

1808/30.08.2012

Către

Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați vă face cunoscut că în data de 16 noiembrie, ora 11:00 în D11, va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat intitulată: “CONTRIBUTII PRIVIND INFLUENȚA SOLICITĂRIILOR VARIABLE CAUZATE DE VALURI ASUPRA STRUCTURILOR OFF-SHORE”, elaborată de domnul/doamna ing. DOBROT OANA-MIRELA, în vederea conferirii titlului științific de doctor în Domeniul de doctorat - Inginerie mecanică.

Comisia de doctorat are următoarea componență :

- 1. Președinte:** Conf.univ.dr.ing. Mihaela AMORĂRITEI
Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați
- 2. Conducător de doctorat:** Prof.univ.dr.ing. Costel-Iulian MOCANU
Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați
- 3. Referent oficial:** Prof.univ.dr.ing. Ioan CURTU
Universitatea “Transilvania” din Brașov
- 4. Referent oficial:** Prof.univ.dr.ing. Anton HADĂR
Universitatea POLITEHNICA din București
- 5. Referent oficial:** Prof.univ.dr.ing. Ștefan PASTRAMĂ
Universitatea POLITEHNICA din București
- 6. Referent oficial:** Prof.univ.dr.ing. Leonard DOMNIȘORU
Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați

Cu această ocazie vă transmitem rezumatul tezei de doctorat și vă invităm să participați la susținerea publică. În cazul în care doriți să faceți eventuale aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării, vă rugăm să le transmiteți în scris pe adresa Universității, str. Domnească nr. 47, 800008 - Galați, Fax - 0236 / 461353.

RECTOR,

Prof.univ.dr.ing. Iulian Gabriel BÎRSAN



UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” GALAȚI
FACULTATEA DE „ARHITECTURĂ NAVALĂ”

TEZĂ DE DOCTORAT

**CONTRIBUȚII PRIVIND INFLUENȚA SOLICITĂRILOR
VARIABLE CAUZATE DE VALURI ASUPRA
STRUCTURILOR OFF-SHORE**

**CONTRIBUTIONS TO THE INFLUENCE OF VARIABLE
LOADS CAUSED BY WAVES ON OFFSHORE STRUCTURES**

REZUMAT

Doctorand:

Ing. Oana – Mirela Dobrot

Conducător de doctorat:

Prof. Dr. Ing. Costel Iulian Mocanu

Lucrare finanțată în cadrul proiectului POSDRU EFICIENT 88/1.5/S ID-61445 2009-2012.

Galați 2012

CUPRINS

Cuvânt înainte

Lista de notații

Cuprins

	Pg.teză	Pg. rezumat
Capitolul 1. Structuri Off-shore. Platforme de foraj marin	9	8
1.1 Introducere. Oceanul planetar – sursă incomensurabilă de resurse	10	9
1.2 Tipuri de platforme de foraj marin	16	10
1.3 Platforma de foraj marin românească Gloria	20	11
1.4 Stadiul actual privind calculul structurii picioarelor de susținere a platformei Gloria	22	12
1.5 Obiective abordate și direcții de cercetare	22	13
Capitolul 2. “Picioarele” - elemente de susținere a corpului platformelor de foraj marin. Structuri din bare tip grindă cu zăbrele – soluția optimă pentru construcția picioarelor	24	14
2.1 Tipuri de structuri pentru picioarele platformei de foraj marin	25	15
2.1.1 De ce grindă cu zăbrele ca tip constructiv pentru picioarele platformelor de foraj marin ?	25	15
2.1.2 Metode clasice pentru determinarea eforturilor în barele grinzilor cu zăbrele static determinate	26	15
2.1.3 Metode pentru determinarea eforturilor în barele grinzilor cu zăbrele static nedeterminate	26	15
2.2 Condiția de invariabilitate geometrică și determinare statică	28	16
2.3 Metoda Elementelor Finite pentru determinarea stării de tensiune în barele structurii picioarelor	29	16
2.3.1 Elemente de bază ale Teoriei Elasticității. Teoreme	29	16
2.3.1.1. Ecuațiile Cauchy deformații specifice-deplasări	30	17
2.3.1.2. Ecuațiile Hooke tensiuni-deformații specifice. Analiza tridimensională 3D	31	17
2.3.2 Aplicarea Metodei Elementului Finit la studiul grinzilor cu zăbrele	31	17
2.3.3 Determinarea matricelor caracteristice pentru elementul de bară în spațiu	34	18
2.4 Prescripții ale Societăților de clasificare referitoare la calculul picioarelor	41	19

structurilor off-shore		
2.5 Concluzii	45	19
Capitolul 3. Analiza stării de tensiune care apare în structura picioarelor platformelor de foraj marin. Cazul static	46	20
3.1 Introducere	47	21
3.2 Structura analizată. Discretizare	47	21
3.3 Sarcini de calcul	51	23
3.3.1 Sarcini statice	51	23
3.3.1.1 Modelare numerică (numai greutatea proprie) pentru platforma în mărime naturală	52	24
3.3.1.2 Modelare numerică și experimentală. Model redus la scara 1:15	54	26
3.3.1.3 Modelarea numerică și experimentală privind comportarea structurii picioarelor platformei de foraj marin (model redus la scara 1:20), în diverse situații de încărcare statică	64	32
3.3.1.4 Influența distrugerii unor elemente de legătură asupra stării de tensiune din structura picioarelor de platformă de foraj marin	71	37
3.3.2 Influența coroziunii asupra stării de tensiune din picioarele platformelor	73	39
3.3.2.1 Fenomenul de coroziune	73	39
3.3.2.2 Definirea modelului de coroziune	74	39
3.3.2.3 Influența coroziunii asupra stării de tensiune din elementele componente ale picioarelor	76	40
3.3.2.4 Influența coroziunii asupra stării de tensiune din elementele componente ale picioarelor considerându-se și diverse cazuri de distrugere	79	42
3.4 Concluzii pentru calculul static în diverse situații de exploatare	80	43
Capitolul 4 Analiza stării de tensiune care apare în structura picioarelor platformelor de foraj marin. Cazul dinamic	82	45
4.1 Sarcini dinamice	83	46
4.1.1 Valul, prezentare generală	84	46
4.1.2 Comportarea structurii unui picior de platformă de foraj marin la acțiunea dinamică a sarcinilor. Stadiul actual	86	46
4.1.3 Forțele de natură vâscoasă	89	47
4.1.4 Calculul sarcinilor hidrodinamice generate de val acționând asupra elementelor componente ale picioarelor	91	48
4.1.5 Starea de tensiune din elementele componente ale picioarelor din	94	49

Contribuții privind influența solicitărilor variabile cauzate de valuri asupra
structurilor off-shore

încărcarea cu sarcinile din val		
4.1.6 Influența distrugerii unor elemente de legătură asupra stării de tensiune din structura picioarelor de platformă de foraj marin.	98	51
4.1.7 Influența coroziunii asupra stării de tensiune din elementele componente ale picioarelor	102	54
4.1.8 Influența distrugerii unor elemente din structura picioarelor în cazul considerării coroziunii	106	56
4.2 Pulsații proprii	110	59
4.2.1 Metoda Ritz	111	59
4.2.2 Metoda Rayleigh	112	60
4.2.3 Determinarea răspunsului dinamic produs de acțiunea forțelor perturbatoare oarecare. Metoda analizei modale	112	60
4.2.4 Metode numerice pentru calculul pulsațiilor proprii. Metoda Jacobi	114	61
4.2.5 Calculul numeric al pulsațiilor proprii	114	61
4.2.6 Influența distrugerii elementelor asupra modurilor proprii de vibrație	115	61
4.2.7 Influența coroziunii asupra modurilor proprii de vibrație	116	62
4.2.8 Influența evoluției corodării și distrugerii unor elemente asupra modurilor proprii de vibrații	117	62
4.3 Solicitarea de impact	118	63
4.3.1 Noțiunea de impact	118	63
4.3.2 Solicitarea dinamică de impact	119	64
4.3.3 Modelarea numerică și experimentală privind comportarea structurii picioarelor platformei de foraj marin (model experimental) la impact	121	65
4.4 Concluzii pentru calculul dinamic în diverse situații de exploatare	127	69
Capitolul 5. Abordarea problematicii distrugerii legăturilor dintre elementele constructive datorită acțiunii sarcinilor. Apariția și extensia fisurilor	128	71
5.1 Oboseala materialelor	129	72
5.1.1 Metodologii de calcul la oboseală	129	72
5.1.2 Metode de calcul	130	72
5.1.3 Factori care influențează rezistența la oboseală	130	73
5.1.4 Calculul de rezistență la solicitări variabile	132	73
5.1.4.1 Calculul coeficientului de siguranță la solicitări variabile simple produse de sarcini variabile simple	133	73
5.1.4.2 Calculul coeficientului de siguranță la solicitări compuse	133	73
5.1.5 Deteriorarea	133	73

Contribuții privind influența solicitărilor variabile cauzate de valuri asupra
structurilor off-shore

5.2 Influența fenomenului de oboseală asupra integrității structurilor. Apariția fisurilor	134	74
5.2.1. Stadiul actual	134	74
5.2.2. Moduri de formare a fisurii	137	74
5.2.3 Mărimi specifice în teoria fisurilor	138	75
5.2.3.1 Forța de extensie a fisurii	138	75
5.2.3.2 Factorul de intensitate a tensiunii	140	76
5.2.3.3 Deschiderea la vârful fisurii	141	76
5.2.3.4 Integrala J, indicator al intensității stării de tensiune la vârful fisurii	142	77
5.3 Analiza rezistenței la oboseală și estimarea duratei de exploatare a platformei de foraj marin	143	78
5.3.1 Calculul coeficientului concentratoarelor de tensiune	143	78
5.3.2 Determinarea coeficientului de degradare (a duratei de exploatare a platformei)	148	81
5.4 Apariția fisurilor în elementele componente ale picioarelor	149	81
5.4.1 Modelări numerice pentru diferite cazuri de fisurare în cazul 2D	150	82
5.4.2 Comparare rezultate pentru J și K în cele trei cazuri de fisurare	153	84
5.4.3 Analiza 3D în diverse cazuri de fisurare	154	85
5.4.4 Modelare numerică folosind programul ANSYS	159	88
5.4.5 Metoda optică de măsurare a deformațiilor	163	90
5.4.6 Compararea rezultatelor obținute numeric și experimental	169	94
5.5 Concluzii	170	94
Capitolul 6. Contribuții personale și Concluzii generale	171	95
BIBLIOGRAFIE	179	103
ANEXA 1	187	-
ANEXA 2	234	-
LISTA LUCRĂRI	241	106
LISTA FIGURI	245	-
LISTA TABELE	250	-

INTRODUCERE

1. ACTUALITATEA TEZEI

Petrolul numit și "aurul negru" s-a remarcat printr-o "continuitate remarcabilă" în ce privește utilizarea lui în cursul istoriei, "apărând pretutindeni, universal și multiplu, etern și misterios".

Datorită faptului că resursele de pe uscat au devenit mai rare și mai greu de extras, atenția specialiștilor în domeniu a fost atrasă de oceanul planetar, apărând astfel necesitatea inventării de echipamente performante pentru căutarea și extragerea resurselor petroliere și nu numai din adâncul oceanului planetar. Evoluția industriei de foraj marin a fost rapidă.

Oportunitățile oferite de metodele moderne de calcul și proiectare au influențat de asemenea într-un mod pozitiv evoluția platformelor de foraj marin. Noile programe de calcul au permis proiectanților „să zburde” printre idei din ce în ce mai fanteziste.

2. IMPORTANȚA SUBIECTULUI TEZEI

Forajul de pe platforme situate în largul mării prezintă unele particularități referitoare la condițiile de lucru, precum: valuri înalte, vânturi puternice, curenți marini, hula, etc. Ținându-se cont de costul ridicat al lucrărilor, investigațiile marine trebuie să fie cât mai exacte.

Analizarea influenței acestor factori cu ajutorul modelărilor numerice, reprezintă o soluție viabilă, practică și ușor de implementat, ceea ce constituie o contribuție importantă a lucrării pentru dezvoltarea domeniului.

Caracterul complex și de noutate al problemei studiate constă în analizarea statică, dinamică stabilind sarcinile care acționează asupra picioarelor de susținere a platformei de foraj tip Gloria, influența distrugerii și corodării elementelor asupra stării de tensiune din structura picioarelor platformei, determinarea modurilor proprii de vibrație a structurii platformei de foraj, analiza la oboseală și propagarea fisurilor în cordoanele sudura de îmbinare între elementele structurale ale picioarelor.

Cerința de realizare a acestei lucrări derivă și din faptul că platformele românești prin vechimea lor necesită o serie întreagă de verificări. Aceste verificări nu constau numai în vizualizarea structurii ca atare ci și efectuarea de modelări pentru diverse situații de încărcare.

Concluziile desprinse din această lucrare vor fi folositoare GSP Constanța în analiza fiabilității structurilor de rezistență a platformelor din dotare.

Lucrarea are drept scop dezvoltarea și perfecționarea metodelor de analiză a structurilor de rezistență a platformelor de foraj marin prin utilizarea unor modelări care să se apropie cât mai mult de realitate din punct de vedere al geometriei sarcinilor și calculului propriu-zis.

De asemenea prin cercetările evidențiate și realizate în lucrare se poate stabili:

- dacă locația de forare a fost bine aleasă avându-se în vedere caracteristicile sarcinilor de mediu și a fundației în funcție de poziționarea geografică.

- orientarea față de punctele cardinale alegându-se în funcție de direcțiile principale de acțiune a vântului, valurilor, curenților și în funcție de cerințele funcționale.

3. STRUCTURAREA TEZEI

Lucrarea realizată este structurată din șase capitole, cuprinzând 251 pagini în extenso, din care 178 pagini lucrare scrisă. Un rezumat al capitolelor tezei este prezentat în continuare.

○ În **Capitolul 1** se face o scurtă introducere asupra folosirii Oceanului planetar ca sursă de materii prime. De asemenea sunt prezentate concis echipamentele necesare pentru extracția hidrocarburilor din oceanul planetar, tipurile de platforme de foraj marin, platforma de foraj marin românească Gloria. Capitolul de încheie cu stabilirea obiectivelor acestei lucrări.

○ În **Capitolul 2** se prezintă stadiul actual al cercetărilor privind tipurile constructive pentru structura picioarelor platformei de foraj marin, metodele moderne pentru determinarea stării de tensiune în barele structurii picioarelor (MEF) încheindu-se cu prescripții ale societăților de clasificare referitoare la calculul picioarelor structurilor off-shore.

○ În **Capitolul 3** se identifică sarcinile statice care acționează asupra structurii picioarelor urmată de analiza statică a stării de tensiune care apare în structura picioarelor platformelor de foraj marin în cazul distrugerii unor elemente din structura picioarelor platformei de foraj, coroziunii și în cazul efectului cumulat al distrugerii și coroziunii unor elemente din structura picioarelor platformei de foraj. În acest capitol sunt diverse experimente ce au drept scop validarea rezultatelor obținute numeric în cazul analizei statice.

○ În **Capitolul 4** se prezintă sarcinile de mediu care acționează asupra structurii picioarelor și sunt abordate metodologii de calcul cu ajutorul căruia determină variațiile stării de tensiunii în

diverse cazuri considerate precum și influența asupra pulsațiilor proprii. Acest capitol include un experiment creat cu scopul de validare a rezultatelor numerice.

- În **Capitolul 5** se prezintă fenomenul de oboseală precum și fenomenul de apariție și propagare a fisurilor în elementele constructive și în îmbinările sudate dintre acestea urmat de analiza de determinare a coeficientului de degradare determinând durata de exploatare a platformei și analiza evoluției fisurilor considerând modelarea 2D și 3D.
- În **Capitolul 6** se prezintă concluziile generale, sintetizate în timpul cercetărilor pe toată durata elaborării acestei lucrări științifice. Tot în acest capitol sunt precizate concret contribuțiile autorului precum și direcțiile ulterioare de cercetare.

Lucrarea de cercetare se încheie cu anexe.

Pe întregul parcurs al realizării acestei lucrări, am beneficiat de sprijinul permanent al domnului Prof. Dr. Ing. Costel Iulian Mocanu, conducătorul științific al lucrării, căruia, pe această cale, îi multumesc pentru îndrumarea și sugestiile de un real folos pe care mi le-a oferit, pentru răbdarea și înțelegerea arătată față de diversele situații apărute pe parcursul cercetărilor efectuate.

De asemenea, multumesc tuturor membrilor din cadrul Facultății de Arhitectură Navală, care m-au ajutat, sprijinit și susținut în realizarea acestei lucrări. Menționez din rândul acestora pe domnul decan Prof. Dr. Ing. Leonard Domnișoru, pe domnul Prof. Dr. Ing. Dumitru Dragomir, pe domnul Prof. Dr. Ing. Dan Obreja și pe domnul Ș.L. Dr. Ing. Liviu Crudu, și nu în ultimul rând d-na prof. Dr. Ing. Doina Boazu din cadrul Facultății de Mecanică, Galați, fără suportul cărora nu aș fi reușit finalizarea acestei lucrări la calitatea cerută.

Având în vedere dificultățile problematice tratate, am fost nevoită să apelez pentru colaborare la specialiști din cadrul Universității ”Politehnică” București, menționând pe domnul Prof. Dr. Ing. Anton Hadăr, și nu în ultimul rând pe domnul Prof. Dr. Ing. Vasile Năstăsescu de la Academia Tehnică Militară București.

Nu în ultimul rând, multumesc familiei mele pentru înțelegerea și susținerea permanentă oferită pe parcursul realizării lucrării de doctorat.

C A P I T O L U L 1

Structuri Off-shore - Platforme de foraj marin -

Obiectivele capitolului:

- Oceanul planetar ca sursă de materii prime;
- Echipamente pentru extracția hidrocarburilor din oceanul planetar;
- Platforme de foraj marin – tipuri;
- Platforma de foraj marin românească Gloria – prezentare generală;
- Stabilirea obiectivelor prezentei lucrări.

1.1 Introducere. Oceanul planetar – sursă incomensurabilă de resurse

În 1960 Eduard Ward preciza că petrolul a devenit „universal și internațional”. În prezent se poate considera că petrolul a devenit o monedă de schimb între diversele națiuni producătoare și utilizatoare. În mai puțin de un secol petrolul a ajuns să fie considerat prima industrie a lumii. În anul 1900 petrolul asigura 4% din nevoile de energie ale întregii lumi, iar în ziua de astăzi petrolul acoperă 40% din nevoile de energie (doc. internet) [9].

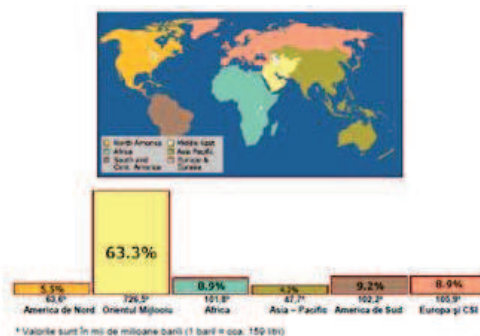


Fig. 1.2 Rezervele de petrol din lume, 2005 (miliarde de barili)
(Sursa: British Petroleum, Marea Britanie) [2]

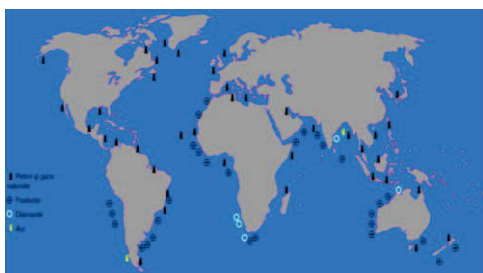


Fig. 1.3 Harta resurselor minerale ale oceanului planetar (doc. internet) [3]

În imediata apropiere a continentelor se află cele mai productive zone care conțin țiței și gaze naturale, iar unele ape de coastă au ca resurse și cărbuni sau metale precum fier, cositor, titan (doc. internet) [3].

Deoarece resursele de pe uscat au devenit tot mai rare și mai greu de extras, atenția specialiștilor în domeniu a fost atrasă de oceanul planetar, apărând astfel necesitatea inventării de echipamente performante pentru localizarea și extragerea resurselor petroliere - și nu numai din adâncul oceanului planetar (doc. internet) [6].

Exploatarea marină a țițeiului s-a dezvoltat la început în California în anii 1890, marcând de asemenea și debutul forajelor marine în mai multe țări.

Industria petrolului în România.

România se numără printre primele țări care au demarat producția de țiței. În 1857 România a înregistrat o producție de circa 257 de tone (conform publicației The Science of Petroleum), iar astăzi dispune de o industrie petrolieră integrată; în 1976 s-a înregistrat producția

cea mai mare - 14,7 milioane tone; rezervele României sunt de 74 milioane tone țiței (estimări 2007).

Dezvoltarea parcului auto din România are o puternică influență în creșterea accentuată a consumului de combustibil.



Fig. 1.7 Zone de foraj în Marea Neagră

Pe data de 9 noiembrie 1975 a avut loc lansarea la apă a primei platforme românești de foraj Gloria, lansare ce a avut loc la Șantierul naval din Galați. Platforma de foraj Gloria a fost concepută cu utilaje și instalații realizate în România și și-a început activitatea de foraj la 16 Septembrie 1976, în largul Mării Negre la o distanță de 72 Mm (mille marine) și la o adâncime maximă a apei de 90 m (doc.internet) [1].

Cu toate că rezervele din zăcămintele de petrol românești au scăzut, odată cu producția de țiței, România este una dintre țările importante prelucrătoare de petrol și gaze din Uniunea Europeană, cu o poziție de frunte în politica energetică europeană.

România preconizează o serie de măsuri în domeniul energetic, pentru protecția mediului și dezvoltarea durabilă, urmărind racordarea la programele energetice europene privind securitatea energetică, precum și din punct de vedere și fizic la marile artere de resurse energetice.

1.2 Tipuri de platforme de foraj marin

Clasificarea platformelor off-shore.

Platformele marine sunt structuri metalice dotate cu instalații tehnologice specifice extracției țițeiului. Există numeroase tipuri constructive de platforme, diversitatea acestora fiind impusă de condițiile de mediu în care lucrează (adâncimea apei, caracteristicile valului, viteza vântului, caracteristicile solului marin, seismicitatea zonei), de mărimea zăcămintului petrolier și de considerațiile economice (obținerea de profit maxim) (doc.internet) [4], (Gardiner C.P.), (Gerwick B.C.), (Graff W.J.).

Există diferite tipuri de platforme de foraj marin, prezentate în Figura 1.8: platforme fixe convenționale, platforme turn, platforma cu picioare tensionate, semi-submersibile, plutitoare de producție, depozitare și descărcare (Gerwick B.C.).



Fig.1.8 Tipuri de platforme de foraj marin (Gerwick B.C.)

Platformele marine, specifice unei adâncimi a apei mării, sunt:

- A) Platformele marine fixe, pot fi clasificate în:
- a) platforme marine fixe din zăbrele tubulare;
 - b) platforme marine fixe tip turn;
 - c) platforme marine fixe din beton de tip structura gravitațională.
- B) Platformele marine mobile, pot fi clasificate în:
- a) platforme marine mobile autoridicătoare;
 - b) platforme marine mobile semisubmersibile;
 - c) platforme marine mobile submersibile.

1.3 Platforma de foraj marin românească Gloria

Platforma de foraj marin Gloria este o platformă autoridicătoare care are patru picioare de sprijin. Picioarele sunt de tip structură cu zăbrele.



Fig. 1.14 Platforma Gloria

După platforma Gloria au fost construite încă șase platforme. Șase dintre cele șapte platforme, aflate în posesia companiei Petrom, au fost vândute companiei Grup Servicii Petroliere în anul 2005, rămânând pentru operare pe platoul continental românesc doar platforma „Gloria”.

Platformele românești sunt concepute și dimensionate pentru următoarele condiții de lucru:

- adâncimea medie a apei de 90 m;
- amplitudinea maximă a valurilor de 12 m;
- perioada valurilor de 10,2 s;
- viteza maximă a vântului (nu mai mult de 1 minut) de 164 km/h;

- sarcina maximă pe un picior de 2300 tf;
- pătrunderea maximă a picioarelor în mâl este de 6 m;
- lungimea picioarelor este de 121,9 m.

La amplasare, picioarele sunt coborâte pe fundul mării și ridică platforma deasupra nivelului mării. Coborârea și ridicarea picioarelor se realizează hidraulic. În timpul forajului, picioarele se pot înfige în fundul mării până la aproximativ 7,5 m. Platforma este tractată din șantier la destinație sau între două locații succesive cu ajutorul unor remorhere, picioarele fiind parțial sau total ridicate deasupra punții. Puntea de lucru se poziționează la o distanță de 1,5 ori mai mare decât înălțimea celui mai înalt val înregistrat în zona respectivă în ultimii 100 de ani.

Picioarele sunt prevăzute la partea inferioară cu chesoane etanșe compartimentate. Pompe de debite mari transferă apa din mediul marin în chesoane și invers funcție de scop (ridicarea sau coborârea picioarelor). Aceste compartimente creează flotabilitatea necesară în timpul poziționării platformei, iar prin inundarea controlată permit imersarea structurii picioarelor.

1.4 Stadiul actual privind calculul structurii picioarelor de susținere a platformei Gloria

La proiectarea platformelor marine off-shore s-a considerat influența sarcinilor statice și dinamice, rezultate din:

- Greutatea structurii în aer;
- Greutatea echipamentelor, accesoriilor sau structurilor asociate, care sunt permanent montate pe platformă;
- Forțele hidrostatice pe structura picioarelor, forțe ce includ flotabilitatea și presiunea statică;
- Forțele cauzate de valuri.

Pentru analizarea unei structuri offshore trebuie cunoscute anumite date de natură funcțională și informații legate de mediul în care operează.

Studii aprofundate nu s-au realizat momentan asupra:

- influenței distrugerii unor elemente din structura picioarelor platformei asupra stării de tensiune;
- influenței coroziunii asupra stării de tensiune din structura picioarelor platformei;
- studii la oboseală;

- apariției și propagării fisurilor în elementele componente ale picioarelor și la îmbinarea acestora.

1.5 Obiective abordate și direcții de cercetare

- stabilirea sarcinilor statice și dinamice care acționează asupra picioarelor de susținere a platformei de foraj tip Gloria;

- determinarea influenței distrugerii a unor elemente asupra stării de tensiune din structura picioarelor platformei;

- determinarea influenței coroziunii asupra stării de tensiune din structura picioarelor platformei;

- determinarea modurilor proprii de vibrație a structurii platformei de foraj;

- studii la oboseală;

- apariția și propagarea fisurilor în elementele componente ale picioarelor și la îmbinarea acestora;

- stabilirea unei metodologii rapide folosind MEF pentru aprecierea stării de tensiune în diverse situații de exploatare.

Lucrarea are drept scop dezvoltarea și perfecționarea metodelor de analiză a structurilor de rezistență a platformelor de foraj marin prin utilizarea unor modelări care să se apropie cât mai mult de realitate din punct de vedere al geometriei, sarcinilor și calculului propriu-zis.

De asemenea, prin cercetările realizate și evidențiate în lucrare se poate stabili:

- dacă locația de forare a fost bine aleasă avându-se în vedere caracteristicile sarcinilor de mediu și ale fundației în funcție de poziționarea geografică;

- orientarea față de punctele cardinale aceasta alegându-se în funcție de direcțiile principale de acțiune a vântului, valurilor, curenților și în funcție de cerințele funcționale;

- stabilirea de soluții rapide pentru rezolvarea problemelor care apar în exploatare în cazul producerii accidentelor pe mare.

C A P I T O L U L 2

“Picioarele” - elemente de susținere a corpului platformelor de foraj marin.

Structuri din bare tip grindă cu zăbrele – soluția optimă pentru construcția picioarelor.

Obiectivele capitolului :

- Picioarul - elementul principal de susținere a corpului platformelor de foraj marin;
- Tipuri constructive pentru structura picioarelor platformei de foraj marin;
- De ce structura de tip grindă cu zăbrele pentru picioarele structurilor off-shore ?
- Condiția de invariabilitate geometrică și nedeterminare statică;
- Metode moderne pentru determinarea stării de tensiune în barele structurii picioarelor (MEF);
- Prescripții ale societăților de clasificare referitoare la calculul picioarelor structurilor off-shore.

2.1 Tipuri de structuri pentru picioarele platformei de foraj marin

2.1.1 De ce grindă cu zăbrele ca tip constructiv pentru picioarele platformelor de foraj marin ?

Cele mai numeroase structuri off-shore fixe sunt așezate pe fundul mării prin intermediul unor structuri de susținere pe care în continuare le vom numi ”picioare”. Structura acestora poate fi de diverse tipuri: cilindrice pline sau tubulare, grindă cu zăbrele. Deoarece picioarele sunt solicitate în principal la sarcini având direcția axei longitudinale a piciorului (din greutatea proprie a structurii off-shore și a echipamentelor) și transversal din sarcinile de mediu (curenți marini, valuri, vânt) rezultă că solicitarea acestora este una complexă care produce atât tensiuni normale cât și tangențiale în elementele componente.

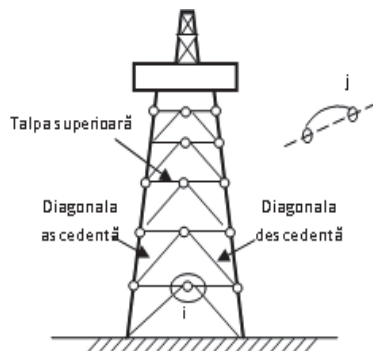


Fig. 2.1 Tip grindă cu zăbrele

Datorită simplității constructive, cele mai des utilizate structuri pentru construcția picioarelor platformelor de foraj marin este cea de grindă cu zăbrele.

Grinzile cu zăbrele sunt construite din părți distincte, Figura 2.1: talpa superioară alcătuită din barele care delimitează la partea superioară grinda, talpa inferioară, barele verticale (montanți), barele înclinate (diagonale).

2.1.2 Metode clasice pentru determinarea eforturilor în barele grinzilor cu zăbrele static determinate

Metoda generală de determinare a eforturilor la structurile static determinate este metoda secțiunilor, iar în cazul grinzilor cu zăbrele, metoda se prezintă sub două forme: procedeul secțiunilor oarecare și procedeul secțiunilor particulare (izolării nodurilor) (Buzdugan Gh.).

2.1.3 Metode pentru determinarea eforturilor în barele grinzilor cu zăbrele static nedeterminate

La grinzile cu zăbrele se mențin ipotezele de la grinzile static determinate considerându-se numai eforturile axiale. Nedeterminarea statică poate rezulta din legăturile suplimentare interioare (bare), exterioare sau combinate. Gradul de determinare statică se determină cu relația:

$$G_{ns} = (b + r) - 2n . \quad (2.1)$$

unde: - b este numărul de bare; - r - numărul total de legături simple; - n - numărul de noduri.

În cazul calculului la încărcări fixe se utilizează metoda eforturilor. Sistemul de bază static determinat și geometric invariabil se obține prin suprimarea unui număr de legături interioare sau exterioare corespunzător nedeterminării statice. O influență la alegerea sistemului de bază este și posibilitatea de a simplifica calculele și ecuațiile având condiția de: simetrie, necunoscutele unitare să producă eforturi într-un număr cât mai mic de bare etc.

2.2 Condiția de invariabilitate geometrică și determinare statică

Grinzile cu zăbrele trebuie să fie geometric invariabile, iar legăturile lor cu exteriorul să le asigure fixarea la teren. Cea mai simplă figură geometrică care asigură invariabilitatea este triunghiul.

$$b' = 3 ; n' = 3 ; b - 3 = 2(n - 3) \rightarrow b = 2n - 3. \quad (2.6)$$

unde: b' - numărul de bare atașate triunghiului inițial; n' - numărul de noduri la care sunt atașate barele b' .

Relația (2.6) stabilește legătura dintre numărul de bare și numărul de noduri pentru ca o grindă cu zăbrele plană să fie geometric invariabilă. Ea reprezintă o condiție necesară, dar nu suficientă. Trebuie ca dispunerea barelor să asigure o invariabilitate efectivă a structurii.

2.3 Metoda Elementelor Finite pentru determinarea stării de tensiune în barele structurii picioarelor

Metoda Elementelor Finite (MEF) (Domnișoru L.) este un instrument de cercetare științifică și de proiectare, cu aplicații multiple și extrem de variate, cu scopul de cercetare și proiectare asistată de calculator.

În funcție de natura problemei, MEF se folosește pentru studiul unei structuri al unui corp, al unei piese, al unui mediu.

2.3.1 Elemente de bază ale Teoriei Elasticității. Teoreme.

Pentru determinarea analitică a distribuției tensiunilor și deformațiilor statice sau dinamice într-o structură generate de încărcări exterioare sau variații de temperatură, trebuie să se obțină o soluție a ecuațiilor Teoriei Elasticității cu satisfacerea condițiilor de margine impuse structurii. În analiza structurală prin MEF se impune utilizarea ecuațiilor Teoriei Elasticității (Domnișoru L.).

Ecuațiile de bază ale Teoriei Elasticității în cazul analizei tridimensionale (3D) sunt următoarele (Domnișoru L.), (Năstăsescu V.):

- ecuațiile Cauchy, deformații specifice-deplasări;

- ecuațiile Hooke, tensiuni-deformații specifice;
- ecuațiile de echilibru (ecuațiile de mișcare).

Suplimentar se adaugă ecuațiile de continuitate ale deformațiilor specifice și deplasări și ecuațiile ce modelează condițiile de margine în forțe și/sau deplasări.

2.3.1.1. Ecuațiile Cauchy deformații specifice-deplasări

În cazul deformațiilor mici, relațiile dintre deformațiile specifice și deplasări sunt liniare, iar ecuațiile Cauchy sunt:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{xx} &= \frac{\delta u}{\delta x} ; \quad \varepsilon_{yy} = \frac{\delta v}{\delta y} ; \quad \varepsilon_{zz} = \frac{\delta w}{\delta z} ; \quad \{\varepsilon\} = \{\varepsilon_{xx} \quad \varepsilon_{yy} \quad \varepsilon_{zz} \quad \varepsilon_{xy} \quad \varepsilon_{yz} \quad \varepsilon_{zx}\}^T ; \\ \varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx} &= \frac{\delta v}{\delta x} + \frac{\delta u}{\delta y} ; \quad \varepsilon_{yz} = \varepsilon_{zy} = \frac{\delta w}{\delta y} + \frac{\delta v}{\delta z} ; \quad \varepsilon_{zx} = \varepsilon_{xz} = \frac{\delta u}{\delta z} + \frac{\delta w}{\delta x}. \end{aligned} \quad (2.9)$$

Relațiile Cauchy pentru cazul 3D sub forma matriceală al stării de deformații sunt scrise:

$$\{\varepsilon\} = [\Delta]\{u\} \quad (2.10)$$

unde: - $\varepsilon_{xx}, \varepsilon_{yy}, \varepsilon_{zz}$ sunt deformațiile specifice normale;

- $\varepsilon_{xy}, \varepsilon_{yz}, \varepsilon_{zx}$ sunt deformațiile specifice de forfecare (tangențiale, lunecare specifică).

Pentru deformațiile specifice de forfecare există următoarele relații de simetrie:

$$\varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx} ; \quad \varepsilon_{yz} = \varepsilon_{zy} ; \quad \varepsilon_{zx} = \varepsilon_{xz}. \quad (2.11)$$

astfel încât doar 6 componente sunt necesare pentru descrierea deformațiilor specifice în cazul analizelor tridimensionale (3D) de elasticitate (Domnișoru L.).

2.3.1.2. Ecuațiile Hooke tensiuni-deformații specifice. Analiza tridimensională 3D.

În ipotezele Teoriei Elasticității, relațiile dintre deformații specifice elastice $\{\varepsilon\}$ și tensiuni $\{\sigma\}$ sunt liniare, respectiv legea lui Hooke este (Domnișoru L.):

$$\begin{aligned} \varepsilon_{xx} &= \frac{1}{E} [\sigma_{xx} - \nu(\sigma_{yy} + \sigma_{zz})] ; \quad \varepsilon_{yy} = \frac{1}{E} [\sigma_{yy} - \nu(\sigma_{zz} + \sigma_{xx})] ; \quad \varepsilon_{zz} = \frac{1}{E} [\sigma_{zz} - \nu(\sigma_{xx} + \sigma_{yy})] \\ \gamma_{xy} &= 2 \frac{1+\nu}{E} \tau_{xy} ; \quad \gamma_{yz} = 2 \frac{1+\nu}{E} \tau_{yz} ; \quad \gamma_{zx} = 2 \frac{1+\nu}{E} \tau_{zx}. \end{aligned} \quad (2.12)$$

unde: - E este modulul de elasticitate al lui Young; - ν este coeficientul Poisson;

- $\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$ sunt lunecările specifice (tangențiale) elastice.

Vectorul tensiunilor are 6 componente și datorită relațiilor de simetrie (principiul dualității tensiunilor tangențiale) se scrie:

$$\{\sigma\} = \{\sigma_{xx} \quad \sigma_{yy} \quad \sigma_{zz} \quad \tau_{xy} \quad \tau_{yz} \quad \tau_{zx}\}^T ; \quad \tau_{xy} = \tau_{yx} , \tau_{yz} = \tau_{zy} , \tau_{zx} = \tau_{xz} . \quad (2.13)$$

unde: - $\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}$ reprezintă tensiuni normale; - $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ reprezintă tensiuni tangențiale.

2.3.2 Aplicarea Metodei Elementelor Finite la studiul grinzilor cu zăbrele.

Energia cinetică a elementului finit „e” are expresia:

$$E_c^{(e)} = \frac{1}{2} \int_{(V^{(e)})} \rho \{\dot{u}\}^T \{\dot{u}\} dV = \frac{1}{2} \{\dot{u}_k(t)\}^{(e)T} [M^{(e)}] \{\dot{u}_k(t)\}^{(e)} \quad (2.17)$$

Energia potențială a elementului finit „e” considerând neglijabile deformațiile inițiale și solicitarea termică:

$$E_p^{(e)} = \frac{1}{2} \{u_k\}^{(e)T} [K^{(e)}] \{u_k\}^{(e)} - \{u_k\}^{(e)T} \{Q_k^{(e)}\} \quad (2.19)$$

Energia cinetică a structurii are expresia:

$$E_c = \sum_{(e)} E_c^{(e)} = \frac{1}{2} \{\dot{u}_g(t)\}^T [\bar{M}_g] \{\dot{u}_g(t)\} \quad (2.22)$$

Energia potențială totală a structurii are expresia:

$$E_p = \sum_{(e)} E_p^{(e)} = \frac{1}{2} \{\bar{u}_g\}^T [\bar{K}_g] \{\bar{u}_g\} - \{\bar{u}_g\}^T \{\bar{Q}_g(t)\} \quad (2.23)$$

Rezultă ecuațiile dinamice ale mișcării structurii idealizate prin MEF:

$$[\bar{M}_g] \{\ddot{u}_g(t)\} + [\bar{C}_g] \{\dot{u}_g(t)\} + [\bar{K}_g] \{u_g(t)\} = \{\bar{Q}_g(t)\} \quad (2.25)$$

În cazul vibrațiilor libere neamortizate, ecuațiile dinamice ale structurii:

$$[\bar{C}_g] = 0 , \quad \{\bar{Q}_g(t)\} = 0 \Rightarrow [\bar{M}_g] \{\ddot{u}_g(t)\} + [\bar{K}_g] \{u_g(t)\} = 0$$

2.3.3 Determinarea matricelor caracteristice pentru elementul de bară în spațiu

Elementul de bară în spațiu este de secțiune transversală uniformă capabilă de a suporta forțe axiale, momente de încovoiere în jurul axelor principale din planul secțiunii transversale și momente de torsiune în jurul axelor centrale (Domnișoru L.), (Gârbea D.), (Pascariu I.).

