

MINISTERUL EDUCAȚIEI UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI

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



INSTITUȚIA ORGANIZATOARE DE STUDII UNIVERSITARE DE DOCTORAT UNIVERSITATEA PETROL – GAZE DIN PLOIEȘTI DOMENIUL FUNDAMENTAL – ȘTIINȚE INGINEREȘTI DOMENIUL DE DOCTORAT – INGINERIE MECANICĂ

TEZĂ DE DOCTORAT

CERCETAREA INFLUENȚEI DISCONTINUITĂȚILOR STRUCTURALE ASUPRA DURATEI DE VIAȚĂ A CONDUCTELOR TEHNOLOGICE INDUSTRIALE

Autor: ing. Cristian-Mihai PETRE Conducător științific: prof. univ. habil. dr. ing. Răzvan George RÎPEANU



MINISTERUL EDUCAȚIEI UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI

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



INSTITUȚIA ORGANIZATOARE DE STUDII UNIVERSITARE DE DOCTORAT UNIVERSITATEA PETROL – GAZE DIN PLOIEȘTI DOMENIUL FUNDAMENTAL – ȘTIINȚE INGINEREȘTI DOMENIUL DE DOCTORAT – INGINERIE MECANICĂ

TEZĂ DE DOCTORAT CERCETAREA INFLUENȚEI DISCONTINUITĂȚILOR STRUCTURALE ASUPRA DURATEI DE VIAȚĂ A CONDUCTELOR TEHNOLOGICE INDUSTRIALE

RESEARCH ON THE INFLUENCE OF STRUCTURAL DISCONTINUITIES ON THE LIFE SPAN OF INDUSTRIAL PROCESS PIPING

Autor: ing. Cristian-Mihai PETRE Conducător științific: prof. univ. habil. dr. ing. Răzvan George RÎPEANU Nr. Decizie 526 din 07.09.2022

Președinte	Conf. univ. dr. ing. Alin DINIȚĂ Decan Facultatea I.M.E.	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. Gheorghe VOICU	de la	Universitatea Politehnica din București
Referent oficial	Conf. univ. habil. dr. ing. Ivona Camelia PETRE	de la	Universitatea Valahia din Târgoviște
Referent oficial	Prof. univ. habil. dr. ing. Ion NAE	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești

Comisia de doctorat:

MULŢUMIRI

Finalizarea acestei teze de doctorat, prin care se încheie o etapă importantă din pregătirea mea profesională, reprezintă finalul unui drum anevoios, pe parcursul căruia am avut alături oameni care m-au sprijinit și fără ajutorul cărora această întrepindere nu ar fi putut deveni realitate. Consider că la sfârșitul acestei etape din viața mea, am câștigat lucruri care nu pot fi materializate, așa cum ar fi experiența de a lucra îndrumat de către o echipă de profesioniști, care au oferit răspunsuri la întrebările mele, pe baza experienței acumulate de către aceștia pe parcursul anilor.

Mai întâi aș dori să transmit un mesaj de mulțumire conducătorilor științifici ai tezei de doctorat: domnului prof. univ. habil. dr. ing. Răzvan George Rîpeanu fără a cărui îndrumare nu aș fi sfârșit acest proiect profesional și personal precum și domnului prof. univ. dr. ing. Alexandru Pupăzescu fără de care nu aș fi început această teză de doctorat, pentru perseverența, răbdarea și profesionalismul de care au dat dovadă pe parcursul derulării programului de cercetare științifică aferent elaborării acestei lucrări. Vreau să îmi exprim gratitudinea pentru sprijinul oferit, atenta coordonare și pentru răbdarea de care au dat dovadă în cadrul etapelor stagiului de cercetare doctorală. Multumesc domnilor profesori atât pentru îndrumarea științifică, dar mai ales pentru suportul moral absolut necesar în finalizarea acestei teze de doctorat.

Mulțumesc tuturor membrilor comisiei de doctorat, referenți oficiali, prof. univ. dr. ing. Gheorghe Voicu, conf. univ. habil. dr. ing. Ivona Camelia Petre și prof. univ. habil. dr. ing. Ion Nae, pentru analiza asupra tezei de doctorat.

Totodată, le mulțumesc membrilor comisiei de îndrumare, pentru sfaturile oferite pe durata stagiului de cercetare doctorală și pentru sugestiile formulate, în special domnului conf. dr. ing. Alin Diniță – Decanul Facultății de Inginerie Mecanică și Electrică, domnului prof. dr. ing. Șerban Vasilescu și domnului conf. dr. ing. Ioan Popa, pe care m-am putut baza pentru colaborarea lor în cadrul activităților de cercetare.

În același timp, sunt recunoscător și le mulțumesc membrilor actuali dar și foștilor membrii ai Departamentului de Inginerie Mecanică, dintre care pot fi amintiți prof. univ. dr. ing. Gheorghe Zecheru, conf. univ. dr. ing. Marius Bădicioiu, conf. univ. dr. ing. Mihaela Călțaru, conf. univ. dr. ing. Vasile Ispas, conf. univ. dr. ing. Alexandru Popa, șef lucr. dr. ing. Eugen Laudacescu, șef lucr. dr. ing. Iulian Pătârnac, șef lucr. dr. ing. Ibrahim Ramadan, șef lucr. dr. ing. Maria Tănase, inclusiv colectivului tehnic: ing. Doru Coman, ing. Ion Gheorghe, tehn. Alexandru Georgescu, tehn. Costin Ioniță, tehn. Mihai Scorțeanu, precum și celor care din diverse motive nu au fost amintiți, dar care prin bunăvoința dânșilor m-au sprijinit în mod direct în derularea programului experimental sau indirect în buna desfășurare a activităților privind elaborarea tezei și pentru susținerea morală de care au dat dovadă.

Ploiești, septembrie 2022 drd. ing. Cristian-Mihai Petre

CUPRINSUL TEZEI DE DOCTORAT

MULŢUMIRI	3
ABREVIERI	7
INDEX FIGURI	11
INDEX TABELE	15
ABSTRACT	19
1 • INTRODUCERE	21
1.1 Tema, obiectivele propuse și structura lucrării	21
1.2 Notă	24
2 • CARACTERIZAREA CONSTRUCTIV FUNCTIONALĂ A CONDUCTELOR	
TEHNOLOGICE INDUSTRIALE	25
2.1 Conductele tehnologice industriale	25
2.2 Clasificarea conductelor tehnologice industriale	26
2.3 Elementele componente si materialele utilizate la confectionarea conductelor tehnologice	
industriale	28
2.4 Materialele de confectionare a conductelor tehnologice conforme cu ASTM	
2.5 Calculul de rezistentă al conductelor • Proiectarea sistemelor de conducte	
2.5.1 Dimensionare la presiunea interioară	
2.5.2 Presiunea de încercare	40
2.5.3 Verificarea tensiunii efective în test	
2.5.5. Vermearea efectuării determinărilar experimentale	<u>41</u>
3 • DISCONTINUITĂTILE STRUCTURALE, REZISTENTA SI DURATA DE VIATĂ A	1
CONDUCTEI OR TEHNOLOGICE INDUSTRIALE	43
3 1 Sinteza carcatărilar din ultimii ani nrivind influenta discontinuitătilar structurale asunra	45
rozistantai și duratai da viată a CTI	43
1 Clisichi, ci și durater de viață ă CTT	 //3
3.1.1 Miccanica Euperin	т. . «ă a
5.1.2filvestigarea starii ue tensiuni uni proximitatea variutui fisurii prin ananza numeri. Fisurilor controlo	LA A 50
13 1 3 Evaluaraa dafarmatiilar aidiga din gaturila din atal ingvidahil saligitata la îngovojara n	
si la prosiuno	апа 56
și lă presiule	
3.1.4 Evaluarea derecteror conducteror tennologice industriale	
3.2 Analiza discontinuitaților structurale a conductelor tennologice industriale	/0
3.2.1 Metoda clasificarii tensiunnor pentru conductele tennologice industriale	/U
5.2.2 Particularitățile anălizei cu metodă elementelor finite a starilor de tensium din conducto tobrologios industriolo	
tennologice industriale	13
3,5 CONCLUZH	/4
4 ° METODE ANALTTICE ȘI NUMERICE DE EVALUARE A INFLUENȚEI DISCONTINUITĂTU OD A SUDDA DEZISTENTEL CONDUCTELOD TEUNOLOCICE	
DISCONTINUITĂȚILOR ASUPKĂ REZISTENȚEI CONDUCTELOR TEHNOLOGICE Niductra e f	==
INDUSTRIALE	/3
4.1 Calcului analitic al discontinuitaților structurale specifice conducteior tennologice	==
industriale	75
4.2 Analiza numerica giobala	82
4.2.1 Metoda elementului finit pentru calcului consolidarilor ramificațiilor conductele	00
tehnologice industriale	82
4.2.2 Necesitatea comparării valorilor măsurate ale tensiunilor mecanice cu valorile calculate	9
prin metode numerice	84
4.3 Aplicarea metodei elementului finit	88
4.3.1 Cercetări privind efectul modificării adâncimii și a amplasării defectului asupra	00
	88
4.4 Concluzii	113
5 • EVALUAREA DURATEI DE VIAȚA A CONDUCTELOR TEHNOLOGICE	<u> </u>
	115
5.1 Oboseala conductelor tehnologice industriale • Aspecte generale	115
5.2 Studiu privind calculul la durabilitate al conductelor tehnologice industriale	125
	140

6 • DETERMINĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND INFLUENȚA DISCONTINUITĂȚILOR
STRUCTURALE ASUPRA REZISTENȚEI ȘI DURATEI DE VIAȚĂ A CONDUCTELOR
TEHNOLOGICE INDUSTRIALE
6.1 Determinării tensiunilor mecanice prin tensometrie electric rezistivă141
6.2 Cercetări experimentale privind influența ramificațiilor conductelor tehnologice
6.2.1 Elementele utilizate la realizarea experimentului
6.2.2 Corpul de probă
6.2.3 Calculul analitic pentru corpul de probă152
6.3 Efectuarea determinărilor experimentale și prelucrarea rezultatelor
6.3.1 Determinarea deformațiilor specifice
6.3.2 Etalonarea celulei de forță
6.3.3 Calculul tensiunilor determinate experimental158
6.3.4 Analiza cu element finit a modelului experimental prevăzut cu ramificații161
6.4 Cercetări experimentale privind oboseala coturilor de conducte tehnologice industriale 162
6.4.1 Scurt istoric privind încercările la oboseală162
6.4.2 Descrierea materialelor și încercărilor efectuate pe coturile de conducte tehnologice 165
6.4.3 Prelucrarea datelor experimentale obținute pentru coturile conductelor tehnologice170
6.5 Concluzii
7 • CONCLUZII, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE
7.1 Concluzii
7.2 Contribuții originale
7.3 Direcții viitoare de cercetare
BIBLIOGRAFIE
ANEXE
Anexa 1 • Valorile înregistrate ale forței aplicate la încărcare
Anexa 2 • Valorile înregistrate ale forței aplicate la descărcare
Anexa 3 • Modelul MEF, hărțile de tensiuni pentru o solicitare de 1 kN 197
Anexa 4 • Desenele de execuție – corpuri de probă din coturi de conducte tehnologice
Anexa 5 • Graficele dintre tensiunile și deformațiile de la solicitarea compusă de încovoiere
ciclică simetrică și presiune interioară
Anexa 6 • Caracteristicile tehnice ale aparatelor de măsurat grosimi de perete cu ultrasunete 227

SIMBOLURI ȘI ABREVIERI

ε	grosimea adițională
σ	tensiuni
V	coeficientul lui Poisson
σ_{a}	tensiune admisibilă
(a, c)	concentratorul de tensiune reprezentat de defectul fisură
σ_{ach}	tensiuni echivalente
σ_{een}	tensorul tensiunilor
(a_{l}, a_{l}, c)	concentratorul de tensiune compus din concentratorul îmbinare sudată ramificatie
(α_k, α, c)	racord – corn colector si concentratorul defect fisură
σ_{\circ}	tensiunea inelară la cedare
[<i>B</i>]	reprezintă matricea liniară a deformatiilor și deplasărilor care face legătura între
	deformatiile elementelor si deplasările nodale
[E]	este matricea care defineste cum este formulată legătura între tensiuni si
[2]	deformații pentru materialul structurii
[K]	matricea de rigiditate a structurii
$[K^e]$	matricea de rigiditate a elementului
{ <i>F</i> }	vectorul fortelor nodale aplicate
$\{F^e\}$	vectorul fortelor nodale pe element
$\{u\}$	vectorul deplasărilor nodale
$\{u^e\}$	vectorul deplasărilor nodale pe element
A_1	aria necesară pentru a compensa intensificarea tensiunilor din ramificatie
A_2	aria rezultă din grosimea excedentară a peretelui conductei principale
A_3	aria rezultă din grosimea excedentară din grosimea de perete a ramificației
A_4	aria rezultă din dimensiunile inelului de ranforsare și ale cordoanelor de sudură
A_{min}	alungirea procentuală minimă după rupere
с	coeficientul de siguranță
c_0	adaos pentru condiții de exploatare pentru coroziune și eroziune
c_1	adaos pentru valoarea absolută a toleranței abaterii negative din standardele de
	material sau furnizată de producător
c_2	adaos pentru prelucrări mecanice
c_b	suma adaosurilor de prelucrare mecanică, de coroziune și de eroziune, pentru
	ramificație
c_h	suma adaosurilor de prelucrare mecanică, de coroziune și de eroziune, pentru
	conducta principală
d	adâncimea defectului
D	diametrul exterior al țevii din standardul de fabricație sau dimensiunea măsurată,
	diametrul exterior pentru corpul de probă
d	diametrul exterior pentru ramificația racord
d/D	caracteristică geometrică: raportul diametrelor (simplex geometric)
d_1	lungimea longitudinală a deschiderii din peretele conductei
d_2	¹ / ₂ lățimea zonei consolidate
d_o	diametrul exterior al racordului ramificație
d_i	diametrul interior al racordului
DE	diametrul exterior al corpului principal
D_i	diametrul interior al țevii
DN	diametrul nominal
D_o	diametrul exterior al țevii
e	grosimea minima de perete de rezistența a țevii pentru presiune, fara adaosuri și
E	toteranje modulul lui Voung
E E	mountin full found factor de colitate ($E = 1$ alos din tabalelo A 1A con A 1D din ASME D21.2)
E	factor de cantale ($E = 1$ ales din tabelele A-1A sau A-1B, din ASME B31.3) grosimos utilă
e_a	grosimea utila

