

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

*Contribuții la creșterea siguranței în exploatarea navelor
portcontainer în cazul accidentelor navale provocate de
explozii și eșuare*

*Safety increase contributions in containership's operation
in case of explosion and grounding maritime accidents*

Autor: *Cristian Ancuța*

Conducător de doctorat: *Prof. univ. dr. ing. Paul BOCĂNETE*

CONSTANȚA
2018

Cuprins

- numerotarea paginilor și capitolelor este identică cu cea din teza de doctorat -

LISTA ABREVIERI	6
INTRODUCERE	
1. ASPECTE ACTUALE PRIVIND EVOLUȚIA TRANSPORTULUI MARITIM ȘI IMPORTANȚA TRANSPORTULUI MARITIM CONTAINERIZAT	7
2. ACCIDENTELE NAVELOR PORTCONTAINER ȘI NECESITATEA EVALUĂRII SIGURANȚEI EXPLOATĂRII ACESTORA.....	9
CAPITOLUL 1. STADIUL CUNOAȘTERII ÎN DOMENIUL SIGURANȚEI NAVELOR PORTCONTAINER	
1.1 ASPECTE DE PROIECTARE ȘI CONSTRUIRE A NAVELOR PORTCONTAINER	13
1.2 ASPECTE DE EXPLOATARE SPECIFICE NAVELOR PORTCONTAINER	16
1.3 STADIUL ACTUAL AL EVALUĂRII REZISTENȚEI STRUCTURALE LA NAVE PORTCONTAINER.....	19
1.3.1 Evaluarea rezistenței structurale în stadiul de proiect și construcție	19
1.3.2 Evaluarea rezistenței structurale în exploatare	20
1.3.3 Ultimele proceduri de evaluare a rezistenței structurale în investigațiile accidentelor	20
1.3.4 Evaluarea rezistenței structurale prin MEF pentru structurile navelor cu dublu fund	20
1.4 EVALUAREA FACTORILOR CARE AFECTEAZĂ REZISTENȚA STRUCTURALĂ A NAVEI PORTCONTAINER	21
1.4.1 Greșelile de proiectare sau construcție a instalațiilor navei portcontainer	22
1.4.2 Greșeli de proiectare sau construcție a navei portcontainer	22
1.4.3 Defecțiunea instalației de guvernare sau propulsie a navei portcontainer.....	23
1.4.4 Modul defectuos de încărcare a mărfurilor la bordul navei portcontainer	23
1.5 FENOMENE ASOCIATE EȘUĂRII NAVELOR PORTCONTAINER	24
1.5.1 Abordări actuale în stabilirea criteriilor de deformabilitate în caz de accident naval	24
1.5.2 Generalități privind accidentele navale soldate cu eșuarea navei.....	27
1.5.3 Aspecte privind dinamica eșuării navei	28
1.5.4 Consecințele eșuării și avariile suferite de structura navei	29
1.5.5 Teorii de rezistență aplicabile în studiul mecanicii eșuării navei	32
1.5.6 Studiul fisurilor din corpul navei portcontainer – mecanica ruperii.....	34
1.5.7 Studiul fisurilor din corpul navei portcontainer – concentratori de tensiuni	38
1.6 ASPECTE TEHNICE PRIVIND EVOLUȚIA ȘI CONSECINȚELE EXPLOZIILOR ȘI INCENDIILOR LA BORDUL NAVELOR PORTCONTAINER	39
1.6.1 Noțiuni privind parametrii ce caracterizează fenomenele de ardere.....	39
1.6.2 Stadiul actual al cercetărilor în domeniul evaluării rezistenței structurilor metalice la creșterea temperaturii.....	43

1.7 STADIUL MĂSURILOR PENTRU PREVENIREA ȘI LUPTA ÎMPOTRIVA EXPLOZIILOR ȘI INCENDIILOR LA BORDUL NAVELOR PORTCONTAINER.....	46
1.7.1 Cerințe tehnice prevăzute de legislația maritimă referitoare la prevenirea incendiilor și exploziilor la bordul navelor portcontainer	46
1.7.2 Stadiul actual al dezvoltării sistemelor de stingere a incendiilor la bordul navelor portcontainer.....	52
CAPITOLUL 2 DESCRIEREA CERCETĂRILOR EFECTUATE ÎN SCOPUL EVALUĂRII RISCURILOR ASOCIATE EXPLOATĂRII NAVELOR PORTCONTAINER	
2.1 STUDIUL OSCILAȚIILOR NAVELOR PORTCONTAINER ÎN CONDIȚII EXTREME	57
2.1.1 Evoluția stabilității navei portcontainer pe valuri.....	59
2.1.2 Formarea ruliului parametric	60
2.1.3 Abordări matematice ale mișcării oscilatorii ale navei în cazul ruliului parametric	62
2.1.4 Evaluarea pierderii totale a stabilității navei în condiții de valuri longitudinale ...	65
2.1.5 Plutirea pe creasta valului și căderea navei între valuri de urmărire	68
2.2 ANALIZĂ PRIVIND COMPORTAMENTUL CORPULUI NAVEI ÎN CAZ DE ESUARE.....	71
2.2.1 Abordări actuale ale riscului de eșuare al navelor maritime.....	71
2.2.2 Modele de eșuare ale navei portcontainer.....	75
2.2.3 Eșuarea pe fund moale a navei portcontainer	77
2.2.4 Eșuarea pe stâncă a navei portcontainer	78
2.3 ANALIZA FACTORILOR DE RISC ASOCIAȚI EXPLOZIILOR LA BORDUL NAVELOR PORTCONTAINER.....	81
2.3.1 Analiza factorilor de risc întâlniți în cazul incendiilor de la bordul navelor portcontainer	81
2.3.2 Analiza factorilor de risc întâlniți în cazul exploziilor de la bordul navelor portcontainer	83
CAPITOLUL 3 CONTRIBUȚII PROPRII LA ELABORAREA UNOR METODE DE EVALUARE A SIGURANȚEI NAVEI PORTCONTAINER ÎN SITUAȚII CRITICE	
3.1 ANALIZA COMPORTAMENTULUI NAVEI PORTCONTAINER ÎN SITUAȚII CRITICE PRIN UTILIZAREA PROGRAMULUI OCTOPUS	89
3.2 UTILIZAREA METODEI ELEMENTULUI FINIT ÎN EVALUAREA REZISTENȚEI STRUCTURALE A NAVEI PORTCONTAINER ÎN CAZ DE ESUARE.....	103
3.2.1 Studiul deformărilor tablelor de fund ale navei ca urmare a eșuării.....	103
3.2.2 Studiul prin metoda elementelor finite a fenomenului de eșuare a unei nave portcontainer	105
3.2.3 Studiul dezvoltării fisurilor apărute ca urmare a eșuării navei portcontainer prin metoda elementelor finite	117
3.3 STUDIU COMPARATIV PRIVIND EVALUAREA REZISTENȚEI CONTAINERULUI MARITIM LA CRESTEREA TEMPERATURII ÎN CAZ DE EXPLOZIE SAU INCENDIU LA BORD	123

3.3.1 Rezultatele testelor privind influența creșterii temperaturii în caz de incendiu asupra rezistenței containerului maritim stivuit pe punte.....	123
3.3.2 Studiu de evaluare a rezistenței containerului maritim la creșterea temperaturii prin MEF folosind programul ABAQUS	125
4 MĂSURI PROPUSE PENTRU CREȘTEREA SIGURANȚEI ÎN EXPLOATARE A NAVEI PORTCONTAINER	
4.1 PROPUNERI DE MĂSURI PENTRU EVITAREA EȘUĂRII NAVEI PORTCONTAINER.....	129
4.2 PROPUNERI DE MĂSURI PENTRU CONTROL A RISCULUI ÎN TRANSPORTUL MĂRFURILOR PERICULOASE LA BORDUL NAVEI PORTCONTAINER.....	130
4.3 MĂSURI SPECIALE PENTRU EVITAREA INCENDIILOR SAU EXPLOZIILOR ÎN CAZUL ANUMITOR MĂRFURI PERICULOASE	132
4.4 MĂSURI SUPLIMENTARE ȘI SOLUȚII TEHNICE CE POT CONTRIBUI LA CREȘTEREA SIGURANȚEI LA BORDUL NAVEI PORTCONTAINER ÎN CAZ DE INCENDIU SAU EXPLOZIE.....	135
CONCLUZII.....	138
BIBLIOGRAFIE	143
LISTA FIGURI	147
ANEXE.....	150

INTRODUCERE

1. ASPECTE ACTUALE PRIVIND EVOLUȚIA TRANSPORTULUI MARITIM ȘI IMPORTANȚA TRANSPORTULUI MARITIM CONTAINERIZAT

Dezvoltarea economiei mondiale s-a bazat în toată istoria ei pe transportul de mărfuri, transportul maritim reprezentând veriga cea mai importantă, atât prin modul în care a reușit să conecteze toate regiunile îndepărtate ale lumii, cât și prin creșterea continuă a capacității și a diversității de mărfuri transportate.

Așa cum reiese din ultimul raport anual al UNCTAD¹, totalul mărfurilor transportate pe mare în anul 2016 a atins nivelul de 10,3 miliarde de tone. Capacitatea totală a flotei mondiale a fost estimată la data de 1 ianuarie 2016 la nivelul de 1,8 miliarde tdw, cu o rată constantă de creștere anuală, cea mai mare fiind pentru navele de transport gaze, de 9,7 %, urmată de navele portcontainer cu o creștere de 7 %.[1]

Actualitatea temei abordate în teză este dată de analiza prin prisma siguranței, a exploatarei navelor portcontainer, transportul maritim containerizat navând o tradiție la fel de îndelungată, în comparație cu celelalte ramuri ale transportului maritim.

În cifre, containerizarea înseamnă, spre exemplu, 1,72 miliarde tone mărfuri transportate pe nave portcontainer în anul 2016, continuând un trend care a început spectaculos în anii 2000, iar în ceea ce privește capacitatea de transport a acestui tip de nave, după un maxim istoric de 1,68 milioane TEU pentru navele livrate în anul 2015, aceasta a ajuns totuși la 904 mii de TEU în anul 2016, conform statisticilor de specialitate. [1][3]

O caracteristică importantă pentru ultimii ani o reprezintă creșterea capacității individuale de încărcare a navelor portcontainer, măsurată prin economia de scară a navelor, mărimea medie a navelor portcontainer în registrul de comenzi al șantierelor în anul 2016 fiind de 8.508 TEU, dublu față de mărimea medie a navelor existente pe piață.

2. ACCIDENTELE NAVELOR PORTCONTAINER ȘI NECESITATEA EVALUĂRII SIGURANȚEI EXPLOATĂRII ACESTORA

Motivarea alegerii temei pentru teză constă în necesitatea cunoașterii aspectelor care afectează siguranța în exploatarea navelor portcontainer și cercetării efectelor pe care implementarea unor măsuri le pot avea, în conservarea rezistenței structurale a navei portcontainer.

Numărul de accidente are o relație directă cu gradul de siguranță al transportului maritim, iar raportul anual al EMSA² arată pentru anul 2016 un număr de 1484 nave implicate în accidente grave sau incidente maritime din care, 33% au fost nave de transport mărfuri generale, 17% nave de tip portcontainer și 16% nave tip vrachier, pentru a enumera primele locuri dintr-un clasament generic.[6]

Diverse rapoarte ale unor companii de asigurări de renume din domeniul maritim, confirmă că în perioada 2011-2015, navele portcontainer au avut cea mai ridicată frecvență și cea mai mare valoare a despăgubirilor pentru asigurări H&M, ca urmare a unor accidente de navigație (în acestea fiind incluse coliziunea și eșuarea), devansând navele de tip tanc sau specializate în transportul mărfurilor vrac.

Scopul tezei este de evaluare a unor riscuri specifice asociate navelor portcontainer și de găsire a unor soluții pe care să se bazeze măsurile specifice ce pot fi luate în vederea creșterii siguranței exploatarei navelor portcontainer.

¹ UNCTAD – United Nation Conference of Trade And Development, Review of Maritime Transport, 2016

² EMSA – European Maritime Safety Agency

Obiectivele tezei sunt:

- să evidențieze aspectelor tehnice, abordările teoretice și practice de actualitate pentru siguranța navelor portcontainer,
- să identifice factori care pot conduce la pierderea capacității de exploatare a acestora, ca urmare a unor accidente provocate de explozii și eșuare,
- să elaboreze măsuri specifice ce pot fi luate în exploatarea navelor portcontainer, pentru evitarea unor anumite situații critice, având în vedere factorii de risc ce intervin în acest segment al transportului maritim.

Eșuarea navei portcontainer prezintă unele elemente specifice, evidențiate în prezenta lucrare, ce pot afecta rezistența structurală a navei, prin momente de încovoiere sau forțe tăietoare suplimentare dar și apariția fisurilor în tablele de fund accentuând astfel efectele oboselii sau solicitând peste limita acceptabilă anumite componente de structură, în cazul unor oscilații periculoase ale navei pe valuri, în caz de furtună.

Utilizând instrumente precum programul OCTOPUS sau metoda elementelor finite (MEF) vor fi analizate, potrivit scopului cercetării, aspecte privind:

- studiul oscilațiilor navei și modul de evitare al fenomenelor periculoase precum ruliu parametric, plutirea pe val sau căderea între valuri;
- studiul tensiunilor din structura de rezistență a navei în caz de eșuare utilizând suita de programe NX/Siemens;
- analiza modului de inițiere și dezvoltare al fisurilor în tablele de fund sau în zona de gurnă a navei portcontainer ca urmare a unei eșuări utilizând programul ABAQUS;

Un alt aspect abordat în lucrare este de identificare a posibilelor riscuri asociate incendiilor și exploziilor ce pot apărea la bordul navelor portcontainer și a măsurilor ce pot fi luate pentru eliminarea sau diminuarea acestor riscuri dar și măsuri care să conducă la atenuarea consecințelor pe care nava, echipajul sau încărcătura le suportă în cazul accidentelor navale care au ca și cauză incendiul sau explozia.

Deoarece sistemele de siguranță de la bordul navelor portcontainer nu au ținut pasul cu creșterea dimensiunii navelor și cu numărul de containere ce pot fi transportate, există din ce în ce mai multe îngrijorări în legătură cu capacitatea echipajului de a stinge un incendiu pe navă portcontainer.

Un număr din ce în ce mai mare de rânduri de containere fac din ce în ce mai dificilă sarcina de a limita efectele incendiului odată izbucnit, iar natura mărfurilor încărcate și existența oxigenului spațiul liber în containerele din magazia navei portcontainer scad eficiența sistemelor de stins incendiu cu CO₂.

În principal, măsurile asociate pericolului de incendiu sau explozie de la bordul navelor portcontainer se referă la:

- măsuri de prevenție,
- măsuri de îmbunătățire a procedurilor,
- măsuri de control al incendiului și limitare a daunelor.

În prezenta teză a fost evaluat impactul pe care, incendiul (generat sau nu de o explozie) la bordul unei nave portcontainer, prin prisma temperaturilor dezvoltate, o are asupra structurii de rezistență a containerului maritim, lucru ce poate influența rezistența întregii stive de containere de pe punte.

O evaluarea a rezistenței containerului sub influența temperaturii a fost simulată prin MEF, folosind programul Abaqus, în scopul confirmării cercetărilor referitoare la modul în care, accidentele maritime ale navelor portcontainer în care au loc explozii sau incendii, pot avea urmări catastrofale pentru navă și mediu și desprinderea unor concluzii ce pot sta la baza unor viitoare măsuri de combatere a acestor urmări.

CAPITOLUL 1. STADIUL CUNOAȘTERII ÎN DOMENIUL SIGURANȚEI NAVELOR PORTCONTAINER

1.1 ASPECTE DE PROIECTARE ȘI CONSTRUIRE A NAVELOR PORTCONTAINER

Dezvoltarea navelor portcontainer a fost caracterizată de la începuturi de eforturile pentru optimizarea numărului de containere ce poate fi transportate, eficiența încărcării și descărcării lor, precum și o neabătută tendință de creștere a dimensiunilor navelor, orice limită stabilită ca mărime maximă a navei portcontainer, fiind în scurt timp depășită.

Societățile de clasificare stabilesc din faza de proiect cerințele pe care trebuie să le îndeplinească nava din punct de vedere al rezistenței structurale pe toată perioada de exploatare, evaluarea acesteia luând în considerare, limitele de curgere și rupere pentru table sau întărituri sau grinda navă. [11]

În Fig. 1.1 se poate observa modul în care nava este supusă arcuirii de capete, ca rezultat al flotabilității excesive în zona mijlocului și lipsei acestei flotabilități în extremitățile prova și pupa, la trecerea navei peste creasta de val, caz în care momentul de încovoiere este în mod convențional pozitiv și cunoscut sub numele de *hogging* (sau negativ – *sagging* – atunci când extremitățile prova și pupa ale navei au o flotabilitate excesivă față de zona de mijloc a navei, la trecerea peste golul de val).

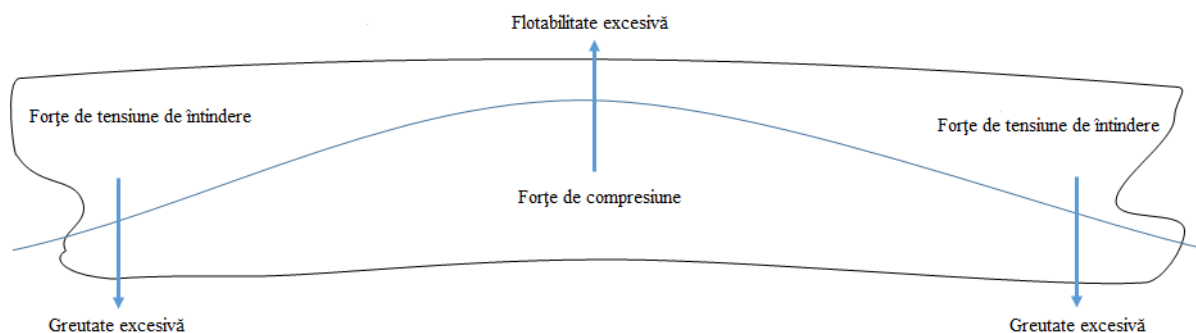


Fig. 1.1 – Arcuirea de capete a navei datorită valurilor

O greșeală de proiectare sau construire ce ignoră apariția unei concentrări de efort de acest tip, va conduce la fisuri (datorate uzurii) mai devreme sau mai târziu, un bun exemplu în acest sens fiind cazul navei portcontainer *MOL Comfort* (8000 TEU), care a suferit o fractură în zona de mijloc, în timp ce tranzita Oceanul Indian în data de 17 iunie 2013.

Pentru determinarea rezistenței structurale a navei au fost folosite cele mai recente proceduri de evaluare a rezistenței structurale și simulări numerice ale rezistenței grinzilor împreună cu studierea apariției fisurilor datorate uzurii.[12]

Este de menționat faptul că societățile de clasificare au introdus evaluarea rezistenței structurale a navei prin metoda elementelor finite, stabilind prin reguli precise, sarcinile la care este supusă nava în diverse scenarii de încărcare, pentru determinarea comportamentului structurii localizate în zona magaziiilor de marfă, zone adiacente compartimentului mașină sau pentru întreaga navă.

1.4 EVALUAREA FACTORILOR CARE AFECTEAZĂ REZISTENȚA STRUCTURALĂ A NAVEI PORTCONTAINER

Luând în considerare anumite aspecte de exploatare, analizate în teză și specifice navelor portcontainer, poate fi arătată o legătură de cauzalitate între factorii de risc cei mai întâlniți în exploatarea navei portcontainer și accidentele suferite de aceste nave, conform statisticilor.

Așa cum evidențiază și Fig. 1.4, unele dintre cele mai întâlnite situații de accident maritim au ca și consecință, afectarea în oarecare măsură a structurii navei.

Condițiile de producere a accidentelor împreună cu factorii de risc asociați trebuie analizați, prin prisma istoricului acestor accidente în vederea stabilirii unor eventuale tipare și elaborării de măsuri.