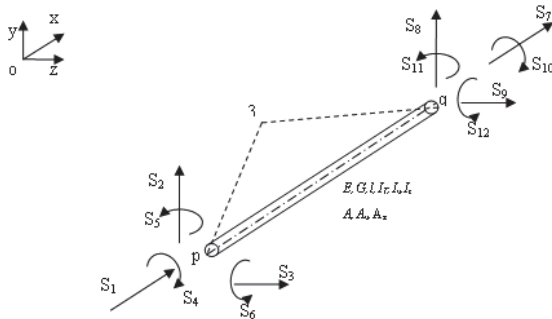


Fig. 2.5 Elementul de bară în spațiu

Forțele, reprezentate în Figura 2.5, ce acționează asupra grinzii sunt:

- S_1 și S_7 : forțe axiale
- S_2, S_3, S_8 și S_9 : forțe de forfecare
- S_5, S_6, S_{11} și S_{12} : momente de încovoiere
- S_4 și S_{10} : momente de torsiune

Deplasările corespunzătoare u_1, u_2, \dots, u_{12} vor fi luate astfel încât să fie pozitive în direcția forțelor. Matricea de rigiditate a unui element de grindă este de ordinul 12x12, dar în

cazul în care axele sistemului local de coordonate sunt alese astfel încât să coincidă cu axele principale ale secțiunii transversale, este posibil ca matricea de rigiditate de ordinul 12×12 să fie construită din submatricele de rigiditate de ordinul 2×2 și 4×4 .

Forțele S_1 și S_7 și momentele S_4 și S_{10} depind de deplasările lor. Pentru stabilirea relațiilor dintre forțe și deplasări, proprietățile de rigiditate pentru un element uniform de grindă vor fi derivate direct din ecuațiile diferențiale ale deplasărilor din elementul de grindă, iar planele de încovoiere xy și xz vor fi luate astfel încât să coincidă cu axele centrale ale grinzii toate forțele pot fi separate în 6 grupuri, care pot fi considerate independente între ele.

2.4 Prescripții ale Societăților de clasificare referitoare la calculul picioarelor structurilor off-shore

Datorită dezvoltării industriei off-shore, societățile de clasificare au impus reguli specifice structurilor off-shore (Brazdiș S.).

I. Cerințele societății Bureau Veritas (B.V.)

Cerințele B.V. se referă la calculul de rezistență generală și locală a structurii picioarelor unei platforme de extracție a țițeiului din mare.

- a) *Calculul de rezistență generală a structurii;*
- b) *Calculul de rezistență locală a structurii ;*
- c) *Calculul de vibrații ;*
- d) *Calculul la oboseală.*

II. Cerințele societății Germanischer Lloyd (G.L.)

III. Cerințele societății American Bureau of Shipping (ABS)

IV. Cerințele Registrului Naval Roman

2.5 Concluzii

- S-au prezentat centralizat diversele tipuri de structuri marine folosite în forarea și extracția de petrol din oceanul planetar;

- S-a argumentat de ce structura de grindă cu zăbrele este cea mai bună alegere pentru sistemul constructiv al picioarelor platformelor de foraj și extracție;

- S-au prezentat sintetic cerințele Societăților de Clasificare referitoare la platformele de foraj marin.

C A P I T O L U L 3

Analiza stării de tensiune care apare în structura picioarelor platformelor de foraj marin.

Cazul static

Obiectivele capitolului:

- Identificarea și determinarea sarcinilor statice care acționează asupra structurii picioarelor;
- Acțiunea statică a sarcinilor – modelări;
- Influența distrugerii unor elemente din structura picioarelor platformei de foraj asupra stării de tensiune din acestea;
- Influența coroziunii asupra stării de tensiune în elementele componente ale picioarelor platformei de foraj;
- Efectul cumulativ al distrugerii și coroziunii unor elemente din structura picioarelor platformei de foraj asupra stării de tensiune din acestea.

3.1 Introducere

Picioarele platformelor de foraj, prin lungimea mare pe care o au, sunt sensibile la acțiunea dinamică a valurilor, a vântului și a curenților marini. Vibrațiile care se produc sub acțiunea acestor factori de mediu au ca efect amplificarea eforturilor din bare iar în decursul timpului provoacă deteriorări prin oboseală ale acestor elemente (Pitulice D.).

Analiza comportării în exploatare a platformelor de foraj marin autoridicătoare, în special a picioarelor acestora, poate fi abordată sub trei aspecte: static, dinamic și al rezistenței la oboseală (Pitulice D.).

Calculul static se aplică platformelor de foraj marin autoridicătoare, ale căror elemente constructive au o comportare liniar elastică, iar calculul poate fi:

- calcul global – pentru determinarea eforturilor din bare;
- calculul local – pentru determinarea localizării tensiunilor.

Calculul dinamic se aplică în cazul platformelor de foraj marin autoridicătoare luându-se în considerare componența vâscoasă a forțelor hidrodinamice și caracteristicile neliniare ale rezemării structurii pe solul marin. Calculul dinamic se utilizează și la un model neliniar al valurilor sau când se urmărește răspunsul dinamic al structurii la mișcările solului marin.

Etapa cea mai importantă a procesului de proiectare reprezintă analiza comportării structurii la diverse tipuri de încărcări.

3.2 Structura analizată. Discretizare

Analiza rezistenței structurii metalice a picioarelor platformei marine se face cu Metoda Elementelor Finite. Datorită complexității structurii se impune introducerea unor simplificări la realizarea modelelor pentru analiza globală. Se vor neglija o serie de detalii constructive, cum ar fi gusee, găuri de ușurare, nervuri de rigidizare, sudurile.

Modelul de platformă avut în vedere este platforma autoridicătoare “**GLORIA**”, reprezentat în Figura 3.1.

Caracteristicile principale ale modelului original sunt:

- dimensiunile corpului: $L=52,5m$, lățimea $B=40,84m$, înălțimea de construcție $D=6,4m$;
- dimensiunile picioarelor: $n=4$ situate simetric în raport cu planul diametral (P.D.), lungime $l_p=121,9m$;

- condițiile de mediu: adâncimea medie a apei $h=90m$, adâncimea maximă a apei $h_{max}=94m$, înălțimea maximă a valului $H_{max}=12m$, perioada valului $T=10,2s$; viteza maximă a vântului $v=45 m/s$.

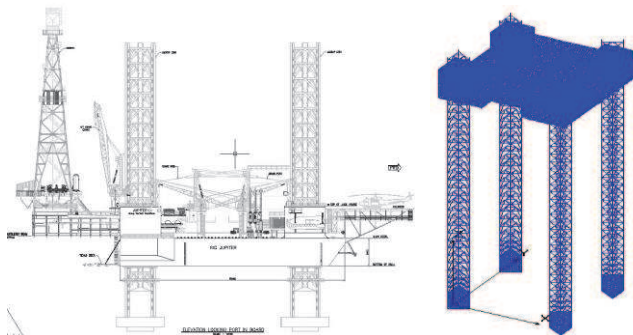


Fig. 3.1 Modelul FEM al structurii

Modelarea cu ajutorul elementelor finite constă în discretizarea structurii cu ajutorul programului SolidWorks - COSMOS/M, discretizare ce s-a efectuat după definirea geometriei. Pentru definirea geometriei se folosesc elemente “Beam3D” și caracteristicile materialului sunt: modulul lui Young $E = 2,1 \cdot 10^{11} N/m^2$; coeficientul lui Poisson $\mu = 0,3$; densitatea $\rho = 7850 kg/m^3$.

Structura picioarelor tip grindă cu zăbrele are geometria din Figura 3.2, iar după definirea geometriei picioarelor se definesc proprietățile de material ale materialului din care sunt confecționate picioarele (Tabelul 3.2).

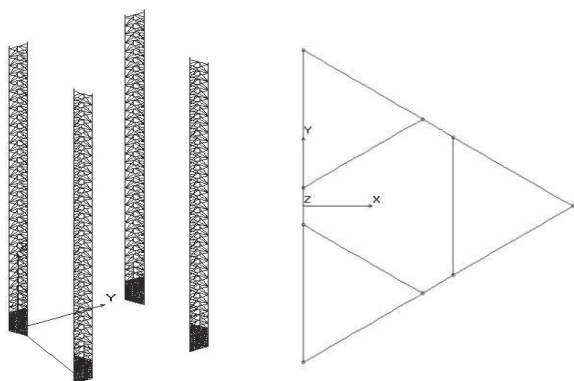


Fig.3.2 Geometria picioarelor

Tabelul 3.2 Diametre de tubulaturi folosite în structura picioarelor

Element grup	Diametrul exterior [mm]	Diametrul interior [mm]
I – corzi	915	815
II - orizontale	460	396
III- diagonale	340	308
IV- intermediare	220	198

Modelarea corpului platformei s-a realizat cu elemente de placă. În Figura 3.4 este prezentat modelul corpului și poziționarea lui față de picioarele platformei. Platforma de foraj marin este formată din: corp, picioare de sprijin, instalație de foraj.

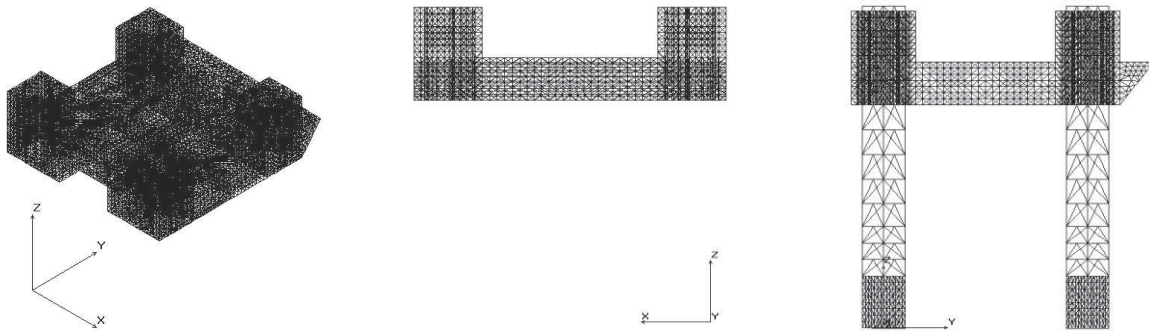


Fig. 3.3 Geometria corpului de platformă marină

După realizarea geometriei corpului platformei se definesc grosimile de tablă tip “SHELL3T”, specifice fiecărei zone (Tabelul 3.3).

Tabelul 3.3 Grupuri de elemente funcție de grosimile de tablă

Element grup	Grosimea [mm]
V - Intărituri la picioarele platformei	50
VI - Tabla Rufurilor	50
VII – Invelișul exterior	25
VIII – Inveliș superior și inferior	25
IX - Traverse	15

Modelarea structurii platformei s-a realizat folosind 10 tipuri de grupuri de elemente. Ultimul element grup are drept scop de a realiza legătura dintre picioarele și corpul platformei și este de tip truss. Elementele corespunzătoare sunt elemente ce transmit forțe de-a lungul axei lor longitudinale.

3.3 Sarcini de calcul

Sarcinile de mediu ce acționează asupra platformei sunt: sarcina eoliană, a valurilor, curent marin, cutremur, gheață și zăpadă, temperatură, mișcarea fundului mării. Sarcinile de proiectare pentru o structură off-shore sunt statice și dinamice.

3.3.1 Sarcini statice

Sarcini permanente numite și sarcini statice care includ: greutatea structurii în aer; greutatea echipamentelor, instalațiilor, utilajele și materialele situate pe punte; accesorii sau structuri asociate care sunt permanent montate pe platformă; forțe hidrostactice sub linia de plutire, aceste forțe includ flotabilitatea și presiunile hidrostactice (Graff W.J.), (Gerwick B.C.).

La proiectarea structurilor off-shore se iau în considerare sarcinile de mediu, în special de valuri, și sarcini care apar în diferite stadii de construcție și de instalare. Pentru analizarea unei structuri off-shore trebuie cunoscute anumite date de natură funcțională și informații legate de mediul în care operează (Graff W.J.). Datele funcționale utile sunt:

- locația de amplasarea a platformei, orientarea platformei față de punctele cardinale și informații la poziționarea sondei față de amplasarea platformei;
- adâncimea apei și marea pentru a putea stabili înălțimea de amplasare a punții, amplasarea punții inferioare a platformei în funcție de creasta de val și poziționarea echipamentelor de foraj și sarcinilor concentrate mari;
- metodele de prevenire și stingere a incendiilor utilizate pe platformă;
- specificarea planului referitor la transportul oamenilor și materialelor.

3.3.1.1 Modelare numerică (numai greutatea proprie) pentru platforma în mărime naturală

Avându-se în vedere cele prezentate anterior referitor la discretizarea structurii platformei și a picioarelor s-a recurs la analiza comportării acesteia în regim static. Această analiză s-a efectuat considerându-se platforma cu dimensiunile din proiect. În urma discretizării structurii au rezultat 26501 noduri și 45991 de elemente. Analiza statică a structurii s-a realizat în vederea determinării distribuției tensiunilor pentru întreaga structura cât și pentru elementele componente ale picioarelor precum și pentru determinarea deplasărilor diverselor puncte din structura picioarelor ca în Figura 3.5 și 3.6.

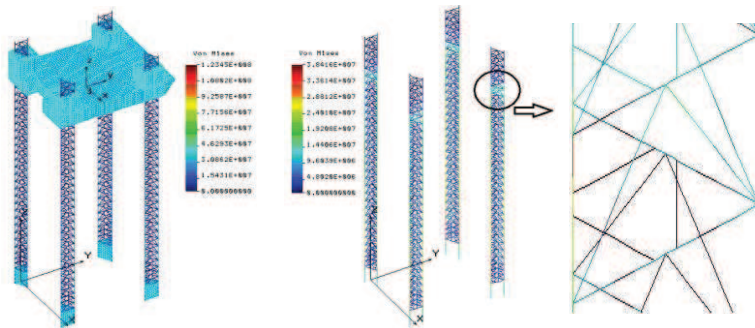


Fig. 3.5 Distribuția tensiunilor

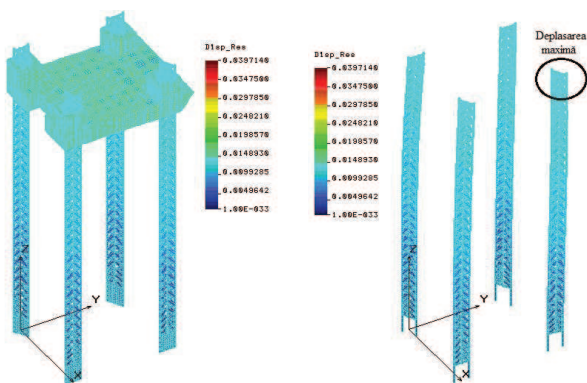


Fig. 3.6 Distribuția deplasărilor

Tensiunile și deplasările maxime rezultate sunt:

- în structura corpului

$$\sigma_{\max} = 123,45 \text{ MPa};$$

$$\delta_{\max} = 0,039 \text{ m};$$

- în structura picioarelor

$$\sigma_{\max} = 38,416 \text{ MPa},$$

$$\delta_{\max} = 0,04 \text{ m}.$$

Pentru studiile ulterioare sunt necesare zone caracteristice unde să se precizeze starea de tensiune și deplasare, acestea s-au ales astfel: cota pe înălțime $z=87,94\text{m}$, elemente ce aparțin celor 4 picioare, câte 3 elemente pe picior, elemente ce aparțin barelor cu diametrul cel mai mare, $D=0,915\text{m}$, reprezentate în Figura 3.7.

Contribuții privind influența solicitărilor variabile cauzate de valuri asupra
structurilor off-shore

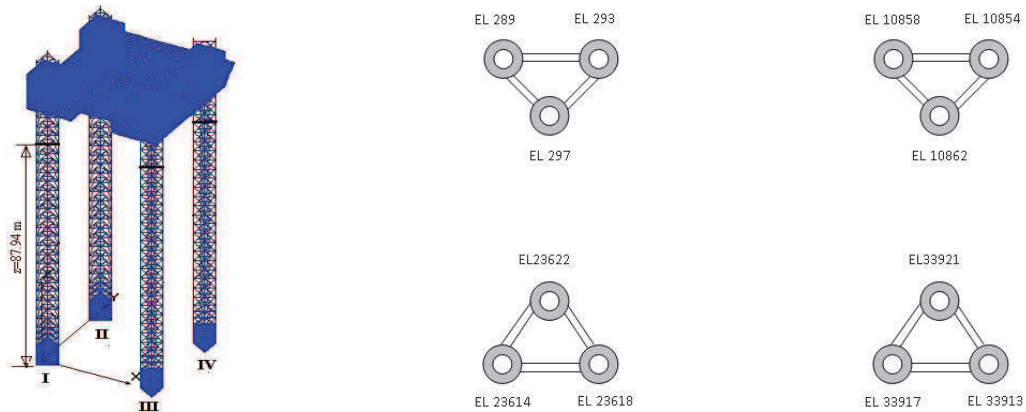


Fig. 3.7 Situația elementelor analizate

Elementele corespunzătoare fiecărui picior sunt prezentate în Tabelul 3.4.

Tabel 3.4 Elementele analizate corespunzătoare fiecărui picior

Picior	Elementele analizate		
Piciorul I	289	293	297
Piciorul II	10854	10858	10862
Piciorul III	23614	23618	23622
Piciorul IV	33913	33917	33921

Tensiunile specifice elementelor corespunzătoare fiecărui picior în cazul inițial de încărcare, încărcare dată doar de greutatea proprie, sunt:

Tabel 3.5 a) Tensiuni din greutatea proprie

Element Picior I	Tensiune [MPa]	Element Picior II	Tensiune [MPa]	Element Picior III	Tensiune [MPa]	Element Picior IV	Tensiune [MPa]
289	14,3	10854	18,64	23614	14,3	33913	18,64
293	17,81	10858	19,73	23618	17,81	33917	19,73
297	18,52	10862	21,24	23622	18,52	33921	21,24

Tabel 3.5 b) Deplasările [mm] din greutatea proprie

Element	Nod	UX	UY	UZ
289	284	-0,98	2,62	-8,34
	293	-0,95	2,72	-8,40
293	288	-0,97	2,63	-9,06
	297	-0,94	2,73	-9,14
297	292	-0,96	2,62	-8,92
	301	-0,93	2,72	-9,00
10854	6617	-0,91	4,20	-10,05
	6626	-0,89	4,25	-10,13
10858	6621	-0,84	4,18	-9,75
	6630	-0,81	4,23	-9,83
10862	6625	-0,86	4,25	-10,09
	6634	-0,83	4,31	-10,18
23614	13727	0,98	2,62	-8,34
	13736	0,95	2,72	-8,40
23618	13731	0,97	2,63	-9,06
	13740	0,94	2,73	-9,14
23622	13735	0,96	2,62	-8,92

	13744	0,93	2,72	-9,00
33913	19900	0,91	4,20	-10,05
	19909	0,89	4,25	-10,13
33917	19904	0,84	4,18	-9,75
	19913	0,81	4,23	-9,83
33921	19908	0,86	4,25	-10,09
	19917	0,83	4,31	-10,18

3.3.1.2 Modelare numerică și experimentală. Model redus la scara 1:15

A) Modelare numerică

Încărcările principale ale unui picior de platformă de acest tip sunt date de: greutatea proprie a piciorului, greutatea corpului platformei, sarcinile date de valurile și curenții marini ce acționează asupra acestuia, sarcini date de vânt, ce acționează pe suprafața laterală imersă a platformei. Structura unui picior al platformei de foraj marin este reprezentată în Figura 3.8.

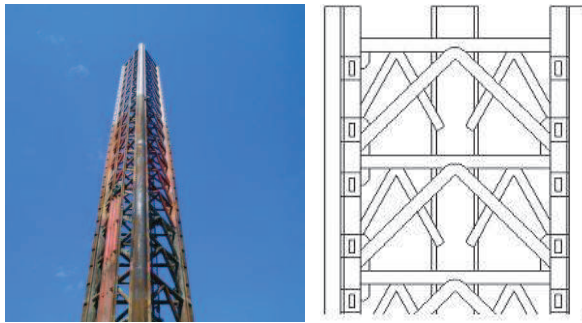


Fig. 3.8 Structura piciorului

Tabelul 3.7 Caracteristicile grupurilor de elemente

Element	t [mm]
R 9.5	2
R 24.5	3
R 10	10

Pentru modelarea numerică s-a folosit programul specializat de elemente finite SolidWorks/COSMOSM. Discretizării structurii s-a realizat în mai multe etape:

Etapa I - Definirea geometriei

Etapa a II-a – Definirea grupurilor de elemente constă în definirea a trei grupuri de elemente „Beam3D” ce au caracteristicile prezentate în Tabelul 3.7.

Etapa a III-a – Discretizarea constă în împărțirea fiecărui element din structura în 6 elemente, astfel rezultând un total de 530 de elemente.

Etapa a IV-a – Definirea legăturilor și sarcinilor

Legătura structurii cu solul a fost reprezentată prin încastrări.

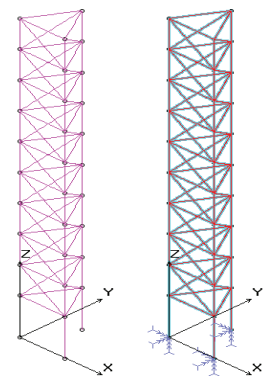


Fig 3.9 Discretizarea piciorului platformei

Pentru determinarea prin calcul a tensiunilor și deformațiilor ce apar la solicitarea unui astfel de picior structura acestuia a fost discretizată în elemente de bară cu 6 grade de libertate pe

nod (530 elemente), (în Figura 3.9). Legăturile între elementele de bara s-au realizat prin noduri rigide, iar legătura piciorului la baza este încastrare.

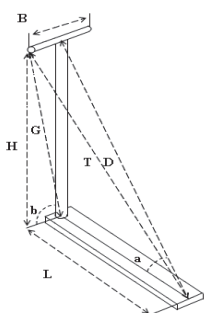


Fig. 3.10 Direcțiile de acționare a încărcărilor în cele două cazuri

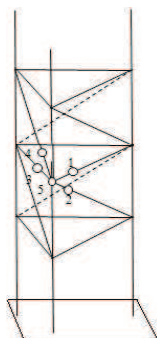


Fig. 3.11 Poziționarea elementelor analizate

În Figura 3.10 sunt prezentate direcțiile pe care acționează forța de solicitare în cele două cazuri: în cazul „încovoiere” direcția D iar pentru cazul „răsucire” pe direcția T.

Încărcările după direcțiile D și T s-au realizat cu forțele calculate experimental, forțe ce pot simula acțiunea vântului asupra structurii: 500, 1000, 1500, 2000 N. În cadrul modelării cu MEF aceste sarcini au fost descompuse după direcțiile Ox, Oy și Oz.

În cazul numit „încovoiere” forța a fost descompusă după direcțiile: Oy denumită direcția L și pe direcția Oz respectiv H. Componentele acestei forțe sunt prezentate în Tabelul 3.8.

În cazul numit „răsucire” forța a fost descompusă după aceleași direcții ca în cazul „încovoiere” aici apărând și o componentă pe direcția G, care la rândul ei a fost descompusă după direcțiile H și B. Tabelul 3.9 prezintă aceste componente.

Tabelul 3.8 Forțele corespunzătoare cazului de „încovoiere”

F [N]	F _L [N]	F _H [N]
0	0	0
500	408,43	288,41
1000	816,87	576,82
1500	1225,30	865,24
2000	1633,74	1153,65

Tabelul 3.9 Forțele corespunzătoare cazului de „răsucire”

F [N]	F _B [N]	F _L [N]	F _H [N]	F _G [N]
0	0	0	0	0
500	18,95	408,73	287,38	288
1000	37,89	817,45	574,75	575,99
1500	56,84	1226,18	862,13	863,99
2000	75,79	1634,91	1149,50	1151,99

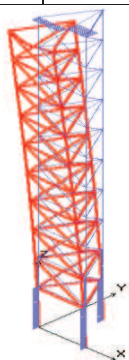


Fig 3.12 Deformată în cazul „încovoiere”

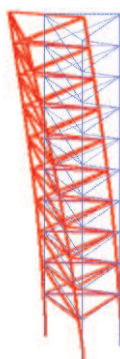


Fig 3.13 Deformată în cazul „răsucire”

În Figura 3.12 este prezentat modul de deformare a piciorului în cazul „încovoiere” pentru cele patru încărcări menționate anterior, iar în Figura 3.13 respectiv cazul „răsucire” pentru același set de încărcări.

B) Modelare experimentală

Situațiile de încărcare prezentate în Figura 3.14 și Figura 3.15 sunt identice cu cele prezentate în paragraful A) respectându-se denumirile, orientările, ordinul de mărime și punctul de aplicare al forțelor de acționare asupra standului. Încărcările s-au realizat cu forțele: 500, 1000, 1500, 2000 N . La fiecare treaptă de încărcare s-au memorat tensiunile și deformațiile specifice în punctele unde au fost amplasate mărcile tensometrice. Acestea ($l_0 = 10\text{mm}$, $R = 120\ \Omega$) au fost lipite în direcția axială a barelor pe care s-au făcut măsurătorile. Metoda folosită pentru determinarea stării de tensiune la model a fost Tensometria Electrică Rezistivă (TER), care face parte din metodele generale de măsurare pe cale electrică a mărimilor neelectrice. Traductorul este lipit pe piesa supusă solicitării. Se folosește montajul în punte Wheatstone a traductoarelor.

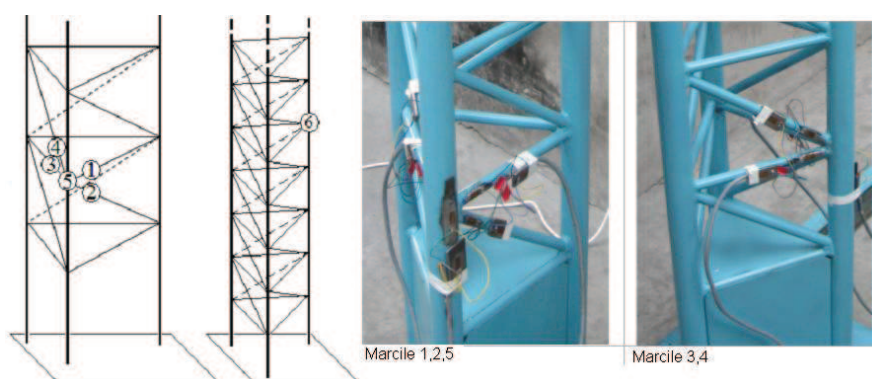


Fig. 3.14 Încărcarea de „încovoiere”



Fig. 3.15 Încărcarea de „răsucire”

În Figura 3.16 este prezentată poziționarea mărcilor, respectiv poziția comparatorului pentru măsurarea deplasărilor.



1,2,3,4,5 - Mărci tensometrice ; 6 – comparator

Fig. 3.16 Poziționarea mărcilor tensometrice

Pentru a verifica rezultatele analizei MEF s-a utilizat standul prezentat în Figura 3.14, 3.15. Standul reprezintă un picior de platformă redus la scara 1:15, respectându-se de asemenea și

raportul diametru element/grosime perete element. La bază pentru simularea legăturii piciorului cu fundul apei s-a construit o structură foarte rigidă, care simulează o încastrare.

Standul se compune din:

- picior, suportul piciorului;
- sistem de încărcare format din șurub cu două începuturi și dinamometru (Figura 3.17);

- sistem de înregistrare a datelor.

Sistemul de înregistrare a datelor este compus la rândul lui din:

- mărci tensometrice (dispuse ca în Figura 3.16);
- traducător tensometric Spider8 (Hottinger);
- laptop cu soft de înregistrare Catman professional.



Fig.3.17 Dinamometru

Forța de solicitare s-a realizat manual cu viteze mici pentru a realiza un regim static de încărcare. Corespunzător fiecărei trepte de încărcare s-au realizat înregistrări ale deformațiilor specifice, acestea fiind memorate în vederea prelucrării ulterioare.

C) Compararea rezultatelor obținute numeric și experimental

În urma efectuării analizei MEF a structurii piciorului de platformă marină (analiza fiind făcută cu setul de încărcări 500, 1000, 1500 și 2000 N), în punctele de control stabilite în prealabil au rezultat valorile pentru cazul „încovoiere” respectiv pentru cazul „răsucire”. Aceste valori au fost reprezentate grafic în comparație cu valorile determinate experimental în Laboratorul de „Rezistența Materialelor” din cadrul Universității „Dunărea de Jos” prezentate în Tabelele 3.12 și 3.13.

Rezultatele analizei structurale cât și rezultatele experimentului efectuat au fost centralizate în Tabelul 3.15 și Tabelul 3.16 . Pentru o cât mai bună comparație, între rezultate, s-a respectat în totalitate amplasarea mărcilor pe structura în ceea ce privește citirea rezultatelor analizei efectuate. În tabelele următoare s-a notat cu „C” pentru modelarea numerică iar cu „M” pentru modelarea experimentală.

Tabelul 3.15 Valorile tensiunilor calculate și măsurate în cazul „încovoiere”

Forța [N]	Zona Marcă	1	2	3	4	5
		Tensiuni normale [MPa]				
0	C	0	0	0	0	0
	M	0	0	0	0	0
500	C	-0,309	-0,133	1,08	-3,23	-4,06
	M	-0,319	-0,128	1,09	-3,15	-4,09
	e%	3,13	3,91	0,92	2,54	0,73

Contribuții privind influența solicitărilor variabile cauzate de valuri asupra
structurilor off-shore

1000	C	-0,619	-0,266	2,17	-6,30	-8,12
	M	-0,611	-0,256	2,09	-6,17	-8,09
	e%	1,31	3,91	3,83	2,11	0,37
1500	C	-0,928	-0,399	3,25	-9,45	-12,2
	M	-0,911	-0,382	3,09	-9,25	-11,5
	e%	1,87	4,45	5,18	2,16	6,09
2000	C	-1,24	-0,532	4,33	-12,6	-16,2
	M	-1,16	-0,526	4,42	-13,2	-16,8
	e%	6,90	1,14	2,04	4,55	3,57

Tabelul 3.16 Valorile tensiunilor calculate și măsurate în cazul „răsucire”

Forța	Zona Marcă	1	2	3	4	5
[N]	Tensiuni normale [MPa]					
0	C	0	0	0	0	0
	M	0	0	0	0	0
500	C	1,24	-3,12	1,74	-5,44	-7,50
	M	1,32	-3,21	1,69	-5,49	-7,53
	e%	6,06	2,80	2,96	0,91	1,03
1000	C	2,48	-6,25	3,48	-10,9	-8,69
	M	2,39	-6,24	3,34	-11,4	-8,64
	e%	3,77	0,16	4,19	4,39	0,58
1500	C	3,73	-9,37	5,22	-16,3	-11,3
	M	3,64	-9,28	5,24	-15,8	-11,7
	e%	2,47	0,97	0,38	3,16	3,42
2000	C	4,97	-12,5	6,96	-21,8	-15
	M	4,92	-12,4	6,89	-22,4	-15,4
	e%	1,02	0,81	1,02	2,68	2,60

Tabelul 3.17 Valorile deplasărilor calculate și măsurate în cazul „răsucire”

Forța [N]	Comparator / Nod	
0	C	0
	M	0
500	C	2,21
	M	2,25
	e%	1,78%
1000	C	4,40
	M	4,51
	e%	2,44%
1500	C	6,54
	M	6,69
	e%	2,24%
2000	C	8,72
	M	8,9
	e%	2,02%

Pentru vizualizarea erorilor, ce au apărut în urma discretizării structurii pentru analiza MEF, s-au realizat Figura 3.18 și 3.19 în care sunt prezentate variațiile tensiunilor normale din elementele structurii piciorului platformei de foraj marin autoridicătoare în raport cu creșterea încărcării ce acționează asupra acestuia și calculată și eroarea dintre acestea.

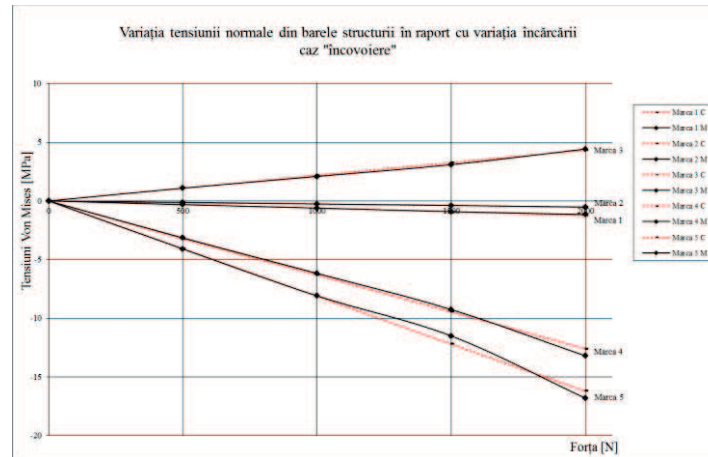


Fig. 3.18 Compararea rezultatelor numerice cu cele experimentale pentru cazul de încărcare de „încovoiere”

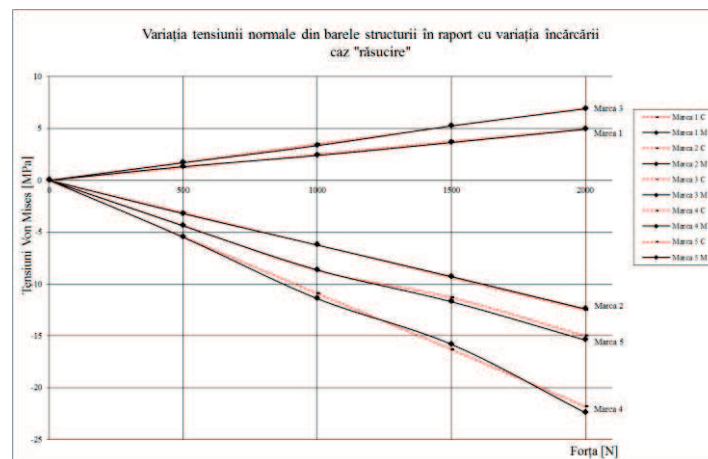


Fig. 3.19 Compararea rezultatelor numerice cu cele experimentale pentru cazul de încărcare de „răsucire”

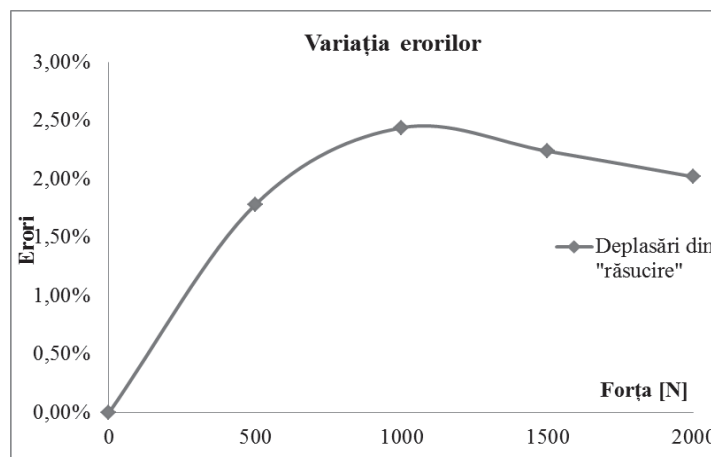


Fig. 3.20 Variația deplasării datorată încărcării

Din analiza valorilor obținute numeric și experimental se poate concluziona că metodologia aleasă pentru modelarea numerică este corectă și poate fi folosită în continuare pentru calculele de deformații și tensiuni.

3.3.1.3 Modelări numerice și experimentale privind comportarea structurii picioarelor platformei de foraj marin (model redus la scara 1:20), în diverse situații de încărcare statică.

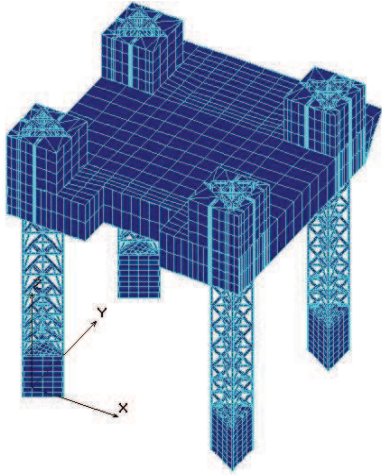


Fig. 3.21 Modelul FEM al structurii

A) Modelarea structurii modelului

Model ales este la scara 1:20. Modelul este supus la încărcări evidențiate în Figura 3.22. Un picior este alcătuit din 1066 de noduri și 1212 elemente. Structura piciorului cuprinde 3 tronsoane, adică 13 etaje.

S-au considerat patru situații de încărcare a platformei, evidențiate în Figura 3.22:

- Cazul I s-a considerat doar greutatea proprie a platformei;
- Cazul II, s-a încărcat platforma în zona centrală cu o sarcină de 289,5 kg;
- Cazul III, distribuția sarcinii de 289,5 kg la un picior;
- Cazul IV, distribuția sarcinilor la piciorul situat în diagonală față de măsurătorile din cazul III.

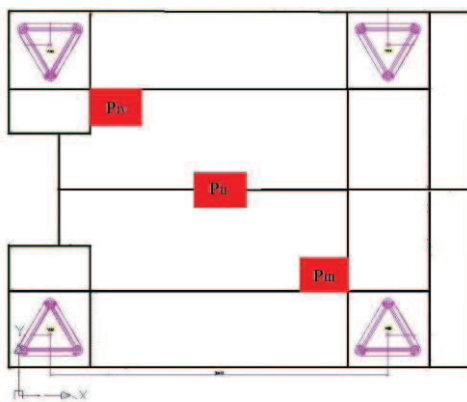


Fig. 3.22 Cazuri de încărcare a structurii platformei

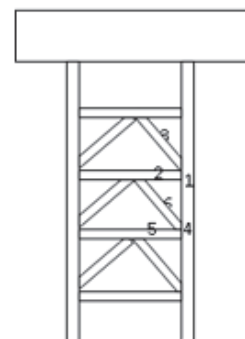


Fig. 3.23 Poziționarea elementelor analizate

În Figura 3.23 este reprezentată poziționarea elementelor ale căror valori ale tensiunii au fost extrase. În Tabelul 3.18 sunt reprezentate valorile tensiunilor și deplasărilor în toate cele patru cazuri de încărcare a structurii platformei.