Cercetarea influenței discontinuităților structurale asupra duratei de viață a conductelor industriale tehnologice

e_{ab}	grosimea de perete de calcul, pentru ramificația racord
e_{as}	grosimea de perete de calcul, pentru conducta principală
e_{min}	grosimea minima de perete de scoatere din funcțiune
eord	grosimea prescrisă de standard, grosimea de alegere din standard
e_n	grosimea de rezistenta la condițiile de probă
e _{pr}	grosimea minimă provizorie
f	rezistenta admisibilă sau tensiunea nominală de calcul pentru conditiile de
5	projectare la temperatura de projectare EN 13480-3
F	tensiuni de vârf
F	forta
f ^{ef}	tensiunea efectivă în probă
J test	tensiunea nominală de calcul pentru condituile de projectore la temperature la care
Jtest	so afactuaçã încorrector
C	rete de aliberara e apargiai
G	rata de enderare a energier
n UD	
HD	adancimea defectului
K	coeficientul de intensitate a tensiunilor
<i>k</i>	constanta de proporționalitate a mărcii de TER
K_C	valoarea critică a coeficientului de intensitate a tensiunilor
K_{I}, K_{II}, K_{III}	coeficienții de intensitate a tensiunilor pentru cele trei moduri de rupere
KV_{min}	energia de rupere minimă, la 20 °C, pe epruvete prelevate longitudinal din
	produse
L	distanța dintre reazeme
L_4	înălțimea de consolidare
LA	lungimea anterioară defectului (definește amplasarea defectului față de axa de
	simetrie a ramificației)
l_b	lungimea minimă de consolidare, pentru ramificație
LCP	lungimea conductei principale
LD	lungimea defectului
l_s	lungimea minimă de consolidare, în lungul învelișului
M	coeficientul de concentrare a tensiunilor datorită deformării care apare la presiune
	interioară aproximat cu relațiile
MD	¹ / ₂ din lățimea defectului
M_z	momentul încovoietor
OD	diametrul exterior
P	presiunea interioară
p_{ptest}^{A}	presiunea la proba hidrostatică, A (la temperatura de test)
p^{B}_{test}	presiunea la proba hidrostatică, B (la temperatura de proiectare)
p_c	presiunea de calcul
P_{loc}	tensiuni primare locale, în teoria de membrană
P_{mem}	tensiuni primare generale, în teoria de membrană
P_{mom}	tensiuni primare tensiuni în teoria de momente (de încovoiere)
PS	presiunea maxim admisibilă specificată de fabricant
p_{test}	presiunea la proba hidrostatică
q	vectorul de extindere a fisurii
$Q(Q_{mem}+Q_{mom})$	tensiuni secundare în teoria de membrană și de momente
R	raza de curbură a cotului
R	valoarea inițială a rezistenței electrice a mărcii de TER
$r si \theta$	coordonatele unui sistem de coordonate polar
ŔĊ	constanta reală
RCP	raza suprafeței mediană principală
$R_{e,min}$	limita de curgere minimă
R_{eH}	limita superioară de curgere aparentă la temperatura ambiantă
R_m	rezistența de rupere la tracțiune la temperatura de 20°C
r _m	raza medie a sectiunii transversale a cotului
	,

R .	rezistenta minimă la tractiune
$R_{m,min}$	limita de curgere
$\mathbf{R}_{p0,2}$	limita acourgere
Λ_{p02} \mathbf{p}^t	limita proporțională aparenia la temperatura de selevil, seu la temperature la sere se
κ _{eH}	face încercarea
\mathbf{D}^{t}	limita de curgere conventională la temperature de calcul
Λ _{p0,2}	resimes de meteriel - correctoristicile mecenica ele etaluriler negliete
S	grosiniea de material – caracteristiche mecanice ale oțefurnoi neanate
3	tensiunea admisiona la temperatura materialului, aleasa din standardui ASME,
G	tabelul A-1, característica de rezistența a materialului
\mathcal{S}_{ef}	tensiune efectiva pentru conducta principala
SF	coeficientul de siguranța SF
S_T	rezistența la rupere a materialului
S _{TEMP}	limita de curgere la temperatura de operare
S_Y	limita de curgere
T	densitatea energiei cinetice
t	grosimea de perete a elementului de conductă, determinată din presiunea de
	proiectare, grosimea minimă necesară
Т	grosimea de perete corp principal
Т	grosimea de perete racord
T_{σ}	tensorul tensiunilor
t/T	caracteristică geometrică: raportul grosimilor de perete
t_1	grosimea de perete pentru conducta colector, diametrul principal
t_2	grosimea de perete pentru ramificația racord
T_b	grosimea de perete pentru ramificație
t_c	dimensiunea cordoanelor de sudură
TETA	¹ / ₂ din unghiul descris de lățimea defectului
T_h	grosimea de perete a conductei principale
t_{max}	temperatura maximă de operare la materiale care lucrează la temperaturi ridicate
t _{min}	temperatura minimă de operare pentru materiale care lucrează la temperaturi joase
T_r	grosimea minimă a inelului de consolidare
u	vectorul deplasărilor
U_a	tensiunea constantă de alimentare pentru diagonala punții de tensometrie
U_e	tensiunea semnalului de ieșire, folosit direct ca o măsură a variației rezistenței
	mărcilor de TER
$\dot{u_j}$	rata vectorului deformație
W	densitatea de energie a tensiunilor
W	factorul de diminuare a rezistenței îmbinării sudate
Ŵ	densitatea energiei de deformație
W_z	modulul de rezistență colector
x_j	axa coordonatelor
Y	coeficient dependent de tipul de material și de temperatura de calcul
Ζ	factorul de calitate al îmbinărilor sudate
α	unghiul de amplasare a defectului
α	coeficientul de compensare a temperaturii
α	unghiul corespunde arcului dintre axa Oy și extremitatea îmbinării sudate a
	ramificației
α_k	concentratorul de tensiune ramificație racord – corp colector
β	un unghi β diferit de 90°
β	unghiul corespunzător arcului de cerc dintre racordul și mărcile de TER
Γ	conturul peste care se efectuează integrarea
ΔA	elementului de arie determinat de planul imaginar de secționare
ΔF	intensitatea forței
δ_{ij}	Kronecker delta: $\delta_{ij} = 0$ dacă $i \neq j$ și $\delta_{ij} = 1$ dacă $i = j$
ΔR	modificarea valorii inițiale a rezistenței electrice a mărcii urmare a deformației
$\Delta v, \Delta u, \Delta w$	deplasările feței fisurii

Cercetarea influenței discontinuităților structurale asupra duratei de viață a conductelor industriale tehnologice

3	deformația specifică liniară
\mathcal{E}_{max}	deformațiile maxime dintr-un ciclu de solicitare
\mathcal{E}_{min}	deformațiile minime dintr-un ciclu de solicitare
σ_a	tensiunea admisibilă
σ_{efmax}	tensiunea efectivă maximă impusă
$\sigma_{ech exp}$	tensiunea echivalentă determinată experimental
$\sigma_{ech MEF}$	tensiune echivalentă determinată prin metoda elementului finit
σ_U	rezistența de rupere la tracțiune
σ_Y	limita de curgere
σ_{z}	tensiunile normale nominale longitudinale
$\sigma_z(a, c)$	tensiunile longitudinale care se dezvoltă la vârful defectului de tip fisură (a, c)
$\sigma_z(\alpha_k)$	tensiunile care se dezvoltă în proximitatea concentratorului de tensiune
	reprezentat de îmbinarea dintre ramificația racord și corp colector (α_k)
	longitudinale
$\sigma_{z}(\alpha k, a, c)$	tensiunile longitudinale care se dezvoltă atât în vecinătatea îmbinării sudate
20 / / /	ramificatie racord – corp colector cât și a defectului de tip fisură (α_k , a, c)
$\sigma_{ heta}$	tensiunile normale nominale circumferentiale
$\sigma_{\theta}(a, c)$	tensiunile de inelare care se dezvoltă la vârful defectului fisură (a, c)
$\sigma_{\theta}(\alpha_k)$	tensiunile care se dezvoltă în proximitatea concentratorului de tensiune
	reprezentat de îmbinarea dintre ramificația racord și corp colector (α_k)
$\sigma_{\theta}(\alpha_k, a, c)$	tensiunile circumferențiale care se dezvoltă atât în vecinătatea îmbinării sudate
	ramificație – corp colector cât și a defectului de tip fisură (α_k , a, c)
AISI	American Iron and Steel Institute
ANG	analiză numerică globală
API	American Petroleum Institute
APDL	ANSYS Parametric Design Language
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing of Materials
BS	British Standard
CTI	conducte tehnologice industriale
DEP	Directiva privind Echipamentele sub Presiune, 2014/68/UE
ECA	evaluări critice de inginerie
ESAM	ESA Messtechnik GmbH.
Н	planul orizontal
HBM	Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH.
KMR	celulă de forță, șaibă de presiune (germ.: die Kraftmessring)
LC	linia de clasificare a tensiunilor
MEF	metoda elementului finit
MSS	Manufacturer's Standard Specification
NPS	Nominal Pipe Size, în inch, "
OLET	racorduri forjate pentru consolidare, tip: weldolet, sockolet, etc.
PN	presiunea nominală
SF	factor de siguranță
SCH	schedule – grosime de perete de țeavă conform standard ASME B 36.10M
SHELL93	elementul finit din biblioteca ANSYS de elemente finite
SIF	coeficient de intensitate a tensiunilor
STD	grosime de perete standard, identică cu schedule 40
STD_S	detectul poziționat în partea de jos a modelului (respectiv unghiul $\beta = 0$);
STD_S_E	detectul poziționat pentru unghiul β cuprins între 0 și $\pi/2$ (respectiv $0 < \beta < \pi/2$);
STD_E	detectul poziționat pentru unghiul $\beta = \pi/2$;
STD_N_E	detectul poziționat pentru un unghi $\beta > \pi/2$.
IEK	tensometrie electric rezistiva
Z11	zona influențată termic

INDEX FIGURI

CAPITOLUL 2 • CARACTERIZAREA CONSTRUCTIV FUNCȚIONALĂ A CONDUCTELOR TEHNOLOGICE INDUSTRIALE

Fig. 2.1. Clasificarea conductelor pentru gaze, conform anexei II tabelul 6 și tabelul 7 din DEP 2014/68/UE, [123]

Fig. 2.2. Clasificarea conductelor pentru lichide, conform anexei II tabelul 8 și tabelul 9 din DEP 2014/68/UE, [123]

Fig. 2.3. Reprezentare izometrică și elementele componente ale unei CTI, [55]

CAPITOLUL 3 • DISCONTINUITĂȚILE STRUCTURALE, REZISTENȚA ȘI DURATA DE VIAȚĂ A CONDUCTELOR TEHNOLOGICE INDUSTRIALE

Fig. 3.1. Modurile de rupere, KI, KII, KIII, [3]

Fig. 3.2. O fisură de lungime 2a dintr-un corp elastic mare, solicitat la întindere (σ), [4, 6]

Fig. 3.3. Schița vârfului unei fisuri și sistemul de coordonate polar; coordonatele locale măsurate față de frontul de rupere pentru o fisură, [4, 6]

Fig. 3.4. Modelul complet și modelul simetric față de planul de fisurare, [4, 6]

Fig. 3.5. Modelul ideal de calcul al unei fisuri, [78]

Fig. 3.6. Placa cu fisura centrala și tensorul tensiunilor Cauchy, [78]

Fig. 3.7. Placa cu fisura centrală, [78]

Fig. 3.8. Modelul geometric 2D simetric, schematizarea condițiilor limită și a încărcării, [78]

Fig. 3.9. Rețeaua de elemente finite în jurul fisurii cu elemente singulare 2D, [78] Fig. 3.10. Tensiunile mecanice în proximitatea vârfului fisurii în lungul muchiilor modelului, [78]