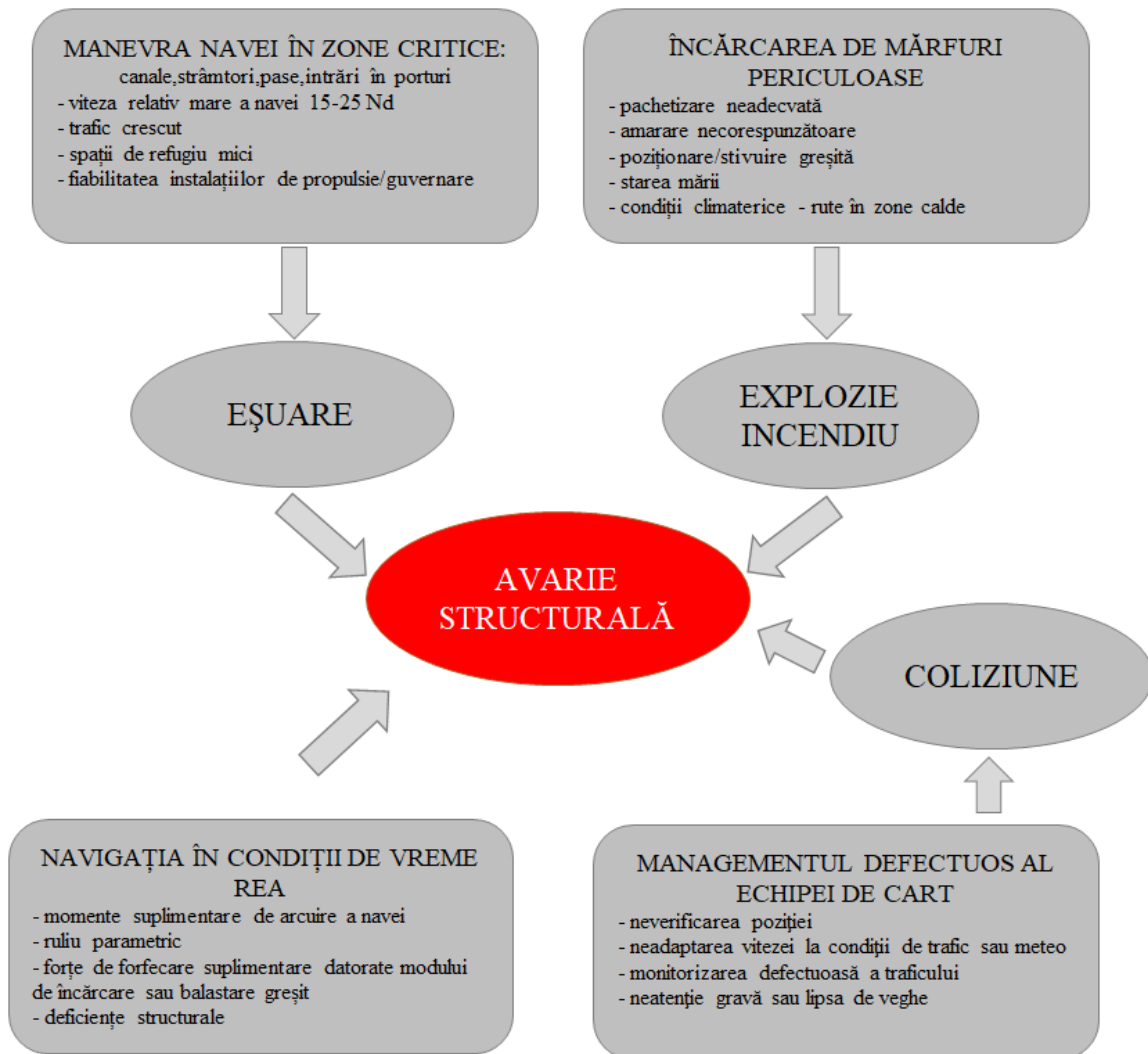


Fig. 1.4 – Situații de accidente în exploatare ce afectează structura navelor portcontainer

Pot fi evidențiați factori critici care trebuie analizați la rândul lor, prin prisma efectelor pe care le generează asupra integrității navei, dar și mărfii sau echipajului și care pot fi grupați după cum urmează:

- Greșelile de proiectare sau construcție a instalațiilor navei portcontainer
- Greșeli de proiectare sau construcție a navei portcontainer
- Defecțiunea instalației de guvernare sau propulsie a navei portcontainer
- Modul defectuos de încărcare a mărfurilor la bordul navei portcontainer

1.5 FENOMENE ASOCIATE EȘUĂRII NAVELOR PORTCONTAINER

1.5.3 Aspecte privind dinamica eșuării navei

Abordările actuale pleacă de la cele două modele de eșuare, definite în funcție de răspunsul navei și al elementelor structurale afectate:

- eșuarea prin împotmolirea sau așezarea navei pe fundul mării, când forțele induse de contactul cu fundul mării afectează structura prin componenta verticală,
- eșuarea prin interacțiunea cu fundul mării produsă cu viteză relativ mare, când forțele induse afectează structura navei în mod special prin componenta orizontală.

În funcție de tipologia fundului mării, nava poate urma un proces de alunecare (sliding) sau, atunci când există protuberanțe ale fundului, corpul navei poate fi deformat prin sfâșiere (raking). Elementul cheie în procesul de eșuare îl reprezintă energia de deformare și modul în care ea este disipată în structura navei. [24]

1.5.4.1 Ruperea tablelor de fund ale navei prin perforare

Comportamentul tablelor (plăcilor) după ruperea lor, ca urmare a perforării, a fost analizat de cercetători, atât în cazul studierii accidentelor de eșuare, cât și de coliziune (eșuarea poate fi considerată, în anumite cazuri, o coliziune a fundului navei cu solul).

În testele de laborator este evident că a fost idealizat obiectul perforant (sferic sau parabolic), dar s-a dovedit faptul că acuratețea rezultatelor a fost satisfăcătoare pentru simularea unor astfel de procese.[25]

Energia de deformație se disipează conform experimentului efectuat de Wang în anul 2000, iar formula derivată din comportamentul tablei supusă perforării cu un corp sferic a fost elaborată după cum urmează:

$$F = 1.5\sigma_0 t^{1.5} l^{0.5} n \sin^{0.5} \left(\frac{(n-2)\pi}{2n} \right) (\tan\theta + \mu) \quad (1.4)$$

Unde F reprezintă sarcina, σ_0 tensiunea de curgere, t grosimea plăcii, l lungimea fisurii, 2θ unghiul de deschidere sau apexul conului (rocii), μ coeficient de frecare și n numărul de fisuri.[26]

1.5.4.2 Tăierea tablelor de fund sau ruperea de la întărituri

Fenomenul de tăiere a tablelor de fund ia naștere în cazul eșuării urmate de sfâșierea bordajului de fund al navei, caz întâlnit în special la eșuarea navei pe stâncă sau recif.

Schematic, acest mod de deformare este prezentat în Fig. 1.8 iar energia disipată este dependentă modul de deformare și rupere caracteristic al tablei și de lungimea deformării.[27]

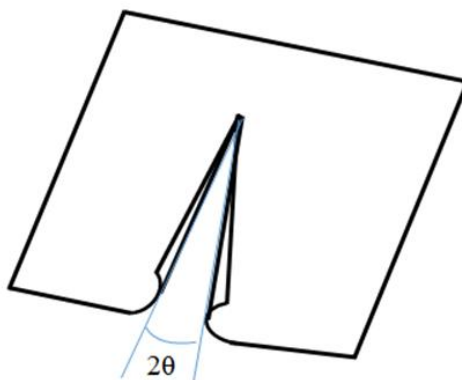


Fig. 1.8 – Placa și modul de deformare ca urmare a tăierii

Wang formulează următoarea relație între sarcina de tăiere și caracteristicile materialului:

$$F = 1.51\sigma_0 t^{1.5} l^{0.5} \sin^{0.5} \theta \left(1 + \frac{\mu}{\tan\theta} \right) \quad (1.5)$$

Unde F reprezintă sarcina, σ_0 tensiunea de curgere, t grosimea plăcii, l lungimea fisurii, 2θ unghiul de deschidere al penei și μ coeficient de frecare .

Este de menționat faptul că deformarea tablelor de fund ale navei se poate desfășura și după un alt tipar, cel al ruperii de la întărituri și plierii acesteia (sau model “armonică”) înaintea indenterului.(Fig. 1.9)[28]

Această situație este întâlnită atunci când raza rocii care pătrunde în corpul navei este mare (roca este deci neascuțită) și pătrunderea are loc în stadiul inițial pe verticală, urmând apoi o deplasare pe orizontală.

1.5.5 Teorii de rezistență aplicabile în studiul mecanicii eșuării navei

Considerând un element de formă paralelipipedică, pe fețele acestuia acționează tensiunile normale: σ_1 , σ_2 și σ_3 , (Fig. 1.11) [30].

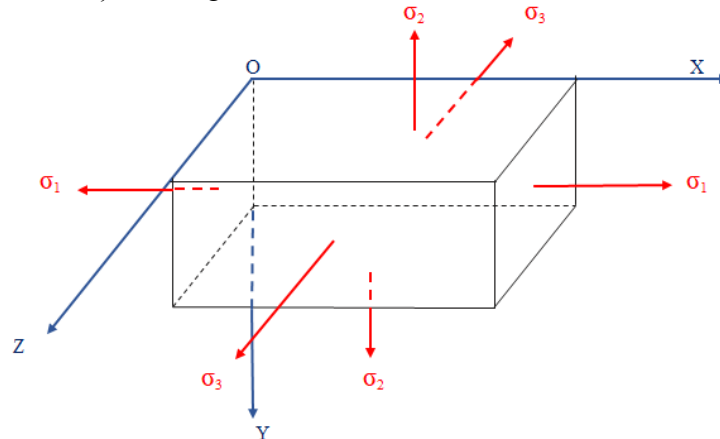


Fig. 1.11 – Element de volum paralelipipedic cu tensiunile principale

În funcție de tensiunile principale, cele cinci teorii de rezistență sunt prezentate sub forma următoarelor relații:

a) Teoria tensiunii normale maxime (teoria I de rezistență)

Condiția de la această teorie este:

$$\sigma_1 = \sigma_e \rightarrow \sigma_{echI} = \sigma_1 \quad (1.9)$$

b) Teoria deformației specifice maxime (teoria a II-a de rezistență)

Conform acestei teorii:

$$\varepsilon_{max} = \frac{1}{E} [\sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3)] \quad (1.10)$$

Unde, notațiile la relația de mai sus în afară de tensiunile normale sunt:

μ - coeficientul de contracție transversală (pentru oțeluri este de 0,26),

E - modulul lui Young (modulul de elasticitate longitudinal),

ε_{max} - alungirea maximă.

Potrivit acestei teorii, tensiunea echivalentă este:

$$\sigma_{echII} = \sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3) \quad (1.11)$$

c) Teoria tensiunii tangențiale maxime (teoria a III-a de rezistență).

Tensiunea tangențială este de forma:

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\sigma_e}{2} \quad (1.12)$$

Iar tensiunea normală echivalentă are valoarea:

$$\rightarrow \sigma_{echIII} = \sigma_1 - \sigma_3 \quad (1.13)$$

d) Teoria energiei specifice totale de deformație (Teoria a IV-a de rezistență).

Conform acestei teorii:

$$W_1 = \frac{1}{2}E(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) - \frac{\mu}{E}(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1) = \frac{e_e^2}{2E} \quad (1.14)$$

Unde W_I reprezintă energia specifică de deformație, iar tensiunea echivalentă:

$$\sigma_{echIV} = \sqrt{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2) - 2\mu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)} \quad (1.15)$$

e) Teoria energiei specifice modificatoare de formă (Teoria a V-a de rezistență).
Conform acestei teorii:

$$\frac{1+\mu}{6E} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] = \frac{1+\mu}{6E} \cdot 2\sigma_e^2 \quad (1.16)$$

De unde :

$$\sigma_{echV} = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (1.17)$$

1.5.6 Studiul fisurilor din corpul navei portcontainer – mecanica ruperii

Apariția fisurilor care pot lua naștere în corpul navei portcontainer, ca urmare a unui accident soldat cu eșuare, este una din principalele temeri deoarece, propagarea lor poate provoca o avarie structurală gravă, conducând în final la pierderea totală a navei.

Teoriile de rezistență pot fi împărțite în trei categorii în funcție de ceea ce prezic: atingerea limitei de curgere, ruperea materialului sau pierderea stabilității deformației.[32]

În literatura de specialitate există mai multe criterii de plasticitate, care împreună cu teoriile de rupere (teoriile de rezistență), determină condițiile de producere a curgerii în cazul metalelor (ex. oțeluri) dar și a metalelor ductile în general, dintre care, cele mai cunoscute sunt:

- Criteriul Rankine sau criteriul tensiunii normale maxime.
- Criteriul von Mises sau criteriul energiei de distorsiune maximă.
- Criteriul Tresca sau criteriul tensiunii tangențiale maxime.
- Criteriile Mohr-Coulomb sau Drucker-Prager care au la bază teoria dislocațiilor.

În activitatea inginerescă două criterii sunt cel mai des utilizate, după cum urmează:

a) Criteriul von Mises care se poate scrie [30]:

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (1.24)$$

În cazul stărilor plane de tensiune, $\sigma_3 = 0$, tensiunea de curgere are forma:

$$\sigma_c^2 = \sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2 \quad (1.25)$$

ce reprezintă ecuația unei elipse, conform Fig. 1.12.

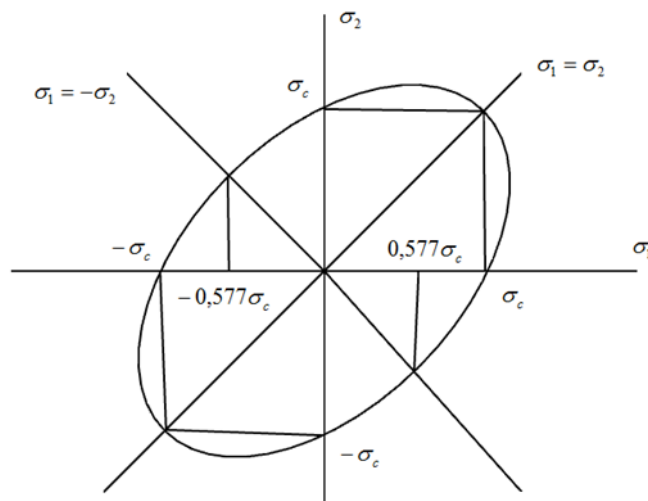


Fig. 1.12 – Stări plane de tensiune – criteriul von Mises

b) Criteriul Tresca determinat matematic sub forma [30]:

$$\begin{aligned} |\sigma_2 - \sigma_1| &\geq \sigma_c \\ |\sigma_3 - \sigma_1| &\geq \sigma_c \\ |\sigma_3 - \sigma_2| &\geq \sigma_c \end{aligned} \quad (1.28)$$

În practica inginerescă, verificarea structurii presupune stabilirea câmpului de tensiuni corespunzător încărcării și configurației respectivei structurii, stabilind valoarea tensiunilor în fiecare punct; unul din cele două criterii este folosit pentru verificarea situației de curgere a materialului în puncte de interes din structură.

Un alt aspect teoretic abordat în teză este legat de studiul concentratorilor de tensiuni, care arată modul în care efectul unei găuri într-o placă, conduce la o concentrare a tensiunilor și propagarea fisurilor în funcție de forma găurii.

1.6 ASPECTE TEHNICE PRIVIND EVOLUȚIA ȘI CONSECINȚELE EXPLOZIILOR ȘI INCENDIILOR LA BORDUL NAVELOR PORTCONTAINER

Accidentele suferite de navele portcontainer în ultimii ani au arătat importanța limitării incendiului, în caz contrar, dezvoltarea acestuia făcând imposibilă lupta cu focul în special în cazul amestecării diverselor mărfuri periculoase de la bord. Prima structură care poate ceda sub acțiunea căldurii provocată de incendiu este stiva de containere, în special dacă focul cuprinde un container de la bază. Colapsul stivei duce de obicei, la atragerea în incendiu și a mărfurilor din containerele a căror integritate este distrusă iar separarea mărfurilor periculoase cerută de Codul IMDG poate fi astfel compromisă.

Testele la scară reală au fost relativ puține de-a lungul vremii, cel mai cunoscut fiind efectuat în anul 1977, de către Departamentul de Transport al US Coast Guard [37].

Totuși, efectele creșterii temperaturii asupra rezistenței pieselor de oțel sunt cunoscute din domeniul construcțiilor civile, doar că, paleta largă de materiale și multitudinea de combinații posibile dintre diverse structuri și variațiile semnificative ale temperaturii pentru zone apropiate din structură, fac ca validări reale ale cercetării în domeniu să fie limitate la comparații acceptabile cu situațiile întâlnite în puținele teste sau accidente înregistrate.

Rezultatele principale ale cercetării sunt materializate de propunerea analitică făcută de Talamona ș.a., rezultată din analiza numerică, care a fost prezentată în 1997 și, deși formula a fost stabilită pentru intervalul de temperaturi $400^{\circ}\text{C} - 800^{\circ}\text{C}$, ea poate fi aplicată și la valori ce excedează acestui interval [39].

Astfel:

$$P_u(\theta) = \chi(\theta) K_{fy}(\theta) f_y \Omega \quad (1.34)$$

Unde $P_u(\theta)$ = încărcarea maximă axială pe coloană, la temperatură ridicată, Ω = aria secțiunii profilului și f_y = rezistența de curgere la temperatura ambientală, $\chi(\theta)$ = coeficient de flambaj prin încovoiere, calculate la temperatura de colaps ce depinde de anumiți parametri cum ar fi imperfecțiunea materialului și zveltețea adimensională a structurii, λ , bazată pe proprietățile materialului la temperatura normală, în care

$$\bar{\lambda}(\theta) = K_\lambda(\theta) \bar{\lambda} \quad (1.36)$$

$$K_\lambda(\theta) = \sqrt{K_{fy}(\theta)/K_E(\theta)} \quad (1.37)$$

$K_{fy}(\theta)$ și $K_E(\theta)$ sunt factori care arată descreșterea limitei de curgere respectiv a modulului lui Young în funcție de creșterea temperaturii.

Valorile acestor factori pot fi considerate conform EC3, 1-2 (calculul structurilor de oțel la foc), exemplificate în Tabelul 1.2 [40]

Trebuie totuși, ținut cont de faptul că, temperatura nu este uniformă pe toată lungimea structurii de aceea, în scopul evaluării stării limită ultime, pentru simplificare, se poate lua în considerare temperatura maximă.

Tabel 1.2. Parametrii relației tensiune-deformare în funcție de temperatură (Eurocode 1995)

Temperatură	$K_{fy}(\theta)$	$K_E(\theta)$	$K_\lambda(\theta)$
20	1.00	1.00	1.000
100	1.00	1.00	1.000
200	1.00	0.90	1.050
300	1.00	0.80	1.118
400	1.00	0.70	1.195
500	0.78	0.60	1.140
600	0.47	0.31	1.231
700	0.23	0.13	1.330
800	0.11	0.09	1.106
900	0.06	0.0675	0.943

Concluzia cercetărilor efectuate până în acest moment este că, rezistența oțelului sub acțiunea temperaturilor înalte este puternic afectată, iar parametrii ce variază de fapt, odată cu temperatura, sunt modulul de elasticitate al materialului și limita de curgere a materialului.

- Modulul de elasticitate la 600⁰ C se reduce cu aproximativ 70%,
- Limita de curgere la 600⁰ C se reduce cu aproximativ 50%.

1.7 STADIUL MĂSURILOR PENTRU PREVENIREA ȘI LUPTA ÎMPOTRIVA EXPLOZIILOR ȘI INCENDIILOR LA BORDUL NAVELOR PORTCONTAINER

Având în vedere pericolul pe care incendiile sau exploziile le pot reprezenta asupra integrității navei, preocupările legate de siguranța navei s-au materializat prin reglementări specifice prevenirii și luptei contra incendiilor la bordul navelor precum:

- a) *Convenția Internațională pentru ocrotirea vieții omenești pe mare (SOLAS 1974)* [43].
- b) *Codul maritim internațional pentru mărfuri periculoase (Codul IMDG)* [46].