Tabelul 3.18 Variația tensiunilor și deplasărilor în cazul analizei globale

Cazul de încărcare	Tensiuni von Mises maxime [MPa]	Deplasări maxime [mm]
1	11,4	0,451
2	20,2	0,489
3	24,1	0,462
4	22,7	0,504

În Tabelul 3.19 sunt prezentate valorile tensiunilor Von Misses pentru elementele în care s-au înregistrat tensiunile în modelul experimental.

Tabelul 3.19 Valorile tensiunilor în cazul analizei locale

Elementul numărul	Tensiunea Von Misses [MPa]		
	Caz 2	Caz 3	Caz 4
22733	-7,77	-15,8	-5,15
22982	-4,51	-11,9	-2,41
23534	-1,83	-12,6	-1,73
22769	-7,98	-19,9	-6,09
23126	-5,43	-11,2	-4,505
23606	-2,41	-8,68	-2,26

B) Verificări experimentale prin tensometria electrică rezistivă a stării de tensiune din elementele constructive ale piciorului platformei de foraj marin

Pentru verificarea rezultatelor analizei MEF s-a utilizat standul de oțel prezentat în Figura 3.24. Situațiile de încărcare cele prezentate în Figura 3.25 sunt identice cu cele prezentate în paragraful A) respectându-se denumirile, orientările, ordinul de mărime și punctul de aplicare al forțelor de acționare asupra standului. Încărcările s-au realizat cu forța de 2895 N. La fiecare treaptă de încărcare s-au memorat tensiunile, deformațiile și deplasările maxime în punctele unde au fost amplasate mărcile tensometrice.



Fig. 3.24 Modelul de platforma la scara 1:20



Fig. 3.25 Încărcarea structurii platformei

Modelul de platforma are o înălțime de 2,50 m cu următoarele caracteristici:

- înălțimea picioarelor de 2,40 m cu suportii care simulează încastrarea structurii de înălțime 0,1 m;

- lungimea corpului 2,6 m; - lățimea corpului 2,04 m;

- înălțimea corpului 0,32 m; - înălțimea rufurilor 0,32 m.

În Figura 3.26 se prezintă poziționarea mărcilor tensometrice, respectiv poziția comparatorului pentru măsurarea deplasărilor.



Mărcile 1, 2, 3



Mărcile 4, 5, 6



Fig. 3.26 Poziționarea mărcilor tensometrice

Standul reprezintă un model de platformă redus la scara 1:20, respectându-se de asemenea și raportul diametrului element/grosime perete element.



Fig. 3.27 Standul

Standul se compune din: picioarele structurii, corpul platformei, sistemul de încărcare, sistemul de înregistrare a datelor.

Sistemul de înregistrare a datelor la rândul lui este compus din:

- mărci tensometrice (Figura 3.26);
- traductor tensometric Spider8 (Hottinger);
- laptop cu soft Catman (Figura 3.27)

Măsurătorile deformațiilor au fost realizate în regim static, fiind corespunzătoare fiecărei trepte de încărcare fiind memorate în vederea prelucrării ulterioare.

C) Compararea rezultatelor numerice cu cele experimentale

În urma efectuării analizei MEF a structurii piciorului de platformă marină (analiza fiind făcută cu setul de încărcări 2895 N, în punctele de control stabilite în prealabil au fost înregistrate valorile. Aceste valori au fost reprezentate grafic în comparație cu valorile determinate experimental în Laboratorul de „Rezistența Materialelor” din cadrul Universității „Dunărea de Jos”. Rezultatele analizei structurale cât și rezultatele experimentului efectuat au fost centralizate în Tabelul 3.20.

Tabelul 3.20 Valorile tensiunilor calculate și măsurate în cele 4 cazuri de încărcare

Cazul	Marca	1	2	3	4	5	6
Tensiuni normale [MPa]							
1	C	0	0	0	0	0	0
	M	0	0	0	0	0	0
2	C	-7,77	-4,51	-1,83	-7,98	-5,43	-2,41
	M	-7,35	-4,79	-1,96	-7,51	-5,36	-2,34
	e%	5,71	5,85	6,63	6,26	1,31	2,99
3	C	-15,8	-11,9	-12,6	-19,9	-11,2	-8,68
	M	-16,5	-11,7	-13,1	-20,9	-12,1	-9,46
	e%	4,24	1,71	3,82	4,78	7,44	8,25
4	C	-5,15	-2,41	-1,73	-6,69	-4,05	-2,26
	M	-5,51	-2,53	-1,84	-6,05	-4,75	-2,45
	e%	6,53	4,74	5,98	0,66	5,16	7,76

În tabel s-a notat cu C valorile calculate, iar M valorile măsurate.

În Figurile 3.28, 3.29, 3.30 și 3.31 este prezentată variația tensiunilor și deplasărilor în elementele unde au fost amplasate mărcile tensometrice, valori măsurate experimental la încărcare și descărcare cu forțele respective.

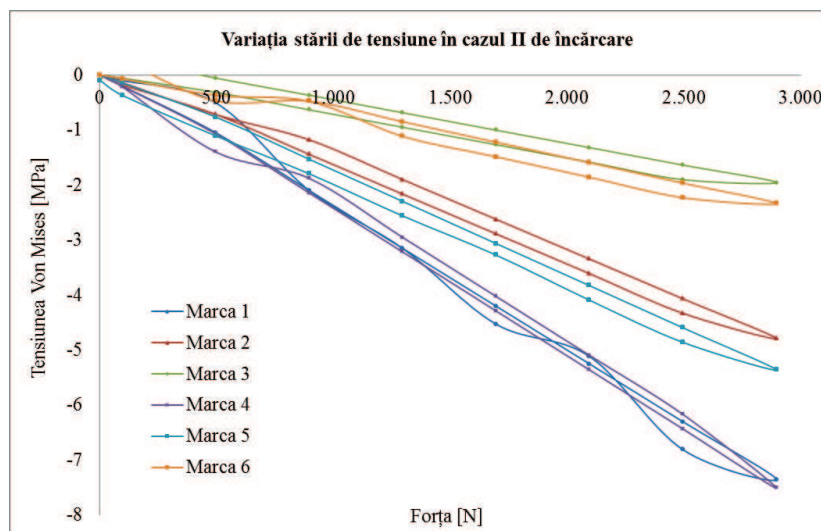


Fig.3.28 Variația stării de tensiune în cazul II de încărcare

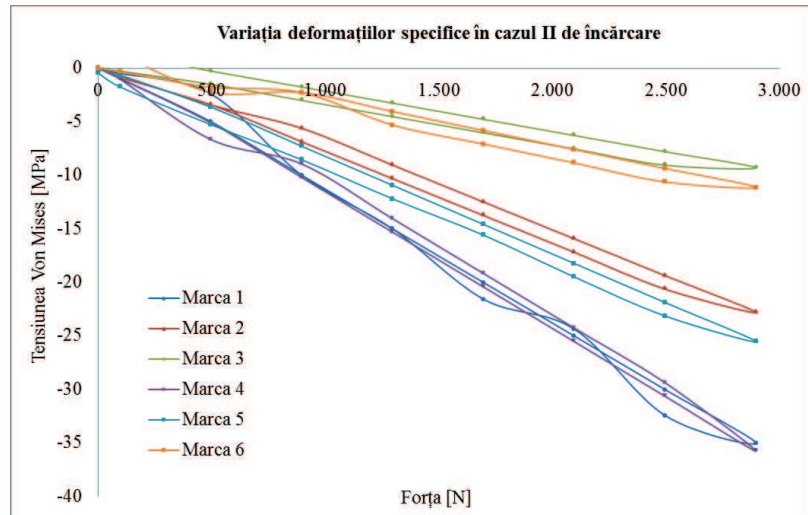


Fig. 3.29 Variația deformațiilor în cazul II de încărcare

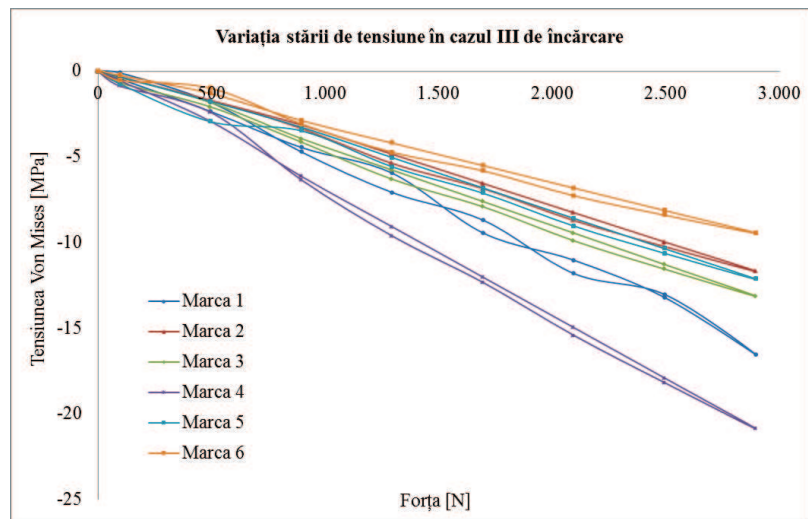


Fig.3.30 Variația stării de tensiune în cazul III de încărcare

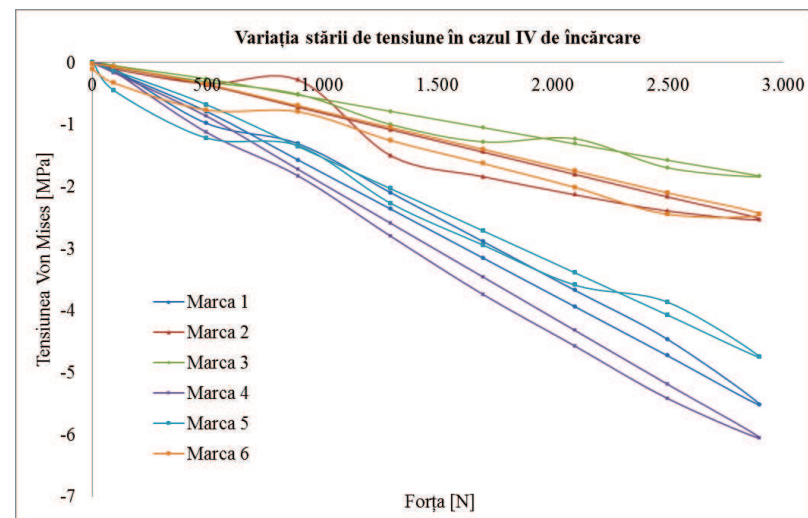


Fig.3.31 Variația stării de tensiune în cazul IV de încărcare

3.3.1.4 Influența distrugerii unor elemente de legătură asupra stării de tensiune din structura picioarelor de platformă de foraj marin

Din cauza acțiunii mediului exterior asupra elementelor componente ale picioarelor platformelor de foraj marin: coliziune cu navele de aprovizionare, gheață, etc. acestea pot suferi distrugerii. Urmare a distrugerii unor elemente componente starea de tensiune din elementele rămase întregi se modifică. Este necesară în acest sens analiza noii stări de tensiune.

În continuare se vor face studii asupra influenței distrugerilor de elemente asupra stării de tensiune și deplasări. S-a considerat zona avariata (vezi Figura 3.32) ca fiind zona unde se pot produce coliziuni cu navele de aprovizionare.

S-a considerat cazul în care sunt distruse elemente de la un singur picior, avându-se în vedere în calcul următoarele cazuri (evidențiate în Figura 3.32):

- Cazul 1 - structura fără nici un element distrus;
- Cazul 2 - o bară orizontală de la cota $z = 80,62 \text{ m}$, distrusă, având ca urmare și distrugerea celor două bare intermediare de la același etaj și distrugerea și celor două diagonale, reprezentat în Figura 3.32 (a).
- Cazul 3 - distrugerea barei orizontale de la cota $z = 84,28 \text{ m}$;
- Cazul 4 - distrugerea corzii situate între cota $z = 80,62 \text{ m}$ și $z = 84,28 \text{ m}$, adică distrugerea unei bare cu diametrul cel mai mare a structurii piciorului, $D = 0,915 \text{ m}$;
- Cazul 5 - distrugerea corzii situate de la $z = 84,28 \text{ m}$ la $z = 87,94 \text{ m}$.

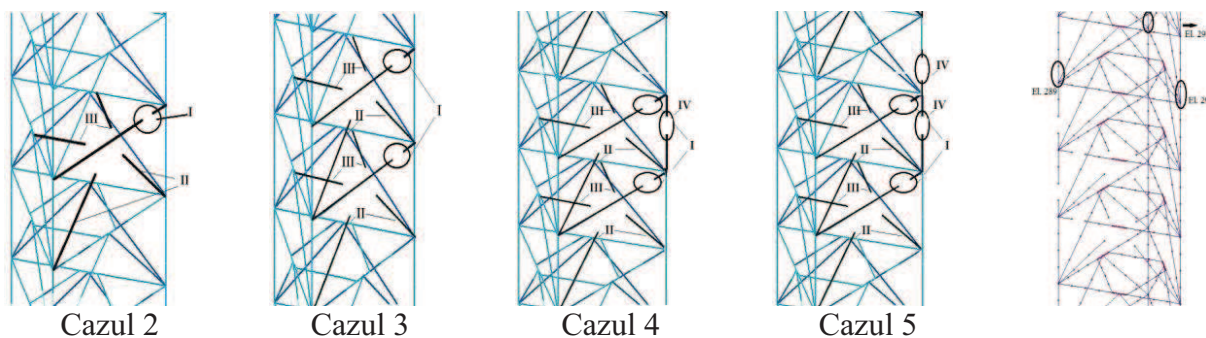


Fig. 3.32 Cazuri de distrugeri de elemente din structura piciorului

Elementele alese pentru analiza stării de tensiune și deplasări sunt situate la cota $z=87,94 \text{ m}$, elemente ce aparțin celor 4 picioare, câte 3 elemente pe picior, elemente ce aparțin barelor cu diametrul cel mai mare, $D=0,915 \text{ m}$, reprezentate în Figura 3.7. În Figura 3.33 este prezentată distribuția valorilor maxime a tensiunii Von Mises în elementele alese spre analiză.

Contribuții privind influența solicitărilor variabile cauzate de valuri asupra structurilor off-shore

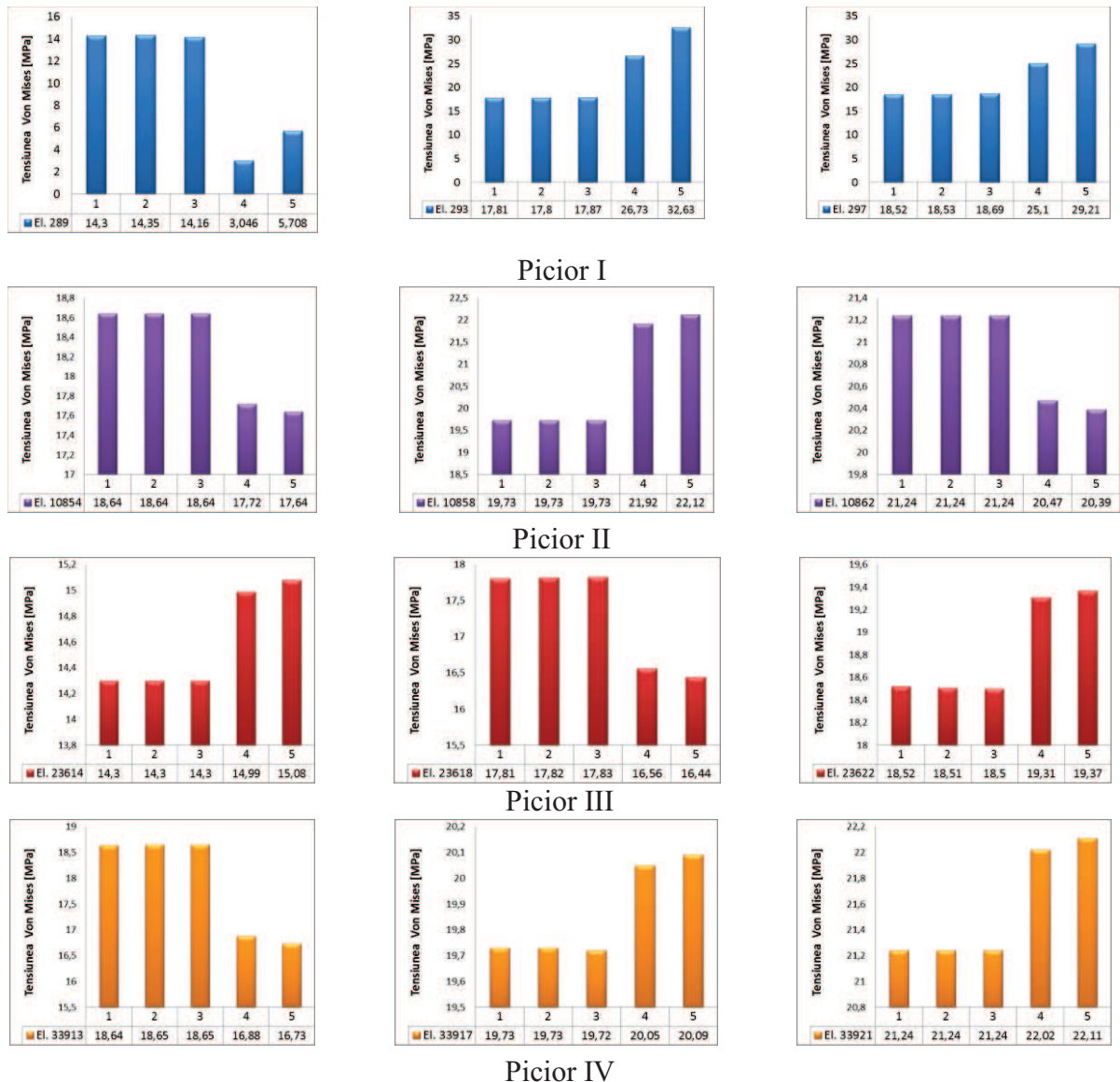


Fig. 3.33 Variația tensiunii în cazul distrugerii de elemente din structura picioarelor

Din analiza graficelor prezentate se poate concluziona că tensiunile variază astfel:

Picioar I – în elementul 289 tensiunile scad cu aproximativ 78% după distrugerea barelor cu diametrul cel mai mare (coarda). În celelalte două elemente analizate tensiunile cresc cu aproximativ 56% respectiv 36%

Picioar II – în elementul 10854 tensiunile scad cu aproximativ 6% după distrugerea barelor cu diametrul cel mai mare (coarda). În elementul 10858 tensiunile cresc cu aproximativ 13%, iar în elementul 10862 tensiunile scad cu aproximativ 4%.

Pentru picioarele IV și III tendințele de variație a tensiunilor sunt similare picioarelor I respectiv II din cauza simetriei.

Pentru concluzionare asupra tendinței de variație a tensiunilor trebuie efectuate o multitudine de scenarii folosind metodologia prezentată.

3.3.2 Influența coroziunii asupra stării de tensiune din picioarele platformelor

3.3.2.1 Fenomenul de coroziune

Daunele cauzate de coroziune în țările cu economie dezvoltată se consideră că se ridică la 4 - 5 % din produsul intern brut. Coroziunea se manifestă în multiple forme, forma cea mai des apărută este pierderea directă, irecuperabilă de metal (cca. 10-20 %) (Ioannou A.).

Agenții agresivi cei mai răspândiți sunt: aerul atmosferic, apa sub formă de vapori, apele reziduale. În cazul platformele marine coroziunea acționează mai rapid deoarece este în contact continuu cu apa de mare cu salinitate ridicată.

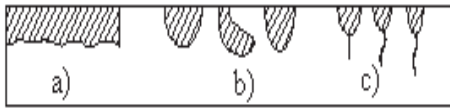


Fig. 3.34 Formele coroziunii:

(a) *coroziune generală*; (b) *coroziune localizată*; (c) *coroziune fisurată*.

Coroziunea generală (uniformă) reprezintă reducerea de grosime care se produce aproape uniform pe suprafețele de oțel ale structurilor navale. Acest tip de coroziune este mai puțin întâlnit. Cel mai comun exemplu de coroziune generală este simpla coroziune a oțelului în atmosferă.

Coroziunea localizată se manifestă prin ciupituri (pitting) și își face apariția în zonele structurale în care se adună apa. Coroziunea fisurată apare sub forma unor canale (linii) de coroziune locală la intersecția elementelor structurale, unde se colectează apa sau umezeala (Ioannou A.), (Guedes S. C.), (Melchers R.E.).

3.3.2.2 Definierea modelului de coroziune

Notată cu δ viteza de reducere a grosimii unei table prin coroziune în faza a treia, legea de variație a vitezei de reducere a grosimii tablei datorită coroziunii la timpul T din faza a doua are relația (Ioannou A.):

$$\delta^{(II)} = \delta \frac{T - T_1}{T_2 - T_1} ; T_1 < T < T_2 . \quad (3.6)$$

Reducerea de grosime la timpul T din faza a treia este:

$$t_T^{(II)}(T) = t_0 - \int_{T_1}^T \delta \frac{T - T_1}{T_2 - T_1} dT = t_0 - 0,5\delta \frac{(T - T_1)^2}{T_2 - T_1} ; T_1 < T \leq T_2 . \quad (3.7)$$

Placa are grosimea la sfârșitul fazei II:

$$t_1 = t_0 - \delta(T_2 - T_1)/2 . \quad (3.8)$$

Variația în timp a grosimii plăcii în faza III este liniară, devine:

$$t_T^{(III)} = t_1 - \int_{T_2}^T \delta dT = t_0 - 0,5\delta(T_2 - T_1) - \delta(T - T_2) ; T_2 < T < T_{\max} . \quad (3.9)$$

Valorile medii ale variabilelor (δ , T_1 , T_2) care intervin în expresiile grosimilor plăcii au relațiile:

$$\bar{t}^{(II)} = \bar{t}_0 - \bar{\delta} \frac{(T - \bar{T}_1)^2}{\bar{T}_2 - \bar{T}_1}; \quad \bar{t}_T^{(III)} = \bar{t}_0 - 0.5\bar{\delta}(\bar{T}_2 - \bar{T}_1) - \bar{\delta}(T - \bar{T}_2). \quad (3.10)$$

unde: - δ este reducerea grosimii plăcii datorată coroziunii; - t este grosimea plăcii;

- \bar{T}_1 valoarea medie a timpului la care protecția anticorozivă începe să devină inefficientă;
- \bar{T}_2 valoarea medie a timpului la care viteza de coroziune atinge valoarea maximă;
- t_0 grosimea inițială a plăcii.

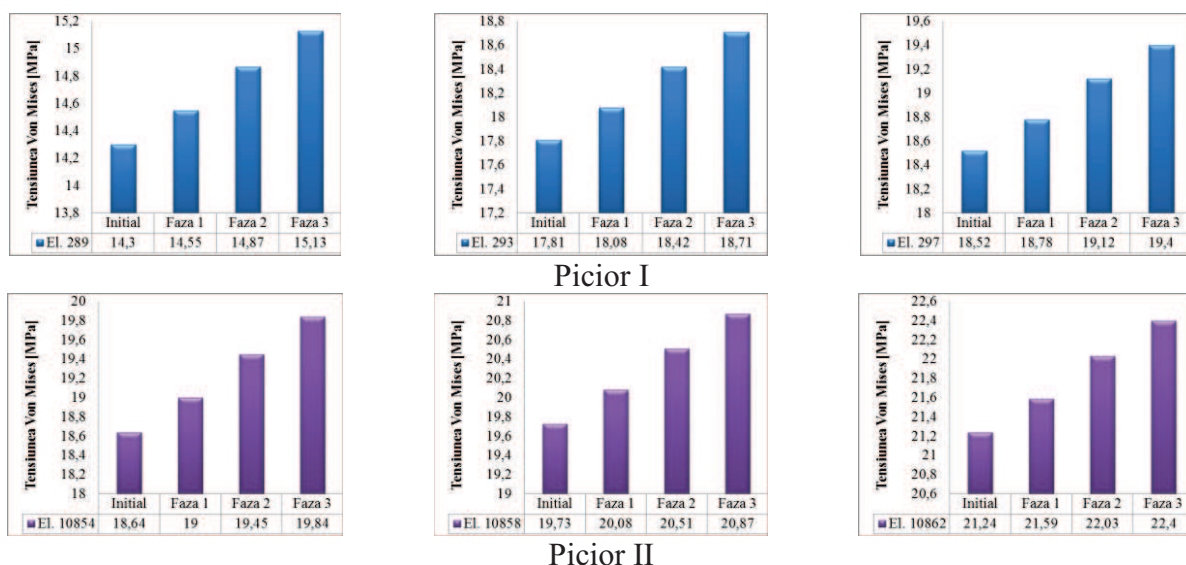
3.3.2.3 Influența coroziunii asupra stării de tensiune din elementele componente ale picioarelor

Apa mării prin concentrația de săruri provoacă coroziunea elementelor componente ale picioarelor platformelor de foraj. De asemenea organismele marine, coloniile de crustacee și nisip atașate de-a lungul timpului pe structură, conduc la condiții locale de corodare puternică.

A fost considerată platforma dată în folosință, încărcată doar cu greutatea proprie, ca fiind supusă procesului de corodare. Evoluția adâncimii de coroziunii a fost calculată cu ajutorul formulelor detaliate la Subcapitolul 3.3.2.2, pentru fiecare fază în parte, considerându-se o nouă secțiune transversală redusă datorită coroziunii specifică fiecărei faze de corodare:

- Faza 1 - durata de 10 ani - reducere de 2,7 mm;
- Faza 2 – durata de 20 ani - reducere de 5,88 mm;
- Faza 3 – durata de 30 ani - reducere de 8,4 mm.

În Figura 3.37 este prezentată evoluția stării de tensiune datorită stării de corodare a structurii în cele trei faze de corodare.



Contribuții privind influența solicitărilor variabile cauzate de valuri asupra structurilor off-shore

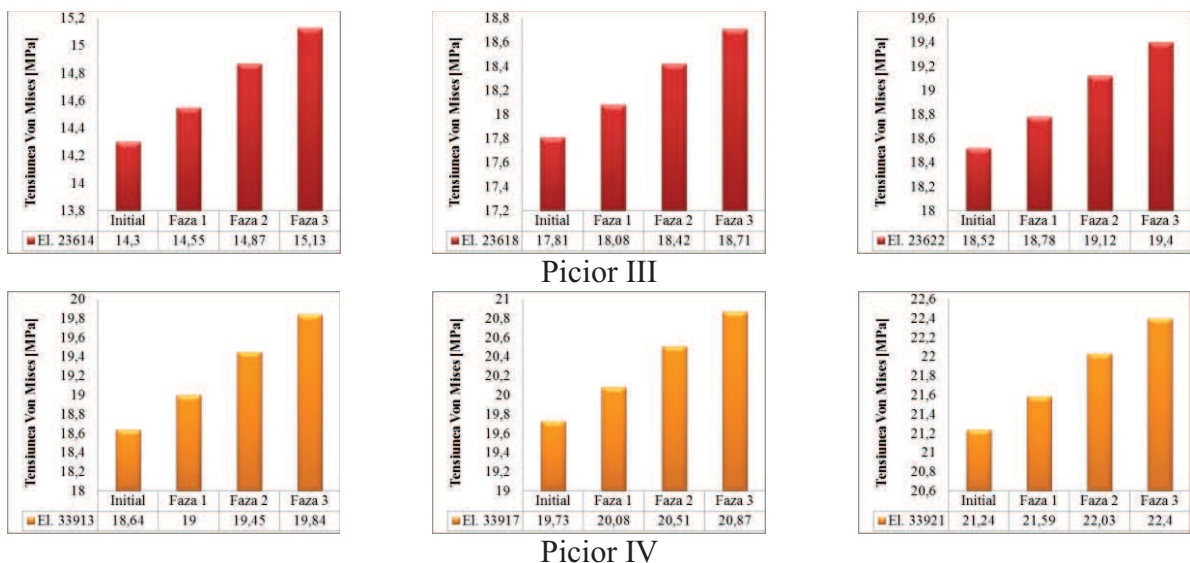


Fig. 3.37 Variația tensiunii Von Misses [MPa] datorată corodării elementelor

Din analiza graficelor prezentate se poate concluziona că tensiunile variază astfel:

Picior I:

- în elementul 289 tensiunile cresc cu aproximativ 5,49% după corodare timp 30 de ani;
- în elementul 293, tensiunile cresc cu aproximativ 4,81% după corodare timp 30 de ani;
- în elementul 293, tensiunile cresc cu aproximativ 4,54% după corodare timp 30 de ani;

Aceeași tendință se înregistrează și pentru picioarele II, III, IV. Acest lucru poate fi explicat prin faptul că prin corodare scade aria secțiunii.

Pentru concluzionare asupra tendinței de variație a tensiunilor trebuie efectuate o multitudine de scenarii de corodare folosind metodologia prezentată.

Tabel 3.21 Variația procentuală a tensiunii corespunzătoare fiecărei faze de corodare

Element	Procent		
	Faza 1	Faza 2	Faza 3
289	1,72%	3,83%	5,49%
293	1,49%	3,31%	4,81%
297	1,38%	3,14%	4,54%
10854	1,89%	4,16%	6,05%
10858	1,74%	3,80%	5,46%
10862	1,62%	3,59%	5,18%
23614	1,72%	3,83%	5,49%
23618	1,49%	3,31%	4,81%
23622	1,38%	3,14%	4,54%
33913	1,89%	4,16%	6,05%
33917	1,74%	3,80%	5,46%
33921	1,62%	3,59%	5,18%

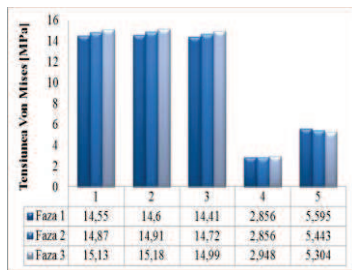
În urma evoluției coroziunii, masa structurii platformei a fost:

Tabel 3.22 Variația masei structurii corespunzătoare fiecărei faze de corodare

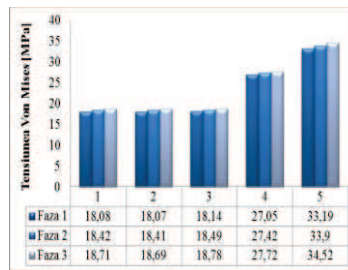
Faza	Masa [T]	Scăderea masei
Inițială	5322	
Faza 1	5186	2,555%
Faza 2	5027	5,543%
Faza 3	4902	7,892%

3.3.2.4 Influența coroziunii asupra stării de tensiune din elementele componente ale picioarelor considerându-se și diverse cazuri de distrugere

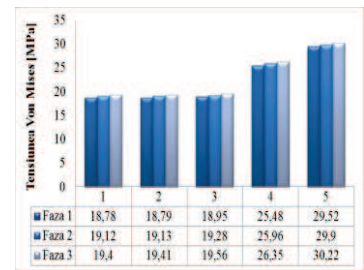
A fost considerată platforma fără încărcări, supusă procesului de corodare. Cu ajutorul programului SolidWord Cosmos/M a fost analizată influența stării de tensiune în cele trei faze de corodare cu reducerile de grosimi specifice fiind considerate și cazurile de distrugere definite în Subcapitolul 3.3.1.4:



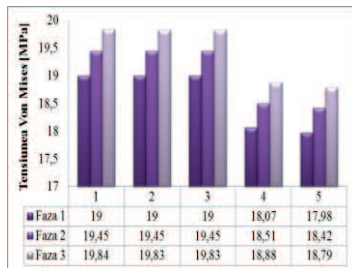
Element 289



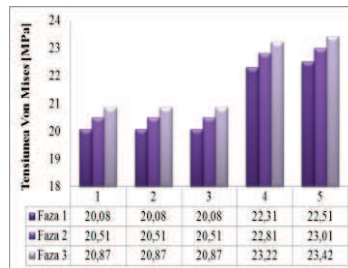
Element 293



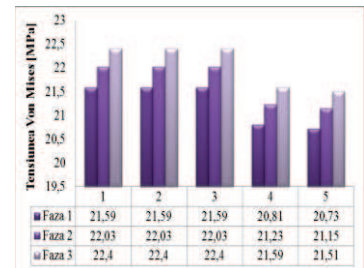
Element 297



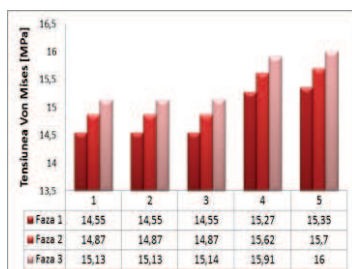
Element 10854



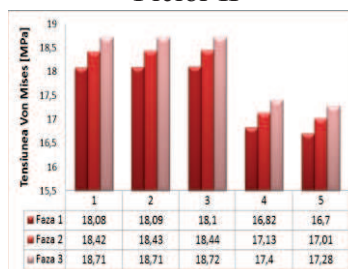
Element 10858



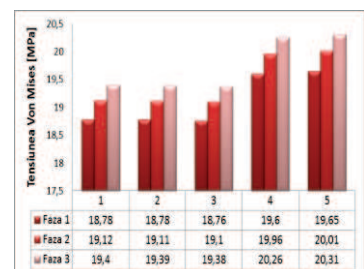
Element 10862



Element 23614



Element 23618



Element 23622

Picior III

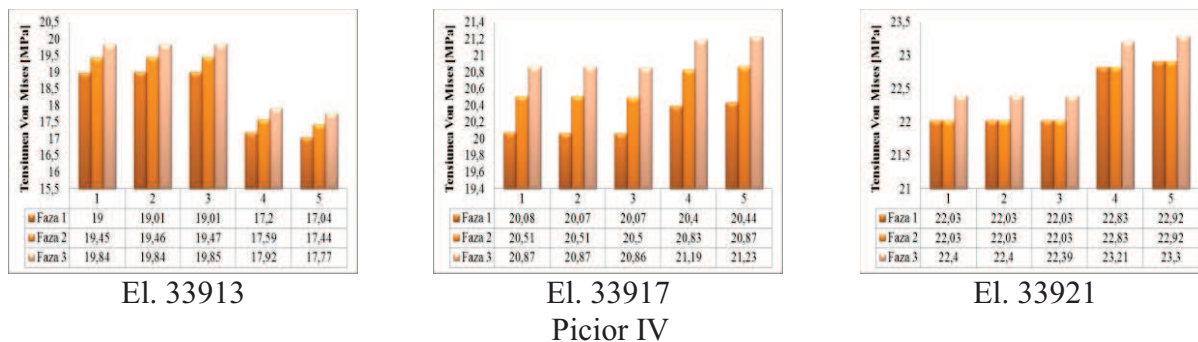


Fig. 3.38 Variația tensiunii Von Misses [*MPa*] datorată corodării elementelor

Din analiza graficelor prezentate se poate concluziona că tensiunile variază astfel:

Picior I – în elementul 289 tensiunile scad cu aproximativ 40% după distrugerea barelor cu diametrul cel mai mare (coarda). În celelalte două elemente analizate tensiunile cresc cu aproximativ 45% respectiv 36%.

Picior II – în elementul 10854 tensiunile scad cu aproximativ 4,9% după distrugerea barelor cu diametrul cel mai mare (coarda). În elementul 10858 tensiunile cresc cu aproximativ 10,8%, iar în elementul 10862 tensiunile scad cu aproximativ 4,1%.

Pentru picioarele IV și III tendințele de variație a tensiunilor sunt similare picioarelor I respectiv II din cauza simetriei.

Pentru concluzionare asupra tendinței de variație a tensiunilor trebuie efectuate o multitudine de scenarii folosind metodologia prezentată. Comportarea platformei este similară cu cazul distrugerii de elemente fără corodare cum era de fapt și normal.

3.4 Concluzii pentru calculul static în diverse situații de exploatare

Având în vedere cazurile analizate se poate concluziona:

- Pentru cazurile de distrugere abordate s-a determinat variația stării de tensiune în elementele de bară componente din structura picioarelor. Sunt prezentate grafice cu variația tensiunilor. Se poate vedea influența negativă a distrugerii de elemente asupra integrității structurii platformei. Creșterea maximă a tensiunilor în elementele studiate a fost de 45,42%. Studiul poate fi utilizat de către utilizatorii platformelor de tip Gloria pentru situații de accidente pe locațiile de extracție.

- Analiza numerică efectuată este oportună în vederea luării în considerare a diferitelor scenarii de coliziune.

- Analiza numerică în cazul corodării a condus la concluzia că reducerea grosimii a elementelor este mult mai pronunțată în primii ani. Acest lucru poate fi explicat prin faptul că la

începutul procesului de coroziune factorii externi acționează direct pe metal. Creșterea maximă a tensiunilor în elementele studiate a fost de:

- în prima fază de corodare 1,89%;
- în a doua fază de corodare 4,16%;
- în faza a treia de corodare 6,05%.

Ulterior stratul de rugină acționează ca o protecție împotriva coroziunii.

În cazul distrugerii elementelor din structura piciorului de platformă marină au rezultat o creștere maximă a tensiunii în elementele analizate astfel:

- în prima fază de corodare în cazul 5 de distrugere 45,53%;
 - în a doua fază de corodare în cazul 5 de distrugere 45,66%;
 - în faza a treia de corodare în cazul 5 de distrugere 45,8%.
- Starea de tensiune este influențată de reducerea de grosime cauzată de coroziune, chiar dacă procentele nu sunt majore.
- Coroziunea are influențe semnificative asupra stării de tensiune și asupra deplasărilor.

C A P I T O L U L 4

Analiza stării de tensiune care apare în structura picioarelor platformelor de foraj marin.

Cazul dinamic

Obiectivele capitolului:

- Sarcinile de mediu care acționează asupra structurii picioarelor;
- Acțiunea dinamică a sarcinilor – modelări;
- Influența distrugerii unor elemente din structura picioarelor platformei de foraj asupra stării de tensiune din acestea. Influențe asupra deplasărilor și a pulsațiilor proprii;
- Influența coroziunii asupra stării de tensiune în elementele componente ale picioarelor platformei de foraj. Influența reducerii de grosime din coroziune asupra deplasărilor și a pulsațiilor proprii;
- Efectul cumulat al distrugerii și coroziunii unor elemente din structura picioarelor platformei de foraj asupra stării de tensiune din acestea. Influențe asupra deplasărilor și a pulsațiilor proprii.