Fig. 3.11. Coeficienții de intensitate a tensiunilor KI obținuți prin metoda numerică în intervalul larg al lungimii de fisură împreună cu valoarea critică a rezilienței, [78]

Fig. 3.12. Dependența coeficientului intensității tensiunilor critice KIC și grosimea de material, [78]

Fig. 3.13. Corpul de probă și caroiajul trasat pe exteriorul cotului, [92]

Fig. 3.14. Istoricul deformațiilor, [47]

Fig. 3.15. Modificarea deformațiilor ciclice din intrados și din calota cotului, [47]

Fig. 3.16. Ecuațiile NG-18 și datele de test, indicând dependența de tensiune și tenacitate, [47]

Fig. 3.17. Rolul PDAM în evaluarea adecvării la scop a unui defect de conductă, [47] Fig. 3.18. Efectul tenacității materialului, a adâncimii defectului, lungimii și rezistența la spargere, [47]

Fig. 3.19. Efectul tenacității asupra aprecierii a testelor de spargere parțială a peretelui realizate utilizând ecuația dependentă de tensiunea de curgere NG-18, [47]

Fig. 3.20. Tensiunea de cedare a defectelor parțiale deperete orientate axial, NG-18, [47] Fig. 3.21. Tensiunea de cedare a defectelor orientate axial de perete apreciată utilizând o limită inferioară a ecuației NG-18, [47]

Fig. 3.22. Linia de clasificare și sistemul local de axe în care se reprezintă tensiunile Fig. 3.23. Schema descompunerii tensiunilor din sistemele sub presiune, [65, 87]

CAPITOLUL 4 • METODE ANALITICE DE EVALUARE A INFLUENȚEI DISCONTINUITĂȚILOR ASUPRA REZISTENȚEI CONDUCTELOR TEHNOLOGICE INDUSTRIALE

Fig. 4.1. Teu redus ASME B16.9, DN 100×50 (114,30×60,30 mm), (NPS 4×2 ", sch. STD)

Fig. 4.2. Detaliile de consolidare pentru ramificații sudate, ASME B31.3, [140] A_1 – prin multiplicare cu (2-sin β) se obține aria necesară; A_2 – aria din grosimea excedentară a colectorului; A_3 – aria din grosimea excedentară a ramificației; A_4 – aria din inelul de consolidare și din cordonul de sudură

Fig. 4.3. Ramificația fără consolidare DN 200×100 (219,10×114,30 mm), (NPS 8×4 ", sch. STD)

Fig. 4.4. Analiza cu MEF pentru ramificația DN 200×100

Fig. 4.5. Analiza numerică pentru corpul de probă, [63]: (a) modelul din analiza cu elemente finite; (b) harta tensiunilor echivalente Tresca pentru p=6 MPa.

Fig. 4.6. Analiza numerică pentru corpul de probă, [63], tensiunile echivalente – criteriul Tresca

Fig. 4.7. Analiza numerică pentru corpul de probă, [63], tensiunile echivalente – criteriul von Mises

Fig. 4.8. Geometria, nodurile și sistemul de coordonate pentru elementul finit SHELL93 Fig. 4.9. Eforturile secționale și tensiunile calculate pentru elementului finit SHELL93 Fig. 4.10. Schița pentru modelul (simetric) al unei țevi prevăzută cu ramificație DN 100×50

(4×2") și de amplasare a defectului considerat Fig. 4.11. Analiza 1 Hărțile de tensiuni pentru DN 100×50 după poziționarea defectului, β° Fig. 4.12. Analiza 2.1. Hărțile de tensiuni la DN 100×50 pentru adâncimea defectului HD variabilă pentru valoarea unghiului de poziționare la care se întâlnesc tensiunile maxime (β = 142°)

Fig. 4.13. Analiza 2.2. Hărțile de tensiuni la DN 100×50 pentru adâncimea defectului HD variabilă pentru valoarea unghiului de poziționare β de 135°

Fig. 4.14. Analiza 2.3. Hărțile de tensiuni la DN 100×50 pentru adâncimea defectului HD variabilă pentru valoarea unghiului de poziționare β de 45° (maxim local)

Fig. 4.15. Analiza 3. Hărțile tensiunilor la DN 100×50 pentru unghiul β de 135° (3 π /4) și semilungimea defectului LD variabilă și pentru semiunghiul la centru al defectului α variabil

Fig. 4.16. Analiza 4. Hărțile de tensiuni pentru DN 150×50 după poziționarea defectului, β° Fig. 4.17. Analiza 5. Hărțile de tensiuni la DN 150×50 pentru adâncimea defectului HD variabilă pentru valoarea unghiului de poziționare la care se întâlnesc tensiunile maxime (β = 150°)

Fig. 4.18. Analiza 5.2. Hărțile de tensiuni la DN 150×50 pentru adâncimea defectului HD variabilă pentru valoarea unghiului de poziționare β de 45° (maxim local)

Fig. 4.19. Analiza 6. Hărțile tensiunilor la DN 150×50 pentru unghiul β de 150° (5 π /6) și semilungimea defectului LD variabilă și pentru semiunghiul la centru al defectului α variabil

Fig. 4.20. Dependența dintre valoarea tensiunilor și poziția defectului pentru DN 100×50

Fig. 4.21. Dependența dintre valoarea tensiunilor și poziția defectului pentru DN 150×50

Fig. 4.22. Dependența dintre valoarea tensiunilor și adâncimea defectului pentru DN100×50

Fig. 4.23. Dependența dintre valoarea tensiunilor și adâncimea defectului pentru DN150×50

CAPITOLUL 5 • EVALUAREA DURATEI DE VIAȚĂ A CONDUCTELOR TEHNOLOGICE INDUSTRIALE

Fig. 5.1. Caracteristicile ciclurilor de solicitare variabilă

Fig. 5.2. Curbele tipice de durabilitate la oboseală ale materialelor metalice

Fig. 5.3. Deviații de la forma de proiectare dată de cordonul de sudură

Fig. 5.4. Schema determinării caracteristicilor ciclurilor de solicitare variabilă din zonele

DC și DS locale ale conductelor tehnologice industriale

Fig. 5.5. Diagramele de variație a presiunii pentru blocurile de solicitare

Fig. 5.6. Diagramele de variație a tensiunii pentru blocurile de solicitare

Fig. 5.7. Stabilirea secvențelor de solicitare ciclică pentru perioada de monitorizare cuprinsă în intervalul dintre 17/I și 14/III (respectiv zilele 17 .. 73)

CAPITOLUL 6 • DETERMINĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND INFLUENȚA DISCONTINUITĂȚILOR STRUCTURALE ASUPRA REZISTENȚEI ȘI DURATEI DE VIATĂ A CONDUCTELOR TEHNOLOGICE INDUSTRIALE

Fig. 6.1. Mărcile pentru TER, conform [114]

Fig. 6.2. Mașina de încercat la tracțiune și la compresiune ZD 100, [121] (a) mașina de încercat și pupitrul de comandă; (b) mașina de încercat – părți componente; (c) dispozitivul de încovoiere montat pe mașina de încercat.

Fig. 6.3. Sistemului HBM MGCplus [112, 116] (a) vedere de ansamblu; (b) diagrama bloc a sistemului HBM MGCplus; (c) schema de conexiuni pentru conectarea mărcilor de tip rozetă dispuse la 90°.

Fig. 6.4. Etalonarea celula de forță pentru monitorizare: (a) celula de forță fixată între bacurile mașinii de testat Walter+Bai LF 300; (b) sistemul de achiziție de date ESAM,[110] Fig. 6.5. Încadrarea în clasificarea din Directiva 2014/68/UE privind echipamentele sub presiune, pentru corpul de probă, (*PS·DN* = 9000), [123].

Fig. 6.6. Planul de amplasare a mărcilor de TER în vecinătatea racordurilor corpului de probă

Fig. 6.7. Diagrama pentru momentul încovoietor aplicat corpului de probă

Fig. 6.8. Ansamblul elementelor utilizate în cadrul determinărilor experimentale

Fig. 6.9. Amplasarea mărcilor pentru TER din vecinătatea racordului

Fig. 6.10. Evoluția forței din timpul etalonării celulei de forță (șaibei de presiune)

Fig. 6.11. Evoluția forței aplicate pe durata determinărilor experimentale

Fig. 6.12. Graficul dependenței tensiuni – forță pentru punctul de TER R2, R16 și R17

Fig. 6.13. Graficul dependenței tensiuni – forță pentru punctul de TER R6 și R18

Fig. 6.14. Analiza numerică pentru corpul de probă solicitat la încovoiere: (a) modelul din analiza cu elemente finite; (b) harta tensiunilor echivalente von Mises pentru F=10,150 kN. Fig. 6.15. Corpul de probă pentru teste ciclice (la oboseală)

Fig. 6.15. Corpul de proba pentru teste ciclice (la oboseală) Fig. 6.16. Mărcile de TER amplasate pe cot: (a) flanc stâng TER 1 and 2, (b) flanc drept

TER 5 și 6; (c) la extrados TER 3 și 4, (d) intrados TER 7 și 8.

Fig. 6.17. Simularea unui defect interior de tip subțiere locală de perete cu o configurație geometrică neregulată

Fig. 6.18. Liniile de profil măsurate și calculate pentru punctele din caroiaj

(a) Profilul longitudinal al grosimilor de perete (b) Profilul longitudinal al tensiunilor efective, pentru PS de 7MPa, calculate cu (2.2)

Fig. 6.19. Modelul MEF, hărțile de tensiuni pentru o solicitare de 1 kN aplicată: (a) harta de tensiuni după criteriul von Mises; (b) harta detaliu de tensiuni după criteriul von Mises; harta de detaliu după componenta Y (c); harta de tensiuni pentru suprafața interioară (d). Fig. 6.20. Graficul dependenței dintre forța aplicată și dplasare

Fig. 6.21. Graficul dependenței dintre tensiunile von Mises σ_{Mis} și deplasare

Fig. 6.22. Graficul tipic de dependență dintre tensiuni și deformații pentru flancul stâng la solicitare compusă: (a) dintre tensiuni și deformații longitudinale; (b) dintre tensiuni și deformații inelare

INDEX TABELE

CAPITOLUL 2 • CARACTERIZAREA CONSTRUCTIV FUNCȚIONALĂ A CONDUCTELOR TEHNOLOGICE INDUSTRIALE

Tabelul 2.1. Clasificarea conductelor prin încadrarea în categorii, DEP 2014/68/UE, [123] și SR EN 13480-1:2018, [165]

Tabelul 2.2. Concentrațiile masice maxime ale elementelor pentru oțeluri nealiate, %, [104]

Tabelul 2.3. Caracteristici mecanice ale oțelurilor nealiate, de uz general, [104]

Tabelul 2.4. Oțelurile pentru conducte prevăzute în SR EN 13480-2:2012, [164]

Tabelul 2.5. Standardele europene pentru materialele utilizate la confecționarea conductelor tehnologice industriale, SR EN 13480-2, [164]

Tabelul 2.6. Compoziția chimică (analiza pe oțel lichid) în % de masă,

pentru oțelurile utilizate la temperatura ambiantă, EN 10216-1:2014, [148]

Tabelul 2.7. Caracteristici mecanice: oțeluri utilizate la temperatura ambiantă, EN 10216-1:2014, [148]

Tabelul 2.8. Caracteristici mecanice ale oțelurilor pentru țevi trase destinate utilizării la temperatură ridicată, EN 10216-2:2014, [149]

Tabelul 2.9. Caracteristicile mecanice ale oțelurilor pentru țevi trase destinate utilizării la temperatură scăzută (- 50 °C ... 20 °C), EN 10216-4:2014, [151]

Tabelul 2.10. Principalele elemente de aliere ale oțelurilor austenitice rezistente la coroziune, în procente din masă, pentru țevi fără sudură (trase), EN 10216-5:2014, [152] Tabelul 2.11. Principalele elemente de aliere ale otelurilor inoxidabile austenitice

rezistente fluaj, pentru tevi fără sudură (trase), EN 10216-5, [152]

Tabelul 2.12. Principalele elemente de aliere ale oțelurilor inoxidabile duplex (austenitic feritice), pentru țevi fără sudură (trase), EN 10216-5, [152]

Tabelul 2.13. Caracteristicile mecanice: oțeluri inoxidabile pentru țevi trase, EN 10216-5 Tabelul 2.14. Caracteristicile mecanice ale oțelurilor utilizate pentru conducte, conform STAS 8183-80, [173]

Tabelul 2.15. Materialele utilizate pentru conducte tehnologice conforme specificațiilor ASME

CAPITOLUL 3 • DISCONTINUITĂȚILE STRUCTURALE, REZISTENȚA ȘI DURATA DE VIAȚĂ A CONDUCTELOR TEHNOLOGICE INDUSTRIALE

Tabelul 3.1. Coeficienții de intensitate ai tensiunilor obținuți prin metoda analitică și numerică, [78]

Tabelul 3.2. Detalii ale testelor de deformare ciclică, [92]

Tabelul 3.3. Sumarul metodelor de evaluare prevăzute de PDAM, [47]