Reglementările codului sunt principala referință în acest tip de transport iar procesul de separare al mărfurilor periculoase este evidențiat sub forma unei diagrame de proces și, deși nu este obligatorie, respectarea etapelor din această diagramă poate reprezenta o primă măsură pentru prevenirea accidentelor (inclusiv explozie sau incendiu), ce au loc ca urmare a transportului mărfurilor periculoase la bordul navelor portcontainer.

c) *Proceduri de răspuns în caz de urgență pentru nave ce transportă mărfuri periculoase (Ghidul EmS)*. Ghidul se referă la cazurile de incendiu și scurgeri (scăpări) ce pot apărea la bordul navelor ce transportă mărfuri periculoase și reprezintă un ajutor pentru operatorii navei sau alte părți implicate în elaborarea planurilor de intervenție la navă.

d) *Codul Internațional Pentru Instalațiile De Protecție Contra Incendiului (Codul FSS)*. Acest cod stabilește standardele internaționale referitoare la cerințele tehnice pentru instalațiile de protecție contra incendiului cerute de capitolul II-2 din SOLAS.

e) *Evaluarea Formală privind Siguranța (Codul FSA)*. În anul 2007, Comitetul de Securitate Maritimă, în a 83-a sesiune, a adoptat Ghidul de Evaluare Formală privind Siguranța (FSA- Formal Safety Assessment), pentru utilizarea în procesul decizional de elaborare a legilor din cadrul IMO. Una dintre opțiunile de control ale riscului de explozie (RCO), la navele portcontainer a fost reducerea cantității de mărfuri periculoase nedeclarate, această recomandare fiind parțial implementată, prin cântărirea tuturor containerelor înainte de încărcarea pe navă, cerință obligatorie de la 1 iulie 2016.

CAPITOLUL 2 DESCRIEREA CERCETĂRILOR EFECTUATE ÎN SCOPUL EVALUĂRII RISCURILOR ASOCIATE EXPLOATĂRII NAVELOR PORTCONTAINER

2.1 STUDIUL OSCILAȚIILOR NAVELOR PORTCONTAINER ÎN CONDIȚII EXTREME

Navele portcontainer, în special cele de ultimă generație, au o carenă specifică, cu forme subțiate și alungite la extremitatea prova și pupa, iar puntea principală de formă dreptunghică pe aproape toată lungimea pentru a permite încărcarea unui număr cât mai mare de unități pe punte. Numărul containerelor care pot fi încărcate pe punte este cel puțin egal cu cel încărcat în magaziile navei. [52]

Când nava portcontainer este parțial încărcată și navigă în condiții de mare agitată, datorită faptului că înălțimea metacentrică transversală, GM , poate avea valori excesiv de mari, solicitările pe care le suportă amarajul containerelor pot conduce la cedarea legăturilor și căderea containerelor peste bord. Aceiași factori care contribuie la avarierea mărfii și containerelor sunt răspunzători însă și pentru posibile avarii la corpul navei, lucru cu mult mai grav deoarece pot afecta rezistența structurală a navei.

Aspectul particular pe care teza actuală îl abordează este legat de fenomenele oscilatorii periculoase pe care nava portcontainer le poate întâlni, cum ar fi, ruliul parametric sau oscilațiile navei în valuri de urmărire, care nu au fost studiate decât în ultimii ani, odată cu raportarea apariției acestor fenomene în exploatarea navelor portcontainer.

Trebuie menționat că, pe lângă oscilațiile produse, valurile mării contribuie la actualele nave portcontainer, cu corpuri din ce în ce mai mari, și la un alt răspuns dinamic și anume vibrațiile grinzii elastice (componente de joasă frecvență) ale corpului navei, studiate pe baza teoriei hidroelasticității.[59]

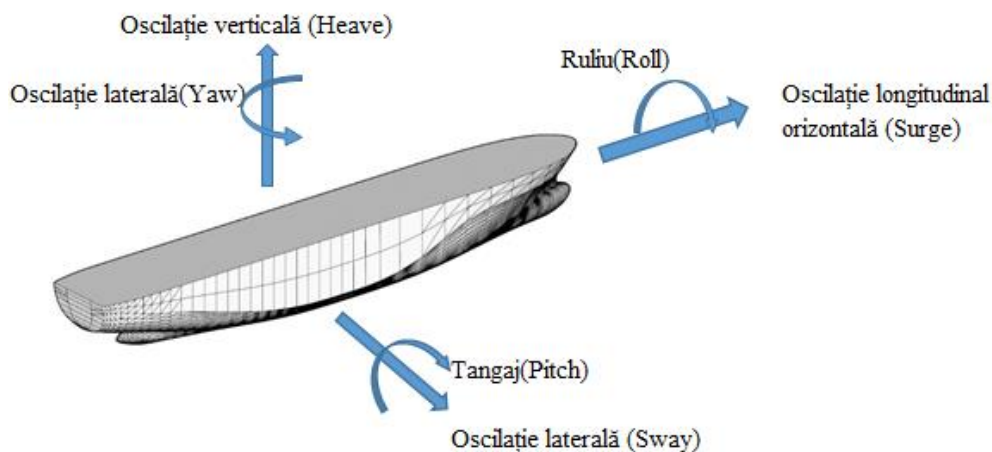


Fig. 2.1 Mișcările oscilatorii ale navei după cele 6 grade de libertate

Studiul complet al oscilațiilor navei pe toate cele 6 grade de libertate ale mișcării este foarte dificil și de aceea cercetările sunt în general simplificate la mișcări cuplate așa cum se poate observa și în Fig. 2.1.

2.1.2 Formarea ruliului parametric

Apariția și creșterea ruliului parametric, principalul fenomen periculos abordat în teză, care poate afecta nava portcontainer, este cauzat de schimbarea stabilității navei odată cu

întâlnirea unor valuri cu o frecvență bine determinată – de două ori frecvența naturală de oscilație transversală a navei.

În Fig. 2.5 este reprezentată schematic apariția și dezvoltarea acestui fenomen.

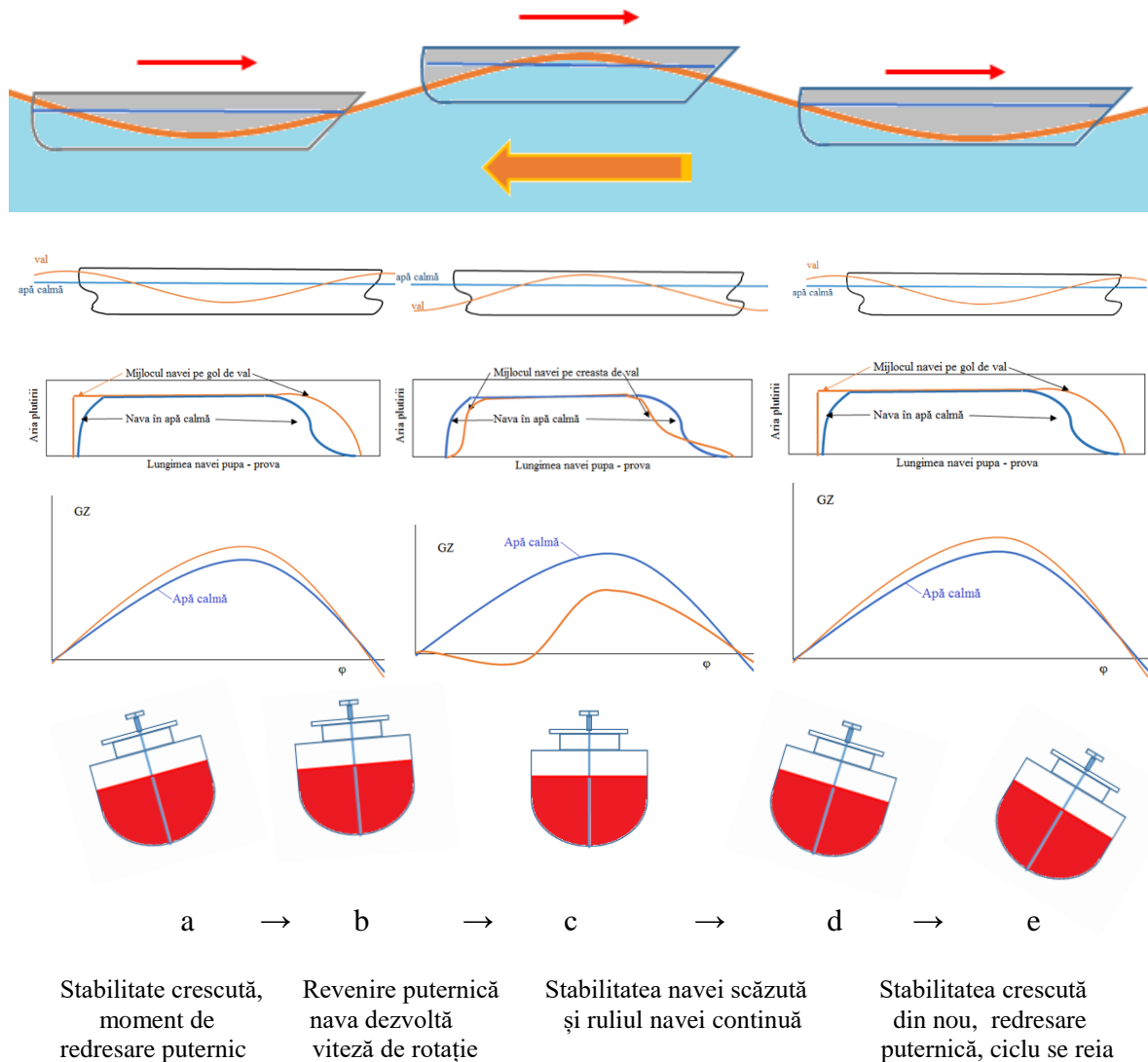


Fig. 2.5 Dezvoltarea rezonanței parametriche la ruliul (Ruliul parametric)

Studiul teoretic are la bază fenomenele fenomenul de rezonanță în oscilațiile navei în condiții de valuri.[61]

Mișcarea navei în raport cu masa de apă în mod evident că influențează frecvența valurilor pe care nava le întâlnește, în funcție de viteza cu care se deplasează, dar și direcția relativă față de direcția din care vine valul.

Oscilațiile transversale sau de ruliul sunt considerate mișcări periodice de rotație pe care nava, considerată un corp rigid, le efectuează în jurul axei longitudinale centrale de inerție a masei sale.

Ecuția diferențială a oscilațiilor amortizate pe apă liniștită se obține din condiția de echilibru la momentul t adică suma momentelor M (stabilității transversale, de inerție a masei navei, de inerție a masei de apă și al forțelor hidrodinamice de rezistență a apei), care acționează asupra navei este 0: [58]

$$\sum \vec{M} = 0 \quad (2.1)$$

sau sub forma:

$$(I_x + A_x)\ddot{\phi} + B_x\dot{\phi} + \Delta\overline{GM}\phi = 0 \quad (2.3)$$

reprezentând ecuația diferențială a mișcării, care este o ecuație de ordinul doi omogenă, cu coeficienți constanți.

Așa cum am arătat anterior, înălțimea metacentrică GM , variază în timp la trecerea valului (foarte apropiat de o sinusoidă), astfel că:

$$GM(t) = GM_m + GM_a \cos(\omega_e t) \quad (2.4)$$

Unde ω_e este frecvența valului întâlnit, GM_m este înălțimea metacentrică medie iar GM_a este amplitudinea înălțimii metacentrice.

Rescriind ecuația și substituind termeni, se obține o ecuație de tip Mathieu:

$$\frac{d^2x}{d\tau^2} + (p + q \cos(\tau)) \cdot x = 0 \quad (2.13)$$

Unde:

$$p = (\bar{\omega}_m^2 - \mu^2); \quad q = \bar{\omega}_a^2 \quad (2.14)$$

Ecuația Mathieu este o ecuație diferențială liniară cu coeficienți variabili, ale cărei soluții nu pot fi exprimate cu funcții elementare și, așa cum se știe, poate avea două tipuri de soluții, o interpretare a acestora fiind făcută și de unii cercetători, pentru elaborarea de noi criterii de stabilitate, cerute de IMO [62]:

- mărginite sau stabile,
- nemărginite sau instabile, depinzând de combinația dintre coeficienții p și q .

Deoarece q arată nivelul variației GM în valuri, prin pătratul raportului frecvențelor conform ecuațiilor (2.8), (2.11), (2.14), acest parametru poate fi considerat ca amplitudinea excitației parametric.

Prima zonă de instabilitate pentru $p = 0,25$ și raport de frecvență 2 înseamnă că zona corespunde unei frecvențe de excitație dublă față de cea naturală de ruluu a navei, iar aceasta este principala zonă de rezonanță parametrică.

În practică este important de știut pentru fiecare condiție de încărcare a navei, care sunt frecvențele periculoase ale valurilor întâlnite, ce pot conduce la apariția ruliului parametric, iar măsuri în acest sens sunt prezentate în capitolul următor.

2.2 ANALIZĂ PRIVIND COMPORTAMENTUL CORPULUI NAVEI ÎN CAZ DE ESUARE

2.2.1 Modele de eșuare ale navei portcontainer

Păstrând cadrul general al designului acestui tip de accident maritim, o împărțire a eșuării în două mari categorii, date de natura fundului mării, care are consecințe directe asupra rezultatelor, ar fi:

- eșuarea pe fund “moale” al mării – nisip, nămol, pietriș mărunț – care produce avarii relativ puține învelișului de tablă al corpului navei dar, foarte important, poate induce momente de încovoiere și forfecare, ce pot duce la slăbirea sau ruperea unor elemente din osatura navei;
- eșuarea pe fund “tare” al mării – stânci (rocă) – mai mult sau mai puțin omogen, care produce ruperea tablelor de pe corpul navei și distrugerea sau slăbirea elementelor de osatură și care de asemenea, pot induce momente suplimentare de forfecare.

Există însă, completări recente ale acestei clasificări, care includ și “reciful” în tipologia fundului mării, pentru a putea încadra mai multe tipuri de interacțiune dintre acesta și corpul navei, așa cum se poate vedea în Fig. 2.19.

Abordările actuale tratează rezistența globală a corpului navei la momentele de încovoiere în cazul eșuării pe fund moale (pe suprafață mai mare) și tăierea sau ruperea tablelor de fund ale navei datorită eșuării pe stânci.

În acest caz, datorită suprafeței de contact mai mici, apar momente tăietoare în corpul navei și studiul sarcinilor locale este de asemenea aprofundat.[78]

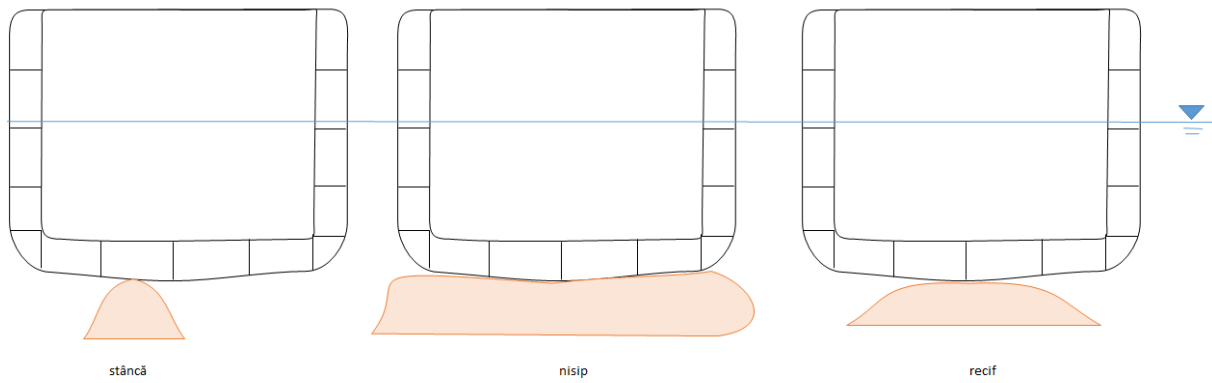


Fig. 2.19 Tipuri de eșuare a navei în funcție de natura solului și suprafața afectată

Se constată o abordare relativ comună a mecanicii eșuării în ultimii douăzeci de ani. Plecând de la modul de interacțiune al solului (fundului mării) asupra corpului navei, Pedersen a făcut în 1995 o separare a fenomenelor care au loc pe timpul eșuării în mecanica (dinamica) externă și mecanica internă.

Mecanica externă a accidentului se referă la mișcările corpului navei, generate de eșuare și presiunile hidrodinamice ce acționează asupra acesteia, iar mecanica internă evaluează răspunsul învelișului și structurii de rezistență a navei pe timpul eșuării.

2.2.2 Eșuarea pe fund moale a navei portcontainer

O eșuare tipică de acest fel cuprinde două faze:

a) prima fază este cea în care nava este supusă unui impuls la contactul cu solul, impuls care este considerat inelastic.

b) în cea de a doua fază, nava alunecă pe sol, fiind în contact continuu cu acesta. Energia cinetică rămasă în urma primei faze este transformată în energie potențială aplicată suprafeței de contact supusă frecării dintre navă și sol și deformării fundului mării când acesta este moale.[79]

Nava va brăzda fundul apei în funcție de viteză și forma corpului, iar în cazul navei portcontainer, ambele sunt favorabile unei eșuări puternice.

Pentru analiza teoretică, soluționarea poate fi integrarea numerică în domeniu timp a ecuațiilor mișcării navei sau o abordare simplificată, bazată pe conservarea energiei și a impulsului unui segment din corpul navei, conform Fig. 2.20 [27] :

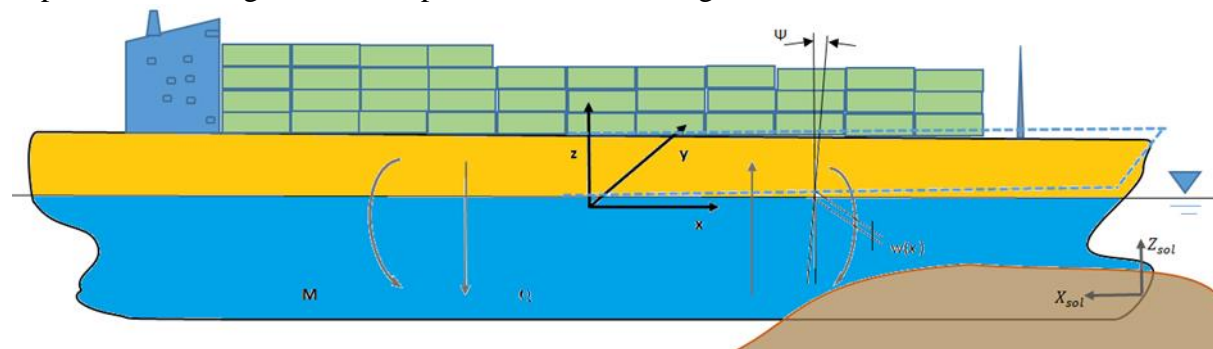


Fig. 2.20 Nava eșuată pe fund moale și sistemul de coordonate

Nava a fost considerată după modelul Timoshenko, sub forma unei grinzi elastice, care permite ridicarea unei secțiuni din corp datorită unor eforturi la capăt. În interacțiunea dintre fundul mării și corpul navei este luată în calcul forța de reacțiune a solului generată de apa din pori, integrarea presiunii p pe suprafața provei navei conducând la componenta forței exercitate de presiunea apei din pori (X_{pori} , Z_{pori}).

Forța rezultată F_R este exprimată în termen de coeficient de masă adițională C_m astfel:

$$F_R = C_m V_R k \quad (2.23)$$

Unde V_R este volumul de referință, reprezentând volumul solului dislocat de prova navei. Sunt posibile tabelări ale valorilor $C_m V_R$ în funcție de profilul provei navei.[80]

Pentru navele portcontainer este specifică o viteză de marș mare, peste 20 Nd, de aceea o eșuare accidentală pe fund moale provocată de neatenție, poate avea drept urmare ridicarea pe uscat a unei porțiuni foarte mari din corpul navei, lucru ce induce eforturi considerabile asupra structurii de rezistență, inducând momente de încovoiere și forfecare (M , respectiv Q – Fig. 2.20), potențate de lungimea mare a acestor nave.