4.1 Sarcini dinamice

Se consideră că principala sarcină care acționează asupra structurii picioarelor de susținere a platformelor de foraj marin este cea dată de val.

În plus față de sarcinile de mediu, o structură off-shore trebuie să fie proiectată pentru sarcini permanente și pentru sarcini live, fabricare și instalare, precum și sarcini accidentale.

4.1.1 Valul, prezentare generală.

Pe toată durata de funcționare, structura off-shore va suferi acțiunea permanentă a valurilor.

Valurile (după Domnișoru, L.) constituie o formă de echilibru dinamic a fluidului în care particulele de lichid descriu traiectorii închise, oscilând în jurul poziției de echilibru.

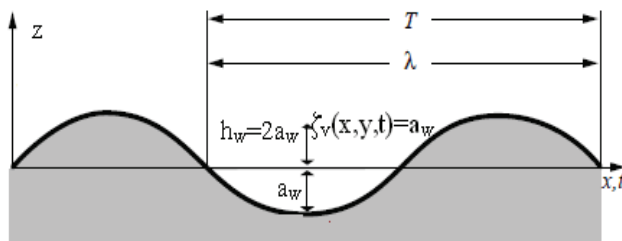


Fig. 4.2 Profilul valului

Un val plan se definește prin:

- λ lungimea valului,
- $h_w = 2a_w$ înălțimea valului,
- T perioada valului,
- $c = \lambda/T$ viteza de propagare a valului,
- $\omega = 2\pi/T$ pulsația valului,
- $k = 2\pi/\lambda$ numărul de val.

În deplasarea lor pe o direcție medie valurile pot pierde energie prin diverse mecanisme precum: amortizarea vâscoasă internă, divergența unghiulară a valurilor pe măsură ce părăsesc aria localizată, vânturi contrare suflând împotriva mișcării valurilor, interacțiuni între valuri (ca în cazul furtunilor).

4.1.2 Comportarea structurii unui picior de platformă de foraj marin la acțiunea dinamică a sarcinilor. Stadiul actual

În ultimii ani a existat un interes considerabil în studiul forțelor hidrodinamice pe care valurile o pot exercita asupra structurilor off-shore care au forma de cilindri circulari, piloți, chesoane de secțiune rectangulară, etc (Rahman M.).

Morison J. R. O'Brien a prezentat o ecuație empirică ce determină forțele pe un cilindru circular. Această ecuație este valabilă doar în cazul unui cilindru de diametru mic, iar în cazul diametrelor mari în raport cu lungimea de undă se utilizează teoria de difracție, unde rezistența forțelor vâscoase este neglijabilă, iar forțele de inerție sunt predominante.

Calculul dinamic are ca rezultat:

- determinarea tensiunilor care apar în elementele structurii;

- determinarea deplasărilor diverselor puncte ale structurii picioarelor la acțiunea valului extrem.

Acțiunea simultană a forțelor exterioare precum valurile, vântul și curenții marini este considerată acțiunea independentă a factorilor de mediu, urmată de aplicarea principiului suprapunerii efectelor, F_e având forma (Cruclu L.), (Elchahal G.):

$$F_e = F_w + F_c + F_v \quad (4.12)$$

unde:- F_w – sunt forțele cauzate de valuri;

- F_c forța curenților marini ce cuprind forțe medii și vârtejuri care induc forțe oscilatorii asupra structurii și liniilor de ancorare individuale;

- F_v sunt forțele datorate vântului, forțe de derivă medii, cu posibilitatea apariției unei componente cu variație lentă, datorită condițiilor nestaționare.

Ecuția generală a mișcării structurii plutitoare sub formă matriceală este:

$$(M + A)\ddot{X} + B\dot{X} + CX = F_e \quad (4.13)$$

unde:- M este matricea maselor și momentelor de inerție mecanice ale structurii;

- A este matricea maselor adiționale; - B este matricea amortizărilor liniare;

- C este matricea coeficienților de redresare; - F_e este vectorul forțelor de excitație;

- X este vectorul deplasărilor.

4.1.3 Forțele de natură vâscoasă

La structurile alcătuite din elemente subțiri, de tip bară pentru care $D/\lambda < 0.2$, efectele difracției pot fi neglijate dar se va ține cont de efectele vâscozității, utilizând ecuația Morison.

În cazul unui cilindru de diametru D , conform ecuației Morison, forța totală datorată acțiunii unui val elementar armonic Airy pe unitatea de lungime a unui cilindru se exprimă ca o sumă a derivatelor forței de inerție, F_{I_x} și a forței de frecare nestaționară, F_{D_x} , cu relația:

$$\frac{dF_x(t)}{dz} = \frac{dF_{I_x}(t)}{dz} + \frac{dF_{D_x}(t)}{dz} = c_M \rho \frac{\pi D^2}{4} \frac{\partial u(t)}{\partial t} + \frac{1}{2} c_D \rho D |u(t)| u(t) \quad (4.14)$$

unde - u este viteza orizontală a particulei de fluid; - ρ este densitatea fluidului;

- c_M este coeficientul de inerție; - c_D este coeficientul de rezistență.

Formula Morison pentru calculul forței hidrodinamice pe unitatea de lungime este:

$$\frac{dF_x(t)}{dz} = c_M \rho \frac{\pi D^2}{4} \frac{\partial u(t)}{\partial t} + \frac{1}{2} c_D \rho D |u(t) + V_c| [u(t) - V_c] \quad (4.17)$$

unde $\bar{u}(z)$ este amplitudinea vitezei orbitale pentru înălțimea z , iar v_c este vâscozitatea cinematică a fluidului (Crodu L.).

4.1.4 Calculul sarcinilor hidrodinamice generate de val acționând asupra elementelor componente ale picioarelor

Pentru calculul sarcinilor hidrodinamice din val a fost folosit programul “FORHID” elaborat de un colectiv de la Departamentul de Hidrodinamică Navală, a Facultății de Arhitectură Navală a Universității “Dunărea de Jos” din Galați. La baza elaborării acestui program a stat teoria Morison-O’Brien (1950). În urma calculului se determină forțele și momentele după cele trei direcții.

Datele de intrare necesare pentru rularea programului sunt definite în Tabelul 4.1:

Tabelul 4.1 Datele de intrare pentru programul „FORHID”

Simboluri	Mărimi	Valoare
N	numărul de bare;	399
ρ	densitatea fluidului;	1,013 [t/m^3]
C_M	coeficient de inerție;	2
C_D	coeficient de rezistență;	1
DELTD	creșterea diametrului datorită fenomenului de depuneri	0 [m]
ANIU	vâscozitatea cinematică;	0,00000101 [m^2*s]
C_{R1}	viteza curentului la fundul mării;	0,6 [m/s]
C_{R2}	viteza curentului la suprafață;	1,2 [m/s]
x_i, y_i, z_i	coordonatele nodurilor barelor;	[m]
D	diametrul barei inițial;	[m]
PERT	perioada valului;	10,2 [s]
HVAL	înălțimea valului;	12 [m]
ADINC	adâncimea apei;	90 [m]
ZBAZA	distanța față de baza structurii.	0 [m]

Tabelul 4.2 Date furnizate de programul „FORHID”

Simboluri	Mărimi
F_i	forța hidrodinamică pentru bara „i”
F_{xi}, F_{yi}, F_{zi}	componentele forței hidrodinamice pe bara „i”
XFi, YFi, ZFi	coordonatele punctului de aplicație al forței hidrodinamice calculate pe bara „i”;
F_{i1}	forța hidrodinamică din nodul 1 al barei „i”;
$F_{xi1}, F_{yi1}, F_{zi1}$	componentele forței hidrodinamice din nodul „1” al barei „i”;
F_x, F_y, F_z	componentele forței hidrodinamice totale pe structură;
F	forța hidrodinamică totală pe structură;
M_{Fx}, M_{Fy}	momentele forțelor totale, F_x și F_y în raport cu planul de bază al structurii.

Sistemul de axe folosit pentru definirea geometriei este cel prezentat în Figura 4.8.

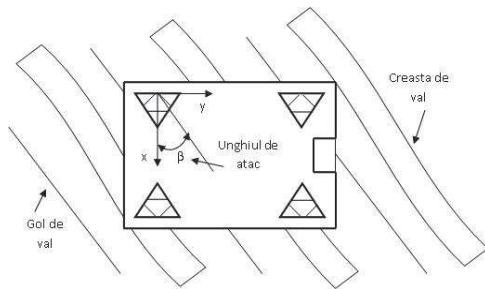


Fig. 4.8 Sistemul de coordonate atașat structurii analizate

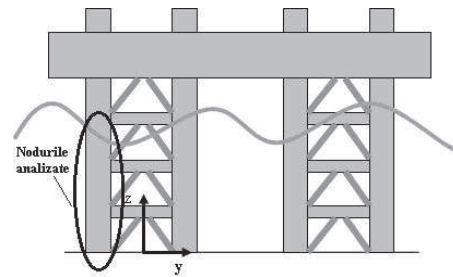


Fig. 4.9 Nodurile analizate

Calcululele au fost efectuate pentru un val cu perioada $T=10,2 s$, fiind analizat în 12 intervale. În urma calcului folosind programul FORHID rezultă variația forțelor și momentelor prezentate în Figura 4.10 și Figura 4.11, nodurile analizate sunt nodurile aflate la cotele constante $x=0$ și $y=-4,05 m$ pe înălțimea piciorului z , la unghiul de incidenta 0^0 , la timpul $0 s$. Nodurile analizate sunt prezentate în Figura. 4.9.

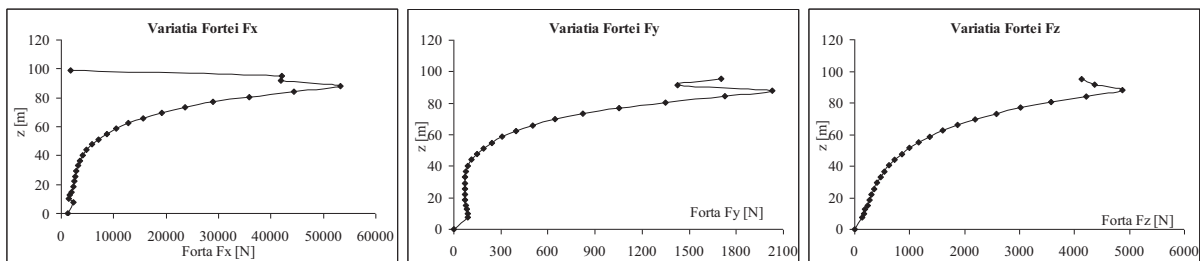


Fig. 4.10 Variația forțelor (axele, x, y, z) pentru zona analizată (vezi Fig.4.9)

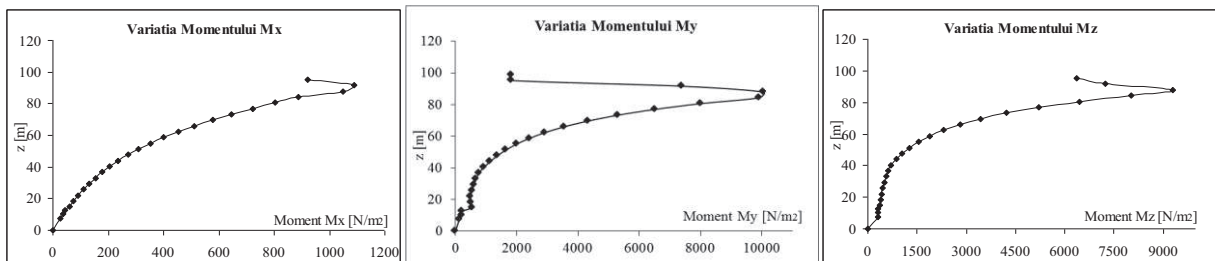


Fig. 4.11 Variația momentelor (pe axele x, y, z) pentru zona analizată (vezi Fig.4.9)

4.1.5 Starea de tensiune din elementele componente ale picioarelor din încărcarea cu sarcinile din val

S-au adoptat ca situații de încărcare forțele și momentele hidrodinamice rezultate de programul “FORHID”. Sarcinile hidrodinamice din val acționând asupra picioarelor structurii off-shore au fost determinate pentru diverse unghiuri de incidență ale valului. Intervalul considerat a fost de la unghi $\beta=0$ la $\beta=90^0$ (deoarece platforma este simetrică față de planul diametral) cu pas de 15^0 , reprezentat în Figura 4.8, 4.12.

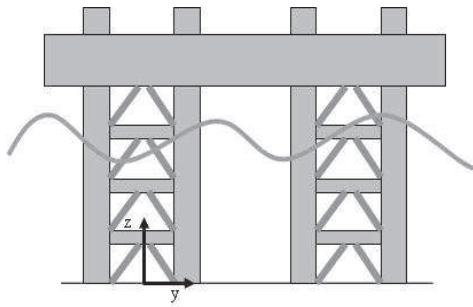


Fig. 4.12 Forma valului

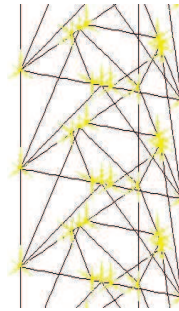


Fig. 4.13 Încărcări de forțe și momente din „FORHID” calculate cu programul COSMOS/M”

Forțele și momentele date de acțiunea conjugată a valurilor și curenților marini sunt rezultate pentru fiecare nod, rezultate din programul „FORHID” și , reprezentat în Figura 4.13. Variația tensiunilor s-a realizat cu ajutorul programului de calcul cu elemente finite, programul SolidWorks - COSMOS/M, care a avut ca date de intrare, datele obținute cu programul FORHID. Datele au fost prelucrate cu ajutorul unui program intermediar. În Figura 4.14 – 4.17 sunt reprezentate tensiunile Von Mises, pentru elementele descrise în Figura 3.7, la o perioadă de val $T=10,2$ s la diferite unghiuri de incidență pentru cele patru picioare ale platformei de foraj marin.

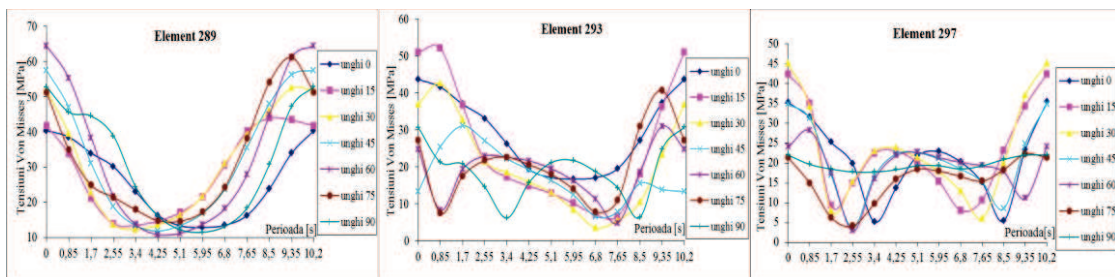


Fig.4.14 Variația tensiunii corespunzătoare elementelor care aparțin piciorului I

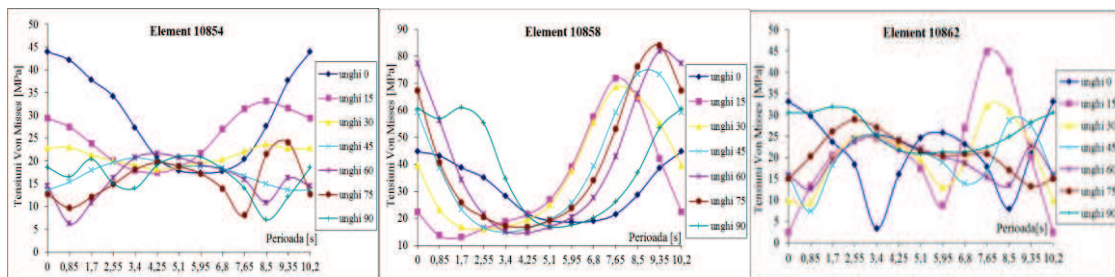


Fig.4.15 Variația tensiunii corespunzătoare elementelor care aparțin piciorului II

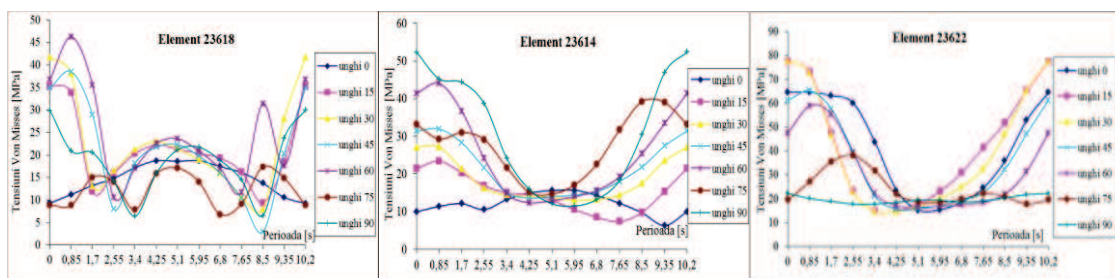


Fig.4.16 Variația tensiunii corespunzătoare elementelor care aparțin piciorului III

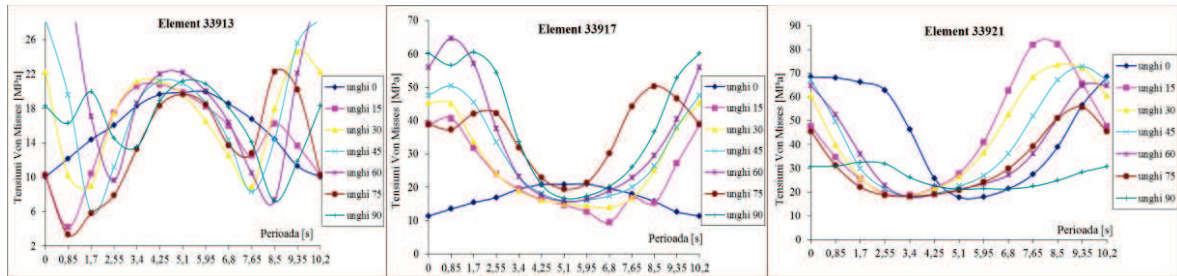


Fig.4.17 Variația tensiunii corespunzătoare elementelor care aparțin piciorului IV

În urma analizei stării de tensiune s-a constatat o creștere semnificativă a tensiunilor datorită acțiunii valului în raport cu cazul platformei încărcată numai cu greutatea proprie. Spre exemplu:

Picior I - în elementul 289 tensiunile cresc cu 77,83%, la timpul $T=10,2s$ la unghiul de incidență de 60° .

Picior II - în elementul 10854 tensiunile cresc cu 57,59% la timpul $T=10,2s$ la unghiul de incidență de 0° .

Picior III - în elementul 23614 tensiunile cresc cu 72,7% la timpul $T=10,2s$ la unghiul de incidență de 90° .

Picior IV - în elementul 33913 tensiunile cresc cu 43,63% la timpul $T=10,2s$ la unghiul de incidență de 60° .

Din analiza variației de tensiune prezentată în graficele din figurile 4.14,...,4.17 rezultă că tensiunile variază funcție de dispunerea valului față de picioare. Tensiunile au valori care variază în timp având $\sigma_{\max} = 83,89 MPa$, dar valorile lor extreme nu depășesc limitele admisibile ale materialului ($\sigma = 235 MPa$) din care sunt confecționate picioarele.

4.1.6 Influența distrugerii unor elemente de legătură asupra stării de tensiune din structura picioarelor de platformă de foraj marin

Ca urmare a interacțiunii picioarelor cu mediul înconjurător sau a coliziunii cu diverse corpuri plutitoare pot apare distrugerii ale unor elemente componente. În acest caz trebuie găsită o metodologie de determinare a tensiunilor care apar în astfel de situații. În acest subcapitol se studiază comportarea elementelor componente ale picioarelor structurilor off-shore în diverse cazuri de distrugere a elementelor componente.

Cu ajutorul MEF s-au determinat tensiunile în diferite cazuri de distrugere (vezi subcapitolul 3.3.1.4).

Contribuții privind influența solicitărilor variabile cauzate de valuri asupra
structurilor off-shore

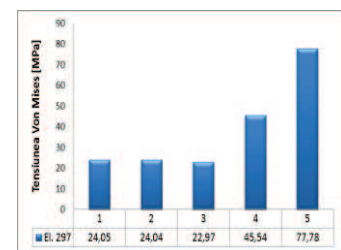
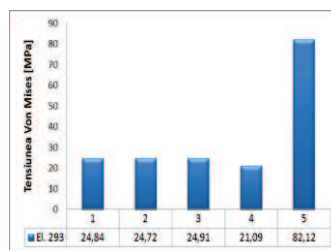
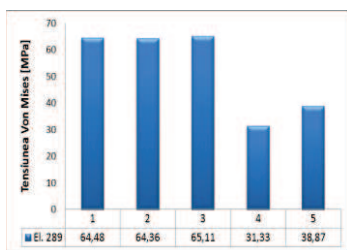
În Tabelul 4.3 sunt prezentate valorile maxime ale tensiunii pe întreaga structură a picioarelor, platforma acționată de încărcările din val și de curenții marini după anumite unghiuri de incidență, la anumite intervale de timp, structura fiind considerată neavariată.

Tabelul 4.3 Analiza globală a stării de tensiune (Von Mises) cu încărcarea din val.

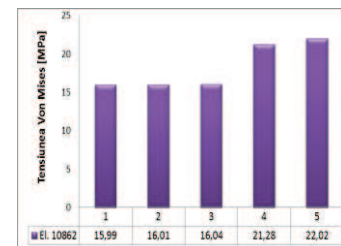
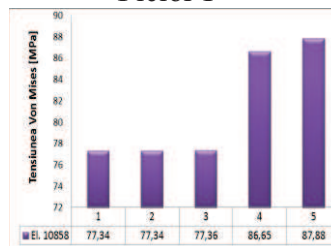
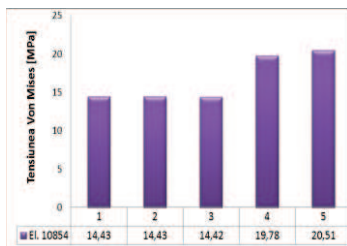
Timp[s]	Unghiul de incidență						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
	Tensiuni [MPa]						
0	121,04	126,28	136,37	136,45	147,61	108,84	121,61
0,85	112,39	117,27	125,81	128,08	144,98	84,39	104,17
1,7	99,74	78,63	81,48	109,58	124,13	98,54	110,58
2,55	87,25	44,73	45,11	74,41	79,94	96,91	101,86
3,4	67,99	41,33	44,18	44,01	44,95	68,41	67,01
4,25	46,94	42,57	44,63	42,40	44,30	41,87	44,31
5,1	42,75	49,80	46,40	41,84	44,06	38,66	41,33
5,95	44,60	74,87	67,08	47,55	40,16	47,11	41,89
6,8	38,58	108,94	95,92	65,53	49,38	68,10	38,67
7,65	47,97	136,46	117,23	92,38	66,12	99,43	52,86
8,5	71,13	129,23	116,98	114,54	95,36	124,10	78,68
9,35	104,93	114,12	125,86	130,54	125,16	125,37	114,84
10,2	121,10	126,30	136,39	136,49	147,63	108,88	121,68

Din tabelul 4.3 se poate observa că tensiunile Von Mises pe întreaga structură a picioarelor, solicitate de acțiunea valului după diferite unghiuri de incidență, are valoare maximă $\sigma_{\max} = 147,63 \text{ MPa}$ la timpul $T = 10,2 \text{ s}$ la unghiul de incidență de val de 60° .

În Figurile 4.18,...,4.19 sunt prezentate influența distrugerii elementelor asupra stării de tensiune la unghiul de incidență a valului de 60° .



Picior I



Picior II

Contribuții privind influența solicitărilor variabile cauzate de valuri asupra structurilor off-shore

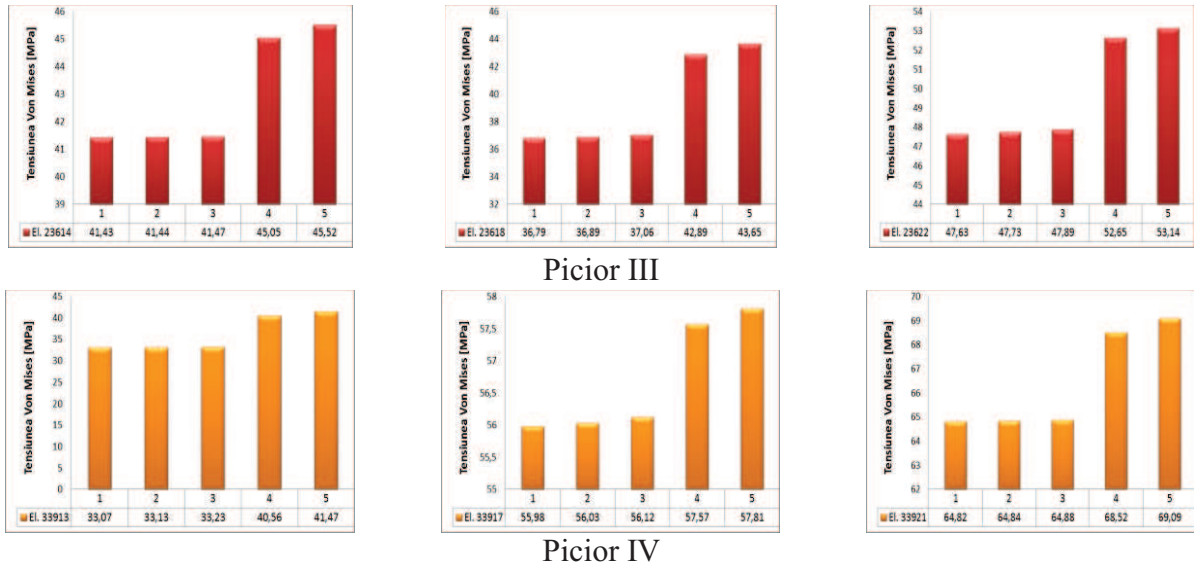


Fig.4.18 Variația stării de tensiune datorată distrugerii de elemente la T=0 s

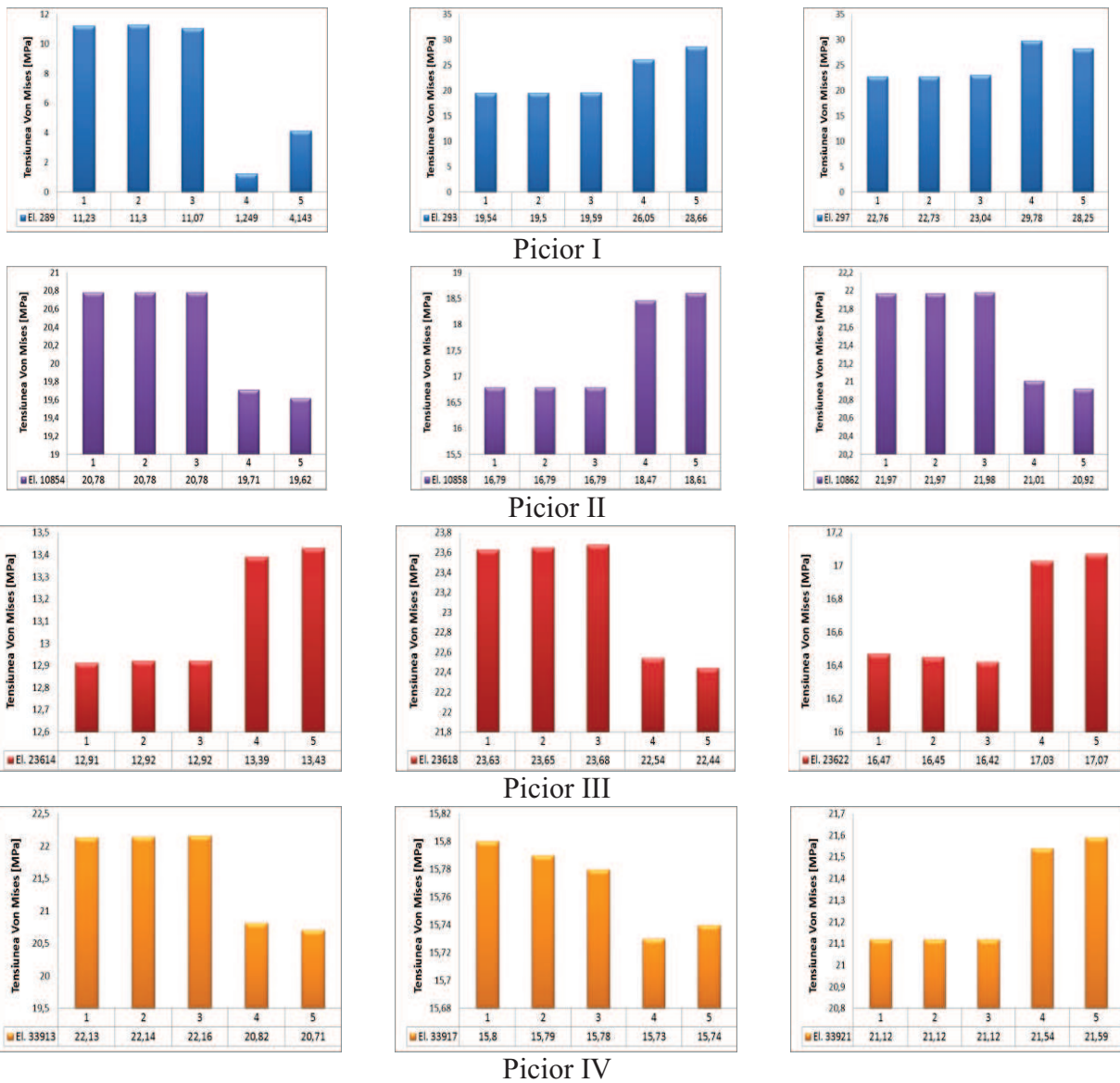


Fig.4.19 Variația stării de tensiune datorată distrugerii de elemente la T=5,1s

Variația procentuală a tensiunilor (comparativ cu cazul nedistrus) în elementele studiate este prezentată în tabelul de mai jos (la timpul $T=0s$).

Tabelul 4.4 Variația procentuală a tensiunii corespunzătoare fiecărui caz de distrugere la $T=0s$

Element	Procent			
	Caz 2	Caz 3	Caz 4	Caz 5
289	0,19%	0,97%	51,41%	39,61%
293	0,49%	0,28%	17,78%	69,75%
297	0,04%	4,70%	47,19%	69,08%
10854	0,00%	0,07%	27,05%	29,64%
10858	0,00%	0,03%	10,74%	11,99%
10862	0,12%	0,31%	24,86%	27,38%
23614	0,02%	0,10%	8,04%	8,99%
23618	0,27%	0,73%	14,22%	15,72%
23622	0,21%	0,54%	9,53%	10,37%
33913	0,18%	0,48%	18,47%	20,26%
33917	0,09%	0,25%	2,76%	3,17%
33921	0,03%	0,09%	5,40%	6,18%

Analizând abaterile procentuale din tabelul 4.4 se poate vedea că în cazul distrugerii barelor de diametru mare (coarda) tensiunile în cazurile 4 și 5 depășesc valorile din cazul în care platforma nu are elemente distruse. În urma analizei variației stării de tensiune s-a constatat o variație a tensiunii față de starea inițială cu aproximativ 70% la timpul $T=0s$ în cazul 5 de distrugere în elementul 293, iar abaterea maximă fiind de 93,38% înregistrându-se la timpul $T=0,85s$ în cazul 4 de distrugere în elementul 10854.

4.1.7 Influența coroziunii asupra stării de tensiune din elementele componente ale picioarelor

A fost analizată variația tensiunii pentru unghiul de incidență de 60^0 , unde s-a constatat apariția tensiunii maxime. A fost considerată coroziunea uniformă. Evoluția adâncimii de coroziunii a fost calculată cu ajutorul formulelor detaliate la subcapitolul 3.3.2.2 în cele trei faze cu reducerile de grosimi specifice pentru fiecare fază de corodare:

- Faza 1 - durata de 10 ani - reducere de 2,7 mm;
- Faza 2 – durata de 20 ani - reducere de 5,88 mm;
- Faza 3 – durata de 30 ani - reducere de 8,4 mm.

În Figurile 4.21-4.22 este prezentată evoluția stării de tensiune datorită fenomenului de corodare a structurii în cele trei faze de corodare.

Contribuții privind influența solicitărilor variabile cauzate de valuri asupra structurilor off-shore

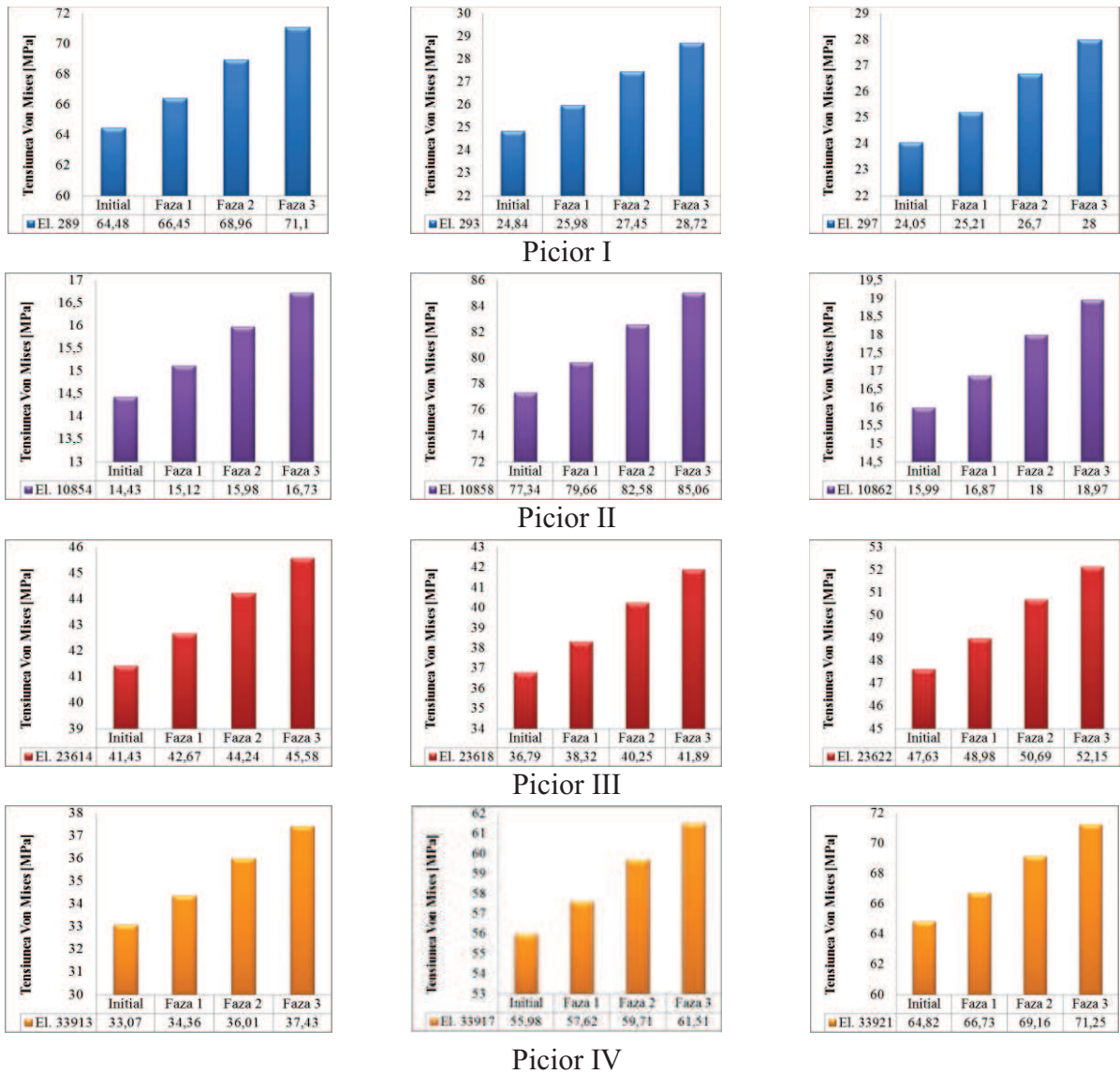
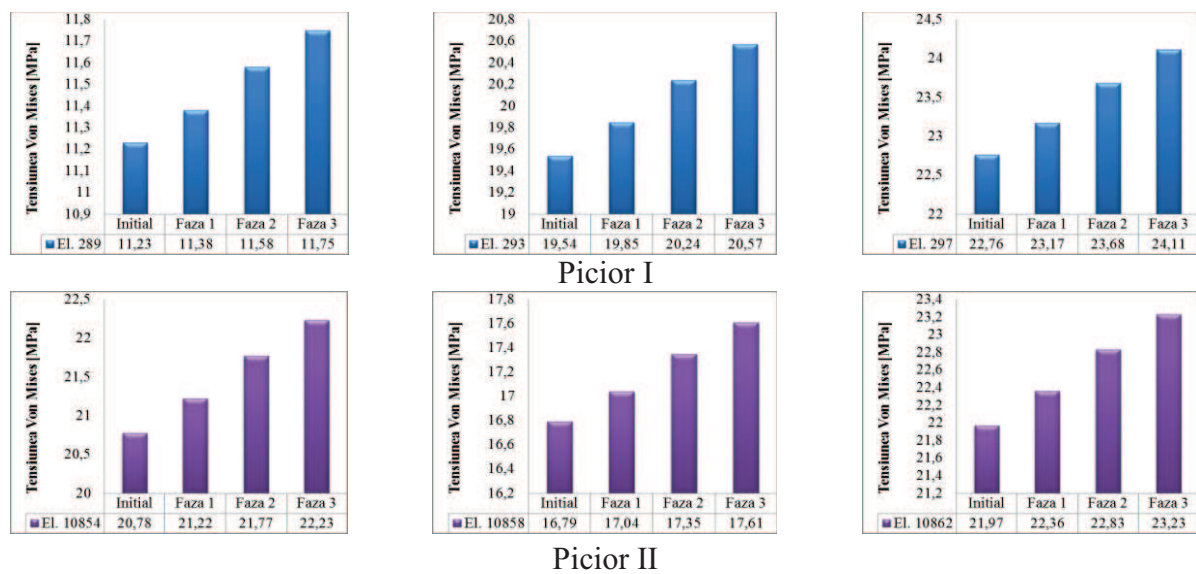


Fig.4.21 Variația stării de tensiune datorată coroziunii pentru elemente analizate la $T=0$ s



Contribuții privind influența solicitărilor variabile cauzate de valuri asupra structurilor off-shore

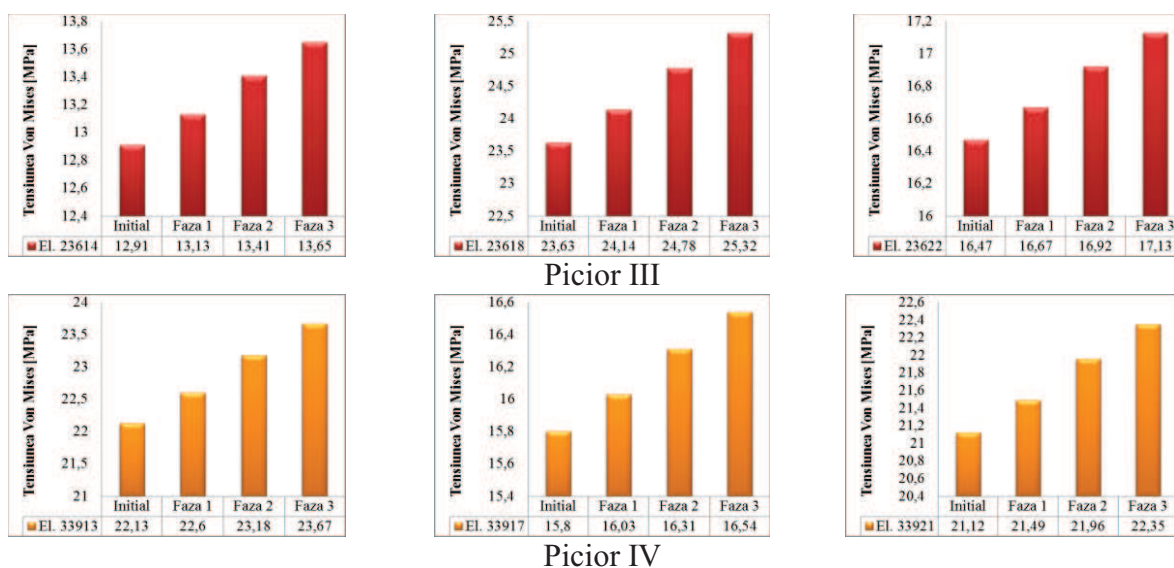


Fig.4.22 Variația stării de tensiune datorată coroziunii pentru elemente analizate la $T=5,1s$

Variația procentuală a tensiunilor (comparativ cu cazul cu elemente nedistruse) în elementele studiate este prezentată în tabelul de mai jos.