Tabelul 3.4. Categoriile de tensiuni și criteriile de evaluare definite de EN 13445, [65, 159]

CAPITOLUL 4 • METODE ANALITICE ȘI NUMERICE DE EVALUARE A INFLUENȚEI DISCONTINUITĂȚILOR ASUPRA REZISTENȚEI CONDUCTELOR TEHNOLOGICE INDUSTRIALE

Tabelul 4.1. Dimensiuni pentru o ramificație de tip teu redus DN 100×50, (114,3×60,3 mm)

Tabelul 4.2. Caracteristica de rezistență a materialului și coeficientul de siguranță considerat

Tabelul 4.3. Valorile presiunii determinate cu ajutorul formulei lui Barlow

Tabelul 4.4. Dimensiunile de consolidare, pentru ramificația 114,30×60,30 mm

Tabelul 4.5. Valorile rezultate din calculul ariilor de consolidare

Tabelul 4.6. Caracteristicile ramificației fără consolidare DN 200×100, (219,1×114,3 mm)

Tabelul 4.7. Dimensiunile de consolidare, pentru ramificația DN 200×100

Tabelul 4.8. Valorile rezultate din calculul ariilor de consolidare pentru ramificația 219,10×114,30

Tabelul 4.9. Coordonatele mărcilor de tensometrie și tensiunile echivalente numerice pentru presiunea de 6 MPa, [63]

Tabelul 4.10. Valorile măsurate ale deformațiilor și tensiunile pentru presiunea de 6 MPa, [63]

Tabelul 4.11. Grosimile de perete măsurate în diferite puncte ale corpului de probă, [63]

Tabelul 4.12. Analiza 1. Tensiunile din DN 100×50 (4×2") după poziționarea defectului, β

Tabelul 4.13. Analiza 2.1. Tensiunile din DN 100×50 pentru adâncimea defectului HD

variabilă, pentru valoarea unghiului de poziționare la care se întâlnesc tensiunile maxime ($\beta = 142^{\circ}$)

Tabelul 4.14. Analiza 2.2. Tensiunile din DN 100×50 pentru adâncimea defectului HD variabilă, pentru valoarea unghiului de poziționare β de 135°

Tabelul 4.15. Analiza 2.3. Tensiunile din DN 100×50 pentru adâncimea defectului HD variabilă, pentru valoarea unghiului de poziționare β de 45° (maxim local)

Tabelul 4.16. Analiza 3. Tensiunile din DN 100×50 pentru unghiul β de 135° (3 π /4) și semilungimea defectului LD variabilă și pentru semiunghiul la centru al defectului α variabil

Tabelul 4.17. Analiza 4. Tensiunile din DN 150×50 (6×2") după poziționarea defectului, β Tabelul 4.18. Analiza 5.1. Tensiunile din DN 150×50 pentru adâncimea defectului HD variabilă, pentru valoarea unghiului de poziționare la care se întâlnesc tensiunile maxime (β = 150°)

Tabelul 4.19. Analiza 5.2. Tensiunile din DN 150×50 pentru adâncimea defectului HD variabilă, pentru valoarea unghiului de poziționare β de 45° (maxim local)

Tabelul 4.20. Analiza 6. Tensiunile din DN 150×50 pentru unghiul β de 150° (5 π /6) și semilungimea defectului LD variabilă și pentru semiunghiul la centru al defectului α variabil

CAPITOLUL 5 • EVALUAREA DURATEI DE VIAȚĂ A CONDUCTELOR TEHNOLOGICE INDUSTRIALE

Tabelul 5.1. Mărimile caracteristice pentru solicitările variabile

Tabelul 5.2. Solicitările variabile, în funcție de coeficientul de asimetrie

Tabelul 5.3. Analiza tensiunilor generate în CTI de solicitările mecanice din operare

Tabelul 5.4. Coeficienții a, b și c din expresia factorului de concentrare a tensiunilor

Tabelul 5.5. I. Valorile presiunilor minime și maxime zilnice, lunile I-IV, MPa

Tabelul 5.5. II. Valorile presiunilor minime și maxime zilnice, lunile V-VIII, MPa

Tabelul 5.5. III. Valorile presiunilor minime și maxime zilnice, lunile IX-XII, MPa

Tabelul 5.6. Valorile presiunilor medii zilnice din perioada monitorizată, lunile I-XII

Tabelul 5.7. I. Valorile tensiunilor minime și maxime zilnice, lunile I-IV, MPa

Tabelul 5.7. II. Valorile tensiunilor minime și maxime zilnice, lunile V-VIII, MPa

Tabelul 5.7. III. Valorile tensiunilor minime și maxime zilnice, lunile IX-XII, MPa

Tabelul 5.8. Valorile tensiunilor medii corespunzătoare presiunilor medii zilnice din perioada monitorizată, lunile I-XII

Tabelul 5.9. Valorile amplitudinilor tensiunilor zilnice din perioada monitorizată, lunile I-XII

Tabelul 5.10. Valorile coeficienților de asimetrie zilnici corespunzători tensiunilor

Tabelul 5.11. Cicluri de solicitare pentru perioada 17/I - 14/III (zilele 17-73)

Tabelul 5.12. Caracteristicile secvențelor de solicitare ciclică - perioada 17/I - 14/III (zilele 17-73)

Tabelul 5.13. Durabilitățile la oboseală pentru secvențele de solicitare din perioada 15/I – 15/III de monitorizare

CAPITOLUL 6 • DETERMINĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND INFLUENȚA DISCONTINUITĂȚILOR STRUCTURALE ASUPRA REZISTENȚEI ȘI DURATEI DE VIAȚĂ A CONDUCTELOR TEHNOLOGICE INDUSTRIALE

Tabelul 6.1. Specificația tehnică a mărcilor de TER, [114]

Tabelul 6.2. Domeniul de aplicare a sarcinii maxime pentru ZD 100, [121]

Tabelul 6.3. Conexiunile dintre mărcile amplasate pe corpul de probă și sistemul de achiziție date: punte de TER HBM MGCplus

Tabelul 6.4. Specificația tehnică pentru celula de forță HBM / KMR, [113, 115]

Tabelul 6.5. Caracteristicile tehnice constructive ale corpului de probă

Tabelul 6.6. Determinarea grosimii de perete de rezistență a țevii, solicitată la presiune interioară

Tabelul 6.7. Determinarea presiunii de încercare hidrostatică și a condițiilor de test – tensiunea efectivă în test

Tabelul 6.8. Determinarea presiunii de încercare hidrostatică și a condițiilor de test – tensiunea efectivă în test

Tabelul 6.9. Grosimile de perete în diferite puncte ale corpului de probă, măsurate cu ajutorul aparatelor cu ultrasunete

Tabelul 6.10. Dimensiunile specifice pentru corpul de probă

Tabelul 6.11. Amplasarea mărcilor de TER, pe circumferință, în zona îmbinării dintre colector și cele două racorduri – unghiul α corespunzător racordului

Tabelul 6.12. Amplasarea mărcilor de TER, pe circumferință, în zona îmbinării dintre colector și cele două racorduri – unghiul β pe circumferința corpului

Tabelul 6.13. Coordonatele de amplasare a mărcilor de TER

Tabelul 6.14. Calculul corpului de probă la încovoiere pentru diferite distanțe între reazeme, fără presiune interioară

Tabelul 6.15. Scurtă descriere a determinărilor experimentale

Tabelul 6.16. Media valorilor deformațiilor obținute fără solicitarea corpului de probă

Tabelul 6.17. Determinări experimentale ale deformațiilor longitudinale, valorile maxime

Tabelul 6.18. Determinări experimentale ale deformațiilor inelare, valorile maxime

Tabelul 6.19. Determinări experimentale ale deformațiilor longitudinale, valorile minime

Tabelul 6.20. Determinări experimentale ale deformațiilor inelare, valorile minime

Tabelul 6.21. Etalonarea șaibei de presiune cu ajutorul mașinii de testat Walter+Bai LF 300

Tabelul 6.22. Treptele de solicitare din timpul testului la încovoiere

Tabelul 6.23. Valorile deformațiilor specifice din punctele de TER, din încovoiere

Tabelul 6.24. Valorile tensiunilor calculate pentru punctele de TER, din încovoiere

Tabelul 6.25. Valorile tensiunilor principale determinate prin MEF, maxime / minime

Tabelul 6.26. Amplasarea mărcilor de TER pe cot și direcția de măsurare

Tabelul 6.27. Prima etapă a încercărilor de solicitare ciclică pe corpul de test fără defecte

Tabelul 6.28. Grosimea de perete inițială măsurată cu aparatul de măsurat grosimi cu ultrasunete

Tabelul 6.29. Datele de intrare pentru calculul tensiunilor din punctele cu subțiere locală a peretelui

Tabelul 6.30. Tensiunile efective în punctele caroiajului afectate de subțierea locală de perete

Tabelul 6.31. A doua etapă a încercărilor de solicitare compusă asupra corpului de probă cu defecte

Tabelul 6.32. Tensiunile după direcțiile longitudinală σ_a și inelară σ_{θ} calculate din

deformațiile TER

Tabelul 6.33. Tensiunile după criteriul von Mises σ_{Mis} și tensiunile MEF în punctele de măsurare

Tabelul 6.34. Intervalul de tensiuni von Mises (minim ... maxim) pentru solicitarea compusă

ABSTRACT

In the framework of the PhD Thesis with the title "*Research on the influence of structural discontinuities on the life span of industrial process piping*" it is proposed to develop a methodology to assess how structural discontinuities within industrial process piping affect their lifetime, going through following steps:

- classification of the factors that influence the lifetime of process piping: stress concentrators, defects such as lack of material, etc;
- analytical and numerical modeling (using FEA) of these structures in order to determine their lifetime. For this, the main analytical and numerical methods used to evaluate the influence of structural discontinuities was studied and the results provided by the two methods compared;
- the experimental evaluation of the way in which the life span is influenced by various factors that will be presented next. The stages of an experimental research program was established to assess the influence of structural discontinuities on the lifetime of process piping;
- the interpretation of the results established with analytical, numerical and experimental methods, with all their particularities: geometric discontinuities, defects such as lack of material.

The research carried out allows a better description of the elements that influence the lifetime of industrial process piping in various process plants.

The assessment of how structural discontinuities within industrial process piping affect their lifetime is the purpose for which the work was developed. The main objective consists in assessing the influence of the factors on lifetime of industrial process piping: stress concentrators as a result of defects such as lack of material or as a result of changes in the geometrical configuration of the route of the piping.

The proposed research will allow a description of the elements that influence the lifetime span of the industrial piping in the process plants so that the main and secondary objectives arising from the works are highlighted as follows:

- main objective: assessment of the influence of factors on the process piping lifetime: stress concentrators, defects of lack of material type, changes of geometrical configuration.
- secondary objectives:
 - main analytical and numerical methods used to evaluate the influence of structural discontinuities and compare the results provided by the two methods;
 - experimental assessment of how life span is influenced by various factors;
 - establishing the stages of an experimental research program to estimate the influence of structural discontinuities on the lifetime of technological industrial pipelines;
 - interpretation of the results obtained with analytical, numerical and experimental methods.
 - development of a practically applicable procedure for determining the life span in the case of process piping, with all their particularities: geometric discontinuities, lack of material defects, creep and vibrations.

The *first chapter* is the introduction, a real gateway to the presentation of the research with the statement of the main objective and the secondary objectives necessary to achieve the main objective pursued in the work, the importance of the theme and the structure of the thesis.

In *chapter 2*, a constructive and functional characterization of industrial technological pipelines was carried out, aiming to present a definition of them from the perspective of applicable standards and other normative documents, continued with the outline of a classification of industrial technological pipelines, as well as the component elements and materials used in their manufacture their, both according to European standards but also according to ASTM standards - the latter having a history and a more extensive applicability. In continuation of these initial elements, the method of carrying out a pipeline resistance calculation is briefly presented, as well as elements of designing pipeline systems, sizing for internal pressure and establishing the test pressure and checking the effective tension in test. The chapter ends with a short paragraph justifying the need to perform experimental determinations.

In *chapter 3*, structural discontinuities, resistance and lifetime of industrial process piping are documented. For this, a synthesis of the research on the influence of structural discontinuities on the strength and life of process piping was carried out, aspects related to the mechanics of breaking, the investigation by numerical analysis of the state of stresses in the vicinity of the top of the cracks as well as the evaluation of the cyclic deformations in the bends of stainless steel subjected to plane bending and pressure. This chapter also presents an evaluation of the defects of process piping and an analysis of their structural discontinuities.

In *chapter 4*, analytical and numerical methods for evaluating the influence of discontinuities on the resistance and lifetime of process pipelines are highlighted. Thus, in the first part of the chapter, the analytical calculation of structural discontinuities specific to industrial technological pipelines is presented, then the finite element method is presented for the calculation of the reinforcements of industrial technological pipeline branches. The need to compare the measured values of the mechanical stresses with the values calculated by numerical methods is reiterated and the last part of the chapter is dedicated to the application of the finite element method regarding the effect of the change in depth and the location of the defect on the stresses in a component element of a technological pipeline.

In order to highlight the assessment of the lifetime of process piping, in *chapter 5* the aspects related to the fatigue of technological pipelines are presented and exemplified by a study on the durability calculation.