Suprafața mare de contact cu un fund al mării moale are însă avantajul, în cazul unor eșuări la viteză mică, de a nu găuri sau chiar deforma tablele de fund al corpului navei, operațiunile de dezecheuare fiind de asemenea mult simplificate.

2.2.3 Eșuarea pe stâncă a navei portcontainer

Particularitățile eșuării navei portcontainer pe rocă sau stâncă pot fi considerate după cum urmează:

- suprafața de contact dintre corpul navei și fundul mării este relativ redusă;
- eșuarea navei are loc de obicei la o viteză mare;
- pagubele produse asupra corpului navei sunt în primă fază locale;
- posibilitățile de dezecheuare cu mijloace proprii sunt limitate;
- în cazul în care nava rămâne sub orice formă “suspendată” de stâncă, orice mică mișcare sau modificare de pescaj (produsă de valuri, marea, ușurarea necorespunzătoare a navei) poate induce momente de forfecare foarte puternice datorită suprafețelor mici de acțiune a forțelor asupra corpului navei de aceea perioada cât nava rămâne eșuată este critică (vezi Fig. 2.21);

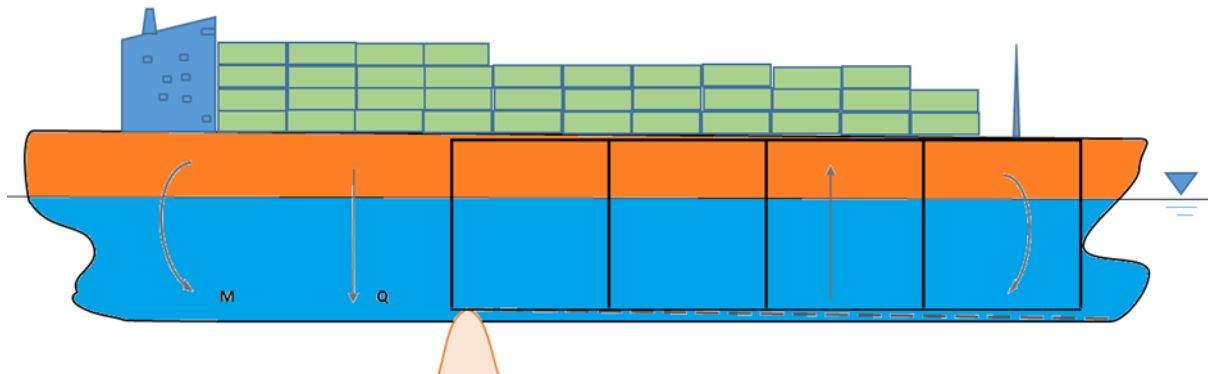


Fig. 2.21 Nava eșuată pe stâncă și avariată prin sfâșiere

- în general structura navei nu este afectată decât în zona de impact;
- există posibilitatea ca eșuarea pe stâncă să provoace inundarea unor compartimente și înclinarea puternică a navei, lucru ce poate conduce la pierderea de containere stivuite pe punte, datorită solicitărilor peste limita admisibilă în sistemul de amaraj.

Metodele de analiză simplificată folosesc formulările teoretice și iau în calcul procesele care au loc în cadrul avarierii structurii. Aceste metode sunt instrumente de lucru pentru proiectanți și dau perspectiva proceselor locale dar și globale care au loc, asigurând predicția lor cu un grad ridicat de acuratețe.

Au fost studiate mai multe modele care se referă la comportarea tablelor de fund și a elementelor de osatură ale navei în situații limită, cum ar fi: deformarea și ruperea tablelor, tăierea, îndoirea sau plierea (cum ar fi și cele tratate de capitoul anterior), acest tip de evaluare fiind folosită în ultimii ani pentru analiza accidentelor navale și de către alți cercetători (Wang ș.a.).[83]

În cazul în care structura este rigido-plastică, cum este cazul navei portcontainer, nu se înmagazinează energie elastică, iar puterea sarcinilor exterioare este disipată prin deformări plastice, rupturi sau efecte de frecare pe suprafața structurii, astfel după metoda validată de Simonsen:[84]

$$F_H V = \dot{E}_p + \dot{E}_r + \dot{E}_f = F_P V + \int p \mu V_{rel} dS \quad (2.24)$$

Unde,

F_H forța de rezistență a structurii în direcția V (orizontală);

V viteza relativă dintre navă și stâncă;

\dot{E}_p rata de disipare a energiei plastice;

\dot{E}_r rata de disipare a energiei în zona de ruptură;

\dot{E}_f rata de disipare a energiei prin forțe de frecare pe suprafața structurii;

F_P rezistență plastică care include atât plasticitatea cât și ruptura;

μ coeficientul de frecare al lui Coulomb;

p presiunea normală pe stâncă dată de elementul plăcii dS ;

V_{rel} viteza relativă dintre stâncă și elementul de placă.

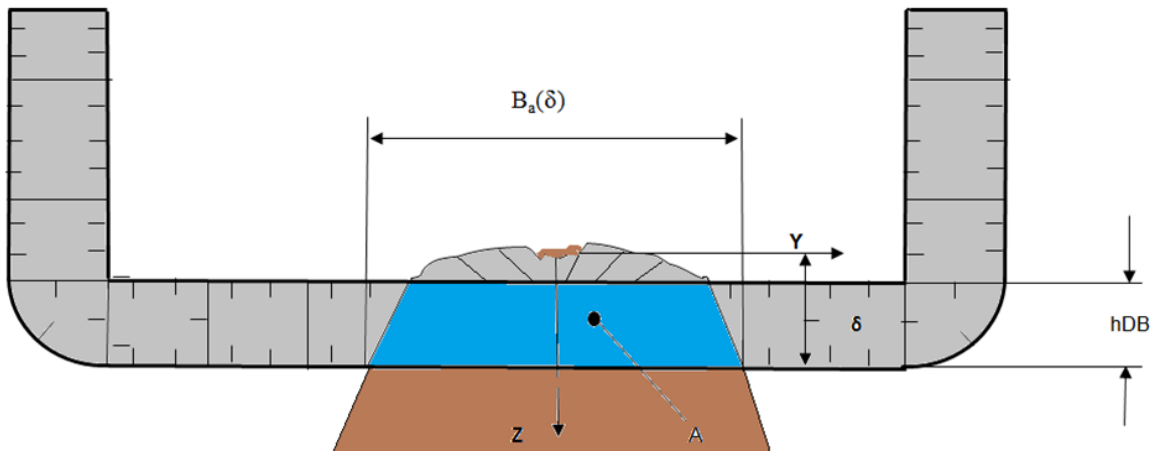


Fig. 2.22 Secțiune transversală a navei eșuată pe stâncă

O altă abordare (Samuelides ș.a.) a eșuării prin metoda analizei simplificate a avut în vedere studierea rezistenței la rupere a tablelor de fund la contactul cu o suprafață tăietoare.[85]

Formulele propuse arată că rezistența la rupere a tablei F_R este proporțională cu tensiunea de curgere a materialului și include în varianta lui Zhang un factor de rupere la deformare conform formulei :

$$F_R = 1.942 \cdot \sigma_F \cdot t^{1.5} \cdot l^{0.5} \cdot \varepsilon_R^{0.25} \cdot \sqrt{\tan\theta} \cdot \left(1 + \frac{\mu}{\tan\theta}\right) \quad (2.28)$$

Unde:

σ_F tensiunea de curgere,

t grosimea,

l lungimea ruperii,

ε_R tensiunea de rupere,

μ coeficient de frecare (are valori între 0.3 și 0.4),

θ jumătate din unghiul de deschidere al obiectului de tăiere (considerând că are forma conică).

Analiza mecanicii interne prin metoda elementelor finite este în continuă dezvoltare, datorită ușurinței de aplicare, în raport cu modelele teoretice și cantității de informații cu care se lucrează. Există deja pachete de programe care analizează rezistența tablelor sau a unor elemente de structură, în cazul unor game largi de deformării plastice, pe baza unor modele de avarie structurală. Un astfel de program este NASTRAN folosit NX Siemens cu ajutorul căruia s-a efectuat simularea și analiza rezultatelor unei eșuări, prezentate în următorul capitol.

CAPITOLUL 3 CONTRIBUȚII PROPRII LA ELABORAREA UNOR METODE DE EVALUARE A SIGURANȚEI NAVEI PORTCONTAINER ÎN SITUAȚII CRITICE

3.1 ANALIZA COMPORTAMENTULUI NAVEI PORTCONTAINER ÎN SITUAȚII CRITICE PRIN UTILIZAREA PROGRAMULUI OCTOPUS

Programul OCTOPUS este unul din programele care validează în primă fază, analiza teoretică făcută în ceea ce privește comportamentul oscilatoriu al navei, în navigația pe valuri. Răspunsul navei în comportamentul dinamic poate astfel să funcționeze ca un criteriu, pentru condiții de stabilitate statică sau dinamică a navei, prin luarea de măsuri de siguranță înainte de plecarea în voiaj, dar și subiect de analiză pentru efectele pe care acest comportament le induce asupra structurii și încărcăturii navei.

Programul OCTOPUS folosește principalele mărimi din teoria valurilor, precum:

H_s = Înălțimea semnificativă a valurilor și care reprezintă înălțimea medie, a celei mai înalte treimi, din totalul valurilor produse (înregistrate) într-o anumită perioadă;

T_s = Perioada semnificativă a valurilor care este perioada medie a celei mai înalte treimi din totalul valurilor produse (înregistrate) într-o anumită perioadă;

T_z = Perioada medie a valurilor care este media perioadelor tuturor valurilor dintr-un interval de timp dat.

Programul OCTOPUS funcționează după o schema logică, în care nava poate fi privită ca un sistem, în care intră anumite mărimi și răspunde prin alte mărimi, de ieșire, prin intermediul unei funcții de transfer. Pentru studiul mișcărilor pe care nava le execută datorită valurilor, funcția de transfer este un operator numit „răspuns în amplitudine” (RAO – response amplitude operator).

Pentru fiecare pulsație de val regulat, ω , care participă la formarea de valuri neregulate, RAO are expresia:

$$RAO(\omega) = \left(\frac{r_A}{h_A}\right)^2 \quad (3.11)$$

Unde, r_A este amplitudinea răspunsului navei pentru tipul de mișcare analizat în m iar $\widetilde{h_A}$ este amplitudinea valului regulat, de asemenea în m.[92]

Operatorul RAO are valori în funcție de mișcarea pe care o descrie și care poate fi liniară, în m , pentru mișcarea de translație (avans, derivă sau înălțare pe verticală) sau unghiulară, în $grade$, pentru cea de rotație (ruluu, tangaj, girație).

Pentru a exemplifica analiza comportamentului navei în cu ajutorul programului OCTOPUS, a fost aleasă o nava portcontainer de tip Panamax, încărcată cu marfă și cu următoarele caracteristici principale:

L_{WL} = 285 m (lungimea navei)

B = 32,2 m (lățimea navei)

T_{max} = 12,5 m (pescajul navei)

C_B = 0.691 (coeficient bloc)

GM = 3m (înălțime metacentrică)

M_1 = 82760 to (masa în condiția de încărcare 1)

M_2 = 42760 to (masa în condiția de încărcare 2 - marș în balast)

Voiajul ales pentru studiul comportamentului navei a fost pe ruta Hamburg – Baltimore, prin Atlanticul de Nord, iar rezultatele sunt sistematizate în continuare.

După încărcarea datelor referitoare la dimensiunile principale ale navei, a fost modelat în 3D corpul navei, cu posibilitatea de a defini scenarii pentru mai multe pescaje, viteze sau unghiuri de incidență ale valurilor.

Prin folosirea bazei de date din programul OCTOPUS a fost elaborată digrama de împreăștiri, care arată numărul aparițiilor diferitelor înălțimi semnificative H_s corespunzătoare

la diferite perioade medii T_z , într-o perioadă de înregistrare pe o perioadă lungă ce acoperă 100.000 de măsurători.(Fig. 3.3)

Hs\Tz	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	Sum				
17										0.1	0.1	0.1							0				
16									0.1	0.2	0.3	0.2	0.1						1				
15								0.1	0.3	0.6	0.8	0.6	0.3	0.1					3				
14								0.2	0.9	1.9	2.1	1.4	0.7	0.2	0.1				7				
13								0.1	0.9	2.9	5.2	5.2	3.3	1.4	0.5	0.1			20				
12								0.1	0.5	2.9	8.7	13.6	12.2	7.1	2.9	1	0.3	0.1	49				
11								0.2	1.9	9.2	24	33.1	26.8	14.3	5.6	1.8	0.5	0.1	118				
10								0.1	0.9	6.4	27.5	62.1	75.2	54.7	27	10	3	0.8	0.2	268			
9								0.3	3.3	20.9	77.7	149.5	198	103.4	47	16.3	4.7	1.2	0.3	0.1	583		
8								0.1	1.4	11.7	64.5	203.3	331.5	304.9	178.9	74.8	24.4	6.7	1.6	0.4	0.1	1204	
7								0.3	5.6	39.6	186.8	489.5	671	534.3	279.7	106.9	32.4	8.4	1.9	0.4	0.1	2357	
6								1.6	21.5	126.9	501.2	1071.7	1221.4	835.4	387.2	134.3	37.7	8.1	2	0.4	0.1	4351	
5								0.1	7.8	78	381.1	1225.1	2092.5	1954.4	1134.2	460.1	143.1	36.7	8.2	1.7	0.3	0.1	7523
4								0.9	36.7	264.6	1055	2662.2	3531.2	2644.7	1277.2	445.1	122	28.1	5.7	1.1	0.2		12075
3								7.1	162.7	827.9	2618	4918.1	4853.6	2810.9	1092.9	317.3	74.5	15	2.7	0.5	0.1		17701
2								0.2	57.2	663.1	2328.8	5471.8	6975.7	4735.5	1979.8	582.6	133.2	25.5	4.3	0.7	0.1		22959
1								10.8	680.8	3228.4	7098.2	9740.6	6663	2559.1	652.2	125.2	19.8	2.7	0.3				30781
Sum	0	0	11	746	4101	10626	19449	23226	19655	12514	6175	2427	785	216	53	12	3	1					99999

Fig. 3.3 Diagrama de împrăștiere pentru Atlanticul de Nord (programul OCTOPUS)

Analiza hidrodinamică a corpului navei depinde doar de caracteristicile dimensionale ale navei, unghiul de incidență și frecvența valului, precum și viteza navei, fără a lua în considerare condițiile de încărcare.

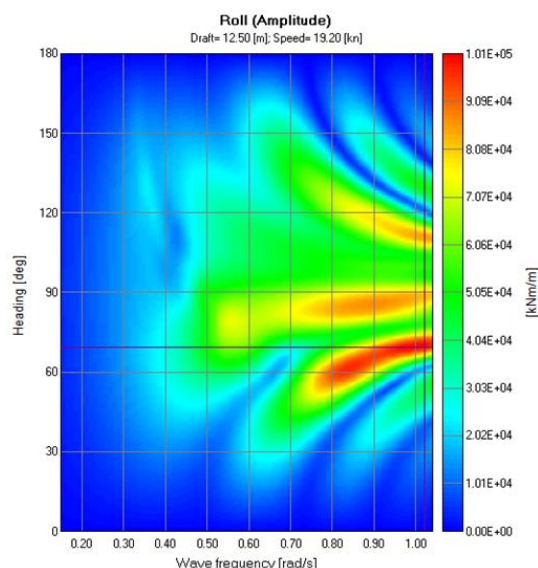


Fig. 3.4 RAO – Mișcarea de rulu a navei –amplitudine (program Octopus)

În cazul mișcării de rulu, răspunsul în amplitudine datorat sarcinilor valului, pentru corpului de navă având pescajul de 12,5 m și viteza de 19,2 Nd, poate fi observat în Fig. 3.4.

Este ușor identificabilă o zonă critică a ruluiului, pentru incidența valului din direcții cuprinse între 55° și 73° (în cazul programului Octopus direcția se referă la unghiul de incidență al valului, contat dinspre pupa navei în sens direct). Se poate observa de asemenea dependența momentului indus de frecvența valurilor, care începe să crească în gama de frecvență cuprinsă între 0,9 rad/s și 1,1 rad/s, atingând valoarea maximă = $1,01 \times 10^5$ kNm, în condițiile de pescaj 8,67 m, și viteză a navei de 18 Nd iar direcția valurilor din travers (83°).

Un pescaj mai mic al navei (10 m), ceea ce presupune de fapt un corp mai mic în imersie, va modifica amplitudinea momentelor de înclinare, pentru același regim de viteză, nemodificând însă masa navei, valorile maxime cresc ușor, atingând un maxim de $1,32 \times 10^5$ kNm.

Schimbarea regimului de viteză, așa cum este arătat și teoretic, modifică valorile maxime ale solicitărilor induse în corpul navei, reducându-se mărimea unghiurilor cu care nava

oscilează, iar diagrama care simulează reducerea de la viteza de 19,2 la viteza de 6,4 Nd confirmă acest lucru, prin valoarea maximă a momentului de $9,54 \times 10^4$ kNm.

Cazul 1

Pentru simularea voiajului cu nava încărcată, am ales o variantă de încărcare specifică, după cum urmează:

Masa totală: 82.760 to

T_{pv} 13,24 m

T_{pp} 13,13 m

GM 3,15 m

Principalul răspuns, care prezintă interes maxim pentru stabilitatea dinamică a navei, este reprezentat în Fig. 3.5 și arată amplitudinea ruliului pentru diferite unghiuri de incidență ale valului, la viteza de 19.2 Nd. Valorile maxime pot fi atinse în cazul unui val de travers pentru ambele borduri. Maximele de raliu pe care nava le poate atinge sunt ușor de vizualizat în raportul comparativ pentru diferite unghiuri de incidență a valului, conform Fig.3.5 b).

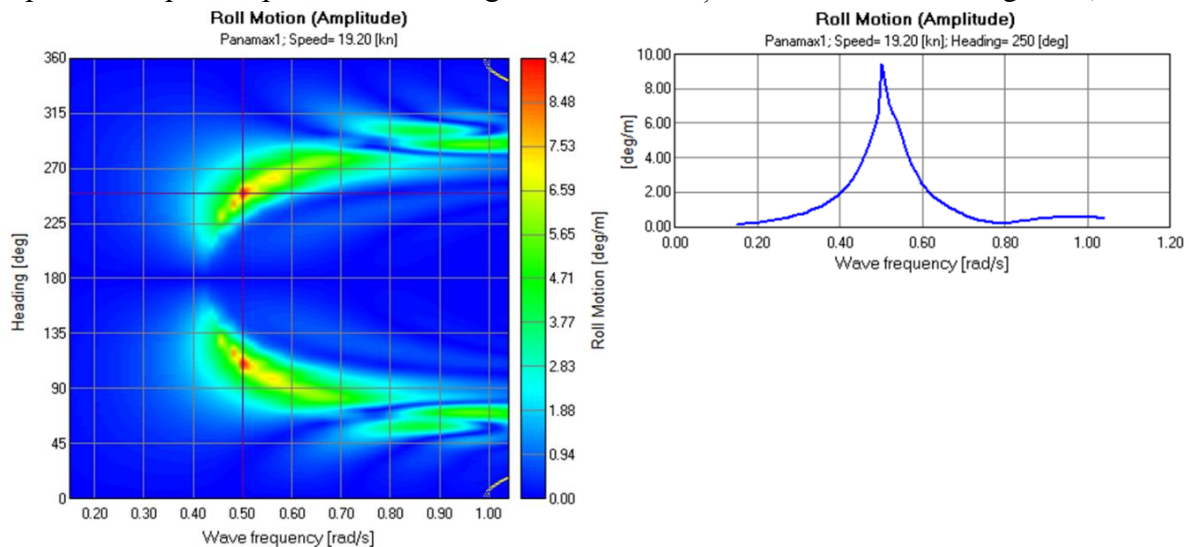


Fig. 3.5 RAO – Diagramele de raliu ale navei (amplitudine) la viteza de 19,2 Nd [grade] și maximul pentru unghiul de incidență de 250^0 și 110^0

Au fost deduse mișcările de accelerație pe care, un punct corespunzător poziției unui container, (coordonate de la linia de bază pupa $x = 145$ m, $y = 16$ m, $z = 25$ m), aflat pe puntea navei în stivă laterală, le poate dezvolta datorită oscilațiilor navei.