Tabel 4.5 Variația procentuală a tensiunii corespunzătoare fiecărei faze de corodare la $T=0s$

Element	Procent		
	Faza 1	Faza 2	Faza 3
289	2,96%	6,50%	9,31%
293	4,39%	9,51%	13,51%
297	4,60%	9,93%	14,11%
10854	4,56%	9,70%	13,75%
10858	2,91%	6,35%	9,08%
10862	5,22%	11,17%	15,71%
23614	2,91%	6,35%	9,10%
23618	3,99%	8,60%	12,17%
23622	2,76%	6,04%	8,67%
33913	3,75%	8,16%	11,65%
33917	2,85%	6,25%	8,99%
33921	2,86%	6,28%	9,02%

Analizând abaterile procentuale din tabelul 4.5 se poate vedea că în cazul corodării tensiunile la timpul $T=0s$ cresc cu un maxim de aproximativ 15,71%. Variația stării de tensiune din elementele componente ale picioarelor trebuie monitorizată prin calcul, pe baza metodologiei prezentate, avându-se în vedere forma de variație a valului în timp.

4.1.8 Influența distrugerii unor elemente din structura picioarelor în cazul considerării coroziunii

A fost considerat cazul de distrugere de elemente din structura primului picior în care corозиunea este în faza a treia de evoluție, adică după 30 ani având o reducere de grosime 8,4mm.

În Figurile 4.24 - 4.25 este prezentată evoluția stării de tensiune datorită distrugerii unor elemente din structura picioarelor în faza a treia de corodare.

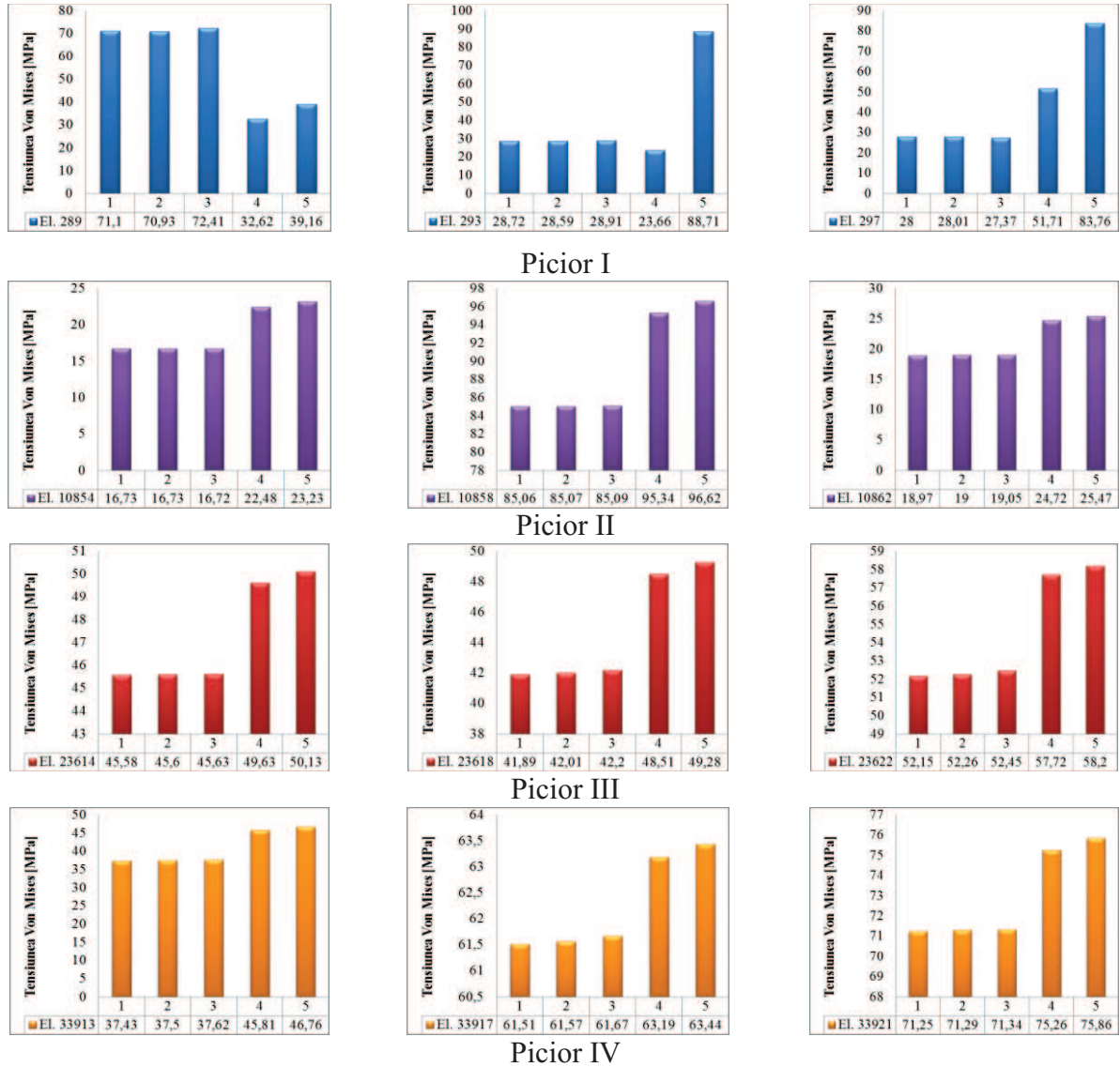
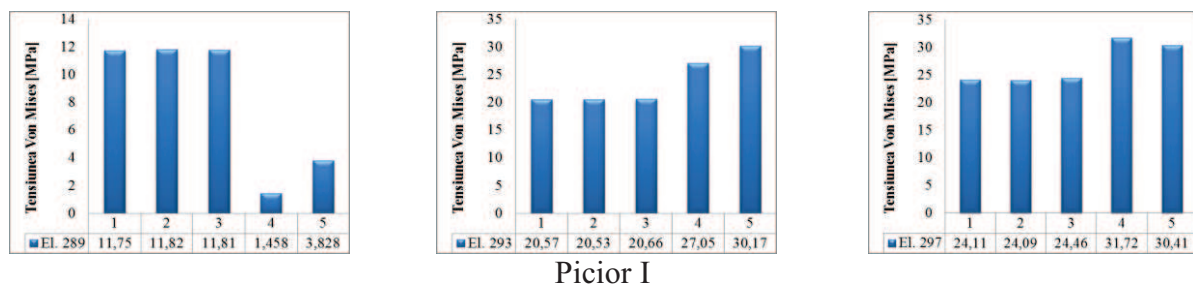


Fig.4.24 Variația stării de tensiune datorată distrugerii de elemente în faza III de corodare pentru elemente analizate la $T=0 s$



Contribuții privind influența solicitărilor variabile cauzate de valuri asupra structurilor off-shore

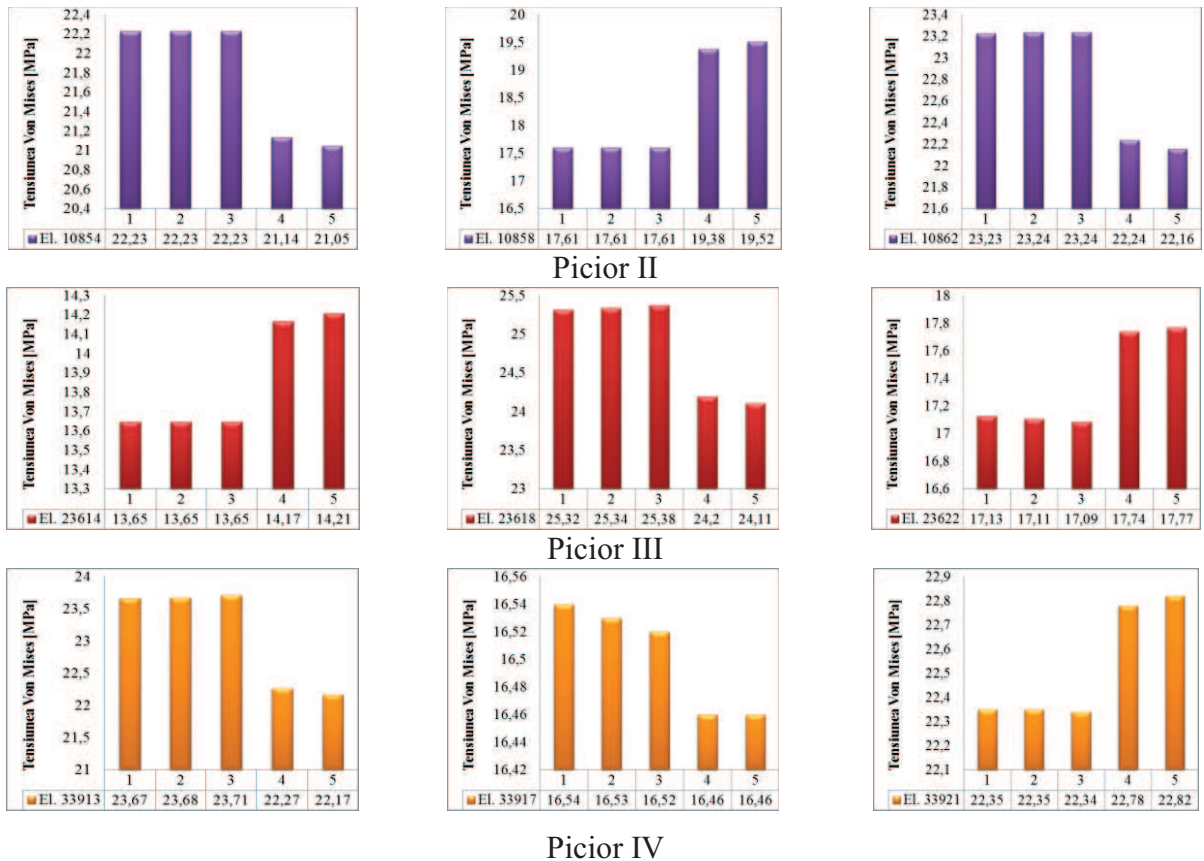


Fig.4.25 Variația stării de tensiune datorată distrugerii de elemente în faza III de corodare pentru elemente analizate la T=5,1 s

Variația procentuală a tensiunilor (comparativ cu cazul nedistrus) în elementele studiate este prezentată în tabelul de mai jos (la timpul T=0 s), în faza a III a de corodare.

Tabelul4.6 Variația procentuală a tensiunii corespunzătoare fiecărui caz de distrugere la T=0s

Element	Procent – caz distrugere			
	2	3	4	5
289	0,24%	1,81%	117,96%	81,56%
293	0,45%	0,66%	21,39%	67,62%
297	0,04%	2,30%	45,85%	66,57%
10854	0,00%	0,06%	25,58%	27,98%
10858	0,01%	0,04%	10,78%	11,96%
10862	0,16%	0,42%	23,26%	25,52%
23614	0,04%	0,11%	8,16%	9,08%
23618	0,29%	0,73%	13,65%	15,00%
23622	0,21%	0,57%	9,65%	10,40%
33913	0,19%	0,51%	18,29%	19,95%
33917	0,10%	0,26%	2,66%	3,04%
33921	0,06%	0,13%	5,33%	6,08%

Efectul cumulat al distrugerilor de elemente cu corodarea acestora produce creșteri ale tensiunilor din elementele componente ale picioarelor. În urma analizei variației stării de

tensiune s-a constatat o variație față de starea platformei corodată și cu elemente nedistruse cu aproximativ 38% la timpul $T=0s$ în cazul 5 de distrugere în elementul 293, iar abaterea maximă fiind de 95,27% înregistrându-se la timpul $T=2,55s$ în cazul 5 de distrugere în elementul 297.

Monitorizarea acestor variații trebuie realizată permanent pe baza metodologiei prezentate.

4.2 Pulsații proprii

Vibrația, după (Buzdugan Gh.), reprezintă oscilația unui sistem dinamic ce implică prezența unor forțe elastice. Parametrii cinematici ce determină mișcarea la un moment dat variază față de o anumită valoare de referință.

Cunoașterea pulsațiilor proprii este necesară pentru evitarea rezonanțelor în cazul funcționării agregatelor de la bordul platformei de foraj marin. Punctul de plecare pentru determinarea pulsațiilor este energia mecanică a sistemului (în cazul de față platforma de foraj marin).

Expresiile energiilor mecanice (energia potențială - E_p și energia cinetică - E_c) pentru bare drepte după Buzdugan Gh. sunt:

$$\text{- bara în vibrație de răsucire: } E_p = \frac{G}{2} \int_0^l I_p(x) \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)^2 dx \quad ; \quad E_c = \frac{\rho}{2} \int_0^l I_p(x) \left(\frac{\partial \varphi}{\partial t} \right)^2 dx \quad (4.21)$$

$$\text{- bara în vibrație longitudinală: } E_p = \frac{E}{2} \int_0^l I(x) \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 dx \quad ; \quad E_c = \frac{\rho}{2} \int_0^l A(x) \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)^2 dx \quad (4.22)$$

$$\text{- bara în vibrație transversală: } E_p = \frac{E}{2} \int_0^l I(x) \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right)^2 dx \quad ; \quad E_c = \frac{\rho}{2} \int_0^l A(x) \left(\frac{\partial v}{\partial t} \right)^2 dx \quad (4.23)$$

Pentru determinarea pulsațiilor proprii se folosesc diverse metode.

4.2.1 Metoda Ritz

Metoda Ritz după (Buzdugan Gh.) se bazează pe principiul Hamilton:

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} (E_p - E_c) dt = 0 \quad (4.24)$$

unde δ este coeficient de influență.

Expresiile energiilor potențială și cinetică în mișcarea după un mod propriu de vibrație, când toate punctele din sistem au deplasări armonice sunt:

$$E_p = U \sin^2(pt + \theta) \quad ; \quad E_c = p^2 K \cos^2(pt + \theta) \quad (4.25)$$

unde: U și K sunt funcții de amplitudinile deplasărilor din sistema, iar θ este faza la originea timpului.

După (Buzdugan Gh.) se obține prima pulsație proprie:

$$p_1^2 = \frac{\pi^4 EI_z}{2l^3 \left(\frac{M}{2} + m \right)} = \frac{47.5 EI_z}{l^3 \left(\frac{M}{2} + m \right)} ; \quad p_2^2 = \frac{16\pi^4 EI_z}{M \cdot l^3} \quad (4.29)$$

4.2.2 Metoda Rayleigh

Utilizând principiul lui Rayleigh. conform (Buzdugan Gh.) pentru sistemele consecutive în vibrație după un mod propriu $E_{p \max} = E_{c \max}$ se obține:

$$p^2 = U/K \quad (4.30)$$

Metoda Rayleigh se consideră a fi o formă particulară a metodei Ritz corespunzătoare utilizării unei singure funcții φ_n în expresia aproximativă a deplasării.

$$p^2 = \frac{EI_z \int_0^l [Y'''(x)]^2 dx}{\rho A \int_0^l Y^2(x) dx + m Y^2 \left(\frac{l}{2} \right)} \quad (4.31)$$

Pentru $Y(x) = a_1 \varphi_1(x) = a_1 \sin \frac{\pi x}{l}$; $\rightarrow p^2 = p_1^2 = \frac{\pi^4 EI_z}{2l^3 \left(\frac{M}{2} + m \right)}$.

Pentru $Y(x) = a_2 \varphi_2(x) = a_2 \sin \frac{2\pi x}{l}$; $\rightarrow p^2 = \frac{16\pi^4 EI_z}{M \cdot l^3}$.

Se utilizează forma deformată statică a barei, rezultând pentru pulsația fundamentală o valoare aproximativă superioară celei exacte.

4.2.3 Determinarea răspunsului dinamic produs de acțiunea forțelor perturbatoare oarecare. Metoda analizei modale

După (Buzdugan Gh.) ecuația diferențială a vibrațiilor transversale forțate, neamortizate este:

$$EI \frac{\delta^4 w(x,t)}{\delta x^4} + \mu \frac{\delta^4 w(x,t)}{\delta t^2} = p(x,t) = p(x)f(t) \quad (4.32)$$

Conform metodei analizei modale soluția ecuației este:

$$w(x,t) = \sum_{j=1}^{\alpha} w_j(x) \eta_j(t) \quad (4.33)$$

unde: - $w_j(x)$ este funcția formei proprii de vibrație pentru modul "j";

- $\eta_j(t) = \gamma_j \psi_j(t)$ este coordonata principală modală pentru modul “j”.

Răspunsul dinamic în coordonate principale modale este:

$$\eta_j(t) = \gamma_j \psi_j(t) \quad (4.35)$$

unde: $\gamma_j = \frac{P_j}{M_j \omega_j^2}$ factorul de participare al modului “j” de vibrație la răspunsul dinamic total;

$\psi_j(t) = \omega_j \int_0^{\alpha} f(\tau) \sin \omega_j(t - \tau) d\tau$ este funcția de multitudine dinamică.

Răspunsul dinamic total are expresia:

$$w(x, t) = \sum_{j=1}^{\alpha} \gamma_j w_j(x) \psi_j(t) \quad (4.36)$$

Iar rezultanta eforturilor secționale modale sunt:

$$M(x, t) = \sum_{j=1}^{\alpha} \gamma_j M_j(x) \psi_j(t) \quad T(x, t) = \sum_{j=1}^{\alpha} \gamma_j T_j(x) \psi_j(t) \quad (4.37)$$

4.2.4 Metode numerice pentru calculul pulsațiilor proprii. Metoda Jacobi

Metoda Jacobi reprezintă o metoda iterativa de rezolvare a sistemelor liniare având forma

(Mariș S.): $Ax = b$, unde $A = L + D + U$ (4.38)

4.2.5 Calculul numeric al pulsațiilor proprii

Pulsațiile proprii s-au determinat folosind MEF și programul SolidWorks - Cosmos/M.

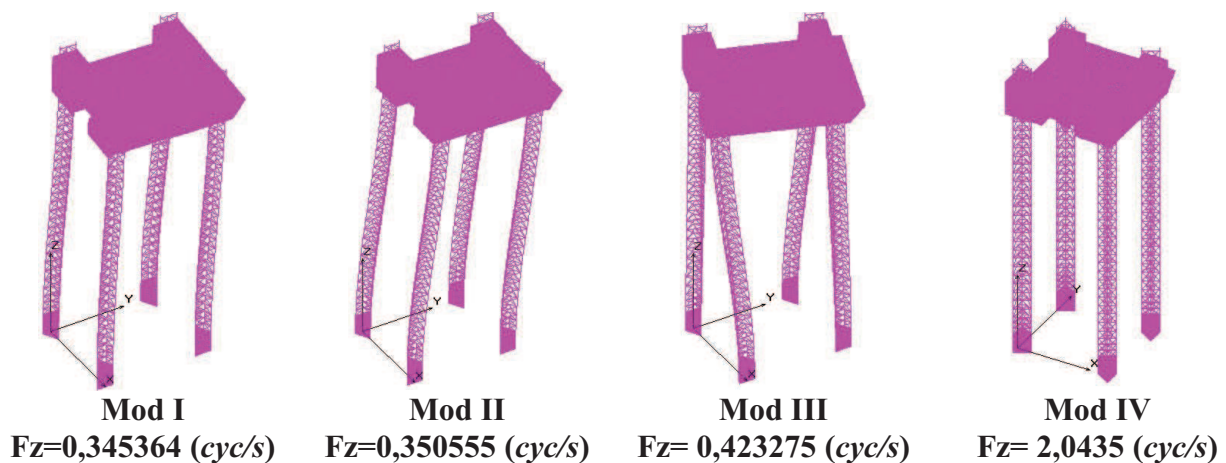


Fig.4.27 Prezentarea primelor patru moduri de pulsații proprii a structurii off-shore

Primele patru moduri de vibrații sunt reprezentate în Figura 4.27.

4.2.6 Influența distrugerii elementelor asupra modurilor proprii de vibrație

Pentru evidențierea modului în care variază pulsațiile proprii în cazul distrugerii de elemente s-a luat în considerare structura piciorului I unde pot apare distrugerii de elemente.

Scenariile de distrugere au fost detaliate în subcapitolul 3.3.1.4. În Figura 4.28 este reprezentată grafic, pentru primele patru modurile proprii de pulsații, variația frecvenței în funcție de cazurile de distrugere considerate.

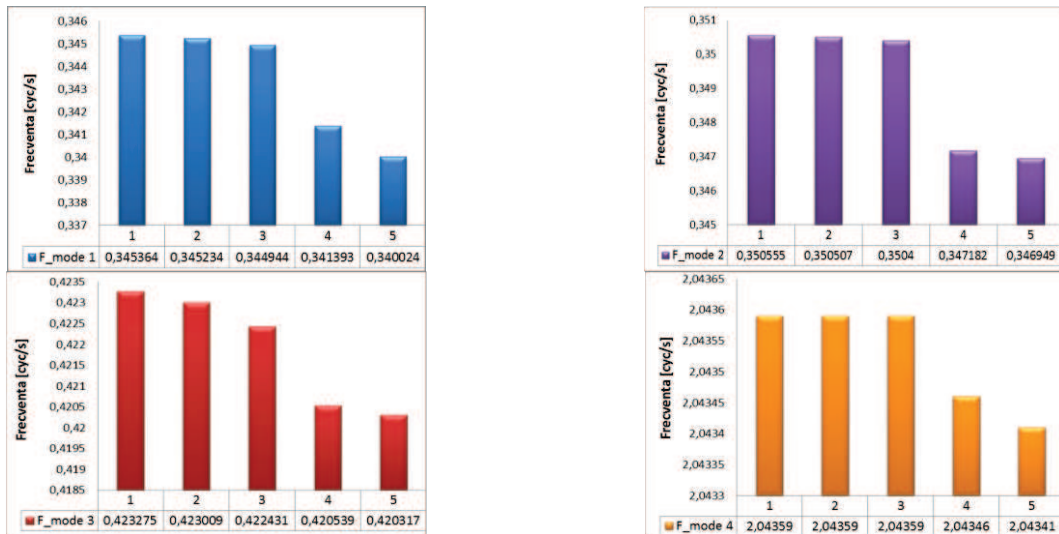


Fig. 4.28 Variația modurilor proprii de vibrații datorată distrugerii de elemente

Din analiza rezultatelor obținute rezultă că frecvența proprie a sistemului picior scade. Acest lucru era de așteptat deoarece scade rigiditatea piciorului, având influențe negative deoarece sunt utilaje la bordul navei care lucrează la frecvențe joase și pot exista astfel suprapuneri peste frecvența proprie a piciorului. Pot apare în astfel de situații rezonanțe cu efecte dezastruoase.

4.2.7 Influența coroziunii asupra modurilor proprii de vibrație

Considerându-se cele trei faze de corodare ale elementelor structurii, se poate observa și modificarea modurilor proprii de vibrații, reprezentate în Figura 4.29.

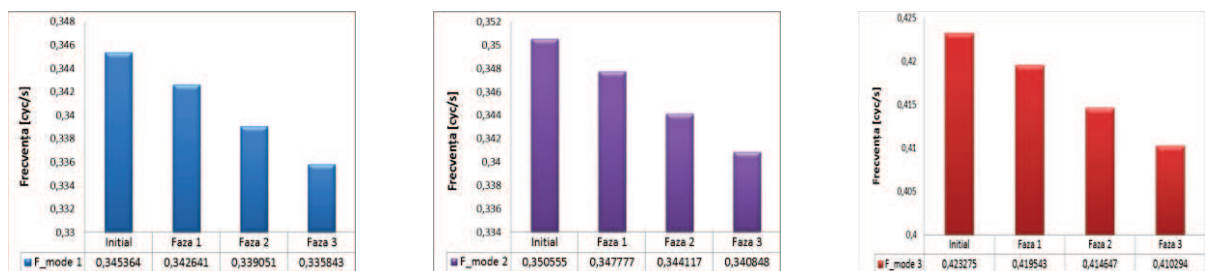


Fig. 4.29 Variația modurilor proprii de vibrații datorată corodării structurii

4.2.8 Influența evoluției corodării și distrugerii unor elemente asupra modurilor proprii de vibrații

În urma analizei cu ajutorul Metodei Elementelor Finite s-a determinat influența distrugerii și a coroziunii asupra modurilor proprii de vibrații.

Tabelul 4.7. Influența distrugerilor elementelor asupra primului mod propriu de vibrație

Caz distrugere	Pulsatia (<i>cyc/s</i>)	Procent (%)
1	0,345364	
2	0,345234	0,04%
3	0,344944	0,12%
4	0,341393	1,15%
5	0,340024	1,55%

Tabelul 4.8. Influența coroziunii asupra primului mod propriu de vibrație

Faza coroziune	Pulsatia (<i>cyc/s</i>)	Procent (%)
Inițial	0,345364	
Faza 1	0,342641	0,79%
Faza 2	0,339051	1,86%
Faza 3	0,335843	2,83%

În figura 4.30 este reprezentată variația primului mod de vibrații datorită influenței coroziunii și distrugerii de elemente din componența structurii picioarelor platformei de foraj.

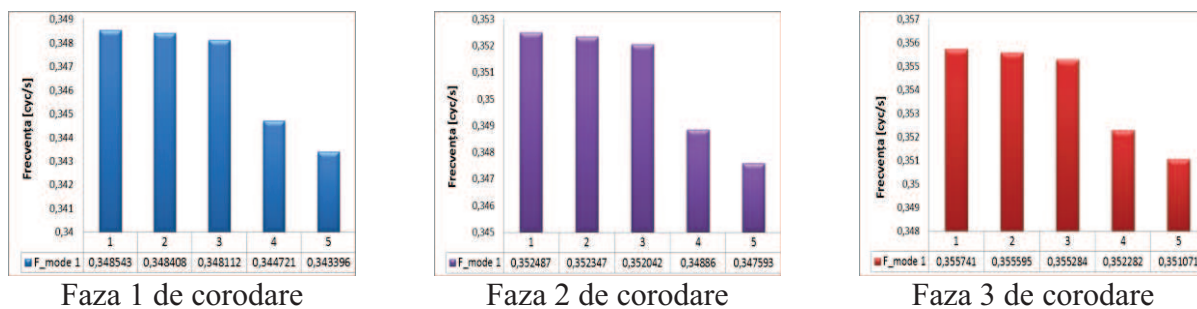


Fig. 4.30 Variația primului mod propriu de vibrație datorată corodării și distrugerii de elemente din structură

Este valabilă observația de la subcapitolul 4.2.6.

4.3 Solicitarea de impact

4.3.1 Noțiunea de impact

Solicitarea de impact face parte din categoria solicitărilor dinamice. Un material sau o piesă se consideră că este supusă la o solicitare dinamică atunci când se află în orice altă mișcare în afară de mișcarea de translație rectilinie și uniformă și se ciocnește cu o altă piesă sau când asupra sa acționează o forță variabilă în timp, (Abrate S.).

La baza calculului la impact stă principiul conservării energiei în care lucrul mecanic de deformație se regăsește sub formă de energie de deformație. Deformația elastică se propagă cu o viteză comparabilă cu cea a sunetului fiind diferită funcție de material. La impact viteza corpului

care lovește scade până la zero într-un interval de timp extrem de scurt iar deformația nu se propagă în întregul corp ci se concentrează doar în zona în care a avut loc impactul.

Conform lui Talug, A. se consideră că asupra structurii acționează o forță P , legea energiei mecanice având forma (4.43), fiind valabilă dacă se neglijează pierderile prin căldură și vibrațiile sonore:

$$W + E_c = CONST \quad (4.43)$$

unde: - W - energia potențială de deformație a corpului lovit [J];

- E_c - energia cinetică de mișcare a corpului care lovește [J].

4.3.2 Solicitarea dinamică de impact

O structură, în timpul exploatării poate fi ciocnită de diferite obiecte. Un astfel de exemplu de impact se întâlnește în cazul acostării navelor.

Percuția este o mărime specifică procesului de ciocnire având forma (4.44):

$$\bar{P} = m \cdot (\bar{v}_2 - \bar{v}_1) \quad [kg \cdot m/s]. \quad (4.44)$$

unde: - v_1 este viteza corpului care lovește înainte de ciocnire;

- v_2 este viteza corpului care lovește după ciocnire;

- m este masa corpului care lovește specimenul testat ($m=16 \text{ kg}$).

Vitezele corpului sferic înainte și după ciocnire devin:

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= \sqrt{2gh_1} = \sqrt{2gl(1 - \cos \alpha_1)} \\ v_2 &= \sqrt{2gh_2} = \sqrt{2gl(1 - \cos \alpha_2)} \end{aligned} \right\} \quad (4.48)$$

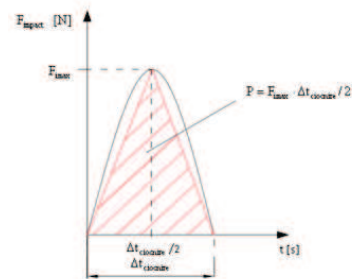
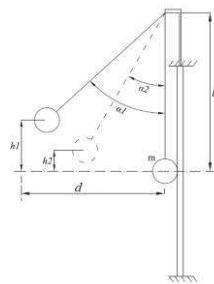


Fig. 4.31 Schema sistemului mecanic tip pendul

Fig. 4.32 Variația forței de impact în timp

Percuția este dată de relația:

$$P = m\sqrt{2gl}(\sqrt{1 - \cos \alpha_2} + \sqrt{1 - \cos \alpha_1}) \quad (4.49)$$

Forța de impact variază în timp după o lege liniară, crescând de la valoarea zero până la valoarea maximă $F_{i \max}$, (N), într-un interval de timp egal cu jumătate din durata procesului de impact $\Delta t_{ciocnire}$ (s), urmând ca la sfârșitul procesului, forța de impact să ajungă la valoarea 0. În

următoarele momente forța devine nulă specimenul deformându-se după modurile proprii de vibrație. Așa cum rezultă din Figura 4.32 percuția reprezintă aria cuprinsă între curba de variație a forței de impact și intervalul de timp în care se produce impactul.

$$\text{Forța maximă de impact } F_{i\max} \text{ având forma: } F_{i\max} = \frac{2P}{\Delta t_{\text{ciocnire}}} [N] \quad (4.50)$$

Conform acestei metodologii s-au determinat durata de ciocnire $\Delta t_{\text{ciocnire}}$ și forța maximă de impact $F_{i\max}$ fiind date de intrare introduse în programul Solid Works - COSMOS/M.

4.3.3 Modelarea numerică și experimentală a comportării structurii picioarelor platformei de foraj marin (model experimental) la impact

A) Modelare numerică

La modelarea numerică a fost luată spre analiză structura prezentată în subcapitolul 3.3.1.3. S-au considerat diferite situații de impact a piciorului platformei, cu un corp cu masa de 16kg impactul realizându-se la diferite picioare:

- caz I - lovirea de la o distanță de $d = 1\text{ m}$ de la picior până la punctul de lansare;
- caz II - lovirea de la o distanță de $d = 0,8\text{ m}$ de la picior până la punctul de lansare.

Cu ajutorul programului Solid Works-COSMOS/M, s-a realizat analiza neliniară a structurii picioarelor de platformă pentru diferite cazuri de ciocniri.

Procesul de ciocnire cuprinde două etape: etapa de comprimare și etapa de relaxare.

Forța de impact care acționează în punctele de contact s-a determinat în funcție de timpul de ciocnire și de percuție P, calculată cu ajutorul formulei (4.49).

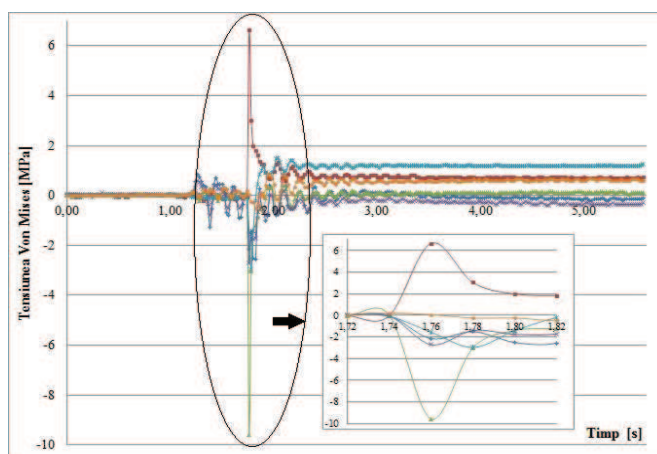


Fig. 4.33 – Variația tensiunii Von Mises în timp, în cazul I de impact

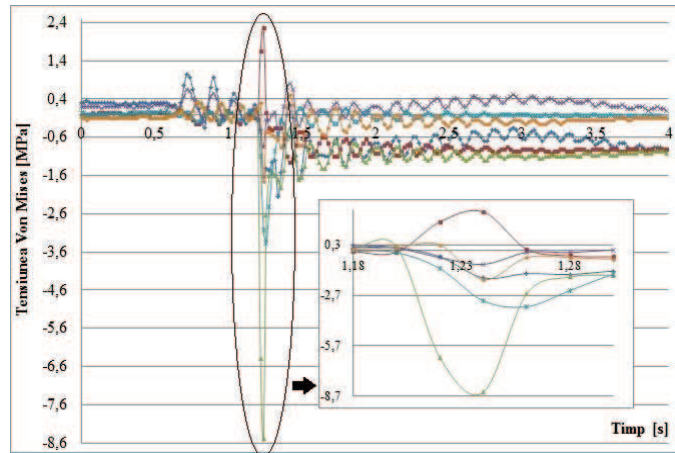


Fig. 4.34 – Variația tensiunii Von Mises în timp, în cazul II de impact

A fost considerat același stand din Figura 3.27, înregistrarea datelor realizându-se cu sistemul de înregistrare a datelor Spider8.

În Figura 4.35 este reprezentată variația forței rezultată în urma modelării experimentale la care a fost supusă structura.

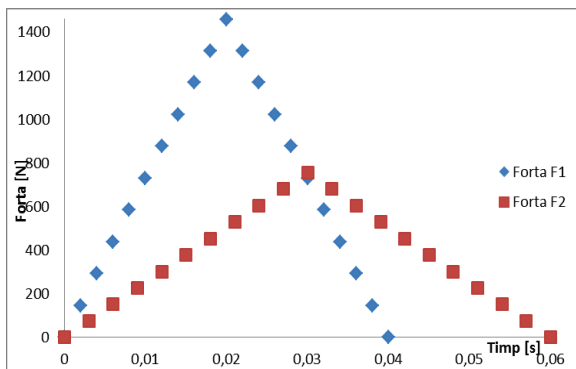


Fig. 4.35 Variația forței F_1 și forței F_2 pentru cazul I respectiv cazul II

Cunoscând durata procesului de impact $\Delta t_1 = 0,04s$ iar $\Delta t_2 = 0,06s$, care a fost măsurat experimental, (reprezentate în Figura 4.33 - 4.34) și percuția, s-a determinat forța maximă de impact $F_{i\max}$ conform relației (4.50).

$$\text{Cazul I} \Rightarrow F_1 = 1458,78 N$$

$$\text{Cazul II} \Rightarrow F_2 = 755,5 N$$

Forța de impact a fost aplicată în cazul picioarelor I și III vizualizate în Figura 4.36:

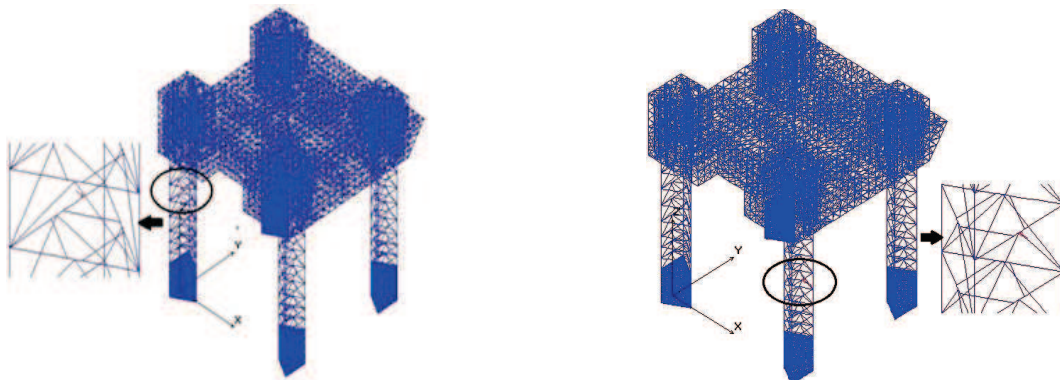
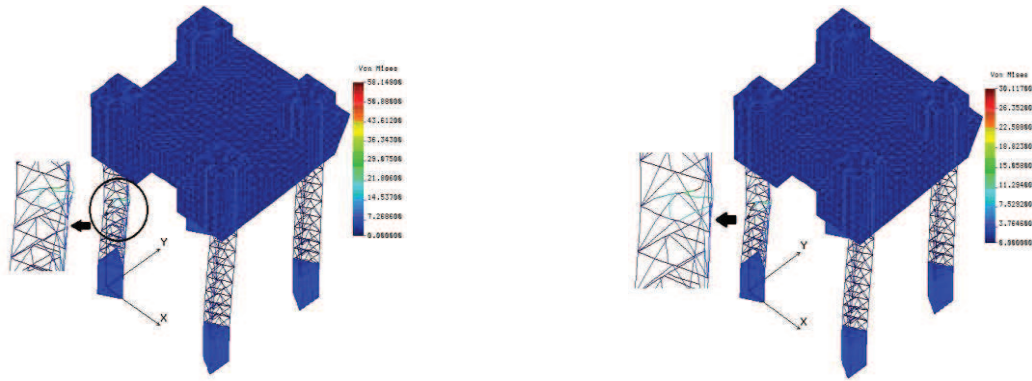


Fig. 4.36 Zonele de impact

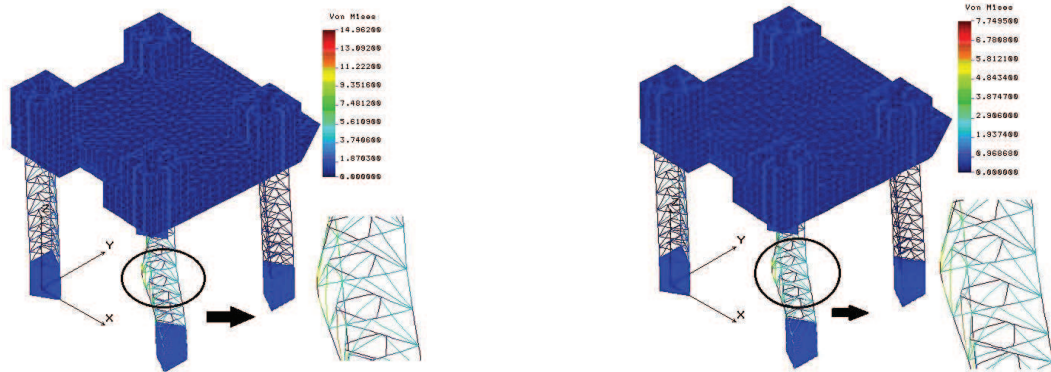
În Figura 4.37 este prezentată variația stării de tensiune a platformei în cazul loviri piciorului I în cazul I și II de impact.