In *chapter* 6 of the experimental determinations regarding the influence of structural discontinuities on the resistance and life span of process pipes, the determination of mechanical stresses by electrical resistive tensometry, experimental research on the influence of the ramifications of process piping, highlighting both the materials used to carry out the experiment, are presented specimens including analytical calculation, performing experimental determinations and processing the results, with the determination of specific deformations, calibration of the force cell, processing of experimentally obtained data and finite element analysis of the experimental models used in the tests.

In *chapter* 7, the final conclusions are included, in which the main results and contributions of the thesis are highlighted, as well as the future research directions considered.

REZUMAT

Teza de doctorat cu titlul "*Cercetarea influenței discontinuităților structurale asupra duratei de viață a conductelor tehnologice industriale*" constă dintr-un număr de şapte capitole incluzând Introducerea și conține un număr de 78 de figuri, 96 de tabele, 5 anexe, *Abstract, Cuprins, Bibliografie, Index* (al figurilor și al tabelelor). În cadrul tezei de doctorat se propune elaborarea unei metodologii fundamentate științific pentru evaluarea modului în care discontinuitățile structurale din cadrul conductelor tehnologice industriale (CTI) afectează durata de viață a acestora, parcurgând următoarele etape:

- clasificarea factorilor care influențează durata de viață a CTI: concentratori de tensiuni, defecte de tip lipsă de material, ş.a.
- modelarea analitică și numerică (folosind MEF) a acestor structuri cu scopul de a determina durata de viață a acestora.
- evaluarea pe cale experimentală a modului în care durata de viață este influențată de diverși factori. S-au stabilit etapele unui program experimental de cercetare pentru a estima influența discontinuităților structurale asupra duratei de viață a conductelor industriale tehnologice.
- interpretarea rezultatelor obținute prin metodele analitice, numerice și experimentale, cu particularitățile acestora: discontinuități geometrice și defecte de tip lipsă de material.

Evaluarea modului în care discontinuitățile structurale din cadrul conductelor tehnologice industriale (CTI) afectează durata de viață a acestora reprezintă scopul pentru care lucrarea a fost elaborată. Cercetările efectuate vor permite o mai bună descriere a elementelor care influențează durata de viață a conductelor industriale din instalațiile tehnologice astfel că obiectivele principale și secundare din cadrul lucrării sunt evidențiate mai jos.

Obiectivul general este reprezentat de evaluarea influenței discontinuităților structurale asupra duratei de viață a conductelor tehnologice industriale, iar pentru atingerea lui s-au rezolvat următoarele obiective secundare:

- caracterizarea constructiv funcțională a conductelor tehnologice industriale și identificarea tipurilor de discontinuități structurale întâlnite în cazul conductelor tehnologice industriale:
 - definirea și clasificarea conductele tehnologice în subcapitolele 2.1 și 2.2;
 - prezentarea elementele componente și a materialelor utilizate la confecționarea conductelor tehnologice industriale – subcapitolele 2.3 și 2.4;
 - proiectarea și calculul de rezistență al sistemelor de conducte tehnologice industriale – în subcapitolul 2.5;
- realizarea unui portofoliu de informații provenind din literatura de specialitate cu privire la discontinuitățile structurale, rezistența și durata de viață a conductelor tehnologice industriale:
 - o sinteză a cercetărilor despre influența discontinuităților structurale asupra rezistenței și duratei de viață a CTI – subcapitolul 3.1;
 - evaluarea deformațiilor ciclice din coturile din oțel inoxidabil solicitate la încovoiere plană și la presiune – subcapitolul 3.1.3;
 - evaluarea defectelor conductelor tehnologice industriale subcapitolul 3.1.4;
 - analiza discontinuităților structurale a conductelor tehnologice industriale subcapitolul 3.2;
 - metoda clasificării tensiunilor pentru conductele tehnologice industriale subcapitolul 3.2.1;

- particularitățile analizei cu metoda elementelor finite a stărilor de tensiuni din conductele tehnologice industriale – capitolul 3.2.2;
- modelarea analitică și numerică pentru evaluarea stărilor de tensiuni determinate de influența discontinuităților asupra rezistenței și duratei de viață a conductelor tehnologice industriale :
 - calculul analitic al discontinuităților structurale specifice conductelor tehnologice industriale – subcapitolul 4.1;
 - analiza numerică globală subcapitolul 4.2;
 - metoda elementului finit pentru calculul consolidărilor ramificațiilor conductele tehnologice industriale – subcapitolul 4.2.1;
 - necesitatea comparării valorilor măsurate ale tensiunilor mecanice cu valorile calculate prin metode numerice – subcapitolul 4.2.2;
 - cercetări privind efectul modificării adâncimii și a amplasării defectului asupra tensiunilor – subcapitolul 4.3.1;
- vevaluarea duratei de viață a conductelor tehnologice industriale:
 - aspecte teoretice privind oboseala conductelor tehnologice industriale subcapitolul 5.1;
 - studiu privind calculul la durabilitate al conductelor tehnologice industriale subcapitolul 5.2;
- vevaluarea experimentală a influenței discontinuităților structurale asupra rezistenței și duratei de viață a conductelor tehnologice industriale:
 - determinări ale tensiunilor mecanice prin tensometrie electric rezistivă subcapitolul 6.1;
 - cercetări experimentale privind influența ramificațiilor conductelor tehnologice subcapitolul 6.2;
 - elementele utilizate la realizarea experimentului subcapitolul 6.2.1;
 - corpul de probă subcapitolul 6.2.2;
 - calculul analitic pentru corpul de probă subcapitolul 6.2.3;
 - efectuarea determinărilor și prelucrarea rezultatelor subcapitolul 6.3;
 - cercetări experimentale privind oboseala coturilor de conducte tehnologice industriale subcapitolul 6.4;
 - descrierea materialelor și încercărilor efectuate subcapitolul 6.4.2;
 - prelucrarea datelor experimentale obținute pentru coturile conductelor tehnologice
 subcapitolul 6.4.3.

Primul capitol este reprezentat de *introducere*, o adevărată poartă de intrare în prezentarea cercetării cu enunțarea obiectivului principal și a obiectivelor secundare necesare pentru atingerea obiectivului urmărit, a importanței temei și a structurii tezei.

În *capitolul 2* s-a realizat o caracterizare constructiv funcțională a conductelor tehnologice industriale urmărind prezentarea unei definiții a acestora din perspectiva standardelor aplicabile și a altor documente cu caracter normativ continuată cu schițarea unei clasificări a conductelor tehnologice industriale precum și a elementelor componente și a materialelor utilizate la confecționarea lor, atât conform standardelor europene dar și conform cu standardelor ASTM – acestea din urmă având un istoric și o aplicabilitate mai extinsă. În continuarea acestor elemente de început se prezintă pe scurt modul de efectuare a unui calculul de rezistență al conductelor, dar și elemente de proiectare a sistemelor de conducte, de dimensionare la presiune interioară și de stabilire a presiunii de încercare și de verificare a tensiunii efective în test. Capitolul se încheie printr-un scurt paragraf de justificare a necesității efectuării determinărilor experimentale.

În *capitolul 3* sunt documentate discontinuitățile structurale, rezistența și durata de viață a conductelor tehnologice industriale. Tot în acest capitol se prezintă o evaluare a defectelor conductelor tehnologice industriale și o analiză a discontinuităților structurale a acestora.

În *capitolul 4* sunt puse în evidență metode analitice și numerice de evaluare a influenței discontinuităților asupra rezistenței și duratei de viață a conductelor tehnologice industriale. Astfel, în prima parte a capitolului este prezentat calculul analitic al discontinuităților structurale specifice conductelor tehnologice industriale, în continuare se prezintă metoda elementului finit pentru calculul consolidărilor ramificațiilor conductele tehnologice industriale. Se reia necesitatea comparării valorilor măsurate ale tensiunilor mecanice cu valorile calculate prin metode numerice și ultima parte a capitolului este dedicată pentu aplicarea metodei elementului finit cu privire la efectul modificării adâncimii și a amplasării defectului asupra tensiunilor dintr-un element component de conductă tehnologică.

Pentru a pune în evidență evaluarea duratei de viață a conductelor tehnologice industriale, în *capitolul 5* se prezintă aspectele referitoare la oboseala conductelor tehnologice industriale și se exemplifică printr-un studiu privind calculul la durabilitate.

În *capitolul 6* al determinărilor experimentale privind influența discontinuităților structurale asupra rezistenței și duratei de viață a conductelor tehnologice industriale sunt prezentate determinării ale tensiunilor mecanice prin tensometrie electric rezistivă, cercetări experimentale privind influența ramificațiilor conductelor tehnologice cu punerea în evidență atât a materialelor utilizate la realizarea experimentului, a corpurilor de probă incluzând calculul analitic, efectuarea determinărilor experimentale și prelucrarea rezultatelor, cu determinarea deformațiilor specifice, a etalonării celulei de forță, prelucrarea datelor obținute experimental și analiza cu element finit a modelor experimentale utilizate în cadrul testelor.

În *capitolul* 7 sunt cuprinse concluziile finale, în care sunt evidențiate principalele rezultate și contribuții ale tezei precum și direcțiile viitoarelor cercetări avute în vedere.

Notă

La realizarea programelor de cercetări experimentale în cadrul cărora au fost obținute rezultatele prezentate în cadrul tezei de doctorat s-au utilizat echipamentele existente în laboratoarele Departamentului de Inginerie Mecanică și ale Centrului Regional de Determinare a Performanțelor și Monitorizare a Stării Tehnice a Materialului Tubular Utilizat în Industria Petrolieră, din cadrul al Universității de Petrol – Gaze din Ploiești, prin derularea proiectului POSCCE – A2 – O2.2.1 – 2009 – 4, cofinanțat prin Fondul European de Dezvoltare Regională, care au permis efectuarea programelor experimentale pe corpuri de probă (noi sau utilizate) confecționate din material tubular: determinări prin tensometrie electric rezistivă, determinări ale grosimii de perete cu ultrasunete, solicitări la încovoiere și solicitări ciclice la oboseală pentru care am folosit Sistemele portabile de achiziție de date (nr. inv. 9156; 9157), software-ul de achiziție date CATMAN (nr. inv. 2003), mașina universală pentru teste statice și dinamice cu capacitatea de 300 kN – Walter Bai LF300 din compunerea Standului destinat încercărilor mecanice S1 (nr. inv. 2004).

CONCLUZII, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

Lucrarea a fost redactată în șapte capitole din care primul – *Introducere*, iar ultimul pentru *Concluzii*, precum și *Bibliografie*, *Anexe* și *Index* (pentru figuri și tabele).

În cel de al doilea capitol denumit *"Caracterizarea constructiv funcțională a conductelor tehnologice industriale"* s-a realizat un studiu descriptiv detaliat privind conductele tehnologice în conformitate cu practica inginerească și prescripțiile din normativele internaționale actuale, incluzând o clasificare a acestora preluată din Directiva privind Echipamentele sub Presiune 2014/68/UE, [123], descrierea elementelor componente și a materialelor utilizate la construcția CTI menționate în literatura de specialitate [51, 56, 90] și prevăzute de documentele normative aplicabile – atât cele europene cum ar fi EN 13480, [163 – 167], ș.a. cât și cele din prevederile americane ASME B31.3, [140].

Capitolul 3 – "*Discontinuitățile structurale, rezistența și durata de viață a conductelor tehnologice industriale*" prezintă o sinteză a cercetărilor privind influența discontinuităților structurale asupra rezistenței și duratei de viață a CTI.

Metoda clasificării tensiunilor reprezintă una din metodele recomandate în literatura de specialitate, [65, 87], pentru proiectarea echipamentelor sub presiune și inclusiv a CTI: prin aplicarea metodei *design by analysis* trebuie determinate intensitățile tuturor categoriilor de tensiuni și respectarea criteriilor de evaluare; la determinarea intensității tensiunilor se recomandă utilizarea combinată a metodelor clasice de analiză și a metodelor numerice (MEF) având obiectiv o creștere a capacității portante a CTI.

Capitolul 4, intitulat "Metode analitice și numerice de evaluare a influenței discontinuităților asupra rezistenței și duratei de viață a conductelor tehnologice industriale" descrie calculul analitic și numeric al discontinuităților structurale specifice conductelor tehnologice industriale.

Se prezintă calculul consolidărilor ramificațiilor sudate ale acestora – într-o manieră tradițională denumită "metoda ariilor de înlocuire", așa cum a fost descrisă de către Peng în [55], având obiectiv a asigura că îmbinarea dintre conducta colector și ramificația din cadrul CTI este suficient de rezistentă pentru presiunea de proiectare. Se remarcă aici punctele slabe al metodelor tradiționale de calcul, așa încât în continuarea acestui capitol, în subcapitolul destinat analizei numerice globale se prezintă MEF pentru calculul consolidărilor ramificațiilor CTI, obiectivul acestei tehnici fiind de a evidenția comportarea discontinuităților structurale cât mai aproape de cea reală din operare.