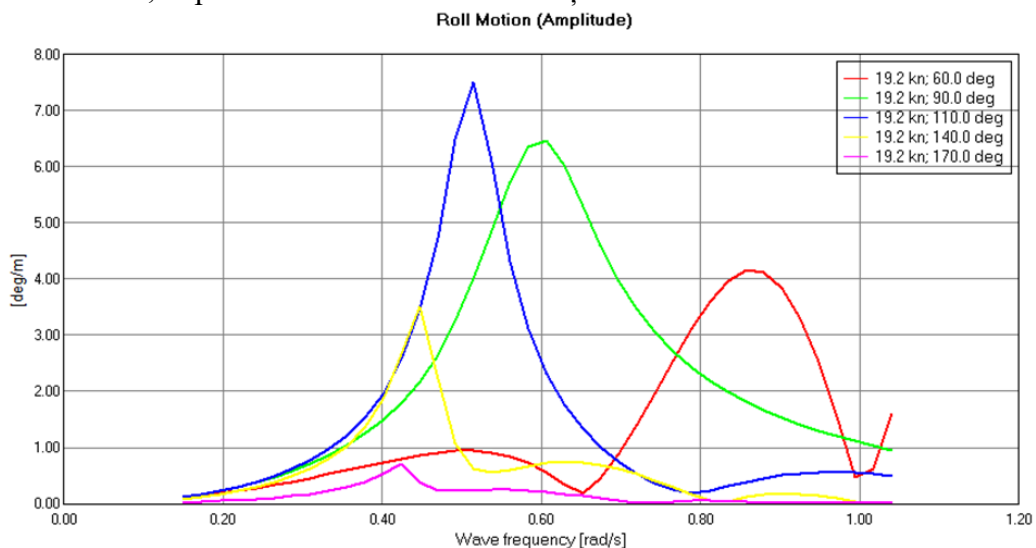


Fig. 3.5 b) Diagrama comparativă a ruliului pentru diferite unghiuri de val

Acest lucru ajută ofițerii de punte în verificarea criteriilor pentru lashingul containerelor din documentațiile tehnice și de asemenea, valorile mari ar trebui evitate pentru a nu solicita suplimentar nici mărfurile aflate în interiorul containerelor.

Diagrama polară pentru mișcările de ruluu ale navei, redată în Fig. 3.6, reprezintă cel mai fidel maximele pe care nava le poate dezvolta, în funcție și de starea mării, pe lângă parametrii care au fost prezentați anterior.

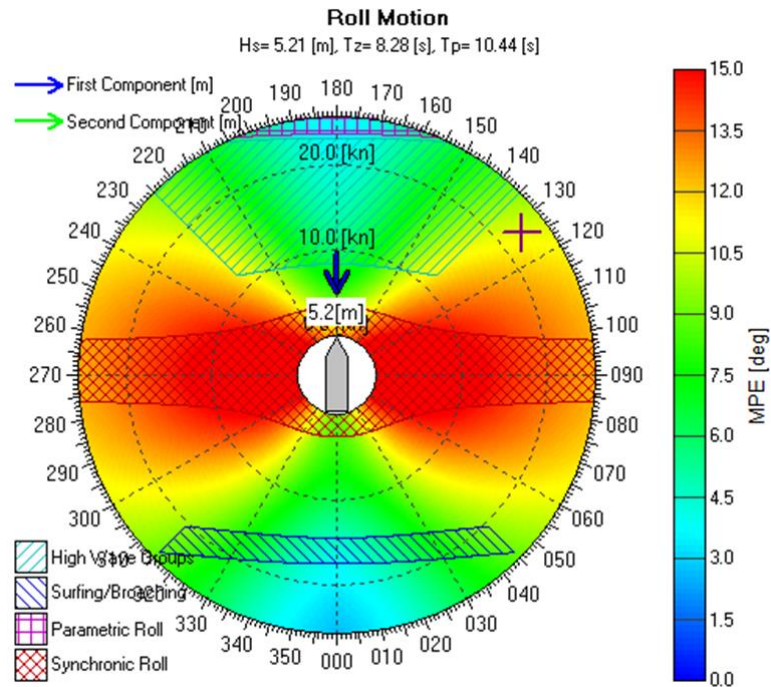


Fig. 3.6 Diagrama polară a mișcării de ruluu a navei

Diagrama răspunsurilor în funcție de starea mării din programul OCTOPUS, ne-a permis ca, în funcție de drumul și viteza navei, dar și gradul de agitație al mării, să estimăm cea mai probabilă extremă a unei anumite valori pe care un anumit parametru de mișcare îl poate atinge.

Modelul diagramei este utilizat și de alte programe de la bordul navelor (ex Arrow) și respectă cerințele Codului de Stabilitate din anul 2008.[94]

În figură este redată statistica pentru o perioadă scurtă a mișcărilor de ruluu ale navei , pentru marea cu valori $H_s = 5,2$ m și $T_z = 8,3$ s. Deși această înălțime a valurilor nu reprezintă în mod obișnuit o problemă pentru o navă Panamax, este important de observat că sunt create condiții ca cele expuse în capitolul precedent, de apariție a anumitor fenomene periculoase în comportamentul navei. Astfel, pentru valori de prova ($160^0 - 200^0$ unghiul de incidență al valurilor), există în regimul de viteză de 23 – 25 Nd, posibilitatea apariției ruliului parametric, așa cum a fost descris în capitolul 2.1. Acest lucru este posibil în fapt, având în vedere viteza nominală a unei nave portcontainer tip Panamax, ce se situează în jurul acestei valori.

O evaluare similară a maximelor pe care nava le poate întâlni pe ruta aleasă, a fost făcută în funcție de unghiul de incidență al valurilor. Evident că variația vitezei poate aduce îmbunătățiri ale comportamentului navei, iar rezultatele pot fi evaluate și în ceea ce privește celelalte tipuri de mișcări ale navei (unghiulare sau de translație pe cele trei axe) însă, viteza de marș se adaptează de regulă la condițiile de la fața locului deoarece variația maximelor nu poate reflecta situația de moment.

Diagrama de împrăștiere a valurilor a fost întocmită pentru ruta prin Atlanticul de Nord, cu nava încărcată și arată într-o altă formă, prin operatorul de cea mai mare probabilitate, unghiurile de ruluu pe care nava le poate atinge în condițiile de valuri pe care le poate întâlni (Fig. 3.10).

Roll Motion: MPE [deg]: Speed=19.2 [kn]: Heading=110 [deg]																			
Hs/Tz	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	%
17											36.7	31.9	28.1						99.15
16										39.8	34.5	30.0	26.5	23.6					99.15
15									40.2	37.3	32.4	28.1	24.6	22.2	19.9				99.15
14									37.5	34.8	30.2	26.2	23.2	20.7	18.6	16.7			99.15
13								33.4	34.8	32.3	28.1	24.4	21.5	19.2	17.2	15.5			99.16
12							26.3	30.8	32.2	29.8	25.9	22.5	19.9	17.7	15.9	14.3	13.0		99.18
11							24.1	28.3	29.5	27.4	23.8	20.6	18.2	16.2	14.6	13.1	11.9		99.22
10						20.1	21.9	25.7	26.8	24.9	21.6	18.7	16.5	14.8	13.3	11.9	10.8		99.31
9						18.1	19.7	23.1	24.1	22.4	19.4	16.9	14.9	13.3	11.9	10.8	9.72	8.84	99.48
8				8.69	16.1	17.5	20.6	21.4	19.9	17.3	15.0	13.2	11.8	10.6	9.56	8.64	7.86		99.73
7				7.61	14.1	15.3	18.0	18.8	17.4	15.1	13.1	11.6	10.3	9.28	8.36	7.56	6.87		100.00
6				6.52	12.1	13.1	15.4	16.1	14.9	13.0	11.2	9.93	8.86	7.96	7.17	6.48	5.89		100.00
5				1.21	5.43	10.1	10.9	12.8	13.4	12.4	10.8	9.37	8.27	7.38	6.63	5.97	5.40	4.91	100.00
4				0.971	4.35	8.05	8.76	10.3	10.7	9.95	8.64	7.50	6.62	5.91	5.31	4.78	4.32		100.00
3				0.728	3.26	6.04	6.57	7.71	8.04	7.46	6.48	5.62	4.96	4.43	3.98	3.58	3.24		100.00
2			1.28E-03	0.486	2.17	4.03	4.38	5.14	5.36	4.97	4.32	3.75	3.31	2.95	2.65	2.39			100.00
1			6.38E-04	0.243	1.09	2.01	2.19	2.57	2.68	2.49	2.16	1.87	1.65	1.48					100.00

Fig. 3.10 Diagrama de împrăștiere pentru unghiul de rului în funcție de direcția valului

Utilitatea folosirii diagramei de împrăștiere constă în metoda comparativă prin care pot fi evidențiate valorile statistice optime pentru anumite situații, în funcție de parametri de intrare, viteza navei (19 Nd) și unghiul de incidență al valului (110°).

Cazul 2

Pentru simularea voiajului cu nava în balast, am ales o altă variantă de încărcare a aceleiași nave și pe aceeași rută, după cum urmează:

Masa totală: 42.760 to

T_{pv} 7,49 m

T_{pp} 8,01 m

GM 4,40 m

După încărcarea datelor s-a putut face comparația între cele două moduri de navigație ale navei iar rezultatele confirmă abordările teoretice, în sensul scăderii solicitărilor pe care valurile le induc asupra corpului navei.

Comparând raspunsul dinamic al navei în balast în amplitudinea mișcărilor de rului, se constată o reducere a oscilației de rului de aproximativ două grade/metru, așa cum se poate observa în Fig. 3.11.

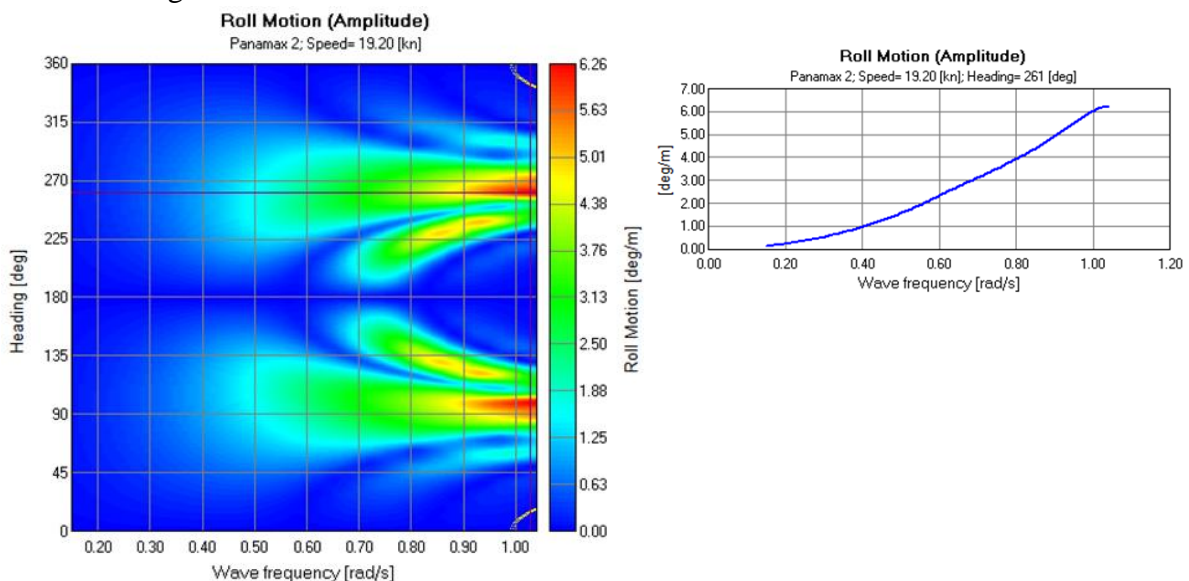


Fig. 3.11 RAO – Diagramele de rului ale navei în balast (amplitudine) la viteza de 19,2 Nd și maximul pentru unghiul de incidență de 260°

Incidența critică a valului se apropie mai mult de traversul navei în acest caz decât în cel al navei încărcate, valorile maxime fiind atinse pentru unghiul de 95° și 265° .

Poate fi constatată o mutare a valorilor maxime de la frecvența valului de 0,5 rad/s la 1,05 rad/s și totodată o scădere de la 9,42 grade/m la 6,26 grade/m, în privința valorilor maxime de ruluu, iar acest lucru este mai bine scos în evidență de diagrama din Fig. 3.12, unde pentru aceleași valori folosite pentru nava încărcată din cazul 1, maximele se regăsesc în dreapta diagramei, iar valorile sunt cu aproximativ 3 grade mai mici.

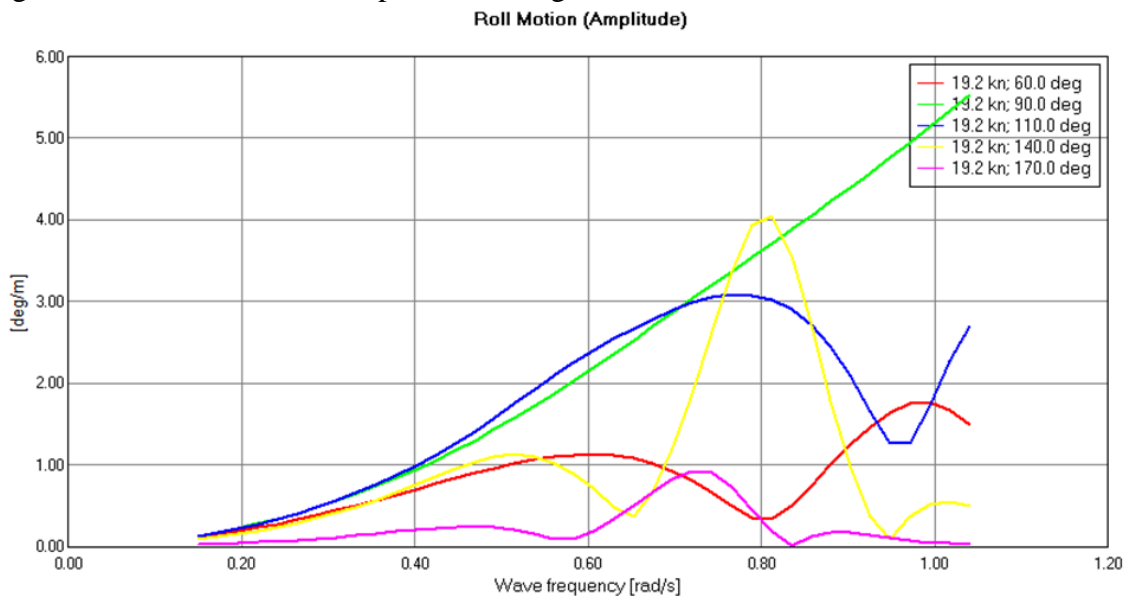


Fig. 3.12 Diagrama comparativă a ruliului pentru diferite unghiuri de val, nava în balast

Statistica pe termen scurt a stării mării a fost evaluată prin elaborarea diagramei polare (Fig. 3.13), în condiții similare ca cele din cazul navei încărcate. Observația principală este că se confirmă valorile mai scăzute, ale celei mai probabile extreme, în toate variantele de stări ale mării.

Pentru mișcarea de ruluu, definitorie în evaluarea stabilității, diagrama polară relevă ca fenomene periculoase doar *surf-riding-ul* sau *broaching-ul*, ambele cauzate de valuri de urmărire.

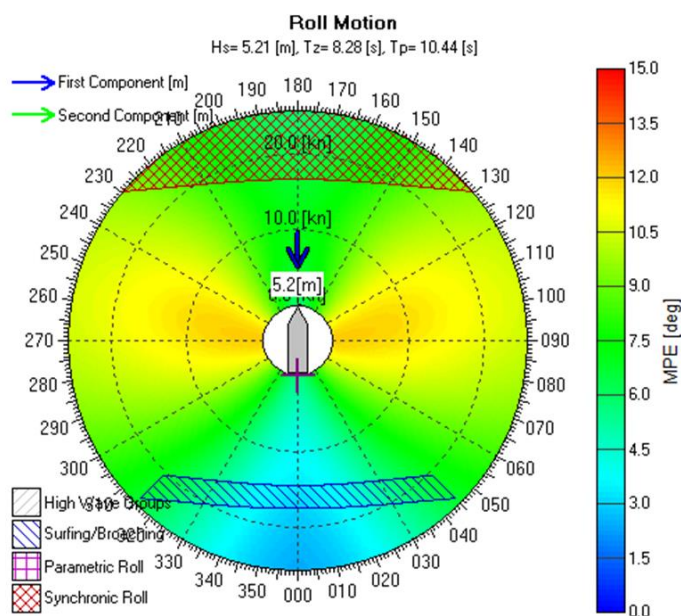


Fig. 3.13 Diagrama polară a mișcării de ruluu a navei (în balast)

A fost efectuată o comparație între mișcările navei portcontainer încărcată și în balast, iar pe diagramele polare sunt clar delimitate zonele în care pot apărea fenomenele periculoase pentru pierderea stabilității, în ambele situații de încărcare.

Apariția fenomenelor periculoase în mare agitată poate fi evitată atât prin modificarea anumitor parametri enumerați mai sus - viteza navei și drumul navei - dar și prin modificarea înălțimii metacentrice, GM , prin balastarea sau debalastarea navei (atunci când este posibil).

A fost propus un model de evitare al fenomenelor periculoase prin folosirea programului OCTOPUS și studierea diagramei polare ca bază pentru decizia de schimbare a vitezei sau drumului navei în condiții de navigație pe vreme rea. [95]

Evaluarea stabilității dinamice prin analiza mișcărilor pe cele șase grade de libertate ale navei în funcție de parametrii sus menționați completează calculele de stabilitate statică cu care nava pleacă în mod normal în orice voiaj.

În concluzie, putem afirma că introducerea programului OCTOPUS în procedura de evaluare a stabilității, poate fi considerată o bună măsură de siguranță, pentru evitarea oscilațiilor periculoase ale navei portcontainer, oscilații care pot conduce la pierderea containerelor dar și la supunerea structurii de rezistență a navei la eforturi considerabile.

3.2 UTILIZAREA METODEI ELEMENTULUI FINIT ÎN EVALUAREA REZISTENȚEI STRUCTURALE A NAVEI PORTCONTAINER ÎN CAZ DE ESUARE

În vederea evaluării rezistenței structurale a navei portcontainer în caz de eșuare, a fost aleasă analiza prin metoda elementelor finite. Programul folosit este NX 8.0, dezvoltat de firma SIEMENS, unul dintre cele mai puternice programe atât pentru partea de proiectare asistată de calculator (CAD), cât și în aplicarea metodei elementelor finite, fiind unul dintre cele mai bine cotate pe piața specifică în acest moment.

Solverul folosit este NX Nastran, care realizează analiza cu elemente finite pentru tensiuni, deformări, defecte de structură, vibrații sau transferuri de căldură. [97]

Unul din modurile cele mai simple de evaluare a deformărilor materialelor este de verificare a tensiunilor apărute (spre exemplu von Mises, normale sau tangențiale) și comparare a lor cu starea limită – de curgere sau de rupere, iar acest lucru va fi evidențiat în continuare.

3.2.1 Proiectarea asistată de calculator (CAD) în programul NX

În vederea studierii navelor de tip portcontainer în diverse situații, care includ accidente navale cum ar fi eșuarea, prin metoda elementelor finite, trebuie realizată partea de proiectare asistată CAD, programul NX permițând, cu funcția Ray Traced, realizarea unor desene de calitate superioară, imaginea apropiindu-se la nevoie de cea reală.