Piciorul I

Fig 4.37 a) Variația stării de tensiune în cazul I de impact

Fig 4.37 b) Variația stării de tensiune în cazul II de impact



Piciorul III

Fig 4.38 a) Variația stării de tensiune în cazul I de impact

Fig 4.38 b) Variația stării de tensiune în cazul II de impact

În Tabelul 4.9 se prezintă valorile tensiunilor Von Misses pentru elementele în care s-au înregistrat tensiunile în modelul experimental, elemente prezentate în tabelul 3.19.

Tabelul 4.9 Valorile tensiunilor (Von Misess) pe elemente pentru cazurile I și II de impact pentru piciorul I

Elementul numărul	Tensiunea Von Misses [MPa]	
	Caz I	Caz II
22733	1,859	1,517
22982	6,326	4,55
23534	8,701	6,76
22769	2,472	0,853
23126	4,923	2,806
23606	0,966	0,25

În Tabelul 4.10 se prezintă valorile tensiunilor Von Misses pentru elementele în care s-au înregistrat tensiunile în modelul experimental în cazul lovirii piciorului III.

Tabelul 4.10 Valorile tensiunilor (Von Misess) pe elemente pentru cazurile I și II de impact pentru piciorul III

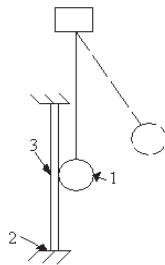
Elementul numărul	Tensiunea Von Misses [MPa]	
	Caz I	Caz II
22733	4,16	1,091

22982	1,17	1,026
23534	2,006	1,929
22769	0,696	0,400
23126	0,995	0,923
23606	1,366	1,698

B) Modelare experimentală

Testele experimentale încearcă să reproducă situațiile reale în condiții controlate.

Pentru testele la impact cel mai des se folosește un sistem care poate fi aproximat cu un pendul, schematizat în Figura 4.39. Mecanismele de tip pendul sunt constituite dintr-o corp sferic din oțel de masă cunoscută, suspendat de o coardă.



Elementele componente a mecanismelor sunt:

- 1- corp care lovește;
- 2 - suportul specimenului;
- 3 – specimen.

Fig. 4.39 - Mecanism de tip pendul folosit în cadrul experimentului de impact

În Figura 4.40 și 4.41 sunt prezentate imagini cu cele două cazuri de încărcare. Sunt impactate picioarele I și III.



Fig. 4.40 Cazuri de încărcării a structurii platformei la piciorul I



Fig. 4.41 Cazuri de încărcării a structurii platformei la piciorul III

C) Compararea rezultatelor obținute numeric cu cele experimentale

În urma efectuării analizei MEF a structurii piciorului de platformă marină (analiza fiind făcută în punctele de control stabilite în prealabil) au fost extrase tensiunile corespunzătoare punctelor de control. Aceste valori au fost comparate tabelar (tabelul 4.11 și 4.12), cu valorile determinate experimental în laboratorul de „Rezistența Materialelor” din cadrul Universității „Dunărea de Jos”.

Tabelul 4.11 Tensiuni calculate și măsurate în cele 2 cazuri de încărcare pentru piciorul I

Cazul	Marca	1	2	3	4	5	6
Tensiuni normale [MPa]							
I	C	1,85955	6,326	8,701	2,472	4,923	0,966
	M	2,04	6,653	9,576	2,52	4,478	0,907
	e%	8,85	4,92	9,14	1,9	12,79	6,5
II	C	1,5171	4,55	6,7605	0,8534	2,806	0,25015
	M	1,663	5,04	6,955	0,857	4,024	0,252
	e%	8,77	9,72	2,8	0,42	7,21	0,73

În care notațiile pentru C reprezintă valori calculate, iar pentru M reprezintă valori măsurate.

Tabelul 4.12 Tensiuni calculate și măsurate în cele 2 cazuri de încărcare pentru piciorul III

Cazul	Marca	1	2	3	4	5	6
Tensiuni normale [MPa]							
I	C	4,16	1,17	2,0062	0,6966	0,9959	1,366
	M	4,23	1,21	2,1672	0,756	1,0582	1,51
	e%	1,979	2,95	7,43	7,86	5,89	9,66
II	C	1,0914	1,026	1,9292	0,4009	0,9233	1,698
	M	1,1592	1,0584	2,1168	0,4032	0,9576	1,764
	e%	5,85	4,06	8,86	0,57	4,58	4,74

4.4 Concluzii pentru calculul dinamic în diverse situații de exploatare

Prin modelările numerice și experimentale efectuate în cazul încărcărilor dinamice se pot desprinde următoarele concluzii:

- S-a realizat o prezentare unitară a modului de calcul al sarcinilor din val.
- S-a analizat comportarea structurii unui picior de platformă de foraj marin la acțiunea dinamică a sarcinilor.
- S-a realizat o prezentare a răspunsului dinamic produs de acțiunea forțelor perturbatoare oarecare.
- În urma calculului hidrodinamic cu ajutorul programului FORHID s-au obținut sarcinile din val. Acestea au fost aplicate pe structura picioarelor acționând sub diverse unghiuri de incidență.
- S-a determinat folosind programul Solid Words/COSMOS-M variația tensiunilor pentru picioare pentru unghiurile de incidență alese.

- S-au prezentat metodele de calcul a pulsațiilor proprii. S-au calculat aceste pulsații proprii. Acest lucru este util utilizatorilor pentru evitarea rezonanțelor.

- S-a determinat variația mărimii pulsațiilor proprii în cazul distrugerii de elemente componente ale picioarelor.

Experimentele au avut drept scop validarea rezultatelor numerice, iar în urma comparațiilor rezultatelor obținute se constată că abaterile se încadrează în limitele admisibile.

Din analiza tensiunilor rezultate din modelările numerice corespunzătoare celor patru cazuri de distrugere rezultă:

- Tensiunile rezultante pentru bara principală (diametrul mare) din componența picioarelor când sunt mai multe elemente distruse (caz 4 și 5) scad. O explicație a acestui fenomen este că practic acest tub a pierdut legătura cu restul tuburilor componente.

- Tensiunile rezultante pentru tuburile B și C cresc așa cum era de așteptat deoarece sunt elemente care nu mai participă la preluarea sarcinii.

- Din analiza pulsațiilor proprii se poate vedea o scădere a acestora.

- Metodologiile prezentate pot fi utilizate pentru predicția stării de tensiune la picioarele structurii off-shore în timpul funcționării.

CAPITOLUL 5

Abordarea problematicii distrugerii legăturilor dintre elementele constructive datorită acțiunii sarcinilor.

Apariția și extensia fisurilor

Obiectivele capitolului :

- Prezentarea mărimilor clasice pentru calculul la oboseală;
- Prezentarea factorului de intensitate a tensiunii la extensia fisurilor;
- Integrala J - factor care indică viteza de eliberare a energiei la extensia fisurii;
- Apariția și extensia fisurilor în elementele constructive și în îmbinările sudate dintre acestea.

5.1 Oboseala materialelor

Oboseala materialelor este fenomenul care apare ca efect al solicitărilor variabile ce are efect dăunător asupra capacității de rezistență al materialului raportat la solicitarea lui statică.

Fenomenul de oboseală a materialelor a fost analizat de W.J.M. Rankine (1843) observând fenomenul la podurile de cale ferată și apoi de A. WOHLER (1858) analizând oboseala la osiile materialului rulant făcând primele observații referitoare la fenomenul de oboseală determinând curba durabilității $\sigma - N$ la amplitudine constantă denumită curba WOHLER.

Deteriorarea metalelor prin oboseală parcurge patru faze: nucleația, extensia dependentă de structura a fisurilor scurte, extensia fisurilor, instabilitatea finală. Deteriorarea prin oboseală este corelată cu lungimea fisurilor, iar viteza de acumulare a deteriorărilor cu viteza de creștere a fisurilor.

5.1.1 Metodologii de calcul la oboseală

În literatura de specialitate există trei teorii distincte de abordare de calcul la oboseală (Mocanu C.I.).

1. Metoda σ -N are ca suport analiza tensiunilor și este utilizată pentru calculul la durabilitatea nelimitată, având ca și coordonate „tensiunea maximă-numărul de cicluri până la rupere” denumită și curba WOHLER.

2. Metoda ϵ -N bazată pe analiza deformațiilor specifice fiind utilizată pentru calculul la durabilitate limitată.

3. Metoda tolerării defectelor bazată pe analiza extensiei fisurilor este aplicată la piesele deja având fisuri inițiale. Datele experimentale primare se prezintă sub forma de diagrame „viteza de extensie a fisurii - variația factorului de intensitate a tensiunii” trasate în coordonate logaritmice.

5.1.2 Metode de calcul

Rezistența la oboseală numită reprezintă cea mai mare valoare a tensiunii maxime σ_{\max} a ciclurilor de solicitari variabile cu același coeficient de asimetrie care, nu produce ruperea prin oboseală, chiar dacă au o acțiune îndelungată asupra piesei.

Diagrama durabilității $\sigma - N$ la amplitudine constantă este numită și curba lui Wohler.

Curba lui Wohler determină durabilitatea la oboseală N a materialului la un anumit nivel al tensiunilor, durabilitate exprimată prin numărul ciclurilor de solicitare până se produce procesul de rupere, rezultând în cazul oțelurilor $N = 2 \cdot 10^6$ și pentru alte aliaje $N = 2 \cdot 10^7 \dots 2 \cdot 10^8$.

5.1.3 Factori care influențează rezistența la oboseală

Dacă secțiunea transversală a unei bare variază brusc, poate determina o creștere locală a tensiunilor produse la solicitari statice, depășind valoarea nominală calculată, purtând denumirea de *concentratoare de tensiune*. O piesă cu concentrator are rezistență de oboseală inferioară rezistenței de oboseală a piesei similare fără concentrator (Mocanu C.I.).

- Coeficientul efectiv de concentrare la oboseală K_f ;
- Coeficientul dimensional ε ;
- Coeficientul de calitate a suprafeței γ .

5.1.4 Calculul de rezistență la solicitări variabile

5.1.4.1 Calculul coeficientului de siguranță la solicitări variabile simple produse de sarcini variabile simple

La solicitările statice, coeficientul de siguranță se definește ca fiind raportul între tensiunea corespunzătoare unei stări limită și tensiunea maximă cu o anumită siguranță (Mocanu C.I.):

$$c = \sigma_c / \sigma_{\max} \quad (5.7)$$

Metoda Soderberg consideră diagrama ciclurilor limită o linie dreaptă, comparând ciclul real de solicitare cu ciclul limită având același coeficient de asimetrie (Mocanu C.I.).

Metoda Serensen

În cazul cunoașterii rezistenței la oboseală la ciclul pulsant de încovoiere (σ_0) se poate utiliza metoda Serensen pentru un calcul mai precis plecând de la expresia coeficientului de siguranță (Mocanu C.I.).

5.1.4.2 Calculul coeficientului de siguranță la solicitari compuse

Pe cale experimentală au stabilit, H.J.Gough și H.V.Pollard (1924), diagrama ciclurilor limită la solicitări compuse de încovoiere și de răsucire, prin cicluri simetrice în fază, stabilind relația (Mocanu D.R.) [94], (Mocanu C.I.) [95], [96] :

$$\left(\frac{\sigma_{aL}}{\sigma_{-1}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{aL}}{\tau_{-1}} \right)^2 = 1 \quad (5.11)$$

5.1.5 Deteriorarea

Caracteristicile mecanice ale materialelor supuse la cicluri de solicitare, suferă anumite modificări după fiecare ciclu de solicitare, producându-se deteriorări de material, ajungându-se la un moment dat la valori care produc cedarea acestora. Deteriorarea, în stadiul inițial al

fenomenului de oboseală, se manifestă prin formarea de microcavități și microfisuri izolate, iar în stadiile ulterioare, deteriorarea produce multiplicarea și apariția fisurilor, urmate de extensia acestora (Domnișoru L.).

Dacă la un anumit nivel de solicitare, durabilitatea este de N cicluri, atunci n cicluri vor produce o deteriorare.

$$D = n/N \quad (5.12)$$

unde: n/N se numește raportul ciclurilor, iar în cazul oțelurilor $N = 10^6 \dots 10^7$.

Ruperea prin oboseală se produce atunci când $n=N$, adică $D=1$. În cazul solicitărilor prin cicluri de amplitudine diferite, A. Palmgren (1924) și M.A. Miner (1945) au propus un criteriu de acumulare liniară a deteriorărilor.

5.2 Influența fenomenului de oboseală asupra integrității structurilor.

Apariția fisurilor

5.2.1. Stadiul actual

Datorită solicitărilor variabile ce acționează asupra lor, materialele suferă degradări ireversibile constând din inițierea și extensia fisurilor, al căror efect final îl reprezintă ruperea. Ruperea imbinărilor filetate și a prăjinilor de foraj reprezintă forma cea mai frecventă a avariilor elementelor garniturii de foraj. Prăjinile de pompare sunt avariate prin rupere la oboseală în medii corozive în zona capetelor refulate și în corp. Fenomenul de oboseală la sapele de foraj se manifestă prin fisurarea și spargerea conurilor și prin oboseală superficială a lagărelor de rostogolire.

Procesul de degradare a metalelor supuse solicitărilor variabile cunoaște următoarele etape:

- *ecruisarea locală a unor cristale* (orientate defavorabil în raport cu direcția de solicitare) prin deformații plastice repetate;
- *nucleația fisurilor* (Stadiul I);
- *extensia fisurilor* până la stadiul de rupere al elementului respectiv (Stadiul II);
- *ruperea (cedarea) elementului* atunci când secțiunea netă rămasă devine insuficientă (Stadiul III). Ruperea are aspect casant (este bruscă, fără deformații plastic vizibile).

5.2.2. Moduri de formare a fisurii

Se definesc trei moduri de deplasare relativă a fisurii (Figura 5.6) (Goanță V.), (Sima M.).

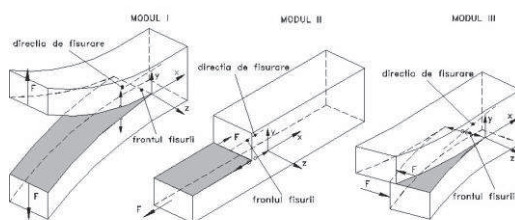


Fig.5.6. Moduri fundamentale de rupere

Modul I (modul de deschidere) – reprezintă etapa în care fețele fisurii sunt îndepărtate una de alta prin deplasări normale pe suprafețele de rupere (Figura 5.6, a); în care deplasarea a suprafețelor fisurii sunt perpendiculare pe planul de fisurare, este fundamentală și cea mai importantă.

Modul II (de lunecare sau de forfecare în plan) – etapa în care suprafețele fisurii lunecă una peste cealaltă în planul fisurii (Figura 5.6, b); deplasarea suprafețelor este în planul fisurii și perpendicular pe marginea fisurii.

Modul III (de sfâșiere sau de forfecare antiplană) - în care suprafețele fisurii se mișcă una față de cealaltă paralel cu muchia de la vârf (Figura 5.6, c).

Din punct de vedere practic, prezintă interes starea de solicitare corespunzătoare modului I de deplasare, acesta fiind modul predominant de încărcare în majoritatea aplicațiilor ingineresti.

5.2.3 Mărimi specifice în teoria fisurilor

5.2.3.1 Forța de extensie a fisurii

Pe baza principiului teoriei lui Griffith analizarea bilanțului energetic constă în creșterea dimensiunii fisurii, considerând energia necesară pentru dezvoltarea fisurii și variația energiei elastice generată de acest fenomen (Sima M.).

$$\Delta U = \Delta U_s + \Delta U_e \quad (5.17)$$

unde: $-\Delta U$ - variația energiei potențiale datorate dezvoltării fisurii;

$-\Delta U_s$ - energia necesară pentru crearea suprafețelor libere;

$-\Delta U_e$ - energia potențială eliberată prin dezvoltarea fisurii.

Condiția de dezvoltare a fisurii este:

$$\frac{\partial(\Delta U)}{\partial a} = \frac{\partial}{\partial a} (\Delta U_s + \Delta U_e) = 0 \rightarrow \sigma_f^2 \cdot a = ct \quad (5.18)$$

în care: a reprezintă lungimea fisurii, iar σ_f valoarea critică a tensiunii.

Griffith a introdus o nouă mărime caracteristică fenomenului de dezvoltare a fisurii și anume *forța de extensie a fisurii*:

$$G_c = -\frac{\partial(\Delta U_e)}{\partial S} \quad (5.19)$$

unde S reprezintă suprafața fisurii.

Forța de extensie a fisurii se poate calcula și prin utilizarea formulei:

$$G = \frac{2}{\Delta a} \int_0^{\Delta a} \sigma_y v dr \quad (5.21)$$

iar prin utilizarea expresiei tensiunii funcție de factorul de intensitate a tensiunii rezultă:

$$G = \frac{K_I^2}{E} + \frac{K_{II}^2}{E} + \frac{K_{III}^2}{G} \quad (5.22)$$

5.2.3.2 Factorul de intensitate a tensiunii

Irwin propune în urma analizelor aproximația pentru funcția lui Westergaard în cazul unei plăci plane infinite, cu o fisură centrală:

$$\Psi(z) = \frac{K}{\sqrt{2\pi z}} \quad (5.23)$$

unde K reprezintă factorul de intensitate a tensiunii.

Tenacitatea la rupere, K_c , reprezintă starea critică a materialului sau a structurii cu fisuri.

5.2.3.3 Deschiderea la vârful fisurii

Un criteriu de cedare, dezvoltat pe baza modelului Dugdale, este bazat pe deplasarea de deschidere la vârful fisurii. Wells a propus drept criteriu de rupere pentru materialele elasto-plactice deplasarea produsă la vârful fisurii de deschiderea fără extensie a acesteia. Această mărime, notată cu δ denumită deplasarea de deschidere de la vârful fisurii (crack tip opening displacement – CTOD) constituie un concept de proiectare pentru mecanica ruperilor, deoarece este legată direct de forța de extensie a fisurii și de factorul de intensitate a tensiunii prin relații simple.

Întinderea zonei plastice se determină atunci când la capătul fisurii tensiunea totală trebuie să fie finită:

$$r_p = a \left(\sec \frac{\pi\sigma}{2\sigma_c} - 1 \right) \approx \frac{\pi^2 a}{8} \left(\frac{\sigma}{\sigma_c} \right)^2 \quad (5.30)$$

Modelul Dugdale se poate aplica și în cazul în care raza zonei deformată plastic are dimensiuni comparabile cu cele ale fisurii, în timp ce modelele Irwin și Wells sunt aplicabile la deformații plastice mici.

5.2.3.4 Integrala J , indicator al intensității stării de tensiune la vârful fisurii

Rice a considerat o placă fisurată, confecționată dintr-un material elastic, încărcată cu un sistem de sarcini aplicate departe de locul unde este situată fisura. Energia totală pe unitatea de grosime este dată de (Sima M.):

$$U = U_0 + U_a + U_\gamma - F \quad (5.32)$$

unde: - U_0 – energia corpului nefisurat;

- U_a – variația de energie de deformație ca urmare a introducerii fisurii în structură;
- U_γ - variația energiei de suprafață liberă generată de introducerea fisurii;
- F – lucrul mecanic al forțelor exterioare.

Rice a introdus conceptul de integrală J plecând de la criteriul de stabilitate reprezentând un echivalent nelinier al forței de extensie a fisurii:

$$J = \frac{\partial}{\partial a}(F - U_a) \quad (5.33)$$

Integrala J reprezintă variația energiei eliberate de un sistem elastic nelinier, dar, în anumite condiții, ea poate reprezenta și variația energiei elasto-plastice eliberate de sistem.

Limita de la care se produce extensia fisurii reprezintă valoarea critică a integralei J determinată ca forță de extensie a fisurii, căreia îi corespunde valorile stabilite pentru parametrii critici specifici ruperilor liniar – elastice (Sima M.).

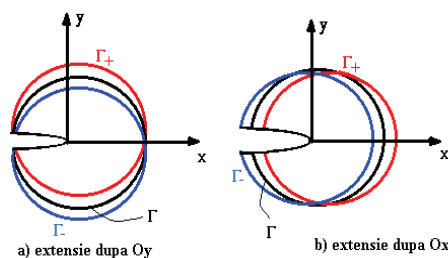


Fig. 5.8 Curbele ce determină direcția de extensie a fisurii

O atenție deosebită s-a îndreptat spre aplicațiile practice pentru determinarea variației integralei J în funcție de variația lungimii fisurii. Densitatea de probabilitate a acestei variabile din punct de vedere al criteriului utilizat (criteriul integralei J) trebuie să fie o funcție de valoarea integralei J , respectiv valoarea critică a acesteia (Sima M.).

5.3 Analiza rezistenței la oboseală și estimarea duratei de exploatare a platformei de foraj marin

5.3.1 Calcul coeficientului concentratoarelor de tensiune

Analiza rezistenței la oboseală se efectuează asupra elementelor din structura platformei caracterizate prin valorile cele mai ridicate ale stării de tensiune, deoarece acestea au o influență foarte mare asupra estimării duratei de viață de exploatare a platformei în condiții de siguranță structurală.

La estimarea rezistenței la oboseală a anumitor zone a structurii se consideră sarcinile statice și sarcinile variabile. La verificarea criteriului de rezistență la oboseală se aplică :

- Metoda valorii admisibile pentru variația tensiunilor maxime la încărcările extreme prescrise;
- Metoda factorului cumulativ de deteriorare D, având suport metoda Palmgren-Miner a curbelor de proiectare tensiuni – cicluri S-N.

În cazul în care se satisface criteriul rezistenței la oboseală trebuie ca factorul cumulativ de deteriorare să fie subunitar $D \leq 1$ (vezi subcapitolul 5.1).

A fost luată spre analiză îmbinarea de noduri, deoarece în urma analizei globale în îmbinările tubulare au apărut concentratoare de tensiune.

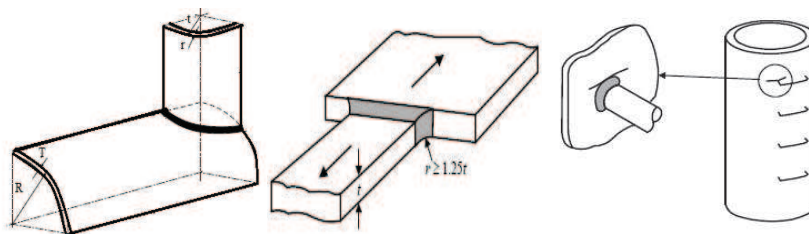


Fig. 5.9. Îmbinare de noduri analizate (A.B.S.)

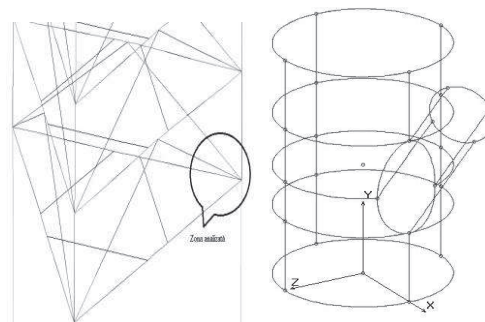


Fig.5.10 Zona analizată

În urma analizei locale a rezultat poziționarea concentratoarelor de tensiune, reprezentat în Figura 5.11.

Analiza zonei de interes a fost abordată pe două modele tridimensionale, calculându-se factorul de concentrare a tensiunii.

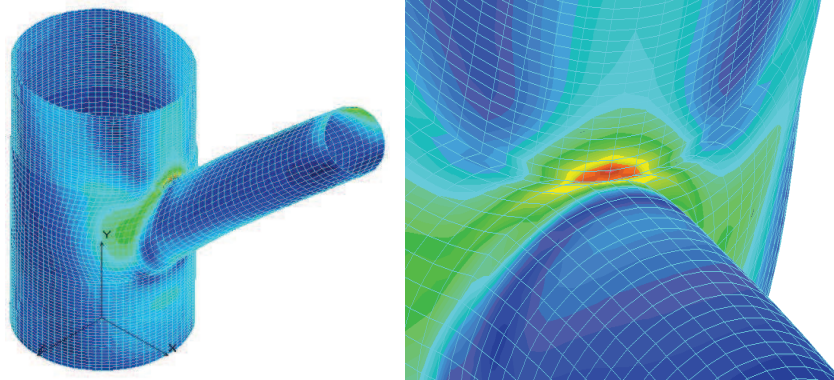


Fig. 5.11 Localizarea concentratorului de tensiune

Pentru analiză s-a folosit discretizare fină și grosieră. Acest mod de analiză s-a efectuat pentru a se determina influența mărimii elementului finit asupra rezultatelor modelărilor numerice.

A) Discretizare fină

În cazul acestei analize, factorul de concentrare a tensiunii se estimează folosind o liniarizare a tensiunilor principale calculate în jurul nodului de interes, cu ajutorul relației:

$$\sigma_{hs} = 1.5\sigma_{0,5t} - 0.5\sigma_{1,5t} \quad (5.34)$$

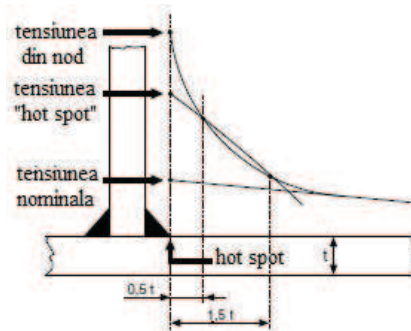


Fig. 5.12 Tensiune „hot spot”

A fost extras din structura globală o îmbinare de bare cu diametrul de $D_1 = 915\text{ mm}$ și grosime $t_1 = 50\text{ mm}$ și cu diametrul de $D_2 = 34\text{ cm}$ și grosime $t_2 = 16\text{ mm}$. Discretizarea aleasă în acest caz a fost:

- pentru bara de diametru $D_1 = 915\text{ mm}$ lungimea laturii elementului este de 25 mm ;
- pentru bara de diametru $D_2 = 34\text{ cm}$ lungimea laturii elementului este de 8 mm .

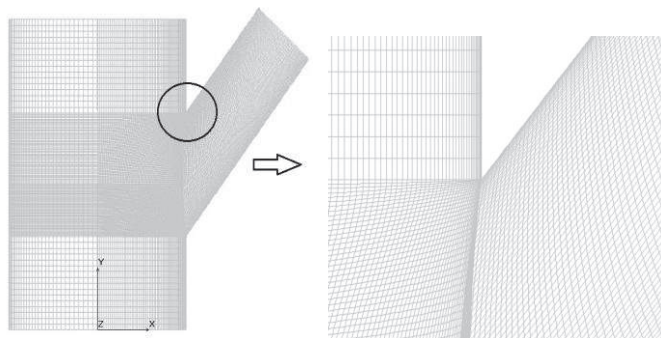


Fig. 5.13 Discretizarea fină

S-a aplicat o încărcare unitară pe bara de diametrul $D_2 = 34 \text{ cm}$. Încărcarea unitară a fost distribuită pe noduri, iar în urma analizei au fost extrase valorile tensiunilor din zonele 0,5t și 1,5t, respectiv:

- La 0,5t a rezultat o tensiune de 1,296 [MPa];
- La 1,5t a rezultat o tensiune de 0,888 [MPa].

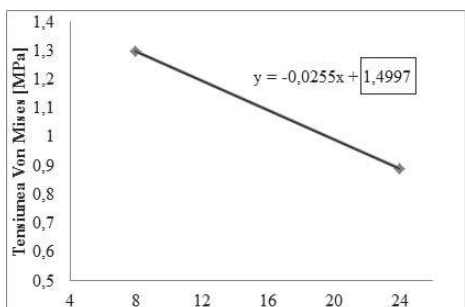


Fig. 5.14 Variația tensiunii în funcție de distanța dintre noduri

S-a aplicat o încărcare unitară pe bara de diametrul $D_2 = 34 \text{ cm}$. Încărcarea unitară a fost distribuită pe noduri, iar în urma analizei au fost extrase valorile tensiunilor din zonele 0,5t și 1,5t, respectiv:

- La 0,5t a rezultat o tensiune de 1,296 [MPa];
- La 1,5t a rezultat o tensiune de 0,888 [MPa].

În urma interpolării a fost extrasă pentru nodul de interes valoarea factorului de concentrare a tensiunii $SCF_{fin}=1,4997$.

B) Discretizare grosieră

A fost analizată aceeași structură ca în cazul precedent cu deosebirea că în acest caz discretizarea a fost realizată grosier. Lungimea laturii elementelor pentru ambele bare a fost de 19,6 mm.

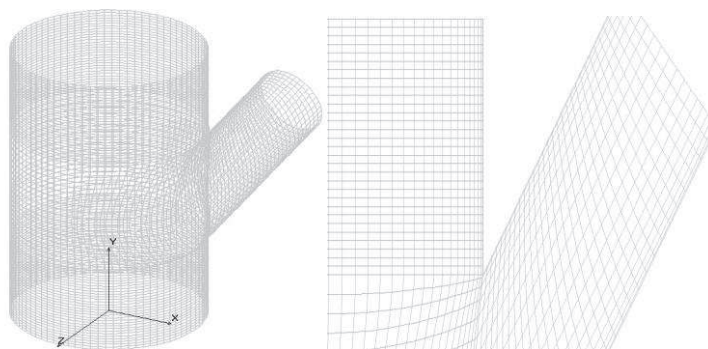


Fig. 5.15 Discretizarea grosieră

S-a aplicat aceeași încărcare.

Nodul analizat a fost în aceeași zonă de interes, rezultând valoarea factorului de concentrare a tensiunii $SCF_{\text{grosier}}=1,145$.

Se poate realiza compararea rezultatelor obținute, ca drept urmare se poate evidenția metoda de analiză aleasă pentru o realizare cât mai exactă spre valoarea dorită.

Așa cum era de așteptat valoarea coeficientului de concentrare a tensiunilor este mai mare în cazul discretizării fine. Acest lucru se explică prin faptul că tensiunile în acest caz de discretizare rezultă cu valori mai mari în comparație cu discretizarea grosieră..

5.3.2 Determinarea coeficientului de degradare (a duratei de exploatare a platformei)

Coeficientul de degradare dă o măsură asupra duratei de viață a unei structuri.

Pentru realizarea acestei analize s-a considerat durata de viață normată a platformei $T = 30$ ani, fiind solicitată în timpul exploatarei cu număr de cicluri $n=9,275 \cdot 10^7$, realizați cu o tensiune maximă de $146,7 \text{ MPa}$ la un interval de $10,2s$. A fost introdusă curba S-N specifică oțelului pentru un ciclu alternant simetric cu coeficientul de asimetrie $R=-1$, unde $R = \sigma_{\text{min}} / \sigma_{\text{max}}$. Valorile curbei S-N au fost detaliate pentru o perioada de 30 ani cuprinzând 10 intervale iar pentru fiecare interval corespunde un anumit număr de cicluri specific fiecărui eveniment.

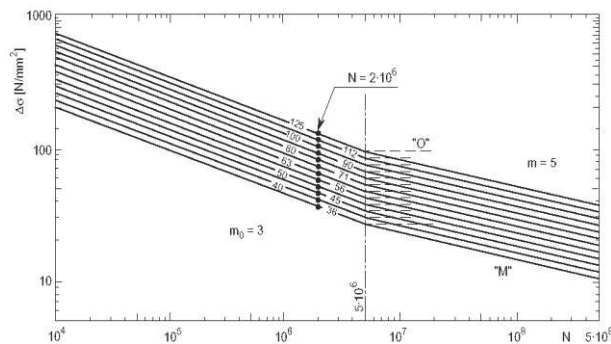


Fig. 5.16 Diagrama S-N pentru oțel (GL) [22]

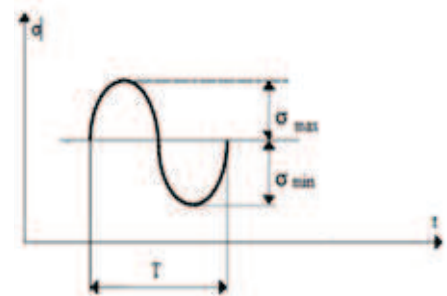


Fig. 5.17 Ciclu de solicitare sinusoidal

În urma analizei a rezultat un coeficient de degradare $D=0,227908$, ceea ce înseamnă că în perioada de timp considerată $T=30$ ani, structura s-a degradat în procent de 22,8%.

5.4 Apariția fisurilor în elementele componente ale picioarelor

Factorii care pot influența durata de viață a îmbinărilor tubulare sudate sunt:

- Mediul (apa de mare). Mediul marin scade durata de viață de 2,5...3 ori;
- Solicitățile;

- Tipul (forma) sudurii, făcându-se distincție între unghiul sudurii și forma cordonului de sudură.

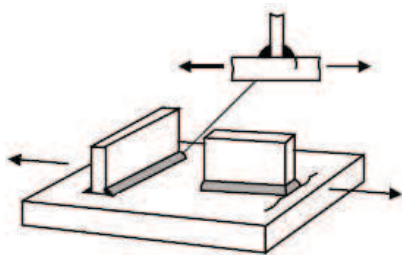


Fig. 5.18 Locul de extensie a fisurilor (Goanță V.).

Analiza stării de tensiune la vârful fisurii se realizează prin determinarea unor parametri precum factorul de intensitate al tensiunii K_I și integrala J care caracterizează evoluția fisurii, coeficientul de concentrare al tensiunilor devenind inoperant

În momentul în care fisura, în cursul extensiei, atinge o anumită lungime critică se declanșează ruperea finală, care este în general o rupere statică. În secțiunea unei piese rupte prin oboseală se disting două zone, o zonă cu aspect lucios care corespunde ruperii în timp și o zonă cu aspect găunțos care corespunde ruperii finale.

Pentru realizarea procesului de fisurare s-au luat în calcul două ipoteze:

- modelul discretizat cu tipul de elemente finite PLANE2D;
- modelul discretizat cu tipul de elemente finite SOLID (cu 8 noduri).

5.4.1 Modelări numerice pentru diferite cazuri de fisurare în cazul 2D

S-a considerat modelul analizat calculat în regim static de încărcare pentru a se putea observa poziționarea concentratorului de tensiune.

Sarcina a fost aleasă astfel încât să se ajungă la rupere pentru oțelul folosit.

După această etapă au fost considerate trei cazuri de fisurare, calculându-se factorul de intensitate a tensiunii K și integrala J - viteza de eliberare a energiei.

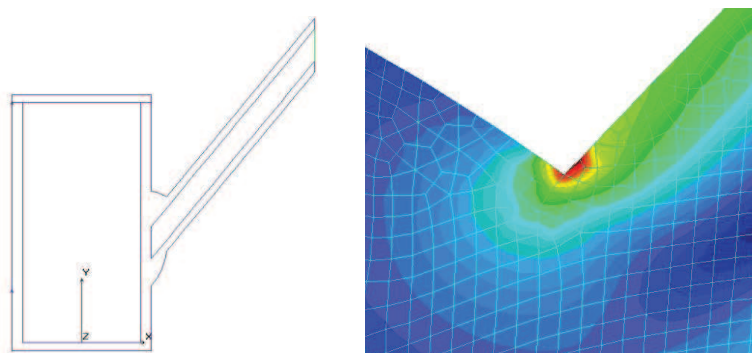


Fig. 5.19 Modelul nefisurat

În urma modelării s-au obținut rezultatele:

- Pentru **cazul 1** de fisurare - inițierea fisurii pe o lungime de $0,86784 \text{ mm}$.

După analiză au fost extrase valorile pentru factorii de intensitate K și valoarea integralei J , reprezentate în Figura 5.20.