Pentru că documentele normative de proiectare au introdus metodele numerice (MEF) de analiză a tensiunilor mecanice, astfel încât pentru orice activitate de proiectare, expertiză sau verificare a unor sisteme de CTI, apare necesitatea unei ANG a tensiunilor mecanice ca instrument de proiectare, aceasta fiind utilizată și în expertize pentru compararea rezultatelor cu datele experimentale. Necesitatea dublei expertize este confirmată și de faptul că pe durata de operare a CTI, are loc modificarea caracteristicilor dimensionale datorate uzurii, coroziunii, eroziunii, etc. pentru grosimea peretelui și diferențele de valori, semnificative, pun în lumină existența unor defecte locale, de tipul lipsă de material, care vor conduce la o cedare a CTI. Toate acestea au fost exemplificate printr-o comparație a acestor valori pe un corp de probă, pentru care s-a efectuat analiza numerică cu ajutorul MEF – utilizând simetria dispozitivului și elementul finit SHELL93 din biblioteca ANSYS.

În continuarea capitolului au fost studiate cu ajutorul MEF mai multe cazuri privind efectul modificării adâncimii și al amplasării defectului asupra tensiunilor.

Din aceste analize s-a observat o valoare maximă a tensiunilor în zona ramificației pentru solicitarea dată ca urmare a faptului că ramificația nu este consolidată astfel că tensiunile locale din defect nu depășesc valorile tensiunilor din proximitatea ramificației neconsolidate.

Creșterea valorii unghiului de amplasare a defectului, către imediata vecinătate a ramificației, determină creșterea valorile tensiunilor locale din defect.

La aceeași adâncime de defect și unghi de deschidere a defectului o lungime a defectului mai mare determină o ușoară diminuare a tensiunilor locale.

În capitolul cinci al lucrării, denumit *"Evaluarea duratei de viață a conductelor tehnologice industriale"* sunt prezentate aspectele generale teoretice și modul de evaluare a comportării la oboseală a conductelor, în ultimul subcapitol au fost efectuate analize numerice pentru a evidenția cazul unui element component de conductă.

În capitolul șase al lucrării – *"Determinări experimentale privind influența discontinuităților structurale asupra rezistenței și duratei de viață a conductelor tehnologice industriale"* în prima parte a capitolului este prezentată evaluarea experimentală a tensiunilor pentru un element de conductă care este prevăzut cu o ramificație, zonă în care apar concentratori de tensiuni, iar în partea a doua a capitolului s-au prezentat determinările experimentale la solicitare ciclică pe corpuri de probă din coturi de conducte tehnologice.

Pentru prima parte a programului de încercări s-a urmărit efectuarea unei analize de tensometrie pentru corp de probă prevăzut cu o ramificație, solicitat în domeniul elastic, la încovoiere fără presiune interioară, cu valoarea distanței dintre reazeme constantă, de o forță care crește în trepte. S-a constat o dependență liniară între forța aplicată și tensiuni. Pentru efectuarea determinărilor experimentale și interpretarea rezultatelor s-au prelucrat datele experimentale:

- determinarea deformațiilor specifice;
- etalonarea celulei de forță pentru monitorizarea sarcinii aplicate;
- calculul tensiunilor maxime și de la acestea a tensiunilor echivalente.

Pentru validarea metodei numerice de analiză structurală s-a utilizat MEF, s-a efectuat o analiză structurală pe un model al corpului de probă solicitat la încovoiere simplă fără presiune interioară. Pentru acest caz tensiunile mecanice au fost determinate prin trei modalități: analitic, numeric și experimental. Concordanța cea mai bună s-au obținut între valorile numerice și cele experimentale. Diferențele majore între valorile analitice și celelalte valori se pot explica prin neomogenitatea geometrică a corpului de probă.

Pentru a doua parte a programului de determinări s-a cercetat experimental comportamentul la oboseală la temperatura camerei a coturilor de conducte tehnologice cu și fără defecte interioare prin solicitare la încovoiere ciclică simetrică în plan cu și fără presiune interioară. Rezultatele experimentale, calculul analitic și analiza prin MEF au condus la concluziile:

- deformațiile inelare și longitudinale la oboseală au fost înregistrate pentru intrados, flancuri și extradosul cotului prin tensometrie;
- solicitarea maximă apare în flancurile laterale ale cotului, tensiunile din intrados sunt la un nivel intermediar, iar la extradosul coturilor apare o tensiune minimă, similar rezultatelor obținute și în alte cercetări [46, 84, 93, 101];
- cercetarea experimentală confirmă rezultatul obținut în [84] cu privire la faptul că punctul cel mai solicitat apare la suprafața interioară a flancului cotului, indiferent de subțierea locală a peretelui la extradosul cotului;
- punctul cu cele mai mari deformații a apărut la suprafața interioară a flancului corpului de probă după cum a fost evidențiat în [84] pentru cotul fără defect;
- pentru a evidenția influența anomaliilor (defecte interioare, de exemplu şanțuri transversale), s-a efectuat calculul analitic al tensiunilor (EN 13480-3) datorate presiunii interioare pentru fiecare grosime de perete măsurată în punctele caroiajului;
- solicitarea la oboseală a corpurilor supuse încercărilor ciclice (numărul de cicluri pe secvența de solicitare de la 82960 la 99185);

- pentru valorile de solicitare corespunzătoare valorilor deplasării de ±1,00 mm şi 0 bar s-au înregistrat valori maxime ale deformațiilor şi tensiunilor rezultate (principale şi echivalente conform criteriului von Mises) pentru toate punctele de analiză tensometrică. Pe măsură ce corpul de probă este presurizat, solicitarea de încovoiere este relaxată de presiunea interioară, un comportament similar găsit şi în [46, 84];
- diminuarea ovalizării și a acumulării locale de tensiuni constatată și la coturile fără defecte.

Principalele contribuții avute în vedere, care țin seama de stadiul actual al cercetărilor, de noutatea temei, sunt prezentate în continuare:

- realizarea unui portofoliu de informații provenind din literatura de specialitate cu privire la cercetările de pe plan internațional legate de tema tezei de doctorat;
- analiza rezultatelor și datelor obținute din literatura de specialitate privind influența discontinuităților structurale asupra duratei de viață a conductelor tehnologice industriale;
- clasificarea şi ierarhizarea discontinuităților structurale asupra duratei de viață a conductelor tehnologice industriale, din punct de vedere al importanței;
- elaborarea unui program de cercetări experimentale având ca obiectiv determinarea influenței discontinuităților structurale asupra duratei de viață a conductelor tehnologice;
- realizarea calcului analitic;
- realizarea unei analize structurale cu MEF în vederea determinării influenței pe care o au discontinuitățile structurale de diferite tipuri și dimensiuni, asupra duratei de viață a conductelor tehnologice industriale;
- sistematizare încercărilor experimentale corespunzătoare cercetărilor din domeniul abordat;
- interpretarea datelor obținute pe baza analizei cu metoda elementului finit;
- interpretarea datelor obținute pe baza analizei experimentale;
- compararea valorilor obținute cu MEF cu valorile obținute pe cale experimentală pentru a valida și a justifica utilizarea acestei metode, astfel încât rezultatele obținute să poată fi extinse pentru estimarea influenței discontinuităților structurale asupra duratei de viață a CTI cu diferite caracteristici.

Printre direcțiile de cercetare care pot fi evidențiate și aprofundate sunt:

- cercetări experimentale a influenței discontinuităților structurale asupra CTI conectate la echipamente cum ar fi cuptoarele tehnologice sau schimbătoarele de căldură și care operează la temperaturi ridicate, astfel încât prezintă valori importante ale deplasărilor datorate dilatărilor întregului ansamblu de conducte sau, ajung în domeniul fluajului;
- cercetarea experimentală a influenței discontinuităților structurale asupra CTI care operează la temperaturi scăzute;
- adaptarea și integrarea modelărilor dezvoltate în teză în sisteme automate de monitorizare a funcționării conductelor din instalațiile tehnologice industriale.

BIBLIOGRAFIE

- 1. Anderson, T.L., Fracture Mechanics Fundamentals and Applications. 2nd ed., Boca Raton: CRC, 1994
- Arora P., Singh P. K., Bhasin V., Vaze K.K., Pukazhendhi D.M., Gandhi P., Raghava G., Fatigue Crack Growth Behavior in Pipes and Elbows of Carbon Steel and Stainless Steel Materials, 6th International Conference on Creep, Fatigue and Creep-Fatigue Interaction [CF-6], Procedia Engineering, Vol. 55, 703-709, (2013),
- 3. Ayhan, A.O., Three-dimensional mixed-mode stress intensity factors for cracks in functionally graded materials using enriched finite elements, International Journal of Solids and Structures, Vol. 46, Issues 3, 4, 796-810, (2009)
- 4. Barbera D., Chen J.F., Liu Y.H., On the Creep Fatigue Behavior of Metal Matrix composites, Procedia Engineering, Vol. 130, 1121-1136, (2015)
- 5. Bausbacher E., Roger Hunt, Process Plant Layout and Piping Design, PTR Prentice Hall, 1993
- 6. Benzeggagh, M. Kenane M., Measurement of Mixed-Mode Delamination Fracture Toughness of Unidirectional Glass/Epoxy Composites with Mixed-Mode Bending Apparatus. Composite Science and Technology, Vol. 56, 439-449, (1996)
- Braun, M., Configurational forces induced by finite-element discretization. Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Physics and Mathematics, Vol. 35, 379-386, (1997)
- 8. Jeon B.G., Kim S.W., Choi H.S., Park D.U., Kim N.S., A Failure Estimation Method of Steel Pipe Elbows under in-plane Cyclic Loading, Nuclear Engineering and Technology, Vol. 49, 245-253, (2017)
- 9. Carlsson, A.J., Influence of Non-Singular Stress Terms and Specimen Geometry on Small-Scale Yielding at Crack Tips in Elastic-Plastic Materials, Journal of the Mechanics and Physics of Solids, Vol. 21, 4, 263-277, (1973)
- 10. Chelu A., Cercetări privitoare la suprapunerea efectelor solicitărilor și deteriorării produsă de fisuri asupra structurilor mecanice, cu aplicație la joncțiunile tubulare ale echipamentelor sub presiune, Teză de doctorat, București, 2015
- 11. Constantinescu I.N., Tacu T., Calcule de rezistență pentru utilaje tehnologice, Editura Tehnică, București, 1979
- 12. Cotterell B., Rice J., Slightly Curved or Kinked Cracks, International Journal of Fracture, Vol. 16, 2, 155-169, (1980)
- 13. da Costa A.E.N., On the viscous flow in metals, and allied phenomena. Proceedings of the Royal Society, A 84, 1-12., (1910)
- Dahlberg M., Hannes D., Svensson T., Research 2015:38 Evaluation of Fatigue in Austenitic Stainless Steel Pipe Components, Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM), Swedish Radiation Safety Authority, ISSN: 2000-0456, 2015
- El-Gebeily M., Khulief Y.A., Identification of Wall-Thinning and Cracks in Pipes Utilizing Vibration Modes and Wavelets, Applied Mathematical Modelling, Vol. 40, 5335-5348, (2016)
- 16. Eshelby J.D., The Determination of the Elastic Field of an Ellipsoidal Inclusion and Related Problems, Proceedings of the Royal Society of London, Series A. Mathematical and Physical Sciences, Vol. 241, 1226, 376-396, (1957)
- Fett T., Bahr H.A., Mode I Stress Intensity Factors And Weight Functions For Short Plates Under Different Boundary Conditions, Engineering Fracture Mechanics, Vol. 62, Issue 6, 362-375, (1999)
- 18. Freese C.E., Baratt F.I., Single edge crack stress intensity factor solutions, Engineering Fracture Mechanics, Vol. 73, Issue 5, 616-625, (2006)