Modelul ales a fost o nava portcontainer de tip Panamax (230 m x 32 m), și au fost folosite planuri similare cu cele realizate de către NOWA Design Office din Szczecin Polonia, pentru șantierul din Hamburg din Germania, nava fiind reprezentată schematic în Fig. 3.16.

Desenele realizate au respectat dimensiunile și caracteristicile acestui tip de navă cu excepția bulbului prova, realizat în 3D sub o formă clasică, acest lucru neinfluențând în nici un fel rezultatele metodei.

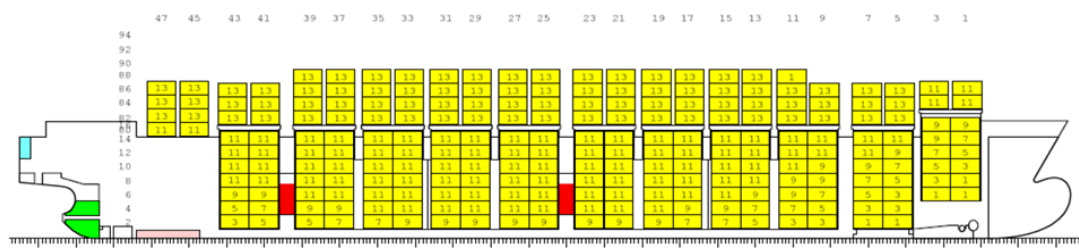


Fig. 3.16 Navă tip portcontainer – vedere laterală

Pentru realizarea corpului de navă au fost folosite simultan și cele două profile, prin vizualizarea lor perpendiculară și folosirea funcției Decal, programul permițând folosirea planurilor pentru realizarea unor desene complexe și detaliate.

Se poate de asemenea urmări conformitatea desenului original cu produsul nou în diverse stadii ale execuției desenului așa cum se poate observa în Fig. 3.18.

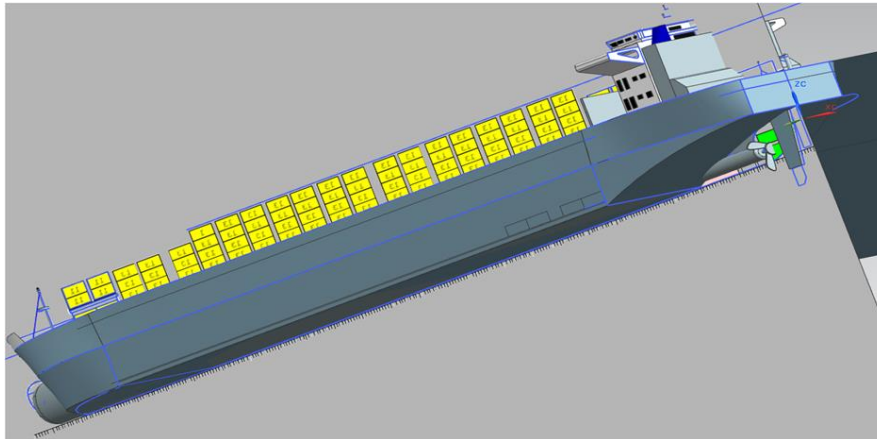


Fig. 3.18 Desen nava portcontainer cu comanda Decal fără planuri de execuție

3.2.2 Studiul prin metoda elementelor finite a fenomenului de eșuare a unei nave

I. Pentru studiul tensiunilor prin metoda elementelor finite, în cazul eșuării unei nave, a fost aleasă partea din nava care urmează să fie studiată, mai precis zona de fund a navei iar pentru studiul propus, am reprezentat corpul de navă care este eșuat pe un fund moale (nisip, mъл, noroi), pe toată lățimea sa (Fig. 3.20).

Pentru prima evaluare a fost aleasă o porțiune din zona de dublu fund iar pentru a doua, una din zona de gurnă, la ambele fiind studiate tensiunile apărute în caz de eșuare.

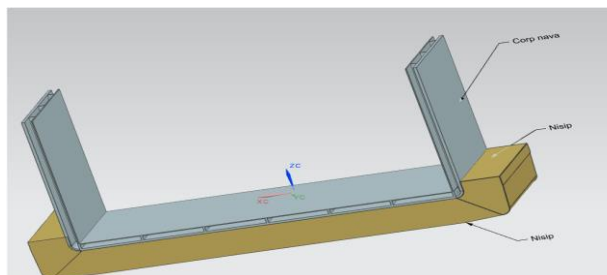


Fig. 3.20 Parte din corpul navei aleasă pentru studiul eșuării pe nisip

Cazul 1. Pentru primul studiu al tensiunilor apărute în corpul navei, a fost aleasă o porțiune aflată între coastele 123 și 133 în suprafață de 32 mp prezentată în Fig. 3.21

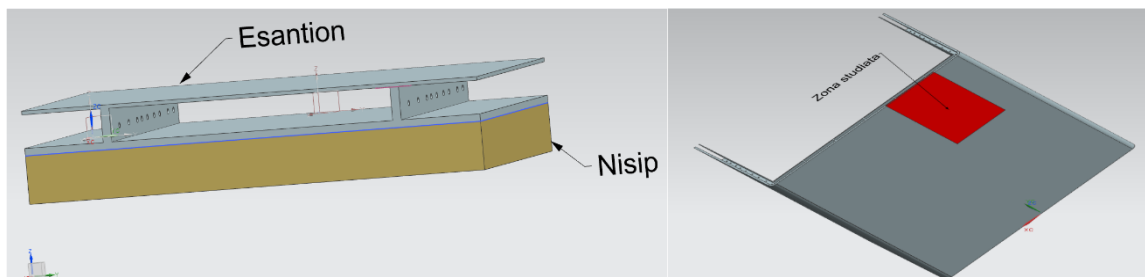


Fig. 3.21 Prima zonă studiată în zona tablelor de fund ale navei

Materialul ales pentru simulare este oțel naval, ale cărui caracteristici sunt prezentate mai jos sub forma unui extras din program, după cum urmează:

```

Information listing created by : Ancuta Cristian
Date : 13.08.2017 12:12:48
Current work part : C:\Users\Ancuta Cr (3)_fem2.fem
Node name : compaq-nw9440
=====

```

MATERIAL INFORMATION

```

Library Material : Steel- NVA ,
Category METAL
Material grade: SZ35JR-EN 10025
Library Reference physicalmateriallibrary.xml
Material Type : Isotropic Material
Version : 2.0
Category : METAL
Mass Density (RHO) : 7.829e-006kg/mm^3

```

===== Mechanical

Young's Modulus (E) : Tabular Data:

temperature	Youngs Modulus (E)
C	mN/mm ² (kPa)
20	206940000

Poisson's Ratio (NU) : Tabular Data:

În vederea stabilirea condițiilor necesare pentru determinarea tensiunilor prin MEF a fost efectuată discretizarea eșantionului (primului corp) și s-au folosit următoarele caracteristici:

- Element tip: CTETRA (10),
- Mărime element: 5,53 mm, (automat),

Înainte de a discretiza primul corp, s-au obținut nodurile la limită (au fost stabilite condițiile la limită la frontiera domeniului modelat), iar pentru modelarea 3D au fost folosite elemente de volum sub forma unui tetraedru regulat conform Figurii 3.22.

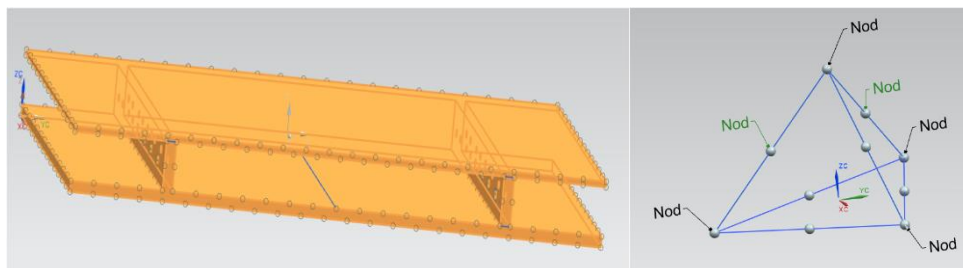


Fig. 3.22 Noduri la limită și elemente de volum folosite

După terminarea discretizării, a fost încastrat primul corp de studiu apoi s-au aplicat presiuni oblice, direcția CSYS Global, folosind următoarele valori ale presiunilor: $P_x = -500$ MPa, $P_y = 400$ MPa și $P_z = 600$ MPa, (card name este: PLOAD 4).

În studiul tensiunilor prin MEF se procedează la determinarea tensiunilor normale, tangențiale și von Mises (sau Tresca), care indică stările de tensiune și posibila atingere sau depășire a stării limită a materialului studiat în diverse situații de încercări.

Tensiunile tangențiale sunt calculate cu formula lui Juravski iar pentru tensiunile normale se folosește formula lui Navier:

Pentru a studia comportamentul primului corp suspus la presiuni, s-a observat comportarea materialului din corp în mai mulți pași (în funcție de timp), iar pentru fiecare tip de tensiune au fost aleși 6 pași, după cum urmează:

Variația tensiunilor tangențiale pe pași este redată în Anexe, din care au fost extrase prima și ultima figură, putându-se observa stadiul inițial și modul de deformare finală a corpului, precum și valorile extreme ale tensiunilor tangențiale (Fig. 3.23)

- Valoarea minimă a tensiunii tangențiale: $\tau_{min} = 0,967$ Mpa,

- Valoarea maximă a tensiunii tangențiale: $\tau_{max} = 396,821$ MPa.

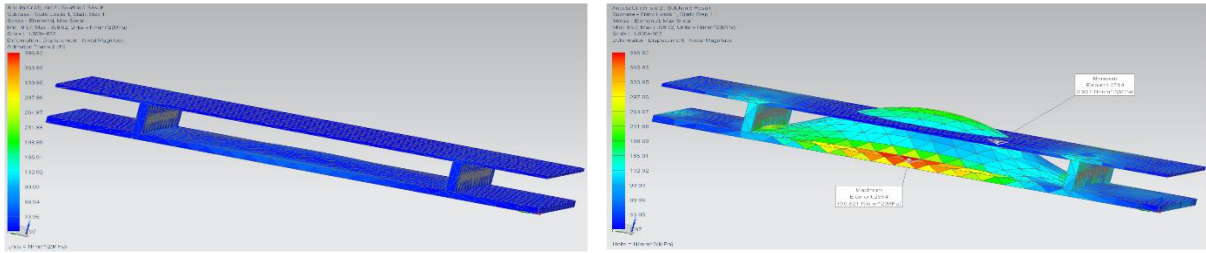


Fig. 3.23 Pasul 1 – stânga și pasul 5 – dreapta în evoluția tensiunilor tangențiale

Conform teoriei de rupere, este reprezentativă variația tensiunilor von Mises, reprezentată similar în Anexe, iar valorile maxime și minime, conform Figurii 3.24, sunt:

$$\sigma_{v \min} = 0 \text{ MPa și } \sigma_{v \max} = 1539,083 \text{ MPa.}$$

Au fost de asemenea reprezentate tensiunile normale, utilizate mai des în practica inginerescă, valorile minime și maxime atingând:

$$\sigma_{min} = -365,797 \text{ MPa și } \sigma_{max} = 321,229 \text{ MPa.}$$

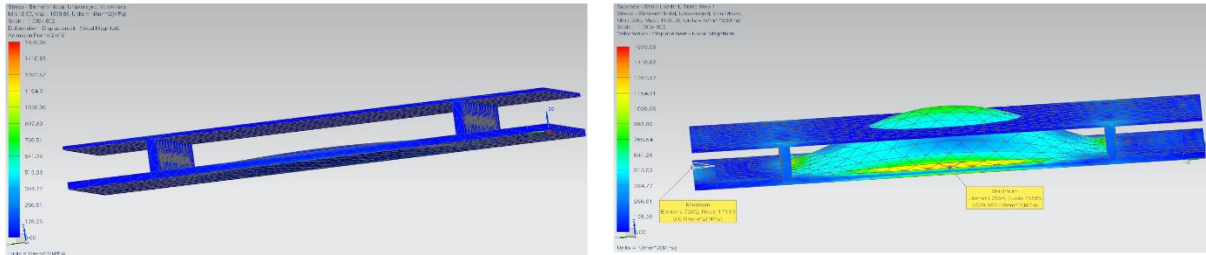


Fig. 3.24 Pasul 1 – stânga și pasul 5 – dreapta în evoluția tensiunilor von Mises

Pentru analiza completă a stării de solicitare, programul a permis analizarea tensiunilor normale octaedrice.

Simularea a fost făcută de asemenea în cinci pași redați de asemenea în Anexe.

Valorile extreme ale tensiunilor octaedrice sunt (Fig. 3.26):

$$\sigma_{oct \min} = 750,582 \text{ MPa și}$$

$$\sigma_{oct \max} = -1967,922 \text{ MPa.}$$

Similar se poate citi diagrama acestor tensiuni pentru o zonă de interes, unde se poate vedea variația puternic nelineară în diverse puncte a tensiunii normale octaedrice.

Cazul 2. A doua evaluare de tensiuni induse de eșuarea navei a fost efectuată pentru comportarea învelișului navei în zona de gurnă, delimitată de coastele 123-133.(Fig. 3.27 – corpul II de studiu)

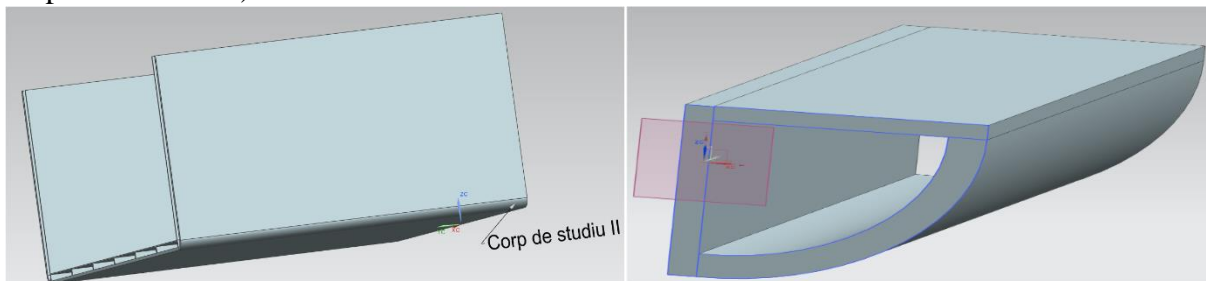


Fig. 3.27 A doua zonă de studiu a tensiunilor în caz de eșuare (corpul II)

A fost realizată discretizarea celui de al II-lea corp; elementele finite sunt de tip CTETRA(10) și au o valoare de 17,3 mm. În urma discretizării obțin: 8582 de elemente și

16834 de noduri, rezultatele finale fiind reprezentate în Fig. 3.28 (tensiuni tangențiale) și Fig. 3.29 (tensiuni von Mises), iar valorile extreme sunt:

Tensiunile tangențiale $\tau_{max} = 1187,34$ MPa și $\tau_{min} = 0$ MPa.

Tensiuni von Mises $\sigma_v_{max} = 1434,46$ MPa și $\sigma_v_{min} = 4,23$ Mpa

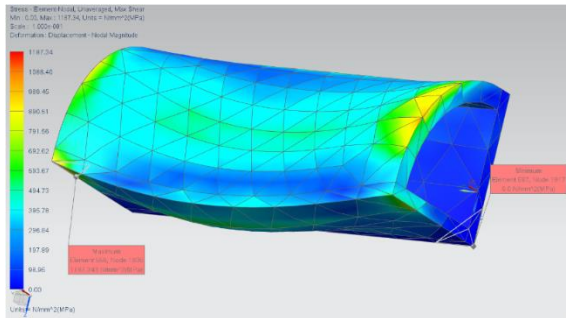


Fig. 3.28 Tensiuni tangențiale corp II

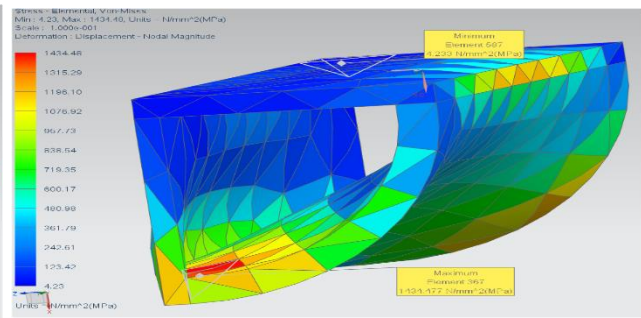


Fig. 3.29 Tensiuni von Mises corp II

A fost efectuată evaluarea tensiunilor normale (3 pași) și normale octaedrice (3 pași), după tiparul folosit și cazul primei zone, rezultatele extreme fiind:

$\sigma_{max} = 417,27$ MPa și $\sigma_{min} = -487,52$ Mpa pentru tensiunile normale (Fig. 3.30),

$\sigma_{oct_{max}} = 123,82$ MPa și $\sigma_{oct_{min}} = -62,51$ Mpa pentru tensiuni normale octaedrice (Fig. 3.31).

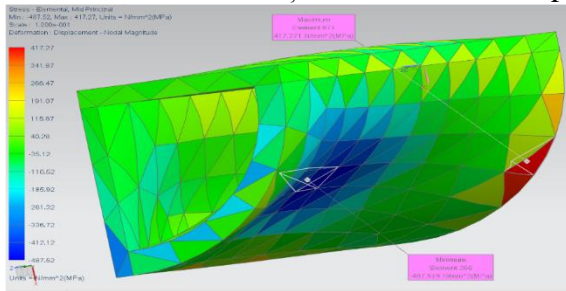


Fig. 3.30 Tensiuni normale extreme corp II

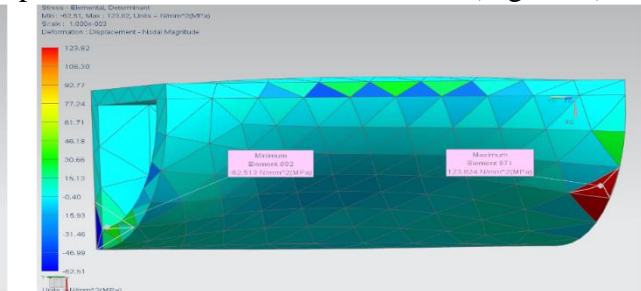


Fig. 3.31 Tensiuni normale octaedrice corp II

Pentru obținerea unor rezultate care să ajute la concretizarea unor măsuri, sunt necesare mai multe simulări, pentru nave de diferite dimensiuni sau zone afectate. Ca urmare a acestor simulări se pot evidenția limitele unor parametri pentru care structura cedează – viteza navei, aria de contact, zona afectată din corpul navei, pescaj.

Cercetări de acest fel sunt folosite de autorități portuare, care sunt încurajate să efectueze astfel de analize pentru evaluarea unor situații limită. Un astfel de studiu a fost efectuat de către Autoritatea Canalului Panama, care a simulat eșuarea unei nave portcontainer în zona unui pod de pe Canal și în urma căruia au fost propuse măsuri cu privire la panta taluzului în zona apropiată de piciorul podului pentru a fi evitată o coliziune cu acesta.[104]

3.2.3 Studiul dezvoltării fisurilor apărute ca urmare a eșuării navei portcontainer prin metoda elementelor finite

În acest capitol au fost analizate câteva categorii de fisuri care pot lua naștere în corpul navei portcontainer, ca urmare a unui accident soldat cu eșuare.

Deplasamentul navei eșuate contribuie la dezvoltarea unor energii de deformare foarte mari la interacțiunea cu fundul mării, iar fenomene asociate deformărilor plastice ale materialelor din care este constituită structura navei – table, varange, suporturi – pot iniția astfel de manifestări.

Pentru studiul prin metoda elementului finit a fisurilor din zona fundului navei a fost folosit programul Abaqus/CAE creat de firma Dassault Systemes al cărui mod de folosire este descris pe scurt în cele ce urmează. Modelarea navei portcontainer a fost realizată în programul

NX 10 (dezvoltat de Siemens), după un proiect tip, similar celui realizat la DSME (Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering) din Coreea, al unei nave portcontainer cu capacitate de 13.300 TEU și care are următoarele caracteristici principale:

Lungime = 351 m;
Lățime = 48 m;
DWT = 153.514 Tdw;
Pescaj = 15,5 m.

