.html)
[232]	*** Bypass Valves   TLV - A Steam Specialist Company (Worldwide)
	(https://www.tlv.com/global/TI/steam-theory/bypass-valves.html,)
[233]	P. Tripa, "Rezistența Materialelor: Solicitări Simple și Teoria Elasticității", Editura MIRTON, Timișoara, 1999, pp.245-249.
[234]	S. Butnariu și Gh. Mogan, "Analiza cu Elemente Finite în Ingineria Mecanică: Aplicații practice în ANSYS", Editura Universității Transilvania din Brașov, Decembrie 2014, pp. 7-229.