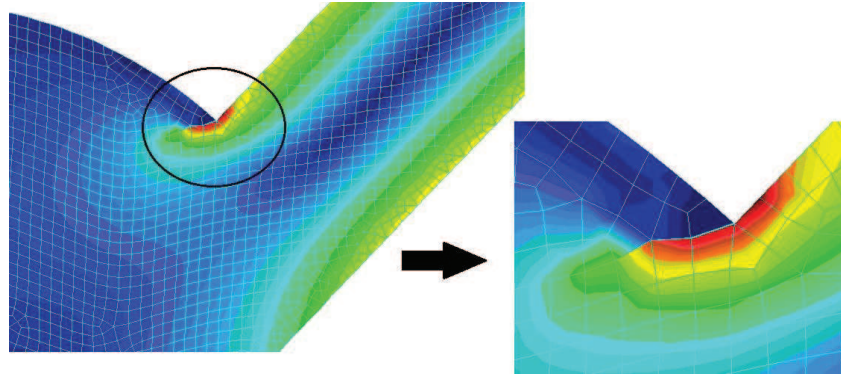


Fig. 5.20 Cazul 1 de fisurare

Cazul 1

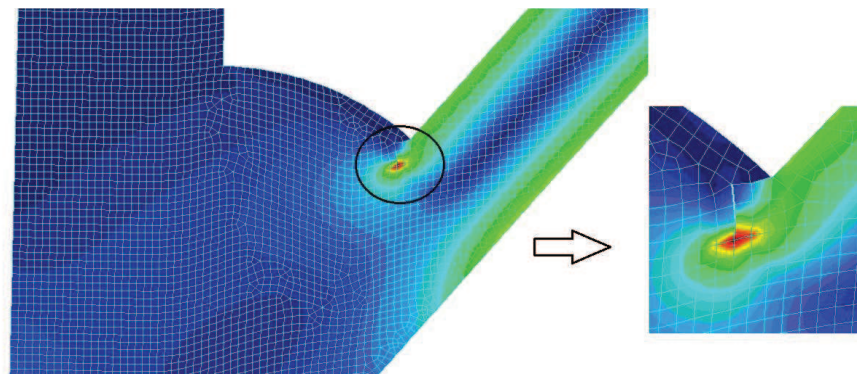
TOTAL STRAIN ENERGY. = 0.452345E+01

J-INTEGRAL EVALUATION FOR LOADCASE # 1

TH NO.	TOTAL	(MODE I)		(MODE II)	
	J	J	K	J	K
1	-0.34134E-01	-0.54483E-01	106.96	0.20349E-01	65.371

- Pentru **cazul 2** de fisurare

În cazul 2 de fisurare s-a considerat extensia fisurii pe lungimea a cinci elemente de discretizare, fisura având o lungime de 1,383 mm. După analiză au fost extrase valorile pentru factorii de intensitate K și valoarea integralei J, reprezentate în Figura 5.21.



Cazul 2

TOTAL STRAIN ENERGY. = 0.458394E+01

J-INTEGRAL EVALUATION FOR LOADCASE # 1

PATH NO.	TOTAL	(MODE I)		(MODE II)	
	J	J	K	J	K
1	-0.16274	-0.95801E-01	141.84	-0.66936E-01	118.56

Fig. 5.21 Cazul 2 de fisurare

- Pentru **cazul 3** de fisurare

În cazul 3 de fisurare s-a considerat extensia fisurii pe lungimea a șase elemente de discretizare, fisura având o lungime de 1,8765 mm. După analiză au fost extrase valorile pentru factorii de intensitate K și valoarea integralei J, reprezentate în Figura 5.22.

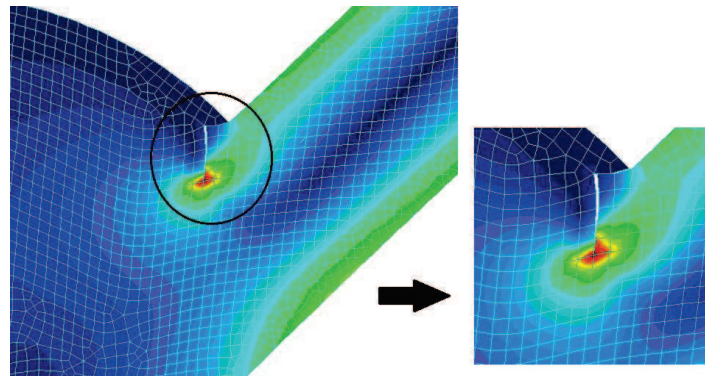


Fig. 5.22 Cazul 3 de fisurare

Cazul 3

```
TOTAL STRAIN ENERGY. . . . . = 0.465674E+01
J-INTEGRAL EVALUATION FOR LOADCASE # 1
```

PATH NO.	TOTAL	(MODE I)		(MODE II)	
	J	J	K	J	K
1	0.18798	0.11454	155.09	0.73443E-01	124.19

5.4.2 Compararea rezultatelor pentru J și K în cele trei cazuri de fisurare

În urma calculelor efectuate au rezultat valorile centralizate în graficele din Figura 5.23-5.25. Cazul de bază, în raport cu care s-au evaluat celelalte cazuri, este cel prezentat în Figura 5.20.

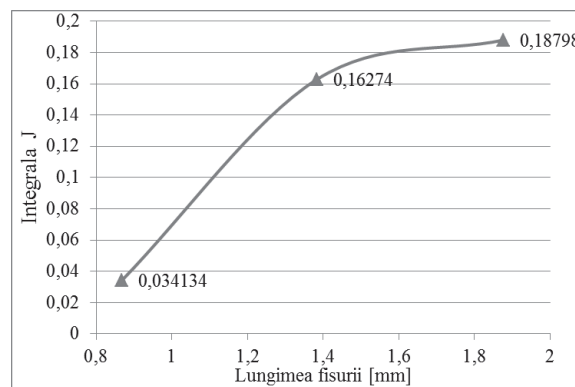


Fig. 5.23 Variația integralei J datorată extensiei fisurii

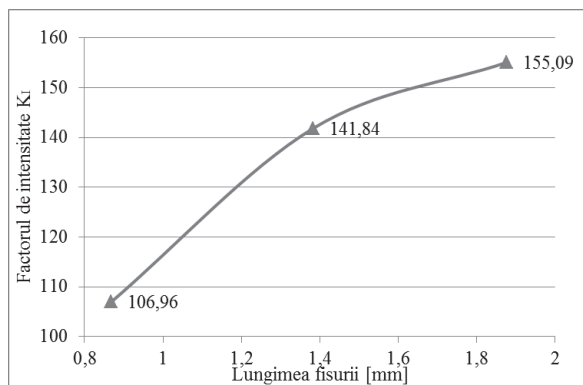


Fig. 5.24 Variația factorului de intensitate K_I datorată extensiei fisurii

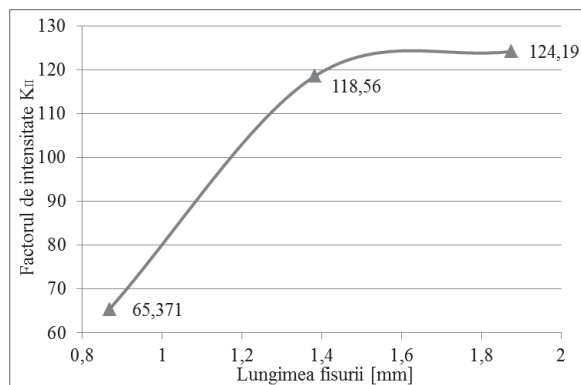


Fig. 5.25 Variația factorului de intensitate K_{II} datorată extensiei fisurii

Din analiza datelor prezentate în figuri se poate concluziona: cazurile 2 și 3, din punct de vedere al integralei J (ratei de eliberare a energiei), sunt defavorabile. Acest lucru indică faptul că gradul de periculozitate pentru producerea fisurii în cazurile 2 și 3 este mai mare decât în cazul 1.

5.4.3 Analiza 3D în diverse cazuri de fisurare

Modelul ales este o parte din structura unui picior de platforma de foraj marin tip „Gloria” constând din două țevi de diametre diferite. Din structură s-a ales acest model simplificat deoarece structura este construită în principiu din țevi cuplate sub diferite unghiuri.

S-a considerat modelul analizat încărcat static pentru a se putea observa poziționarea concentratoarelor de tensiune.

Structura analizată a fost modelată cu elemente de solid de formă tetraedrică cu 8 noduri.

Au fost luate în considerare diferite stadii de evoluție a fisurii, iar la fiecare etapă calculându-se factorul de intensitate a tensiunii.

În modelarea realizată s-a ținut cont și de prezența sudurii, fiind și aceasta modelată cu elemente cu elemente de tip solid.

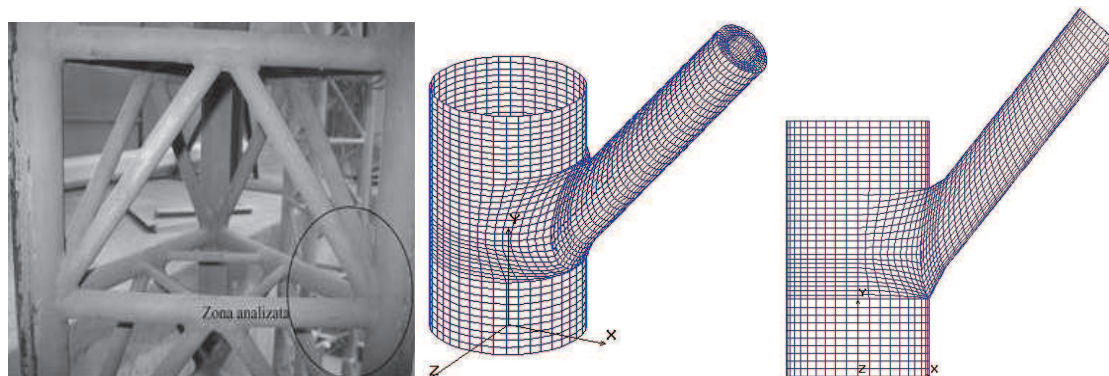


Fig. 5.26 Structura modelată cu elemente de solid

Structura a fost supusă la o forță ce acționează pe bara înclinată la 50° ($D_2=0,340 m$) de bara cu diametrul $D=0,915 m$. În urma solicitării s-a obținut variația de tensiune Von Mises în elementele componente a structurii prezentată mai jos. Concentratoarele de tensiunii rezultante sunt în zona sudurii. Sudura are o rezistență la rupere de 540 MPa.

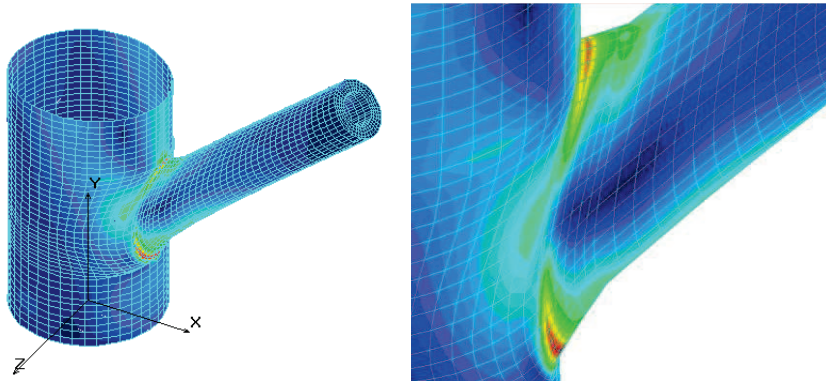


Fig. 5.27 Concentratoarele de tensiune la modelul nefisurat

În urma modelării s-au considerat diverse cazuri de fisurare, în funcție de extensia fisurii:

Cazul 1

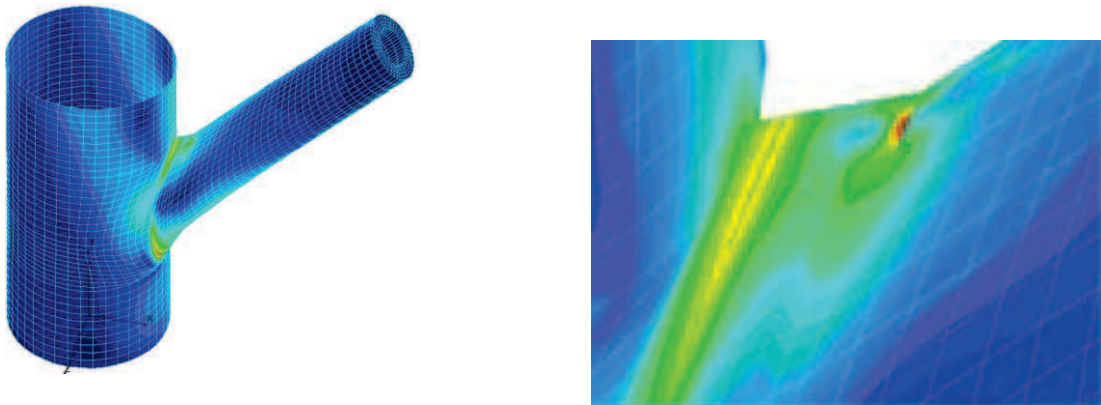


Fig. 5.28 Cazul 1 de fisurare

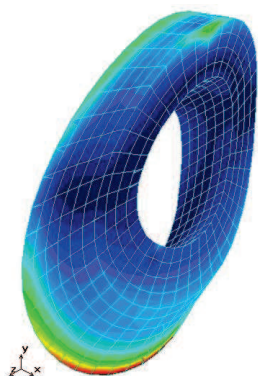


Fig. 5.29 Variația tensiunii Von Mises în structura sudurii

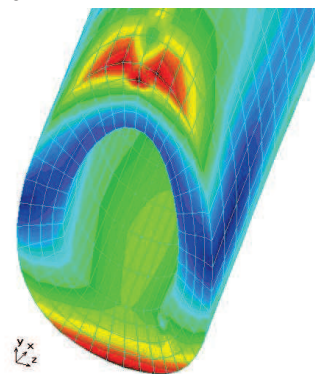


Fig. 5.30 Variația tensiunii Von Mises în structura barei înclinate

CRACK STRESS INTENSITY FACTORS FOR CRACK 1

$$K_I = 0,614243E+02$$

$$K_{II} = -0,145932E+04$$

$$K_{III} = -0,171967E+05$$

$$\text{TOTAL STRAIN ENERGY} \dots\dots\dots = 0,378272E+04$$

Cazul 2

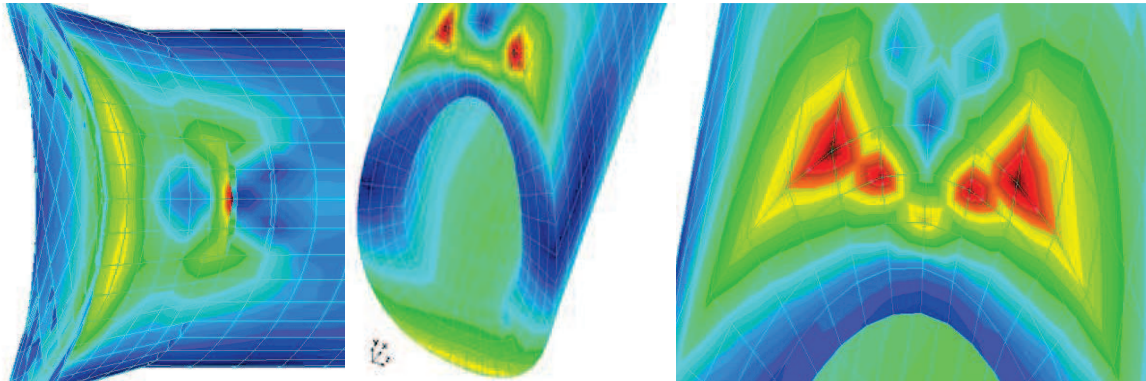


Fig. 5.31 Variația tensiunii Von Mises în cazul 2 de fisurare
CRACK STRESS INTENSITY FACTORS FOR CRACK 1

$$K_I = 0,114832E+03$$

$$K_{II} = 0,305483E+03$$

$$K_{III} = -0,848308E+03$$

$$\text{TOTAL STRAIN ENERGY} \dots\dots\dots = 0,380770E+04$$

Cazul 3

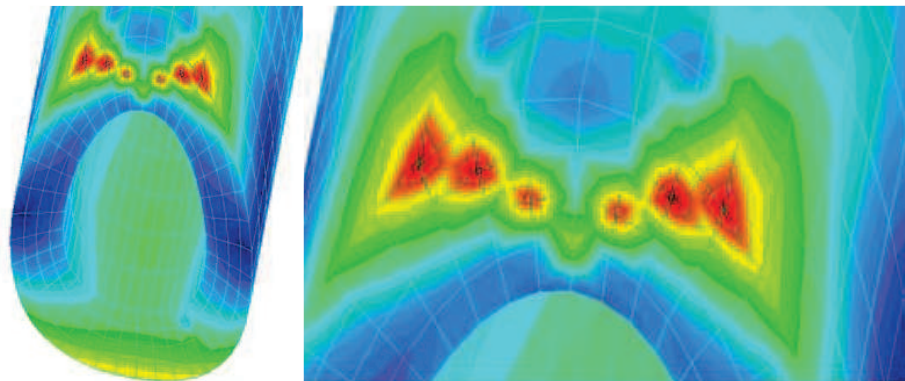


Fig. 5.32 Variația tensiunii Von Mises în cazul 3 de fisurare
CRACK STRESS INTENSITY FACTORS FOR CRACK 1

$$K_I = 0,176769E+03$$

$$K_{II} = -0,273022E+03$$

$$K_{III} = 0,177396E+04$$

$$\text{TOTAL STRAIN ENERGY} \dots\dots\dots = 0,386259E+04$$

Cazul 4

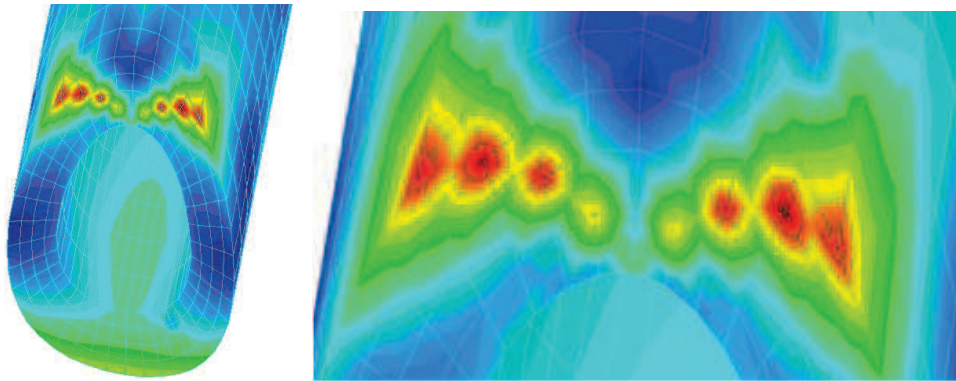


Fig. 5.33 Variația tensiunii Von Mises în cazul 4 de fisurare
CRACK STRESS INTENSITY FACTORS FOR CRACK 1
KI = 0,161247E+03
KII = -0,363790E+03
KIII = -0,393874E+03
TOTAL STRAIN ENERGY..... = 0,396151E+04

Cazul 5

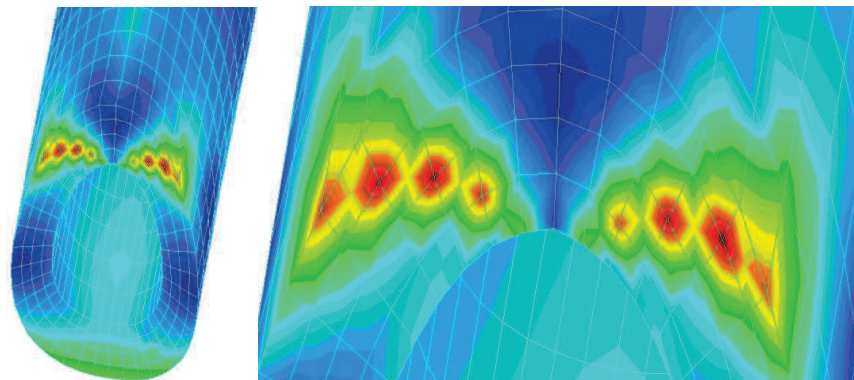


Fig. 5.34 Variația tensiunii Von Mises în cazul 5 de fisurare
CRACK STRESS INTENSITY FACTORS FOR CRACK 1
KI = 0,907721E+02
KII = -0,616566E+03
KIII = 0,106753E+05
TOTAL STRAIN ENERGY..... = 0,411737E+04

5.4.4 Modelare numerică folosind programul ANSYS

Pe baza teoriei enunțate în Capitolul anterior și teoriei care este suport pentru programului de modelare cu MEF, ANSYS, în cadrul acestui paragraf se realizează o comparație a valorilor tensiunilor obținute cu programul Solid Works - Cosmos/M. Această comparație este necesară

pentru a concluziona asupra corectitudinii metodologiei abordate în studiul fisurilor. ANSYS consideră extensia fisurii prin scoaterea de elemente din structura analizată în zona cu concentrator de tensiune. Pătrunderea se realizează cu pasul de creștere a lungimii fisurii fiind de 2 mm. După fiecare etapă se generează un nou model, Figura 5.35.

Figura 5.38 prezintă modelul analizat. Pentru discretizarea elementelor de volum s-au folosit elementul de volum de tip „Solid186”.

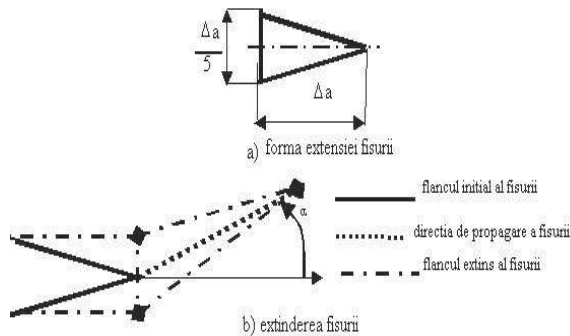


Fig. 5.35 Metoda de extensie a fisurii

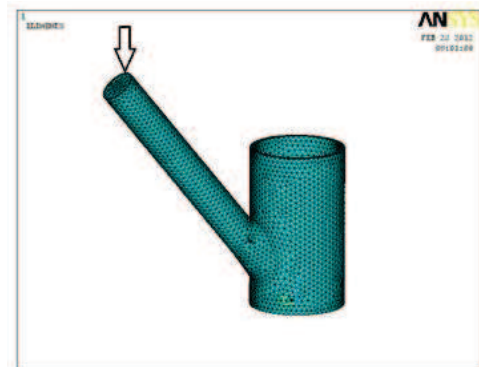


Fig.5.38 Modelul FEM

Figura 5.39 prezintă variația stării de tensiune pentru structură, înainte de apariția fisurii.

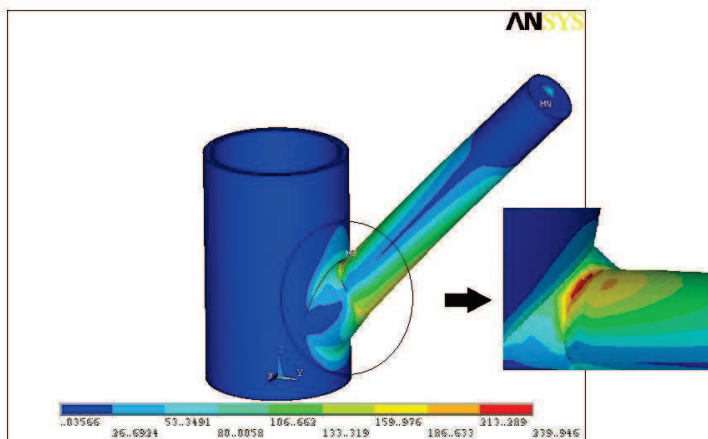


Fig.5.39 Variația tensiunii pentru modelul nefisurat

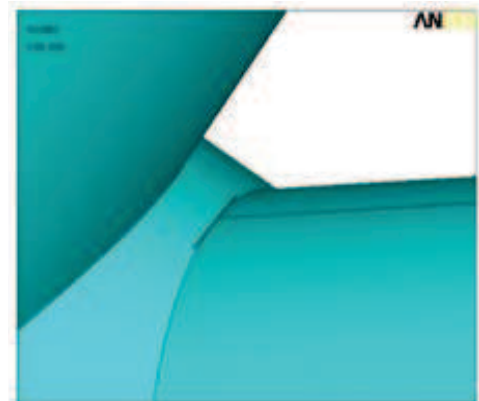


Fig.5.40 Geometria fisurii la model

În Figura 5.40 este prezentată geometria fisurii. Fisura a fost considerată ca în Figura 5.35. Pentru inițierea fisurii sa considerat o forță F ce acționează pe bara înclinată la 50° ($D_2=0,340\text{ m}$) de bara cu diametrul $D=0,915\text{ m}$ astfel încât să se ajungă la valoarea tensiunii unde are loc deformarea plastică la valoarea de 235 MPa.

Variația stării de tensiune în funcție de evoluția fisurii în punctul cel mai solicitat este prezentată în Figura 5.41.

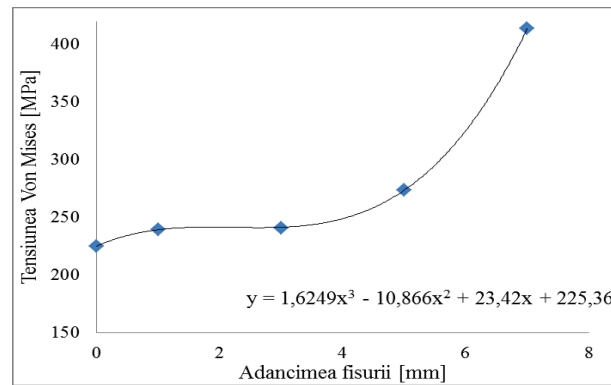


Fig.5.41 Variația stării de tensiune datorată extensiei fisurii

Din analiza datelor numerice se pot desprinde concluzia că calculul tensiunilor la vârful fisurii poate fi determinat prin diferite metode.

Comparații privind tensiunile la vârful fisurii obținute folosind programele Solid Words/COSMOS-M și Ansys.

- În Solid Words/COSMOS-M, la o extensie a fisurii de aproximativ 3,5mm a rezultat o tensiune în nodul cel mai solicitat de 265,7 MPa.

- În Ansys la o extensie a fisurii de aproximativ 3,5mm a rezultat o tensiune în nodul cel mai solicitat de 245 MPa.

Abaterea valorilor este mai mică de 10% (7,8%). Deci se poate concluziona că metodologiile folosite pentru analiza apariției și extinderii fisurii au fost corect alese.

Aceste diferențe pot proveni și din cauza faptului că localizarea fisurilor în cele două programe a fost diferită. Diferența de poziționare constă: în Cosmos/M fisura s-a considerat a se produce pe tubul de diametru mai mic pe când la ANSYS s-a considerat că fisura se produce la îmbinarea cordonului de sudură cu tubul de diametru mai mic. Această diferență de poziționare este de maximum 1,5 mm.

5.4.5 Metoda optică de măsurare a deformațiilor

Pentru studiul stării de deformație la solicitarea modelului, s-a folosit sistemul ARAMIS HS, produs de compania germană GOM. Echipamentul se află în dotarea Facultății de Arhitectură Navală a Universității „Dunărea de Jos” din Galați.

Pentru măsurarea deformațiile care apar la îmbinarea celor două bare, în zona sudurii s-a realizat un stand compus din următoarele dispozitive și echipamente:

- modelul, din Figura 5.42;
- mașina de încercare universală la tracțiune de 50 TF, Figura 5.43;

- sistem optic de măsurare a deformațiilor ARAMIS HS cu principalele componente: senzor cu 2 camere, obiecte de calibrare, dispozitiv de alimentare a camerelor și control al imaginilor înregistrate, sistemul PC, sistemul de operare Linux și aplicație software ARAMIS HS.



Fig.5.42 Modelul experimental



Fig.5.43 Mașina de încercare la tracțiune de 50 TF

Etapele principale de pregătire a experimentului sunt:

- 1 Pregătirea modelului**
- 2 Pregătirea camerelor**
- 3 Calibrarea sistemului optic (camerelor)**
- 4 Pregătirea aplicației software**

Înregistrarea imaginilor se realizează după ce modelul a fost pregătită, iar procesul de calibrare a fost corect realizat în ceea ce privește deviația de calibrare ($\leq 0,04$ conform indicațiilor din manualul de utilizare al aparatului).

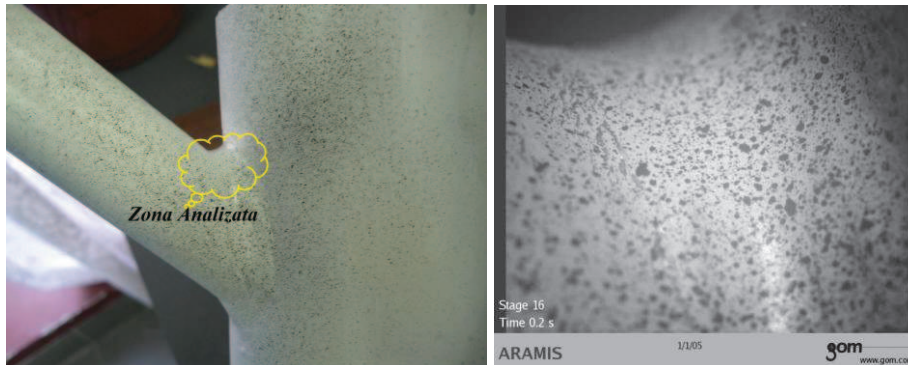


Fig.5.45 Zona analizată

Modulul de evaluare are ca scop final reprezentarea 3D a câmpului de deplasări și deformații specifice care iau naștere în structura modelului.

Modelul a fost încărcat până la apariția și extensia fisurii. Apariția fisurii s-a produs la o forță de încărcare, citită la mașina de încercare, de 65 kN, înregistrând deformațiile.

Zona analizată este reprezentată în Figura 5.45. S-au analizat diverse puncte din zona sudurii pentru a observa evoluția deformațiilor.

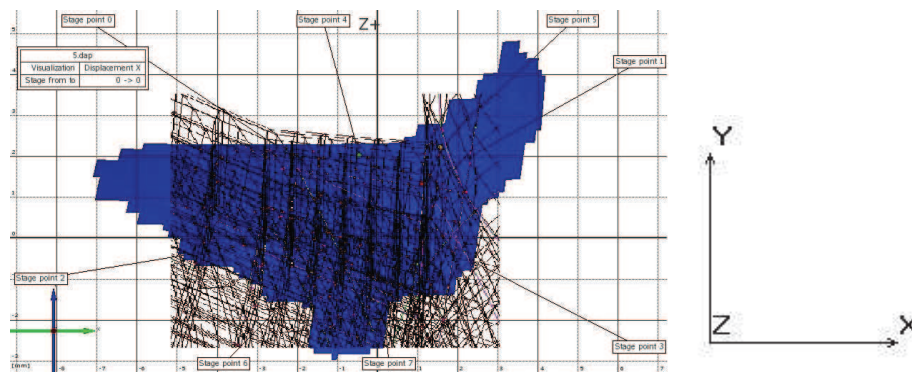


Fig.5.46 Suprafața analizată în modelarea numerică (discretizare în elemente finite) și experimentală (fundal albastru)

Înregistrările s-au realizat cu 85 frame/s. S-au prelucrat primele 40 de înregistrări din cele 800 realizate de sistemul ARAMIS. În Figura 5.47 sunt reprezentate valorile deplasărilor pe axa x a punctelor luate spre analiză, reprezentate în Figura 5.46.

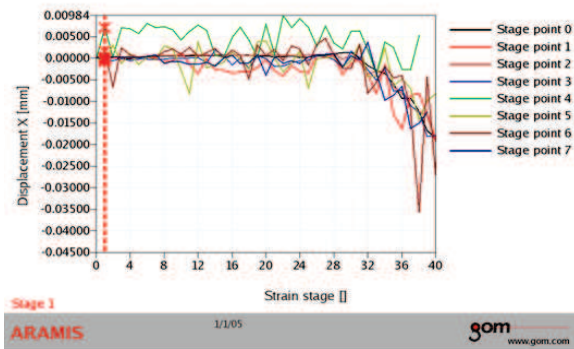


Fig.5.47 Deplasările pe axa „x” ale punctelor analizate

În diverse cazuri de încărcare la diverși timpi, sunt reprezentate distribuția deplasărilor rezultate din metoda experimentală, (completare Anexa 2).

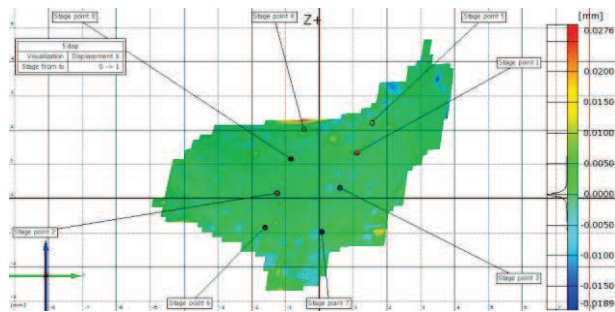


Fig.5.48 Câmpul de deplasări înregistrate la $T=0,0117s$

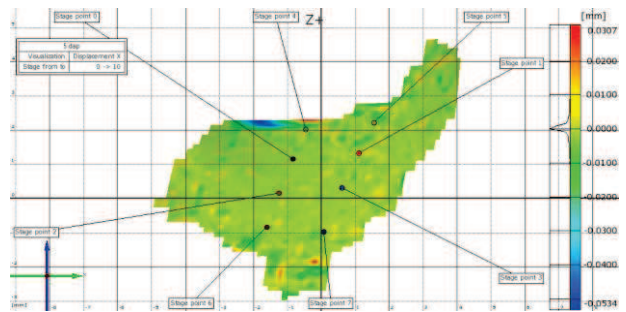


Fig.5.49 Câmpul de deplasări înregistrate la $T=0,117s$

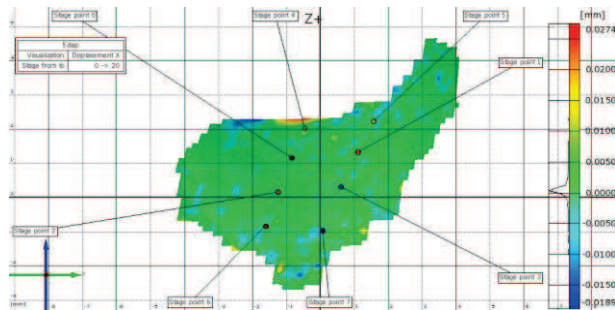


Fig.5.50 Câmpul de deplasări înregistrate la $T=0,234s$

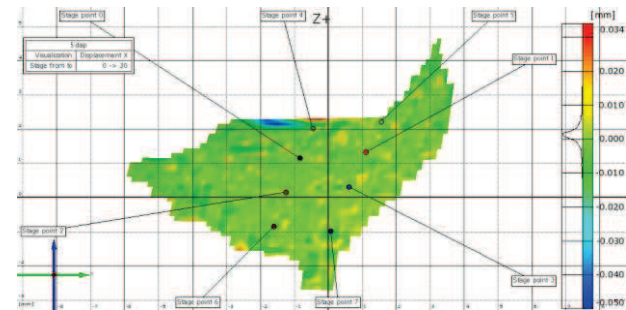


Fig.5.51 Câmpul de deplasări înregistrate la $T=0,351s$

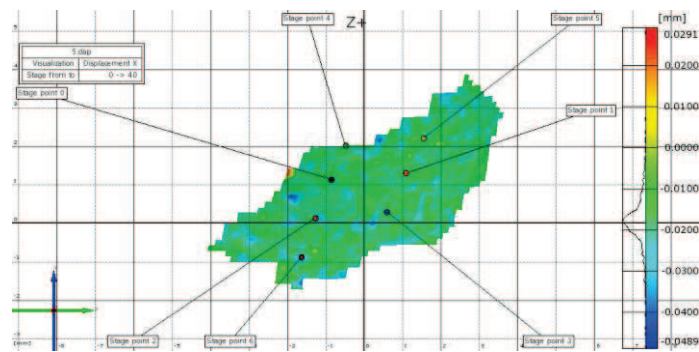


Fig.5.52 Câmpul de deplasări înregistrate la $T=0,47s$

5.4.6 Compararea rezultatelor obținute numeric și experimental

În urma modelării numerice și experimentale s-au extras valorile deplasărilor în punctele stabilite în Figura 5.46. Rezultatele au fost luate spre analiză la $T=0,0117s$. Modelul a fost încărcat până la apariția și extensia fisurii. Rezultatele prezentate pentru punctele menționate anterior sunt redate centralizat în Tabelul 5.1.

Tabelul 5.1 Valorile tensiunilor calculate și măsurate

Punctul	Deplasările [mm]		Diferență
	C	M	
0	0,0172	0,0179	3,91%
1	0,0172	0,0187	8,02%
2	0,0168	0,0186	9,68%
3	0,0075	0,0083	9,19%
4	0,0201	0,021	4,29%
5	0,0181	0,0187	3,21%
6	0,0176	0,0193	8,81%
7	0,0255	0,027	5,56%

În urma analizei rezultatelor numerice cu rezultatele cele obținute experimental se poate observa o diferență de maxim 9,7%, abatere ce se încadrează în limitele admisibile. Se poate concluziona că metodologia abordată a fost corectă, iar experimentul validează modelarea numerică.

5.5 Concluzii

În urma studiilor efectuate în cadrul acestui Capitol se pot trage următoarele concluzii:

- S-au realizat investigații referitoare la fenomenul de apariție și extensia fisurilor.
- S-a prezentat sintetic teoria referitoare la oboseală. S-au prezentat modalitățile de calcul a factorului de intensitate a tensiunii și a integralei J (care indică viteza de eliberare a energiei la extensia fisurii);
 - S-a determinat, folosind programul Solid Words/COSMOS-M, coeficientul de degradare a structurii;
 - S-a determinat, folosind programul Solid Words/COSMOS-M, factorul de intensitate a tensiunii K și integrala J- viteza de eliberare a energiei în diverse cazuri de fisurare;
 - Verificarea corectitudinii metodologiei abordate pentru analiza fenomenului de apariție și propagare a fisurilor prin două programe Solid Words/COSMOS-M și Ansys;
 - S-au verificat rezultatele modelărilor numerice prin experiment. Concluzia rezultată este că modelările numerice au fost riguros desfășurate oferind rezultate credibile;
 - Metodologiile prezentate pot fi utilizate pentru predicția evoluției fisurării la picioarele structurii off-shore în timpul funcționării.

CAPITOLUL 6

CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI CONCLUZII GENERALE

Lucrarea elaborată a avut drept scop conceperea unor metodologii pentru calculul static și dinamic al structurilor de susținere a platformelor de foraj marin. Subiectul abordat, deși pare cunoscut, comportă încă numeroase discuții referitoare la modul cum elementele componente din structura picioarelor se comportă în diverse situații de solicitare. Studiul la oboseală precum și apariția și extensia fisurilor este important la astfel de structuri.

Lucrarea are drept scop dezvoltarea și perfecționarea metodelor de analiză a structurilor de rezistență a platformelor de foraj marin prin utilizarea unor modelări care să se apropie cât mai mult de realitate din punct de vedere al geometriei, sarcinilor și calculului propriu-zis.

Se pot evidenția următoarele contribuții personale PRINCIPALE:

1. Prezentarea succintă și la obiect a tipurilor de structuri marine folosite în forarea și extracția de petrol din oceanul planetar

Odată cu dezvoltarea exploatării țițeiului din mediul marin, tehnologia de proiectare și construcție a platformelor marine de acest tip a cunoscut o dezvoltare pe parcursul a patru decenii, având în vedere orientarea exploatării subacvatice spre ape din ce în ce mai adânci.