Șantierul Daewoo din Coreea folosește de asemenea programul NX de la Siemens, pentru diverse faze din proiectarea navelor.

Pentru analiza fisurilor din zona tablelor de fund ale navei în caz de eșuare a fost folosit programul Abaqus/CAE 6.14, după un scenariu care a mai fost abordat în literatura de specialitate, prin modelarea unei porțiuni (eșantion) de 1 m x 0,5 m, conform Figurii 3.33.[105]

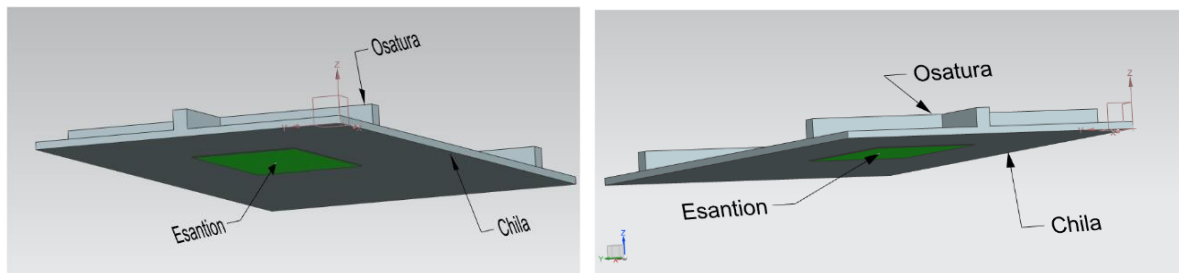


Fig. 3.33 Nava portcontainer – elemente de osatură de fund și eșantion

Pentru aplicarea unor măsuri pasive, așa cum au fost ele definite, este necesară înțelegerea dinamicii în caz de eșuare (sau coliziune), iar simularea aplicată se va referi la fisurarea plăcii pe toată grosimea ei în zona de fund a navei.[106]

A) **Scenariul I.** În prima simulare, dimensiunea eșantionului este de 0,5 m x 1 m iar grosimea tablei a fost aleasă conform standardelor navale, de 0,02 m, formându-se astfel un corp în programul Abaqus, în care fisura poate fi reprezentată atât la marginea plăcii cât și la interior (Fig. 3.34). [107]

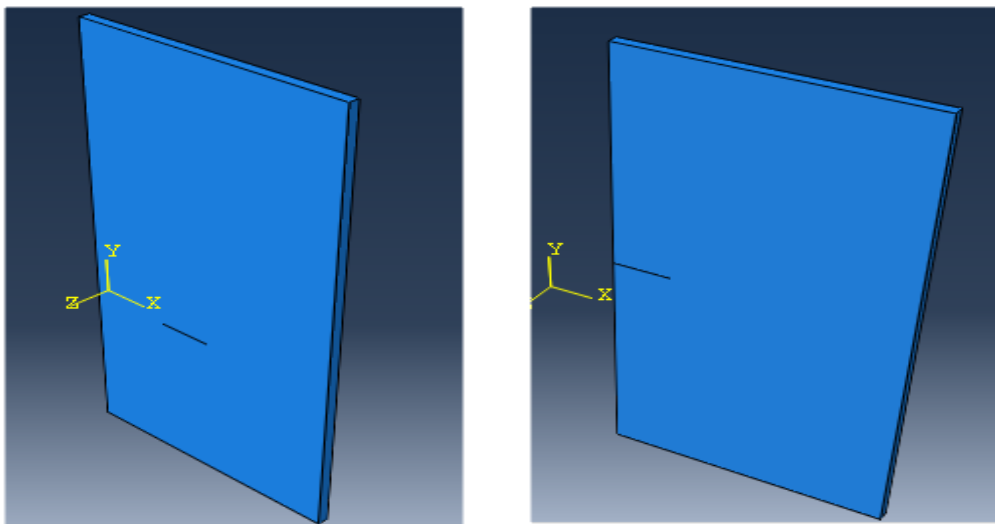


Fig. 3.34 Eșantion tablă fund cu fisură în interiorul plăcii (stânga) sau în margine (dreapta)

Pentru discretizare au fost folosite elemente finite de tip HEX (6 suprafețe) cod C3D8R (element finit continuu în 3D cu 8 noduri și integrare redusă). Studiul fisurii (comanda JOB) verifică totodată modul corect de introducere a valorilor și etapelor de lucru.

În urma calculului efectuat cu metoda elementelor finite în programul Abaqus s-a constatat că, la aplicarea unei presiuni de 100 MPa, fisura începe să se dezvolte pe lățimea plăcii.

Odată cu creșterea presiunii la 200 MPa, fisura crește în lungime, tensiunile von Mises atingând valorile maxime la capătul fisurii (Fig. 3.35), iar în final aceasta se propagă pe toată lungimea plăcii, ducând la ruperea eșantionului.

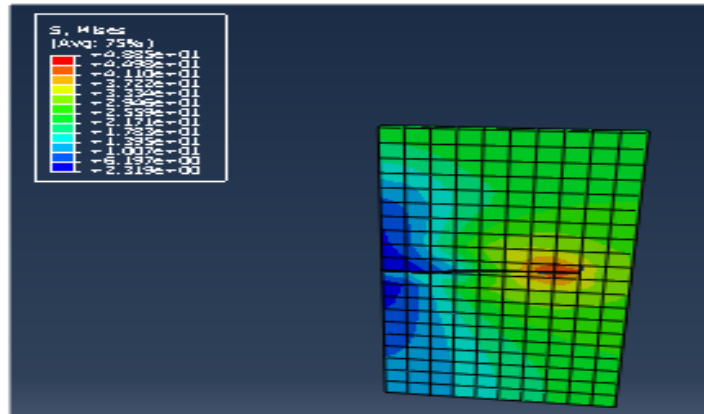


Fig. 3.35 Propagarea fisurii în placă

B) Scenariul II

Scenariul presupune simularea prin MEF, a apariției și propagării în zona tablelor de fund a fisurii, la marginea unei găuri de formă circulară, care poate fi consecința unei eșuări ușoare a navei portcontainer. Aplicarea MEF pentru propagarea fisurilor poate constitui o abordare care să ducă la o analiză modernă a dinamicii acestui fenomen.

A fost aleasă simularea unei găuri circulare, din zona tablelor de dublu fund ale navei și analizată cu SIMULIA, parte a programului Abaqus Unified FEA/Dassault Systeme.(Fig. 3.36)

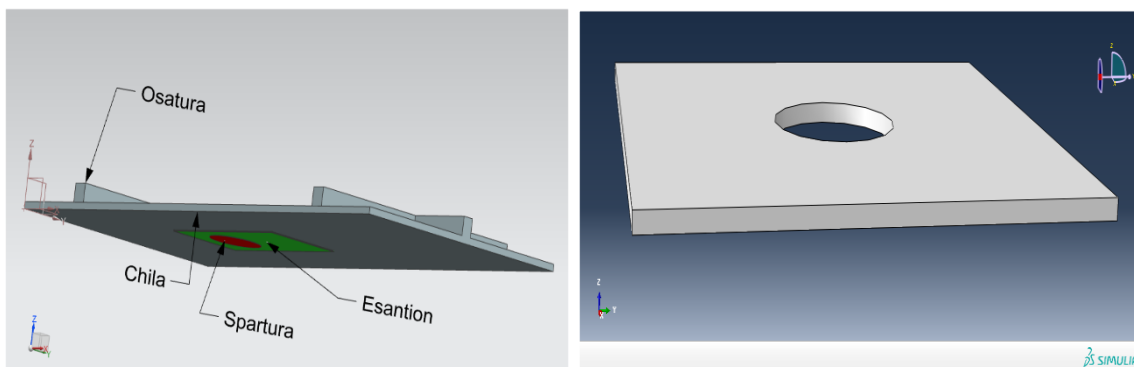


Fig. 3.36 Simularea unei găuri circulare în tabla de fund a navei

Presiunea care a fost aleasă este perpendiculară pe una din fețele plăcii, pe suprafața opusă este încăstrarea, iar restul corpului comportându-se ca o articulație.

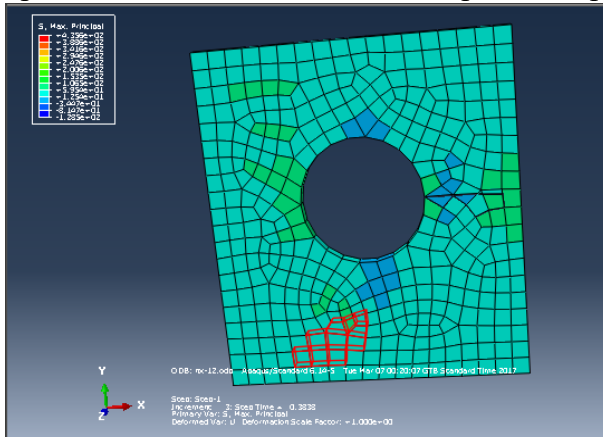


Fig. 3.37 Tensiunile normale σ_{max} înainte de deformare (stânga)

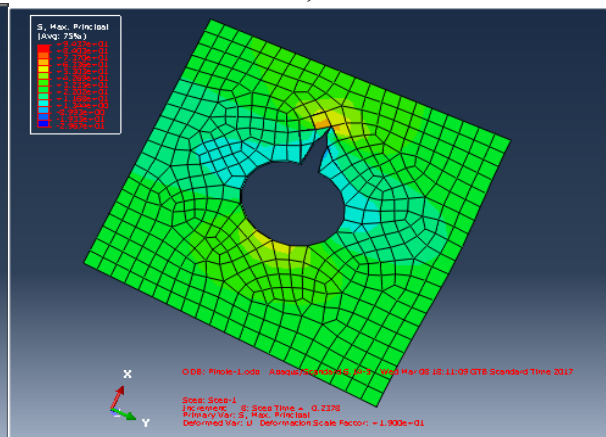


Fig. 3.38 Tensiunile normale σ_{max} după deformare (dreapta)

Placa a fost discretizată în elemente finite de tip Hex de 3 mm. Dimensiunea elementelor finite au fost alese automat iar discretizarea conține 428 elemente finite. Modul de propagare al fisurii de lângă gaură confirmă teoria și este redat în Fig. 3.37, iar în Fig. 3.38 se poate observa că tensiunile normale maxime se concentrează la vârful fisurii.

Fisura se dezvoltă fără a fi nevoie de eforturi mari, diferențele de tensiuni între starea inițială și cea de dezvoltare a fisurii nefiind diferențe notabile, după cum se poate observa în Fig. 3.38.

A fost studiată distribuția tensiunilor von Mises, valorile minime și maxime situându-se în zona fisurii și zona opusă punctului de început al acesteia, lucru redat în Fig. 3.39.

Variația tensiunilor tangențiale maxime păstrează tiparul variației tensiunilor von Mises, diferența constând în valori care, sunt mai reduse în cazul celor tangențiale. (Fig. 3.40)

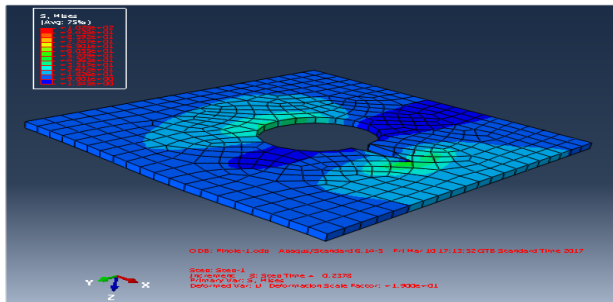


Fig. 3.39 Tensiunile von Mises în placa fisurată

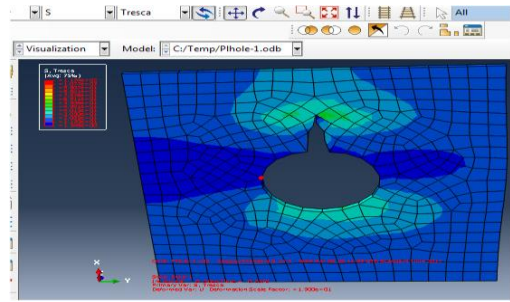


Fig. 3.40 Tensiunile tangențiale maxime

Urmare a dezvoltării fisurii, deformațiile care apar sunt în totalitate plastice iar abordarea acestora face apel la criteriile de plasticitate din teoriile de rezistență.

Prin utilizarea MEF, calea cea mai simplă de a cuantifica avarierea structurii (materialului) o reprezintă limitele von Mises însă, după unii autori, aceste limite nu pot fi considerate limite ultime ca urmare a unor testări uniaxiale.

Deformările specifice echivalente (von Mises) dintr-un element, într-o zonă unde variația spațială este puternică, depind foarte mult de dimensiunea elementului.[85]

C) Scenariul III.

A fost studiat prin MEF, modul de propagare al fisurii, dacă gaura de la care începe propagarea este de formă eliptică, caz mai aproape de consecințele reale ale unei astfel de avarii la tablele de fund ale navei.

A fost studiată întâi varianta în care fisura este poziționată în prelungirea axei mari a elipsei, după tiparul folosit la gaura circulară.

Valorile maxime ale tensiunilor von Mises (σ_v) se află, așa cum era de așteptat, la vârful fisurii și capătul opus al axei mari al elipsei, similar cu tensiunile σ_{II} (Fig. 3.41).

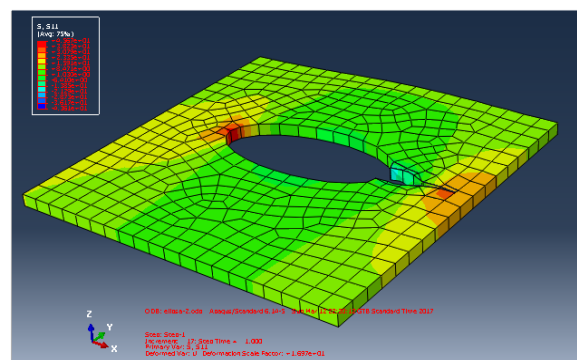
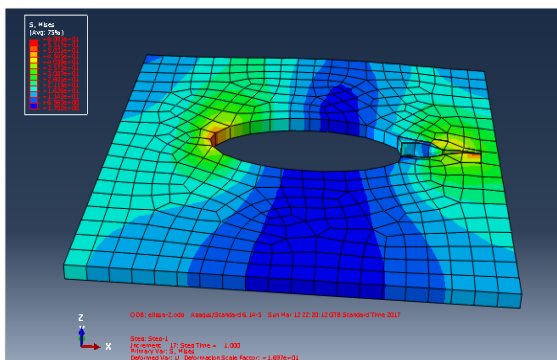


Fig. 3.41 Tensiunile von Mises (stânga) și σ_{II} (dreapta) pentru fisura la axa mare a elipsei

Valorile tensiunilor σ_{12} , prezintă o particularitate, în sensul că, dacă la vârful fisurii, valorile maxime sunt într-o parte a acesteia, atunci valorile σ_{12} maxime se regăsesc în capătul opus al elipsei, pe partea simetrică față de axa mare. (Fig. 3.42).

Dacă fisura s-a dezvoltat la 70 MPa, creșterea presiunii la valoarea de 200 MPa, provoacă ruperea plăcii și redistribuirea tensiunilor.

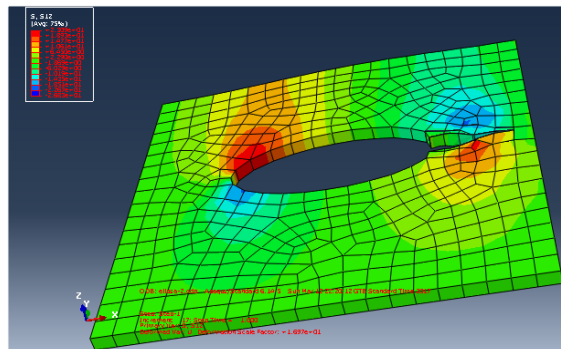


Fig. 3.42 Tensiunile σ_{12} la placa cu fisură la axa mare a găurii eliptice

În al doilea caz, fisura a fost inițiată la gaura eliptică în lungul axei mici, iar aplicarea unei presiuni de lucru de 70 MPa, provoacă o distribuție a tensiunilor potrivit criteriilor von Mises și Tresca, similar cu situația precedentă în privința distribuirii pe placă, adică la extremitatea axei lungi a elipsei.

La creșterea presiunii, fisura se propagă pe direcția semiaxe mici, tensiunile maxime von Mises concentrându-se doar la vârful fisurii, o distribuție similară cu cea a tensiunilor normale σ_{11} , după cum se poate observa în Fig. 3.43.

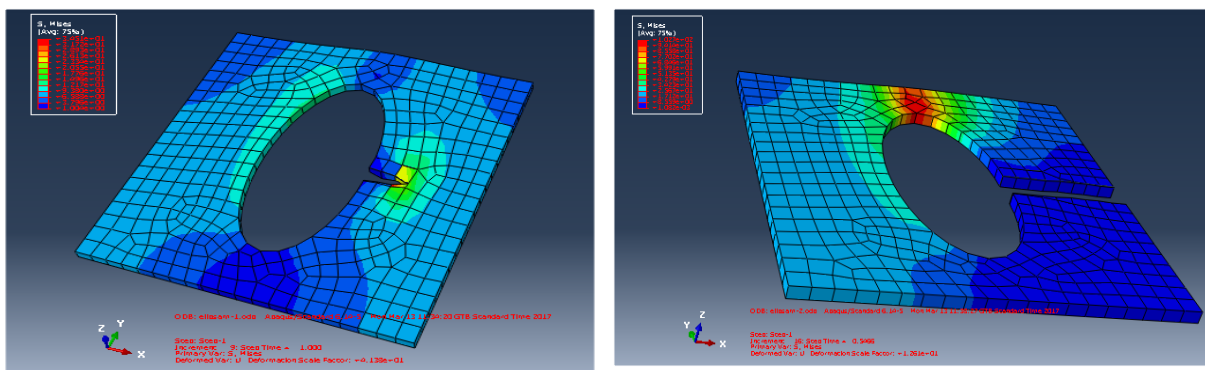


Fig. 3.43 Tensiunile von Mises la placa cu fisură la axa mare a găurii eliptice la creșterea presiunii

Dezvoltarea fisurii apare la o presiune uniformă de 200 MPa, iar ruperea plăcii se realizează la o presiune de 600 MPa, o valoare mult mai mare în comparație cu eșantionul care are fisura lângă semiaxa mare (Fig. 3.41). S-a observat că, la ruperea elipsei după axa mică, valorile tensiunilor maxime von Mises sunt neuniform repartizate la unul din capetele axei mari a elipsei (similar cu σ_{12}).

Putem trage concluzia că, în cazul existenței unei fisuri datorate unei găuri în formă de elipsă în tablele de fund ale navei, atât propagarea fisurii cât și ruperea se produc mai rapid și cu mai puține eforturi, în cazul în care fisura se află în prelungirea axei mari a găurii, decât în cazul fisurii poziționate în prelungirea axei mici a găurii eliptice.

În prezentările de mai sus a fost descrisă mai detaliat și procedura de lucru cu programul Abaqus, pentru analiza prin MEF a fisurilor dezvoltate la marginea unei plăci, în jurul unor găuri circulare și eliptice (în axa mare și axa mică).

Lucrarea evidențiază faptul că metoda elementului finit poate fi utilizată cu succes la mecanica ruperii în domeniul naval, nu numai pentru faza de proiectare, ci și pentru fazele ulterioare ale exploatării navei, în vederea elaborării unor măsuri de siguranță bazate pe o cunoaștere profundă a tuturor proceselor care se desfășoară în domeniul accidentelor navale.