- 19. Hannes D., Svensson T., Anderson A., Dahlberg M., Experimental Study of Weld Fatigue Strength Reduction for a Stainless Steel Piping Component, Procedia Engineering, Vol. 213, 383-391, (2018)
- 20. Kümbetlian G., Niță Al., Câteva considerații istorice asupra teoriilor de rezistență, Studii și comunicări, Vol. 2, 353-361, (2009)
- 21. Hackett, E.M., Schwalbe K.H., Constraint Effects in Fracture, ASTM International-Committee E08 on Fatigue and Fracture, 1171, (1993)
- 22. Hinnant C., Paulin T., Experimental Evaluation of the Markl Fatigue Methods and ASME Piping Stress Intensification Factors, ASME PVP Conference, Chicago, 2008
- 23. Hoffmann K., An Introduction to Stress Analysis using Strain Gauges, Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH., HBM Publication, Darmstadt, 2018
- 24. Hoffmann K., Practical Hints for the Installation of Strain Gages, Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH., HBM Publication, Darmstadt, (2014)
- 25. Hooke R., Lectures De Potentia Restitutiva or of Spring Explaining the Power of Springing Bodies, (Google Books/Österreichische Nationalbibliothek), London, Royal Society, (1678)
- 26. Horoschenkoff Al, Klein S., Haase K.H., Structural Integration of Strain Gages, Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH., HBM Publication, Darmstadt, (2006)
- 27. Hutchinson, J.W., Singular Behavior at the End of a tracțiune Crack in a Hardening Material." Journal of the Mechanics and Physics of Solids, Vol. 16, 1, 13-31, (1968)
- Hwu Ch., Kuo T.L., A Unified Definition for Stress Intensity Factors of Interface Corners and Cracks, International Journal of Solids and Structures, Vol. 44, Issues 18-19, 6340-6359, (2007)
- 29. Hyde C.J., Sun W., Hyde T.H., An Investigation of the Failure Mechanisms in High Temperature Materials Subjected to Isothermal and Anisothermal Fatigue and Creep Conditions, Procedia Engineering, Vol. 10, 1157-1162, (2011)
- 30. Hütte-Manualul inginerului-Fundamente, Traducere din limba germană după ediția a 29-a, Editura Tehnică, București, (1995)
- 31. Ju J., Calculation and Comparison of Fracture Parameter of 3-D Thin-walled Structure in ANSYS, National University of Ireland, 2004
- Kauppila P., Kouhia R., Ojanpera J., Saksala T., Sorjonen T., A Continuum Damage Model For Creep Fracture And Fatigue Analyses, Procedia Structural Integrity, Vol. 2, 887-894, (2016)
- 33. Khattak M. A., Zareen N., Mukhtar A., Kazi S., Jalil A., Ahmed Z., Muhammad J.M., Root Cause Analysis (RCA) of Fractured ASTM A53 Carbon Steel Pipe at Oil & Gas Company, Case Studies in Engineering Failure Analysis, Vol. 7, 10, 1-8, (2016)
- 34. Kroenke W.C., Hechmer J.L., Hollinger G.L., Pedani A.J., Component Evaluation Using the Finite Element Method Pressure Vessel & Piping Design: A Decade of Progress: 1970-1980, Chap.2.11, ASME, (1981)
- 35. Krueger, R. The Virtual Crack Closure Technique: History, Approach and Applications. ICASE Report No. 2002-10, (2002)
- 36. KTH Royal Institute of Technology, KTH Solid Mechanics, Introduction to a Finite Element Analysis Program: ANSYS
- 37. Li Hongjun, Mackenzie Donald, Characterising Plastic Collapse of Pipe Bend Structures, International Journal of Pressure Vessels and Piping Vol. 83, 85-95, (2006)
- Locati L., Sul criterio di prova ad azione progresiva. La Metallurgia italiana, Vol. 5, 179-184, (1959)
- M. D. Olson, M. R. Hill, Determination Of Residual Stress Intensity Factor In The Compact Tension Coupon, Engineering Fracture Mechanics, Vol. 88, Pages 28-34, (2012)

- 40. M. Kadlec, P. Haušild, J. Siegl, A. Materna, J. Bystrianský, Thermal Fatigue crack growth in stainless steel, International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol. 98, 89-94, (2012)
- 41. Mahler M., Özkan F., Aktaa J., ANSYS Creep-Fatigue Assessment Tool For EUROFER97 Components, Nuclear Materials and Energy, Vol. 9, 535-538, (2016)
- 42. Mandziej S.T., Low-Cycle Thermal-Mechanical Fatigue As An Accelerated Creep Test
- 43. E. Manfredi., P. Forte, Italian studies on fatigue-The period 1930-1970, Work published in the "Notiziario" of the Italian Association for Stress Analysis (A.I.A.S.) (Italian: Studi italiani sulla fatica-Il periodo 1930-1970, Lavoro publicato sul "Notiziario" dell'Associazioni Italiana per l'Analisi delle Sollecitazioni (A.I.A.S.), 83, 1997, Università degli Studi di Pisa, 2015
- 44. Marcal P.V., Fong J.T., Rainsberger R., Ma L., Finite Element Analysis of a pipe Elbow Weldment Creep Fracture Problem Using an Extremely Accurate 27-Node Tri-Quadratic Shell and Solid Element Formulation
- 45. Nayyar M.L. et al., Piping Handbook, 7th Ed., McGraw-Hill, 2000
- 46. Harun M.F., Mohammad R., Kotousov A., Low Cycle Fatigue Behavior of Elbows with Local Wall Thinning, Metals, 10, 260, 1-9, (2020)
- 47. Koçak M., GKSS Research Center, Institute for Materials Research, European Fitnessfor-Service Procedure-Final Technical Report, GKSS Forschungszentrum Geesthacht GmbH (GKSS), (2006)
- 48. Nădășan Șt., Horovitz B., Bernath Al., Safta V., Oboseala Metalelor, Editura Tehnică, București, 1962
- Näser, B., Kaliske M., Müller R., Material Forces for Inelastic Models at Large Strains: Application to Fracture Mechanics, Computational Mechanics, Vol. 40, 6 1005-1013, (2007)
- 50. Negru R.M., Probleme speciale de rezistența materialelor, Timișoara, 2002, http://www.mec.upt.ro/rezi/Probleme_speciale_de_RM/ (08/2022)
- 51. Posea N., Anghel A., Grigore N., Mincu V., Statica și dinamica sistemelor de conducte, Editura Academiei Române, București, 1996
- 52. Noels L., Fracture mechanics, Damage and Fatigue Overview, University of Liège, Computational & Multiscale Mechanics of Materials-CM3, <u>http://www.ltascm3.ulg.ac.be/MECA0058-1/MecaRuptOverview.pdf</u> (08/2022)
- 53. Noguchi Yasutaka, Okada Hirokazu, Semba Hiroyuki, Yoshizawa Mitsuru, Isothermal, Thermo-Mechanical and Bithermal Fatigue Life of Ni Base Alloy HR6W for Piping in 700°C USC Power Plants
- 54. Paris P. C., Sih G. C., Stress Analysis of Cracks, Fracture Toughness and Testing and its Applications, ASTM, Philadelphia, STP 381. 30-83., (1965)
- 55. Peng L.C., Peng T.L. (A.), Pipe Stress Engineering, ASME Press, 2009
- 56. **Petre C.M.**, Stadiul actual al cercetărilor privind influența discontinuităților structurale asupra duratei de viață a conductelor tehnologice industriale, Raport de cercetare nr. 1 la teza de doctorat cu titlul: "Cercetarea influenței discontinuităților structurale asupra duratei de viață a conductelor tehnologice industriale", 6/04/2017
- 57. **Petre C.M.**, Cercetări privind evaluarea analitică și numerică a influenței discontinuităților structurale asupra duratei de viață a conductelor tehnologice industriale, Raport de cercetare nr. 2 la teza de doctorat cu titlul: "Cercetarea influenței discontinuităților structurale asupra duratei de viață a conductelor tehnologice industriale", 13/12/2017
- 58. **Petre C.M.**, Cercetări experimentale privind influența discontinuităților structurale asupra duratei de viață a conductelor tehnologice industriale, Raport de cercetare nr. 3

la teza de doctorat cu titlul: "Cercetarea influenței discontinuităților structurale asupra duratei de viață a conductelor tehnologice industriale", 20/09/2019

- 59. Zaharia Maria, Pupăzescu Alexandru, **Petre C.M.**, Comparative Study Concerning the Methods of Calculation of the Critical Axial Buckling Load for Stiffened Cylindrical Shells, Revista de chimie, Bucharest, Vol. 69, No. 8, (2018) 2000-2004
- 60. **Petre C.M.**, Analiza cu element finit a ramificațiilor tehnologice-Analiza tensiunilor din teurile conductelor tehnologice, International Multilingual Journal of Science and Technology (IMJST), ISSN: 2528-9810, Vol. 7, Issue 7, 5203-5206, (2022)
- 61. **Petre C.M.**, Diniță A., Ramadan I.N., Experimental Assessment of Local Wall Thinning of a Process Piping Elbow, U.P.B. Scientific Bulletin, Series ..., Vol. ..., Iss. ..., (2022), ISSN 1223-7027, ID 12866/29/07/2022
- 62. Pupăzescu Al., Mecanică teoretică și rezistența materialelor, Editura Universității Petrol – Gaze din Ploiești, (2007)
- 63. Pupăzescu Al., Zaharia M., **Petre C.M.**, The Necessity to Correlate the Measured Values of Stresses with the Values Calculated with Numerical Methods, Buletinul Universității Petrol Gaze din Ploiești, Vol. LXX, No. 3/2018, 10-15, Seria Tehnică, Ploiești, (2018)
- 64. Pupăzescu Al., Zecheru Gh., Utilizarea metodei clasificării tensiunilor la proiectarea recipientelor sub presiune, Conferința Națională Echipamente, Instalații și Inginerie de Proces, Universitatea Politehnica București, Septembrie 2004
- Raghava G., Gandhi P., Vaze K. K., Cyclic Fracture, FCG and Ratcheting Studies on Type 304LN Stainless Steel Straight Pipes and Elbows, Procedia Engineering, Vol. 55, 693-698, (2013)
- 66. Razaka N. Ab, Daviesa C. M., Nikbina K.M., Creep-Fatigue Crack Growth Behaviour of P91 Steels, Procedia Structural Integrity, Vol. 2, 855-862, (2016)
- 67. Reeder J.S., Kyongchan P.B., Chunchu D.R.. Ambur, Postbuckling and Growth of Delaminations in Composite Plates Subjected to Axial compresiune. 43rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures. Structural Dynamics, and Materials Conference. Denver, 1746 10 (2002)
- 68. Reeder J.R. "A Bilinear Failure Criterion for Mixed-Mode Delamination in Composite Materials." Testing and Design. ASTM STP 1206. 11 303-322, (1993)
- 69. Rice J.R. "A Path Independent Integral and the Approximate Analysis of Strain Concentration by Notched and Cracks." Journal of Applied Mathematics, Vol. 35, 379-386, (1968)
- 70. Rice J.R., Rosengren G. F., Plane Strain Deformation Near a Crack Tip in a Power Law Hardening Material, Journal of the Mechanics and Physics of Solids, Vol. 16, 1-12, (1968)
- 71. Riedel H., Creep Deformation at Crack Tips in Elastic-viscoplastic Solids." J. Mech. Phys. Solids, Vol. 29, 35-49, (1981)
- 72. Riedel H., Cracks in Creeping Solids, Fracture Mechanics: 12th Conference, ASTM STP 700, 112-130, (1980)
- 73. Rusu O., Oboseala metalelor, Editura Tehnică, București, 1992
- Rybicki E.F., Kanninen M.F., A Finite Element Calculation of Stress-Intensity Factors by a Modified Crack Closure Integral, Engineering Fracture Mechanics, Vol. 9, 931-938, (1977)
- 75. Shi J.H., Creep Fatigue Crack Initiation Assessment of Elbow End Welds, Procedia Engineering Vol. 130, 893-901, (2015)
- Shih C.F., Moran B., Nakamura T., Energy Release Rate Along a Three-Dimensional Crack Front in a Thermally Stressed Body." International Journal of Fracture, 30, 2 79-102, (1986)

- Shlyannikov V.N., Tumanov A.V., Boychenko N.V., Tartygasheva A.M., Effect of Pipe Bend Shape Imperfections on Creep Fatigue Crack Growth, Procedia Engineering, Vol. 130, 868-878, (2015)
- 78. Hajdu Š., The Investigation of the Stress State near the Crack Tip of Central Cracks Through Numerical Analysis, Procedia Engineering, Vol. 69, 477-485, (2014)
- 79. Stirl A., Laube N., Kremp R., Klemmer O., Restwanddickenmessungen an landtechnischen Anlagen, VEB Prüfundversuchsbetrieb Charlothenthal, Agrartechnick Berlin, Vol. 37, 389-390, (1987)
- 80. Svensson T., Hannes Dave, Johannesson Pär, Dahlberg Magnus, Anderson Andreas, Three HCF Models For Strain Fatigue Life of Welded Pipes In Austenitic Stainless Steel, Procedia Engineering, Vol. 101, 476-484, (2015)
- 81. Vasilescu Ș., Talle V., Rezistența materialelor-Solicitări fundamentale, Editura Universității Petrol-Gaze din Ploiești, (2007)
- Takahashi K., Kato A., Ando K., Hisatsune M., Hasegawa K., Fracture and Deformation Behaviors of Tee Pipe with Local Wall Thinning, Nuclear Engineering and Design, Vol. 237, 137-142, (2007)
- Takahashi K., Ando K., Hisatsune M., Hasegawa K., Failure Behavior of Carbon Steel Pipe with Local Wall Thinning Near Orifice, Nuclear Engineering and Design, Vol. 237, 335-341, (2007)
- Takahashi K., Tsunoi S., Hara T., Ueno T., Mikami A., Takada H., Ando K., Shiratori M., Experimental Study of Low-Cycle Fatigue of Pipe Elbows with Local Wall Thinning and Life Estimation Using Finite Element Analysis, International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol. 87, 211-219, (2010)
- Tao J. (X.Y.), Rayner G., Creep Fatigue Crack Initiation Assessment for Weldment Joint Using the Latest R5 Assessment Procedure, Procedia Engineering, Vol. 130, 879-892, (2015)
- 86. Farhad T., Eurofer Steel, Development to Full Code Qualification, Procedia Engineering, Vol. 55, 300-308, (2013)
- 87. Taylor N., e.a., The Design by Analysis Manual, European Comission, DG-JRC/IAM, Petten-The Netherlands, (1999)
- 88. Toshio, N., Parks D. M., Determination of Elastic T-Stress Along Three-Dimensional Crack Fronts Using an Interaction Integral, International Journal of Solids and Structures, Vol. 29, 13, 1597-1611, (1992)
- Trebuňa F., Šimčák F., Elasticity, Strength and Plasticity in Engineering, Košice, ISBN 80-8073-276-0, (2005)
- 90. Trouvay & Cauvin, Piping Equipment, Société Normande D'Arts Graphiques, Le Havre, (2001)
- 91. Nicolae V., Utilaje statice petrochimice și de rafinărie, Editura Universității Petrol-Gaze din Ploiești, Ploiești, (2007)
- 92. Vishnuvardhan S., Raghava G., Gandhi P., Saravanan M., Pukazhendhi D. M., Goyal S., Arora P., Gupta S. K., Fatigue Ratcheting Studies On TP304 LN Stainless Steel Straight Pipes, Procedia Enginering, Vol. 2, 2209-2218, (2010)
- 93. Vishnuvardhan S., Raghava G., Gandhi P., Sumit Goyal, Suneel K. Gupta, Vivek Bhasin, Ratcheting Strain Assessment in Pressurised Stainless Steel Elbows Subjected to In-plane Bending, Procedia Engineering, Vol. 55, 666-670, (2013)
- 94. Voicu I., Nicolae V., Calculul și construcția utilajului chimic, petrochimic și de rafinării-Îndrumar de laborator, Institutul de Petrol și Gaze, Ploiești, (1984)
- 95. Paulin Research Group, What is a Stress Intensification Factor (SIF), (2008)
- 96. Wachel J. C., Smith D. R., Vibration Troubleshooting of Existing Piping System, Engineering Dynamics Incorporated, (1991)