Diversitatea tipurilor constructive de platforme a fost impusă de condițiile de mediu în care lucrează (adâncimea apei, caracteristicile valului, viteza vântului, caracteristicile solului marin, seismicitatea zonei), de mărimea zăcămintului petrolier și de considerațiile economice (obținerea de profit maxim).

Platformele marine sunt:

A) Platformele marine fixe: din zăbrele tubulare, tip turn, din beton de tip structura gravitațională.

B) Platformele marine mobile: autoridicătoare, semisubmersibile, submersibile.

Explorarea platoului continental românesc a început la sfârșitul anului 1975 cu platformă românească de foraj marin, GLORIA, iar la 16 septembrie 1976, a început activitatea de foraj cu instalația respectivă, la o distanță de 72 de mile marine în largul Mării Negre, la o adâncime a apei de 90 de metri.

2. Prezentarea metodelor de calcul al structurilor picioarelor platformelor de foraj și extractive.

Deoarece picioarele sunt solicitate în principal de sarcini având direcția axei longitudinale a piciorului (din greutatea proprie a structurii offshore și a echipamentelor) și transversal din sarcinile de mediu (curenți marini, valuri, vânt) rezultă că solicitarea acestora este una complexă care produce atât tensiuni normale cât și tangențiale.

Datorită simplității constructive cea mai des utilizată structură pentru construcția picioarelor platformelor de foraj marin este cea de grindă cu zăbrele.

Metoda generală de determinare a eforturilor la structurile static determinate este metoda secțiunilor, iar în cazul grinzilor cu zăbrele, metoda se prezintă sub două forme: procedeul secțiunilor oarecare și procedeul secțiunilor particulare (izolării nodurilor).

1. *Metoda secțiunilor oarecare* realizând echilibrului unei părți din structură ce este acționată de încărcările exterioare cunoscute și de forțe de legătură din barele secționate.

2. *Metoda izolării nodurilor* constând în izolarea tuturor nodurilor prin secțiuni ce taie toate barele din jurul fiecărui nod. Barele suprimate se înlocuiesc cu eforturile axiale necunoscute.

3. Stabilirea metodologiei de calcul a sarcinilor care acționează asupra picioarelor de susținere a platformei de foraj tip Gloria.

Picioarele platformelor de foraj, prin lungimea mare pe care o au, sunt sensibile la acțiunea dinamică a valurilor, vântului, curenților marini. Vibrațiile care se produc sub acțiunea acestor factori de mediu au ca efect amplificarea eforturilor din bare iar în decursul timpului provoacă deteriorări prin oboseală ale acestor elemente.

Analiza comportării în exploatare a platformelor de foraj marin autoridicătoare poate fi abordată sub trei aspecte: *static, dinamic și al rezistenței la oboseală*.

Calculul static care poate fi: calcul global – pentru determinarea eforturilor din bare; și calculul local – pentru determinarea localizării tensiunilor.

Calculul dinamic se aplică în cazul platformelor de foraj marin autoridicătoare luându-se în considerare componenta vâscoasă a forțelor hidrodinamice și caracteristicile neliniare ale rezemării structurii pe solul marin.

Metoda de calcul a răspunsului platformelor de foraj marin autoridicătoare se alege depinzând de precizia de calcul dorită. Astfel:

- calculul static este recomandat în etapele de proiectare preliminară;
- calculul dinamic poate asigura, în cazul cunoașterii stării mării pe termen scurt, cele mai bune rezultate dacă modelul structural adoptat este corespunzător și dacă se dispune de putere mare de calcul;
- pentru analiza la oboseală a structurilor cu comportare liniară se recomandă calculul dinamic deoarece asigură rezultate satisfăcătoare.

Etapa cea mai importantă a procesului de proiectare reprezintă analiza comportării structurii la diverse tipuri de încărcări.

S-au calculat modurile proprii de vibrații. Acest lucru este util utilizatorilor pentru a se evita suprapunerea vibrației platformei peste aceste moduri proprii, caz în care poate apare rezonanța. S-a determinat variația mărimii pulsațiilor proprii în cazul distrugerii de elemente componente ale picioarelor. Pulsațiile proprii au scăzut ceea ce indică o „slăbire” a structurii.

4. Determinarea influenței distrugerii unor elemente asupra stării de tensiune din structura picioarelor platformei.

S-au considerat diverse cazuri de distrugere unor elemente din structura piciorului de platforma marină. În urma analizei s-a determinat variația stării de tensiune în elementele de bară componente din structura picioarelor, observându-se influența negativă a distrugerii de elemente asupra integrității structurii platformei. Studiul poate fi utilizat de către utilizatorii platformelor de tip Gloria pentru situații de accidente pe locațiile de extracție.

5. Determinarea influenței coroziunii asupra stării de tensiune din structura picioarelor platformei.

Daunele cauzate de coroziune în țările cu economie dezvoltată se consideră că se ridică la 4-5 % din produsul intern brut. Coroziunea se manifestă în multiple forme, forma cea mai des apărută este pierderea directă irecuperabilă de metal (cca. 10-20 %).

Agenți agresivi cei mai răspândiți sunt: aerul atmosferic, apa sub formă de vapori, apa de mare, apele reziduale. În cazul platformelor marine coroziunea acționează mai rapid deoarece este în contact continuu cu apa de mare care are salinitatea ridicată.

Pentru evaluarea evoluției în timp a rezistenței structurii platformei este necesară cunoașterea variației în timp a reducerilor de grosime a elementelor de bară care alcătuiesc structura picioarelor, fiind determinate de adâncimea de coroziune numită și pierdere prin coroziune sau uzură de coroziune

Analiza numerică în cazul corodării a adus la concluzia că reducerea grosimii a elementelor este mult mai pronunțată în primii ani. Acest lucru poate fi explicat prin faptul că la începutul procesului de coroziune factorii externi reacționau direct pe metal. Ulterior, stratul de rugină acționează ca o protecție împotriva coroziunii.

Starea de tensiune este influențată de reducerea de grosime cauzată de coroziune, chiar dacă procentele nu sunt majore.

6. Studii la oboseală și extensia fisurilor în cordoanele sudura de îmbinare între elementele componente ale picioarelor

Datorită solicitărilor variabile ce acționează asupra lor, materialele suferă degradări ireversibile constând din inițierea și extensia fisurilor, al căror efect final îl reprezintă ruperea.

Ruperea îmbinărilor filetate și a prăjinilor de foraj reprezintă forma cea mai frecventă a avariilor elementelor garniturii de foraj. Prăjinile de pompă sunt avariate prin rupere la oboseală în medii corosive în zona capetelor refulate și în corp. Fenomenul de oboseala la sapele de foraj se manifestă în principal prin fisurarea și spargerea conurilor și prin oboseala superficială a lagărelor de rostogolire.

7. Stabilirea metodologiei de calcul a factorului de intensitate a tensiunii la solicitări variabile

Dacă secțiunea transversală a unei bare variază brusc, poate determina o creștere locală a tensiunilor produse la solicitări statice, depășind valoarea nominală calculată, purtând denumirea de *concentratoare de tensiune*. O piesă cu concentrator are limita de oboseală inferioară limitei de oboseală a piesei similare fără concentrator.

Factorii de intensitate a tensiunii K_I, K_{II}, K_{III} determină tensiunile și deplasările în vecinătatea unei fisuri ascuțite în coordonate carteziane sau polare.

Fisura se extinde atunci când factorul de intensitate a tensiunii atinge o valoare critică K_c . K_c reprezintă valoarea critică a factorului de intensitate a tensiunii, pentru modul I, denumită și tenacitate la fisurare sau rezistența la fisurare.

8. Stabilirea metodologiei de calcul a Integralei J (factorul care indică viteza de eliberare a energiei la oboseală).

Conceptul *integralei J* a rezultat din examinarea bilanțului energetic fiind introdus de către Rice. Rice a considerat o placă fisurată, confecționată dintr-un material elastic, încărcată cu un sistem de sarcini aplicate departe de locul unde este situată fisura.

Integrala *J* reprezintă variația energiei eliberate de un sistem elastic neliniar, dar, în anumite condiții, ea poate reprezenta și variația energiei elasto-plastice eliberate de sistem.

Limita de la care se produce extensiaa fisurii reprezintă valoarea critică a integralei *J* determinată cu forța de extensie a fisurii, căreia îi corespund valorile stabilite pentru parametrii critici specifici ruperilor liniar – elastice. O atenție deosebită s-a îndreptat spre aplicațiile practice pentru determinarea variației integralei *J* în funcție de variația lungimii fisurii.

De asemenea din cercetările efectuate și realizate în lucrare se pot evidenția următoarele contribuții SECUNDARE:

1. Alegerea orientării platformei la locația de forare astfel încât să se evite valurile regulate cu amplitudini mari.
2. Sintetizare concretă a noțiunilor teoretice referitoare la subiectul tezei.
- 3 Folosirea metodelor moderne de determinări experimentale ale variației stării de tensiune și deplasări.

PRINCIPALELE concluzii ale tezei sunt:

A) Concluzii pentru calculul static în diverse situații de exploatare

Având în vedere cazurile analizate se poate concluziona:

- Pentru cazurile de distrugere abordate s-a determinat variația stării de tensiune în elementele de bară componente din structura picioarelor. Sunt prezentate grafice cu variația tensiunilor. Se poate vedea influența negativă a distrugerii de elemente asupra integrității structurii platformei. Creșterea maximă a tensiunilor în elementele studiate a fost de 45,42%. Studiul poate fi utilizat de către utilizatorii platformelor de tip Gloria pentru situații de accidente pe locațiile de extracție.

- Analiza numerică efectuată este oportună în vederea luării în considerare a diferitelor scenarii de coliziune.

- Analiza numerică în cazul corodării a condus la concluzia că reducerea grosimii a elementelor este mult mai pronunțată în primii ani. Acest lucru poate fi explicat prin faptul că la începutul procesului de coroziune factorii externi acționează direct pe metal.

În cazul distrugerii elementelor din structura piciorului de platformă marină au rezultat o creștere maximă a tensiunii în elementele analizate - în faza a treia de corodare în cazul 5 de distrugere 45,8%.

- Starea de tensiune este influențată de reducerea de grosime cauzată de coroziune, chiar dacă procente nu sunt majore.

- Coroziunea are influențe semnificative asupra stării de tensiune și asupra deplasărilor.

B) Concluzii pentru calculul dinamic în diverse situații de exploatare

Prin modelările numerice și experimentale efectuate în cazul încărcărilor dinamice se pot desprinde următoarele concluzii:

- S-a realizat o prezentare unitară a modului de calcul al sarcinilor din val.

- S-a analizat comportarea structurii unui picior de platformă de foraj marin la acțiunea dinamică a sarcinilor.

- S-a realizat o prezentare a răspunsului dinamic produs de acțiunea forțelor perturbatoare oarecare.

- În urma calculului hidrodinamic cu ajutorul programului FORHID s-au obținut sarcinile din val. Acestea au fost aplicate pe structura picioarelor acționând sub diverse unghiuri de incidență.

- S-a determinat folosind programul Solid Words/COSMOS-M variația tensiunilor pentru picioare pentru unghiurile de incidență alese.

- În urma analizei stării de tensiune s-a constatat o creștere semnificativă a tensiunilor datorită acțiunii valului în raport cu cazul platformei încărcată numai cu greutatea proprie.

- Din analiza variației de tensiune rezultă că tensiunile variază funcție de dispunerea valului față de picioare. Tensiunile au valori care variază în timp având $\sigma_{\max} = 83,89 \text{ MPa}$, dar valorile lor extreme nu depășesc limitele admisibile ale materialului ($\sigma = 235 \text{ MPa}$) din care sunt confecționate picioarele.

- S-au prezentat metodele de calcul a pulsațiilor proprii. S-au calculat aceste pulsații proprii. Acest lucru este util utilizatorilor pentru evitarea rezonanțelor.

- S-a determinat variația mărimii pulsațiilor proprii în cazul distrugerii de elemente componente ale picioarelor.

- Din analiza rezultatelor obținute rezultă că frecvența proprie a sistemului picior scade. Acest lucru era de așteptat deoarece scade rigiditatea piciorului, având influențe negative deoarece sunt utilaje la bordul navei care lucrează la frecvențe joase și pot exista astfel suprapuneri peste frecvența proprie a piciorului. Pot apare în astfel de situații rezonanțe cu efecte dezastruoase.

- Din analiza tensiunilor rezultate din modelările numerice corespunzătoare celor patru cazuri de distrugere rezultă:

- Tensiunile rezultante pentru bara principală (diametrul mare) din componența picioarelor când sunt mai multe elemente distruse (caz 4 și 5) scad. O explicație a acestui fenomen este că practic acest tub a pierdut legătura cu restul tuburilor componente.

- Tensiunile rezultante pentru tuburile B și C cresc așa cum era de așteptat deoarece sunt elemente care nu mai participă la preluarea sarcinii.

- Metodologiile prezentate pot fi utilizate pentru predicția stării de tensiune la picioarele structurii off-shore în timpul funcționării.

C) Concluzii pentru apariția și extensia fisurilor

În urma studiilor efectuate în cadrul Capitolului 5 se pot trage următoarele concluzii:

- S-au realizat investigații referitoare la fenomenul de apariție și extensia fisurilor.
- S-a prezentat sintetic teoria referitoare la oboseală. S-au prezentat modalitățile de calcul a factorului de intensitate a tensiunii și a integralei J (care indică viteza de eliberare a energiei la extensia fisurii);

- S-a determinat, folosind programul Solid Words/COSMOS-M, coeficientul de degradare a structurii;

- S-a determinat, folosind programul Solid Words/COSMOS-M, factorul de intensitate a tensiunii K și integrala J- viteza de eliberare a energiei în diverse cazuri de fisurare;

- Verificarea corectitudinii metodologiei abordate pentru analiza fenomenului de apariție și propagare a fisurilor prin două programe Solid Words/COSMOS-M și Ansys;

- S-au verificat rezultatele modelărilor numerice prin experiment. Concluzia rezultată este că modelările numerice au fost riguros desfășurate oferind rezultate credibile;

- Metodologiile prezentate pot fi utilizate pentru predicția evoluției fisurării la picioarele structurii off-shore în timpul funcționării.

Experimentele au avut drept scop validarea rezultatelor numerice, iar în urma comparațiilor rezultatelor obținute se constată că abaterile se încadrează în limitele admisibile.

Din analiza valorilor obținute numeric și experimental se poate concluziona că metodologiile alese pentru modelarea numerică este corectă și poate fi folosită în continuare pentru calculele de deformații și tensiuni.

Direcții viitoare de cercetare:

1. Studii numerice și experimentale referitoare la pierderea stabilității elastice a picioarelor platformelor de foraj marin. În acest sens au fost începute modelări și experimentale pentru studiul pierderii stabilității așa după cum se poate vedea în Anexa 2. Aceste studii nu au făcut obiectul prezentei lucrării.

2. Studii asupra posibilității de mărire lungimii picioarelor pentru executarea de foraje în ape mai adânci de 90 m.

3. Studii și modelări experimentale referitoare la colapsul unui picior.

Lucrarea realizată este structurată din șase capitole, cuprinzând 252 pagini în extenso, din care 179 pagini lucrare scrisă. Lucrarea se încheie cu o listă de 130 de titluri bibliografice consultate și folosite pentru elaborarea tezei. De asemenea, sunt atașate și două anexe în care sunt prezentate rezultate în urma diverselor analize. Teza conține un număr de 161 de figuri, 38 de tabele și 145 de ecuații.

Pe decursul a celor trei ani de cercetare științifică în cadrul tezei: „Contribuții privind influența solicitărilor variabile cauzate de valuri asupra structurilor off-shore” am realizat un număr de 17 articole publicate, din care 12 lucrări publicate în reviste indexate ISI și BDI precum și o listă de 5 lucrări comunicate la simpozioane, conferințe naționale și internaționale, cercetare desfășurată în cadrul proiectului POSDRU 61445 id 88/1.5/S denumit EFFICIENT.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

SURSE INTERNET

- [1]. ***http://ro.wikipedia.org/wiki/Industria_petrolului_in_Romania.
- [2]. ***<http://ro.wikipedia.org/wiki/Petrol>.
- [3]. ***http://ro.wikipedia.org/wiki/Oceanul_Planetar.
- [4]. *** http://ro.wikipedia.org/wiki/Platforma_marina.
- [5]. ***<http://Paimei02.Blogspot.Com/2009/10/Peak-Oil-Punctul-Maxim-Al-ProductieiDe.Html>
- [6]. ***<http://Businessday.Ro/Wp-Content/Uploads/2011/03/Oil.Jpg>.
- [7]. ***http://Www.Scoaladinoltenita.Net/Site_Petrolul_2011/Petrolulperspectivageografica.Html
- [8]. ***<http://Www.Scribd.Com/Doc/7842230/Companiile-De-Petrol-Multi-Nation>.
- [9]. ***ANSYS (2009), Structural Analysis User Guide, //Www.Ansys.Com, Accesed: 20/05/2010.
- [10].*** Documentație tehnică sistem Aramis GOM.

REGISTRE

- [11]. American Bureau of Shipping (ABS), Guide for - Spectral-based fatigue analysis for floating production, storage and offloading (FPSO) installations, Section 7, Structural Modeling Analysis, 2010.
- [12].Bureau Veritas, Cyclic fatigue of nodes and welded joints of offshore units, No-199/1987.
- [13].Bureau Veritas, Classification and certification of offshore LNG terminals, November, 2005.
- [14].Bureau Veritas, Spectral fatigue analysis methodology for ships and offshore units, July, 2008.
- [15].Germanischer Lloyd, Rules for classification and construction, Edition 2012.
- [16].Registrul Naval Roman, Reguli pentru clasificarea și construcția platformelor de forare marină, 1983.

A

- [17].Abrate Serge, Impact on composite structures, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1998.
- [18].Aage, C., Wind loads on ships and offshore structures determined by model tests, CFD And Full- Scale Measurements, Proceedings Of The "Workshop on deep water mooring and related topics in offshore engineering", ITTC Specialist Committee Meeting, Galați, Romania, October 1998.
- [19].Alămureanu E., Buzdugan Gh.,Iliescu N.,Mincă I.,Sandu M.-Îndrumar de calcul în ingineria mecanică, Editura Tehnică, București, 1996.
- [20].Andreas Ioannou, Rezistența longitudinală ultimă a vrachierelor corodate și avariate, Teză de Doctorat,Universitatea "Dunărea de Jos" Galați, 2010.

B

- [21]. Ben C. Gerwick, Jr. Chairman, Construction of marine and offshore structures, Edited By M.D. Morris, P.E.2000 By CRC Press LLC.
- [22].Begley J.A., Landes J.D., "The J-Integral as a fracture criterion", in ASTM STP 514, 1-20, Philadelphia, ASTM, 1972.
- [23]. Bia C., Ille V., Soare M. V., Rezistența materialelor și teoria elasticității, Ed. Did. și Pedagogică București, 1983.
- [24].Bo, C.H., Analytic evaluation of the second order loads upon a tension leg platform column, Institut Français du Pétrole, Division Exploitation en Mer, Reference IFP No. 38739, February 1991.
- [25].Brazdiș S., Modiga M., Concentrări de tensiuni în îmbinările tubulare ale picioarelor platformelor de foraj marin, SECOMAR 1999, Sesiune de comunicări științifice a cadrelor didactice, Academia Navală Mircea cel Batrân, Constanța, 1999.
- [26].Brazdiș S., Contribuții la modelarea matematică a comportării structurii de rezistență a platformelor de foraj marin, Teza de Doctorat,Universitatea "Dunărea de Jos" Galați, 2002.
- [27].Brazdiș S., Modiga M., Anghel L., Model pentru analiza concentrărilor de tensiune în îmbinările tubulare multiplanare, specific structurilor offshore, Brăila, Iunie, 2002.
- [28].Brebba, C.A., Walker, S., Dynamic analysis of offshore structures, Butterworth & Co. Ltd., London, 1979.
- [29].Burdekin F.M., Stone D.F.W., "The crack opening displacement approach to fracture mechanics in yielding materials", J. Strain Analysis, 1: 145-153, 1966.
- [30].Buzdugan, Gh., Vibratii mecanice, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1982.
- [31].Buzdugan Gh., Rezistența materialelor, Editura Academiei Române, București, 1986.

Contribuții privind influența solicitărilor variabile cauzate de valuri asupra structurilor off-shore

C

- [32].Chakrabarti, S.K., Naftzger, R.A., Wave interaction with a submerged open - bottom structure, Paper OTC 2534, Offshore Technology Conference, Houston, Texas, 1976.
- [33].Chakrabarti, S.K., Hydrodynamics of offshore structures, computational mechanics publications, Southampton Boston, Springer-Verlag Berlin, 1987.
- [34].Chateau, G.M., Oil and gas production facilities for very deep water, Proceedings of the 3rd International Conference Boss, MIT, Cambridge, August 1982.
- [35].Constantinescu I.N., Dănet G.V., Metode noi pentru calcule de rezistență, Ed. Tehnică, București, 1989.
- [36].Constantinescu M., Introducere în forajul și exploatarea sondelor marine, Ed. Tehnică, București, 1975.
- [37].Cruclu, L. Contribuții teoretice și experimentale privind hidrodinamica sistemelor plutitoare ancorate de exploatare petrolieră marină, Teză Doctorat Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați Facultatea De Nave, Iulie 2008.
- [38].Curtu I., Crișan R., Rezistența materialelor și Teoria Elasticității, Univ. "Transilvania" din Brașov, 1997.

D

- [39].Dima C., (2011). Study of safety fatigue of railway steel bridge structures according, SR 1911-98 And SR EN 1993-2, Phd Thesis, Bucharest.
- [40].Domnișoru L., Modelarea fenomenelor de springing și whipping. Hidroelasticitatea navei, Ed. Evrika, Brăila, 1997.
- [41]. Domnișoru L., Metoda elementului finit în construcții navale, Editura Tehnică, București, 2001.
- [42].Domnișoru L., Dinamica Navei. Oscilații și vibrații ale corpului navei, Ed. Tehnică, București, 2001.
- [43].Domnișoru L., Găvan E., Popovici O., Analiza structurilor navale prin metoda elementului finit, Editura Didactica Și Pedagogică , București, 2006.
- [44].Dumitru I., Faur N., Elemente de calcul și aplicații în rezistența materialelor, Ed. Politehnică. Timișoara, 1999.

E

- [45]. Elchahal G., Younes R., Lafon P., Wave interaction with fixed and floating vertical breakwater based on analytical modelling, European Fluids Engineering Division Summer Meeting, 2006.

F

- [46].Fisher, T.W.: Fissures de fatigue dans ies ponts. in: Constructions Metallique, Franța, Nr.4, 1982.
- [47].Foschi R, Isaacson M, Allyn N, Yee S. Combined wave-iceberg loading on offshore structures, Canadian Journal of Civil Engineering 1996;23(5):1099-110.
- [48].Furnes, O., Straube, P., Recent Developments in offshore platform technology, Third International Congress on Marine Technology, IMAEM, Athens, 1984.

G

- [49].Gardiner C.P., R.E. Melchers, Marine Structures 16 (2003) 547-566 Australia.
- [50].Garrison, C.J., Dynamic response of floating bodies, Offshore Technology Conference, Paper OTC 2067, Houston, Texas, 1974.
- [51].Garrison, C.J., Hydrodynamic loading of large offshore structures: Three - dimensional source distribution methods, numerical methods in offshore engineering, Cap. 3, John Wiley & Sons, 1978.
- [52].Gârbea D., Analiză cu elemente finite, Editura Tehnica, București, 1990.
- [53].Gerwick B.C.: Construction of offshore structures, John Wiley & Sons, New York 1986.
- [54].Goanță V., Palihovici V., "Calculation of J-integral by the analysis of finite elements", Buletinul Institutului Politehnic Iași, Tomul XLV(IL), Fasc. 1-2, 1999, Pg. 241-248.
- [55].Goanță V., Mecanica ruperii, Iasi ,2006.
- [56].Graff W.J. : Introduction to offshore structures. Gulf Publishing Company, Houston 1981.
- [57].Griffith A.A., Taylor G.I., The use of soap films in solving torsion problems, Proc. Inst. Mech. Eng., 755-809, 1917.
- [58].Griffith A.A., The phenomena of rupture and flow in solids, Phil. Trans. Roy. Soc. London, A, 221: 163-198, 1920.
- [59].Guedes Soares C.,*, Y. Garbatov , A. zayed corrosion wastage model for ship crude oil tanks, Wang Corrosion Science 50 (2008) 3095-3106.

H

- [60].d'Hautefeuille, B.B., De Boom, W., Pescio, L., Design tools for the engineering of mooring systems, Marin Jubilee Meeting, Wageningen, 11-15 May 1992.

Contribuții privind influența solicitărilor variabile cauzate de valuri asupra structurilor off-shore

- [61].Hohne, K.I.: Proprietățile tablelor brute în direcția grosimii și însemnătatea lor pentru construcții de oțel sudate, Stahlbau, Germania, Nr.3, 1976.
- [62].Hogben, N., Standing, R.G., Wave Forces On Large Bodies, Symposium On The Dynamics Of Marine Vehicles And Structures In Waves, Institution Of Mechanical Engineers, Pp. 258 – 277, London, 1975.

I

- [63].Isaacson, M., Wave effects on structures – an overview, Oceanic Engineering International, Vol. 5, No. 2, Pp. 61-66, 2001.

J

- [64].Jang Jing-Jong, Guo Jyh-Shinn, Analysis Of Maximum Wind Forces For Offshore Structure Design, Journal Of Marine Science And Technology, Vol. 7, No. 1, Pp. 43-51, 1999.

K

- [65].Kinoshita, T., Bao, W., Sunahara, S., The Hydrodynamic Forces Acting On A Cylinder Array Oscillating In Waves And Current, Journal Of Marine Science And Technology, SNAJ, 1997.
- [66].Kokkinowrachos, K., Handbuch der werften, offshore - Bauwerke, Hydromechanik, (in limba germana), Schifffahrts-Verlag, HANSA, C. Schroedter & Co., Hamburg 11, 1980.

L

- [67].Lehăceanu Gh., Crudu L., Probleme de inginerie offshore cu aplicatii în zona litoralului românesc al Mării Negre, Colocviul de mecanica fluidelor si aplicatiile ei tehnice, Iasi, 13-14 Octombrie 1989.

M

- [68].Matulea, I., Rusu, E., Crudu, L., Obreja, D.C., Sea state determined using data measurements of wave by satellite, Analele Universității „Dunărea de Jos” din Galați, fascicula XIV, Galați, 1998.
- [69].Mariș S., Brăescu L., Metode numerice. Probleme de seminar și lucrări de laborator, Universitatea de Vest din Timisoara, Facultatea de Matematică și Informatică, Timișoara 2007.
- [70].Marin C., Hadăr A., Popa I.F., Albu L., “Modelarea cu elemente finite a structurilor mecanice”, Aditura Academiei Romane Agir, Bucuresti, 2002.
- [71].Melchers R.E., Probabilistic models for corrosion in structural reliability assessment – Part 2: Models based on mechanics, Journal of offshore mechanics and arctic engineering (2003) 272–280.
- [72].Melchers R.E. Corrosion uncertainty modelling for steel structures. 1999;52(1):3–20.
- [73].Melchers R.E., Factors influencing the immersion corrosion of steels in marine waters. Proceedings of the 14th international corrosion congress, Cape Town, South Africa. September 1999. Paper 98.
- [74].Melchers R.E., R.J. Jeffrey, Probabilistic models for steel corrosion loss and pitting of marine infrastructure, Centre for infrastructure performance and reliability, The University of Newcastle, 2308, Australia reliability engineering and system safety 93 (2008) 423–432.
- [75].Mendes AC, Kolodziej JA, Correia HJD. Numerical modeling of wave-current loading on offshore structures, In: International conference on fluid structure interaction II; 2003. P. 85–96. Cadiz, Spain.
- [76].Miner, M., 1945. Cumulative damage in fatigue. Journal of applied mechanics 3, Pp. 159-163.
- [77].Mocanu, D.R, Others: Experimental Stress Analysis, ED. TEHNICA, Bucuresti , 1977.
- [78].Mocanu D.R., Rezistența materialelor, Editura Tehnica, Bucuresti, 1980.
- [79].Mocanu C.I., Gavrilesco I., Rezistentă materialelor, Editura Fundatiei Universitare „Dunărea de Jos “, Galați, 1999.
- [80].Mocanu C.I., Rezistența materialelor, Ed. Zigotto, Galați, 2006.
- [81].Morison, J. R. O'Brien, M. P.; Johnson, J. W.; Schaaf, S. A. (1950), "The force exerted by surface waves on piles", **189**: 149–154.
- [82].Moreira P.M.G.P., P.F.P. de Matos, P.P. Camanho, Stefan D. Pastramă, P.M.S.T. de Castro, „Stress intensity factor and load transfer analysis of a cracked riveted lap joint”, Materials and Design 28, pp. 1263–1270, 2007.

N

- [83].Năstăsescu , V., Metoda Elementului Finit, Editura Militară, București, 1995.
- [84].Nielsen, J.K., Dynamic positioning in the model basin, second international symposium on ocean engineering and ship handling, SSPA, Sweden, 1983.

P

- [85].Palaghian L., Siguranța, durabilitate și fiabilitate la oboseală, Ed. Tehnică, București, 2007.
- [86].Pascariu I., Elemente Finite.Concepte – Aplicații, Editura Militară, București, 1985.

- [87]. Paulling, J.R., Hydrodynamic synthesis of marine structures, Theoretical And Applied Mechanics, IUTAM, Elsevier Science Publishers B.V., 1985.
- [88]. Păcuraru S., C.I. Mocanu, Experimental and numerical results concerning the effect of corrosion on beam members, FASCICLE XI – SHIPBUILDING. ISSN 1221-4620 2005-2006.
- [89]. Pitulice D., Dinamica Construcțiilor Marine, Partea A II-A: Raspunsul Platformelor Fixe La Solicitarile Mediului Marin, Editura EVRIKA Brăila, 1992-1998, 30940.
- [90]. Pitulice D., “Studiul comportării în valuri a platformelor fixe în staționare și deplasare”, Teză de doctorat, Universitatea “ Dunărea de Jos “ din Galați, 1998.
- [91]. Pitulice D., Hidrodinamica Navelor Și Structurilor Marine, Universitatea “ Dunărea De Jos “ Din Galați, 1999.
- [92]. Popescu M., Simbotin A., Hydrodynamic Loads On Offshore Platform Structures, București, România, Volume 1, Number 3,4, April 2002, M. Popescu And A. Simbotin / Ovidius University Annals Of Constructions 3, 4, 433-438 (2002).

R

- [93]. Rades M. – “Methods For Identification Of Dynamic Mechanical Systems”, Engineering Publisher, Bucharest, 1992.
- [94]. Radeș M., Rezistența Materialelor II, Ed. Printech, 2007.
- [95]. Rahman M., Heaps S., Wave forces on offshore structures: Nonlinear wave diffraction by large cylinders, Canada, 1983.
- [96]. Robert E. Melchers, The Effect Of Corrosion On The Structural Reliability Of Steel Offshore Structures, 2300, Australia Corrosion Science 47 (2005) 2391–2410.
- [97]. Rusu O., Teodorescu M., Oboseala metalelor, Vol. I Și II, Editura Tehnică, București, 1992.

S

- [98]. Sappkaya, T., Isaacson, M., Mechanics of waves forces on offshore structures, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1981.
- [99]. Schumacher M, Editor. Seawater Corrosion Handbook. NJ: Noyes Data Corporation, 1979.
- [100]. Sima, M., Năstăsescu V., Contribuții privind calculul și simularea ruperii materialelor cu aplicații la unele structuri din plăci., Teză Doctorat Academia Tehnică Militară, București, 2007.

T

- [101]. Talug, A., Reifsnider, K.,L.- Analysis of stress fields in composite laminates with interior crack, VPI-E-78-23, - College of Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blackburg, 1978;
- [102]. Tickell, R.G., Holmes, P., Approaches to fluid loading, probabilistic and deterministic analyses, numerical methods in offshore engineering, Cap. 2, John Wiley & Sons, 1978.

LISTA LUCRĂRILOR PUBLICATE

ARTICOLE PUBLICATE ISI PROCEEDINGS și BDI

- [103]. **Dobrot O.M.**, Mocanu C. I., Influence of corrosion on the fatigue resistance of steel structures, International Scientific Workshop for Students, Constanța Maritime University, ISSN 2068-8652, pag.113-121, 2010.
- [104]. **Dobrot O.M.**, Mocanu C. I., "Numerical and experimental stress study on resonance in an offshore platform leg ", The Annals of “Dunărea de Jos” University of Galați, Fascicle XI - SHIPBUILDING, Years XXVIII, ISSN 1221-4620, pag. 159 – 166, 2010.
- [105]. **Dobrot O.M.**, Mocanu C. I., "Study of the destruction influence of elements from offshore platform leg on stress and vibration modes", Analele Universității Maritime din Constanța, Anul XI, Volumul 14, ISSN 1582-3601, pag. 25 – 30, 2010.
- [106]. **Dobrot O.M.**, Mocanu C. I., “Influence of corrosion on the state of stress wich appear in the legs of a offshore structure” , The Annals Of “ Dunărea de Jos” University of Galați, Fascicle IX, Metallurgy and Materials Science, Years XXIX (XXXIV) , Special ISSUE, ISSN 1443-083X, pag. 222 – 229, May 2011.
- [107]. **Dobrot O.M.**, Jagăte G., Mocanu C. I., “The influence of damage in some elements in the legs structure upon general stress” The Annals of “Dunărea de Jos” University of Galați Fascicle XI– Shipbuilding. ISSN 1221-4620, pag 87- 92, 2011.
- [108]. **Dobrot O.M.**, Mocanu C. I., “Experimental modeling and evaluating of the stress state in the offshore structure legs”, The Annals Of “ Dunărea De Jos” University Of Galati, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, FASCICLE II, YEAR III (XXXIV) The First Phd Student Symposium 7th-8th December 2011.

- [109]. **Dobrot O.M.**, Mocanu C. I., Study of the stress state around a crack in welding link between tubular beams, Modern Technologies, Quality and Innovation - New Face of TMCR, 2012, Sinaia, Romania, ISSN 2069-6736.
- [110]. **Dobrot O.M.**, Tocu F., Mocanu C. I., The influence of the variation of the incidence wave angle of an offshore structure legs, 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference & EXPO SGEM, 2012, Albena, Bulgaria, Volume III, ISSN 1314-2704, pp. 253-260, ISI proceedings.
- [111]. Mocanu C. I., Tocu F., **Dobrot O.M.**, Teodor F., The impact behaviour of plane and curved composite material plates with or without reinforcements, 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference & EXPO SGEM, 2012, Albena, Bulgaria, Volume III, ISSN 1314-2704, pp. 245-252, ISI proceedings.
- [112]. Tocu F., **Dobrot O.M.**, Mocanu C. I., Determination of deformations in a structure element made of stratified composite materials in dynamic regimen, 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference & EXPO - SGEM 2012, Albena, Bulgaria, Volume III, ISSN 1314-2704, pp.87-94, ISI proceedings.
- [113]. **Dobrot O.M.**, Mocanu C. I., Study on the stress variation in the components of offshore rig legs in various collision situations, The Annals of "Dunărea de Jos" University Of Galați Fascicle V, Technologies in Machine Building, ISSN 1221- 4566, 2012.
- [158]. **Dobrot Oana –Mirela**, Mocanu Costel Iulian, "Variation of stress created by waves and maritime currents in a leg of offshore platform", "Vasile Alecsandri" University of Bacau, DOAJ directory of open acces journals, Journal of Engineering Studies and Research, ISSN 20687559, Volumul 17, pag. 22-29, 2011.

CONFERINȚE INTERNAȚIONALE ȘI NAȚIONALE

- [114]. **Dobrot O.M.**, Mocanu C. I., Influence of corrosion on the fatigue resistance of steel structures, Intemational Scientific Workshop for Students Constanța Maritime University 22 May 2010, conferință.
- [115]. **Dobrot O.M.**, Mocanu C. I., "Numerical and experimental stress study on resonance in an offshore platform leg ", GNA 2010 Galați, Naval Architecture, 17 Decembrie 2010, conferință.
- [116]. **Dobrot O.M.**, Mocanu C. I., "Study of the destruction influence of elements from offshore platform leg on stress and vibration modes", GNA 2010 Galați, Naval Architecture, 17 Decembrie 2010 ,conferință.
- [117]. **Dobrot O.M.**, Mocanu C. I., "Influence of corrosion on the state of stress which appear in the legs of an offshore structure", The International Conference of Young Researchers, 18-20 May 2011, Galați, 2011.
- [118]. **Dobrot O.M.**, Tocu F., Mocanu C. I., "Numerical and experimental method for 2500 TF. align press columns", "Vasile Alecsandri" University of Bacău, The 9th International Conference OPROTEH 2011, May 24-26, Bacău 2011.
- [119]. **Dobrot O.M.**, Mocanu C. I., " Variation of stress created by waves and maritime currents in a leg of offshore platform", " Vasile Alecsandri" University of Bacau, The 9th International Conference OPROTEH 2011, May 24-26, Bacau, 2011.
- [120]. Tocu F., **Dobrot O.M.**, Lefter S.V., Mocanu C. I., Comparative study to improve the mechanical characteristics of strength on structure made of fibbers reinforced glass to the static and dynamic loads, DANUBIA – ADRIA – SYMPOSIUM on Advances in Experimental Mechanics, 28 September-01 October, 2011, Siofok, Hungary, conferință.
- [121]. Dragomir S., Măcuță S., **Dobrot O.M.**, "Functional parameters and vibration measurements, performed on a strip tandem mill cold", DANUBIA – ADRIA – SYMPOSIUM on Advances in Experimental Mechanics, 28 September-01 October, 2011, Siofok, Hungary, conferință.
- [122]. Tocu F., **Dobrot O.M.**, Mocanu C. I., " Influence of noise on the working environment on board ships" B.E.N.A, International Environmental Conference "Environmental Capacity Building" 11-13 November 2011, Bucharest, Romania, conferință.
- [123]. **Dobrot O.M.**, Mocanu C. I., "Experimental modeling and evaluating of the stress state in the offshore structure legs", The Annals of " Dunărea de Jos" University of Galați, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, The First PhD Student Symposium 7th-8th December 2011, conferință.
- [124]. **Dobrot O.M.**, Jagâte G., Mocanu C. I., "The influence of damage in some elements in the legs structure upon general stress" GNA 2011 Galați, Naval Arhitecture.
- [125]. **Dobrot O.M.**, Mocanu C. I., „Study of the stress state around a crack in welding link between tubular beams”, Modern Technologies, Quality and Innovation - New Face of TMCR , 2012, Sinaia, Romania.