- 97. Wang Y., Serra R., Argoul P., Adapted Locati Method Used for Accelerated Fatigue Test under Random Vibrations, Procedia Structural Integrity, Vol. 19, 674-681, (2019)
- 98. Wittenberghe Jeroen Van, De Pauw Jan, Baets De Patrick, De Waele Wim, Wahab Magd Abdel, De Roeck Guido, Experimental Determination of The Fatigue Life of Modified Threaded Pipe Couplings, Procedia Engineering, Vol. 2, 1849-1858, (2010)
- 99. Wöhler August, Über die Festigkeitsversuche mit Eisen und Stahl, Verlag von Ernst & Korn, Berlin, (1870)
- 100. Wu E.M., Reuter R.C. Jr., Crack Extension in Fiberglass Reinforced Plastics, University of Illinois, T/AM Report, 275, (1965)
- 101. Yoo Y.S., Ahn S.H., Nam K.W., Ando K., Ji S.H., Ishiwata M., Hasegawa K., Fracture Behavior of Straight Pipe and Elbow with Local Wall Thinning, Transactions, SMiRT 16, Washington, August (2001)
- 102. Zhao Z.Z., Wu X.Y., Chen X., Structural Integrity and Creep-fatigue Assessment by ASME-NH for Hydrogenation Equipment at 454°C, Procedia Engineering, Vol. 130, 414-422, (2015)
- 103. Zhou Z., Xu X., Leung A.Y.T., Huang Y., Stress intensity factors and T-stress for an edge interface crack by symplectic expansion, Engineering Fracture Mechanics, Vol. 102, 334-347, (2013)
- 104. Zecheru Gh., Drăghici Gh. Elemente de ingineria și știința materialelor, Editura Ilex și Editura Universității din Ploiești, București, (2002)
- 105. Zhang Y., Noda N.A., Takaishi K.T., Lan X., Stress intensity factors of a central interface crack in a bonded finite plane and periodic interface cracks under arbitrary material combinations, Engineering Fracture Mechanics, Vol. 78, 6, 1218-1232, (2011)
- 106. Zhao, L.G., Tong J., Byrne J., Stress-Intensity Factor K and the Elastic T-Stress for Corner Cracks, International Journal of Fracture, 109, 2, 209-225, (2001)
- 107. Lydell B., RSA Technologies, International Databases on Piping Failures: Do They Exist-Are They Needed?, Seminar on Piping Reliability, Sigtuna, Sweden, September 30-October 1, (1997)
- 108. Cosham A., Hopkins P., Penspen Integrity, The Assessment of Corrosion in Pipelines-Guidance in the Pipeline Defect Assessment Manual (PDAM), Colloquium 'Reliability of High Pressure Steel Pipelines' Prague, Czech Republic, (2003)
- Cosham A., Hopkins P., Penspen Integrity, The Pipeline Defect Assessment Manual, Proceedings of IPC 2002: International Pipeline Conference, Calgary, Alberta, Canada, (2002)
- 110. ESA Messtechnik GmbH., Data Sheet · Signal Conditioner/Amplifier System Traveller Static, (2017)
- Olympus Scientific Solutions, 38DL PLUS Ultrasonic Thickness Gage User's Manual, (2016)
- 112. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH., Data Sheet · MGC Plus, Darmstadt, 2018
- 113. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH., Data Sheet Force Washer for Monitoring Tasks, Darmstadt, (2013)
- 114. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH., HBM Strain Gauges and Accesories, Darmstadt, (2018)
- Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH., Mounting Instructions · Force Washer KMR, (2018)
- 116. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH., Operating Manual MGC Plus, Darmstadt, (2018)
- 117. SAS IP, Inc., ANSYS Help, Version 18.0, SAS IP, Inc., (2016)
- 118. SAS IP, Inc., ANSYS Mechanical APDL Basic Analysis Guide, Release 15.0, SAS IP, Inc., (2013)

- SAS IP, Inc., ANSYS Mechanical APDL Theory Reference, Release 15.0, SAS IP, Inc., (2013)
- 120. SAS IP, Inc., ANSYS Mechanical Tutorials, Release 16.0, 2013
- 121. VEB Werkstoffprüfmaschinen, Instrucțiuni pentru folosirea pulsatorului ZD 100, Leipzig, (1972)
- 122. Vukić Lazić, Dušan Arsić, Ružica R. Nikolić, Dragan Rakića, Srbislav Aleksandrović, Milan Djordjević, Branislav Hadzima, Selection and Analysis of Material for Boiler Pipes in a Steam Plant, Procedia Engineering, Vol. 149, 216-223, (2016)
- 123. * * * Directiva 2014/68/UE a Parlamentului European și a Consiliului din 15 mai 2014 privind armonizarea legislației statelor membre referitoare la punerea la dispoziție pe piață a echipamentelor sub presiune
- 124. American Petroleum Institute, API 579-1/ASME FFS-1 Fitness for Service
- 125. American Petroleum Institute, API 599-2013 Metal Plug Valves—Flanged, Threaded, and Welding Ends
- 126. American Petroleum Institute, API 5L Specification for Line Pipe
- 127. American Petroleum Institute, API 600-2009 Steel Gate Valves—Flanged and Buttwelding Ends, Bolted Bonnets
- 128. American Petroleum Institute, API 608-2008 Metal Ball Valves—Flanged, Threaded and Welding Ends
- 129. American Petroleum Institute, API 609-2004 Butterfly Valves: Double Flanged, Lugand Wafer-Type
- 130. American Society of Civil Engineers, American Lifelines Alliance, Seismic Design and Retrofit of Piping Systems, 2002
- 131. The American Society of Mechanical Engineers, ASME B16.10-2009 Face-to-Face and End-to-End Dimensions of Valves
- 132. The American Society of Mechanical Engineers, ASME B16.11-2009 Forged Fittings, Socket-Welding and Threaded
- 133. The American Society of Mechanical Engineers, ASME B16.25-2007 Buttwelding Ends
- 134. The American Society of Mechanical Engineers, ASME B16.28-1994 Wrought Steel Butt-welding Short Radius Elbows and Returns
- 135. The American Society of Mechanical Engineers, ASME B16.34-2009 Valves-Flanged, Threaded and Welding End
- 136. * * * ASME B16.47-2006 Large Diameter Steel Flanges
- 137. * * * ASME B16.5-2009 Pipe Flanges and Flanged Fittings
- 138. * * * ASME B16.9-2007 Factory-Made Wrought Buttwelding Fittings
- 139. * * * ASME B31.1-2012 Power Piping, ASME Code for Pressure Piping
- 140. * * * ASME B31.3-2012 Process Piping, ASME Code for Pressure Piping
- 141. * * * ASME B36.10M-2004 Welded and Seamless Wrought Steel Pipe
- 142. * * * ASME B36.19M-2004 Stainless Steel Pipe
- 143. British Standards Institute, BS 7910 Guide to Methods for Assessing the Acceptability of Flaws in Metallic Structures
- 144. Comitetul European de Standardizare (CEN) / ASRO, SR EN 10028:2009 Produse plate din oțel pentru recipiente sub presiune
- 145. Comitetul European de Standardizare (CEN) / ASRO, SR EN 10204:2005 Produse metalice. Tipuri de documente de inspecție
- 146. Comitetul European de Standardizare (CEN) / ASRO, SR EN 10208-2:2009 Ţevi de oţel pentru conducte destinate fluidelor combustibile. Condiţii tehnice de livrare. Partea 2: Ţevi în clasa de prescripţii B

- 147. Comitetul European de Standardizare (CEN) / ASRO, SR EN 10213:2008 Piese turnate din oțel pentru funcționarea sub presiune
- 148. Comitetul European de Standardizare (CEN) / ASRO, SR EN 10216-1:2014 Țevi de oțel fără sudură utilizate la presiune. Partea 1: Țevi de oțel nealiat cu caracteristici specificate la temperatura ambiantă
- 149. * * * SR EN 10216-2:2014 Țevi de oțel fără sudură utilizate la presiune. Partea 2: Țevi de oțel nealiat cu caracteristici specificate la temperatură ridicată
- 150. * * * SR EN 10216-3:2014 Țevi de oțel fără sudură utilizate la presiune. Partea 3: Țevi de oțel aliat cu granulație fină
- 151. * * * SR EN 10216-4:2014 Țevi de oțel fără sudură utilizate la presiune. Partea 4: Țevi de oțel nealiat și aliat cu caracteristici specificate la temperatură scăzută
- 152. * * * SR EN 10216-5:2014 Țevi de oțel fără sudură utilizate la presiune. Partea 5: Țevi de oțel inoxidabil
- 153. * * * SR EN 10217:2015 Țevi de oțel sudate utilizate la presiune
- 154. * * * SR EN 10222:2001 Piese forjate din oțel pentru recipiente sub presiune
- 155. * * * SR EN 10253:2008- 1 Racorduri pentru sudare cap la cap. Partea 1: Oțel carbon forjabil pentru utilizări generale și fără condiții de inspecție specifică
- 156. * * * SR EN 10253:2008-2 Racorduri pentru sudare cap la cap. Partea 2:Oțeluri nealiate și oțeluri aliate feritice cu condiții de inspecții specifice
- 157. * * * SR EN 10253:2008-3 Racorduri pentru sudare cap la cap. Partea 3: Oțel inoxidabil austenitic și austenitic-feritic fără condiții de inspecție specifică
- 158. * * * SR EN 10253:2008-4 Racorduri pentru sudare cap la cap. Partea 4: Oțeluri inoxidabile austenitice și austenito-feritice (duplex) cu condiții de inspecții specifice
- 159. * * * SR EN 1092:2003 Flanșe și îmbinarea lor. Flanșe rotunde pentru conducte, robinete, racorduri și accesorii desemnate prin PN
- 160. * * * SR EN 12627:2003 Robinetărie industrială. Capete pentru sudură pentru robinete de oțel
- 161. * * * SR EN 12982:2010 Robinetărie industrială. Dimensiuni cap-la-cap și cap-la-axă ale robinetelor pentru sudare cap la cap
- 162. * * * SR EN 13445-3:2002 Recipiente sub presiune nesupuse la flacără
- 163. * * * SR EN 13480-1:2018 Conducte industriale metalice. Partea 1: Generalități
- 164. *** SR EN 13480-2:2018 Conducte industriale metalice. Partea 2: Materiale
- 165. * * * SR EN 13480-3:2018 Conducte industriale metalice. Partea 3: Proiectare și calcul
- 166. * * * SR EN 13480-4:2018 Conducte industriale metalice. Partea 4: Fabricație și instalare
- 167. * * * SR EN 13480-5:2018 Conducte industriale metalice. Partea 5: Inspecție și control
- 168. * * * SR EN 13709:2010 Robinetărie industrială. Robinete de închidere și reținere cu ventil de oțel
- 169. * * * SR EN 558:2012 Robinetărie industrială. Dimensiuni față-la-față și față-la-axă ale robinetelor metalice utilizate în sistemele de conducte cu flanșe. Aparate de robinetărie desemnate prin PN și Clasă
- 170. * * * SR EN ISO 3183:2013 Industriile petrolului și gazelor naturale. Țevi de oțel pentru sisteme de transport prin conducte
- 171. * * * SR ISO 14313:2008 Industriile petrolului și gazelor naturale. Sisteme de transport prin conducte. Robinete pentru conducte
- 172. * * * SR ISO 15649:2008 Industriile petrolului și gazelor naturale. Conducte
- 173. Institutul Român de Standardizare, STAS 8183-80 Oțeluri pentru țevi fără sudură, de uz general. Mărci și condiții tehnice de calitate