3.3 STUDIU COMPARATIV PRIVIND EVALUAREA REZISTENȚEI CONTAINERULUI MARITIM LA CRESTEREA TEMPERATURII ÎN CAZ DE EXPLOZIE SAU INCENDIU LA BORD

Incendiul sau explozia la bordul navei portcontainer, pot fi caracterizate de un tipar descris în capitolul anterior, în care fenomenele descrise mai sus se desfășoară. Stiva de containere se comportă ca o structură complexă dar, a cărei rezistență, depinde de fiecare rând de containere iar avarierea gravă a unui montant, poate conduce la prăbușirea întregii stive de containere care se află deasupra.

Varietatea de mărfuri ce pot fi transportate și stivuite în sistem multimodal face inutilă încercarea de a evalua prin teste, efectele flăcărilor generate de diverse materiale asupra stivei de containere.

Cele două scenarii care au putut fi luate în considerare au fost situațiile în care incendiile au fost provocate în interiorul containerului (datorită ambalării sau stivuirii necorespunzătoare a mărfurilor) și efectele datorate unui incendiu din exterior, sursa acestuia putând fi o scurgere de substanțe inflamabile din container (sau container adiacent).

Rezultatele testului de foc efectuat în interiorul unui container etanș și în exteriorul unei stive de 3x3 containere de oțel și aluminiu, a arătat pe scurt următoarele:

1. Containerele de oțel nu acționează ca bariere în calea dezvoltării unui incendiu,
2. Sistemul de amaraj și de stivuire al containerelor are o influență pozitivă asupra stivei afectată de incendiu, în sensul că oferă o oarecare rigiditate și stabilitate structurală,
3. Incendiile izbucnite în interiorul containerelor etanșe care nu s-au dezvoltat, stingându-se de la sine, nu au afectat containerele adiacente însă, focul deschis poate afecta integritatea stivei.

Concluzia testului este că, orice încercare de a modifica structura sau modul de construire al containerului nu este economică, măsurile de luptă împotriva incendiului rezumându-se la mijloace de stins incendiu care să controleze temperatura sau să suprime focul.

3.3.2 Studiu de evaluare a rezistenței containerului maritim la creșterea temperaturii prin MEF folosind programul ABAQUS

Containerul maritim este, prin modul de construire, un mijloc foarte eficient de transport a unei mari varietăți de mărfuri, ce permite manipulări ușoare și rapide iar, prin forma specifică regulată, o stivuire foarte bună atât ca eficiență, cât și ca rezistență în condițiile transportului pe navă, a cărei proiectare impune folosirea de materiale potrivite și teste riguroase.

Atunci când containerele cu marfă sunt stivuite, iar greutatea totală a stivei, a cărei înălțime poate ajunge la 9-12 rânduri, afectează în mod direct un container de la bază, această greutate poate atinge valori de 200 000 kg (9 rânduri înseamnă 8 suprapuse x 24 000 kg = 192 000 kg, peste cel de la bază), fiind și greutatea folosită la testele de standardizare.[109].

Prezenta simulare prezintă modul de manifestare a tensiunilor în interiorul montanților de susținere a containerului maritim de la baza unei stive, la modificarea temperaturii materialului, așa cum a fost explicat anterior, rezultatul fiind că au fost îndeplinite condițiile de atingere și depășire a limitelor de rezistență, în cazul dezvoltării unor temperaturi de peste 500⁰ C, lucru obișnuit pentru incendiile cu flacără, ce afectează direct un container.

Restul elementelor componente ale containerului, neparticipând la rezistența la compresiune datorate greutateii containerelor suprapuse, nu au fost luate în considerare.

Simularea a fost simplificată prin încărcarea cu o sarcină corespunzătoare greutateii stivei, ce acționează sub forma unei forte de compresiune în elementele de susținere verticală – montanții – ale containerului. Fig. 3.47

Desenul a fost realizat în programul NX 10 de la Siemens, respectând toate valorile standard pentru stâlplul containerului. Oțelul folosit are caracteristicile conform standardului ISO [108]:

Tip oțel JIS: SPA-H OR EQUIVALENT,

Densitate 7850 kg/m^3 ,

Dimensiuni stâlp: $60 \text{ mm} \times 60 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$,

$Y_P = 35 \text{ kg/mm}^2$, $T_S = 49 \text{ kg/mm}^2$, $E = 22\%$, Coeficientul lui Poisson $\nu = 0,33$.

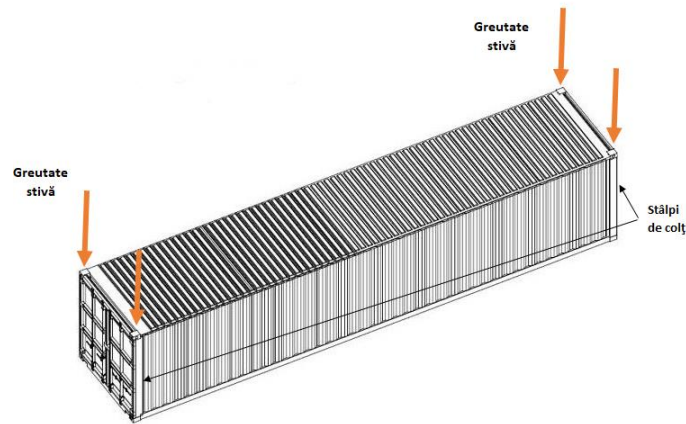


Fig. 3.47 Elementele structurale de rezistență ale containerului maritim standard de 40'

Desenul a fost importat în programul Abaqus/CAE 6.14-15, pentru a putea studia variația parametrilor modulul lui Young sau modulul de elasticitate longitudinal și coeficientul de plasticitate.

În cazul încălzirii materialului, limitele de curgere și de rezistență ale oțelului se modifică în conformitate cu cele descrise în capitoul anterior, astfel încât valorile tensiunilor von Mises se modifică în montant, în funcție de temperatură, pentru aceeași încărcare în capătul montantului.

Astfel, dacă la temperatura ambiantă (20^0 C), așa cum se poate observa în Fig. 3.48, acestea ating un maxim de $1.44 \times 10^2 \text{ N/mm}^2$, odată cu modificarea temperaturii datorită încălzirii provocate de un incendiu, la valori ce ating 600^0 C în material, tensiunile din material ating valoarea maximă de $3,143 \times 10^2 \text{ N/mm}^2$ (vezi Fig. 3.49).

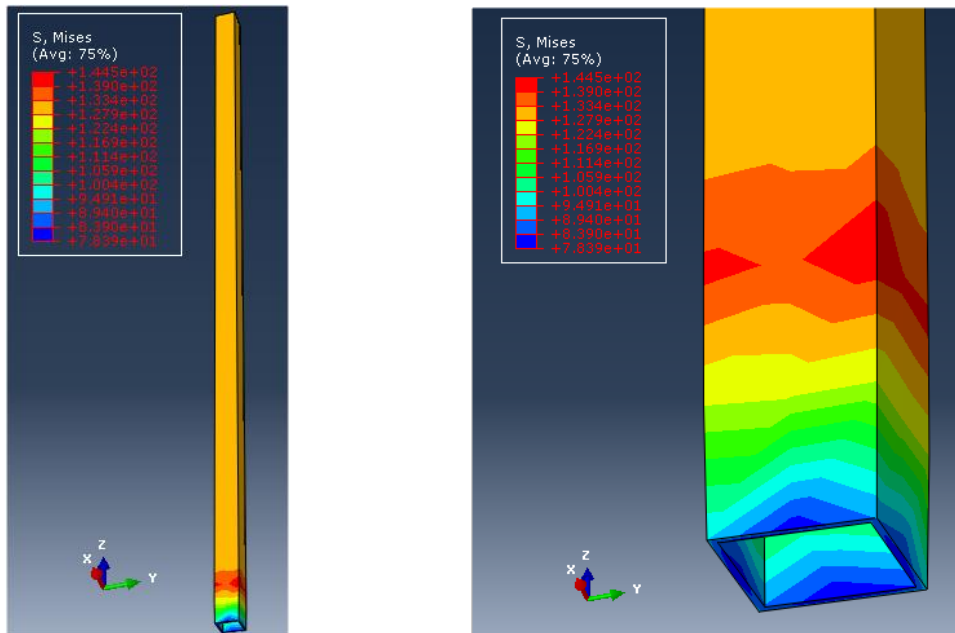


Fig. 3.48 Montantul containerului la temperatura ambiantă (20^0 C)

În cazul în care temperatura continuă să crească, fenomenul de slăbire a rezistenței oțelului se amplifică, valorile von Mises atingând $5,82 \times 10^2 \text{ N/mm}^2$, la temperatura de 800^0 C ,

depășind evident limitele de curgere ale oțelului, chiar dacă forța de compresiune rămâne constantă.

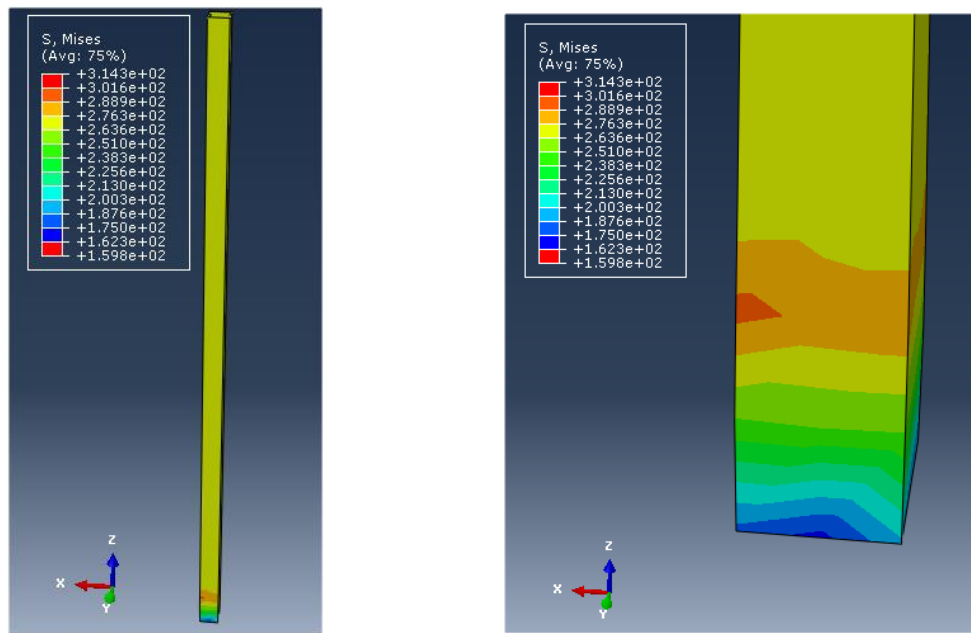


Fig. 3.49 Montantul containerului la temperatura ambiantă (600⁰ C)

Așa cum a fost arătat și în testul efectuat în Statele Unite în anul 1977, există posibilitatea ca, amarajul de la baza stivei, împreună cu containerele neafectate din imediata vecinătate, să „susțină” pentru o perioadă stiva în poziția verticală, eventual containerele să se sprijine unele de altele înainte de prăbușire. [37]

Concluzia care poate fi trasă este că, elementele de rezistență ale containerului sunt afectate de creșterea temperaturii în caz de incendiu, lucru ce poate conduce, în anumite condiții la prăbușirea întregii stive de containere provocând astfel generalizarea incendiului.

Testele efectuate în ultimii ani, și analiza accidentelor soldate cu incendii sau explozii de la bordul navelor portcontainer, arată indubitabil că, măsura primă și permanentă este de răcire a zonei afectată de incendiu.

4 MĂSURI PROPUSE PENTRU CREȘTEREA SIGURANȚEI ÎN EXPLOATARE A NAVEI PORTCONTAINER

4.1 PROPUNERI DE MĂSURI PENTRU EVITAREA EȘUĂRII NAVEI PORTCONTAINER

Interpretarea datelor și a fenomenelor care au fost evidențiate pentru nava portcontainer scoate în evidență propuneri, care pot deveni măsuri de îmbunătățire a siguranței pentru accidentele maritime soldate cu eșuare astfel:

- introducerea unor viteze de manevră a navei, specifice pentru anumite zone cu potențial ridicat de risc de eșuare;
- introducerea în programele de încărcare ale navei a unor scenarii de compartimente inundate urmare a găurii de apă;
- efectuarea de simulări complexe în situații variate pentru fiecare navă și aduse la cunoștința comandanților, astfel încât deciziile importante luate în momente critice să diminueze la maxim consecințele unei eșuări;
- revizuirea permanentă a procedurilor pentru operarea navei, care să ia în calcul posibile avarii la instalația de guvernare sau propulsie și cadrul de măsuri specifice imediate care pot remedia situația și reduce riscul eșuării;
- creșterea pantei șenalului navigabil printr-un dragaj sau amenajare hidrografică corespunzătoare, în vederea evitării unor eșuări puternice;
- amenajarea unor construcții hidrotehnice, urmare a unor simulări comparative între efectele unei eșuări puternice pe fund moale al unei nave și efectele unei coliziuni la aceeași viteză cu o amenajare de tip cheu, ce poate fi prevăzută cu fendere sau alte mijloace de amortizare;

Consecințele unei eșuări pot degenera, din cauza propagării unor fisuri în structura navei, ducând la o slăbire importantă a rezistenței structurale a navei, cu posibilitatea reală de cedare totală a acesteia prin ruperea efectivă. Accidentele la care s-a făcut referință – *MOL Confort*, *MSC Napoli*, *Rena* – sunt tot atâtea exemple care susțin această teorie.

Scopul cercetărilor în acest domeniu este să găsească proceduri de identificare a unor parametri care influențează semnificativ un anumit scenariu de esuare

Trebuie avut în vedere și faptul că, așa cum a fost arătat în lucrare, o eșuare care nu presupune străpungerea tablelor de fund, poate fi extrem de periculoasă prin slăbirea extremă a rezistenței structurale datorită afectării elementelor de rezistență din osatura navei.

Numărul de simulări în domeniul eșuărilor și coliziunilor crește constant în ultima perioadă iar acest lucru duce la o rafinare a rezultatelor. Ținta urmărită ar putea fi de găsire a unor criterii de deformare a structurii pentru fiecare model de deformare, prin luarea în calcul a cât mai multor cazuri posibile, dar care să fie și probabil să se întâmple.[85]

Metoda elementelor finite devine astfel, un instrument foarte potrivit pentru înțelegerea și investigarea comportamentului navei în caz de eșuare, iar rezultatele pot să sprijine validarea unor experimente efectuate, pentru abordarea viitoare a scenariilor de eșuare.

4.4 MĂSURI SUPLIMENTARE ȘI SOLUȚII TEHNICE CE POT CONTRIBUI LA CREȘTEREA SIGURANȚEI LA BORDUL NAVELOR PORTCONTAINER ÎN CAZ DE INCENDIU SAU EXPLOZIE

Acțiunile care se pot întreprinde în scopul evitării efectelor incendiilor și al exploziilor la bordul navelor portcontainer se pot grupa în funcție de două mari obiective:

- prevenirea inițierii incendiilor și exploziilor la bordul navelor portcontainer,

- controlul luptei cu focul și limitarea la minim a ariei afectate, în cazul când incendiul deja s-a dezvoltat, asociat sau nu cu o explozie.

În timp ce prima grupă de obiective se adresează întregului lanț logistic, începând de la expeditor până la destinatarul mărfii transportată în container datorită legăturii de cauzalitate în acest lanț, a doua grupă detaliază măsuri specifice unui anumit loc sau entitate care participă la transportul containerizat, în acest caz, măsuri specifice aplicabile la bordul navei portcontainer.

Din analiza factorilor de risc prezentați anterior, la transportul mărfurilor containerizat, se pot evidenția următoarele tipuri de măsuri:

1. *Măsuri care au legătură directă cu marfa transportată* și sunt în fapt măsuri de prevenție:
 - a. în sarcina expeditorului/producătorului;
 - b. în sarcina terminalului;
 - c. în sarcina liniei de operare prin implementarea unor programe axate pe siguranță (cu cuvinte cheie pentru mărfuri periculoase de exemplu);
 - d. în sarcina navei, de urmărire a modului corect de stivuire al containerelor cu marfă periculoasă, programe noi de gestionare ușoară a informațiilor legate de mărfurile periculoase și introducerea de noi căi de monitorizare a parametrilor mărfurilor periculoase.
2. *Măsuri care au legătura cu nava portcontainer* și pot avea, atât rol de prevenție, dar și de gestionare eficientă al unui incendiu sau urmări ale unei explozii:
 - a. sisteme de detecție a incendiului în stadiu timpuriu.;
 - b. prelungirea pereților etanși și rezistenți la foc, pe puntea navei. O variantă intermediară ar putea-o constitui departajarea unor compartimente separate de incendiu care să cuprindă mai multe magazine;
 - c. un sistem fix de tunuri cu apă ce pot fi folosite în caz de incendiu, suportul vertical fiind rabatabil sau telescopic pentru a fi ferit de manipulările din porturi, dar care să asigure acoperirea cu apă a întregii nave, iar operarea acestor tunuri cu apă să poată fi făcută de la distanță.
 - d. echiparea capacelor de magazie și a pereților magaziiilor cu sisteme de stingere a incendiului cu apă, în acest mod realizându-se și o răcire eficientă;
 - e. ridicarea nivelului punții de amaraj a containerelor, peste nivelul 5, asigurând în acest fel și un amaraj eficient și echiparea cu sprinklere sau sisteme de ceață de apă care să separe zone afectate de incendiu.

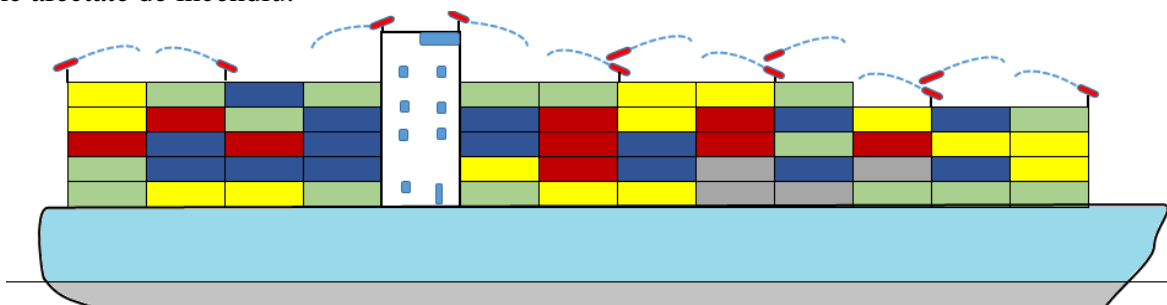


Fig. 4.2 Schema instalației fixe de stingere a incendiului cu tunuri de apă (telescopice)

- f. formarea de bariere de apă pulverizată la înaltă presiune între stivele de containere, sub forma unor perdele sau pereți de apă.

Măsurile propuse mai sus trebuie evaluate în cheia cost-beneficiu, însă se bazează pe necesitatea implementării la bordul navelor portcontainer a unor măsuri suplimentare de prevenție sau de ajutor în cazul accidentelor maritime datorate incendiilor sau exploziilor.

Toate evaluările indică imposibilitatea eliminării complete a riscului de incendiu și explozie la bordul navelor portcontainer printr-o soluție tehnică sau procedurală aplicabilă, însă conștientizarea riscului și împărtășirea experienței acumulate ca urmare a accidentelor care au avut loc, și a măsurilor luate individual și care și-au dovedit eficiența, pot aduce nivelul riscului la valori pe care acest sector al transportului le merită.

CONCLUZII

Teza de doctorat prezintă trei aspecte critice din exploatarea navelor portcontainer, care pot conduce la slăbirea rezistenței structurale a navei, lucru demonstrat prin modul în care s-au desfășurat unele accidente maritime, ale căror rapoarte de investigație au fost studiate și prezentate.

Acestea se referă la:

a) Modul în care nava portcontainer este afectată în cazul navigației pe mare agitată, prin studierea oscilațiilor navei pe valuri cu ajutorul programului OCTOPUS și măsuri ce pot fi luate în vederea evitării unor fenomene oscilatorii periculoase pentru siguranța navei.

b) Condiții specifice în care se poate produce eșuarea navei portcontainer și evaluarea modului în care este afectată structura navei în cazul eșuării

- pe fund moale, lucru care poate conduce la bombarea tablelor de fund sau,
- eșuarea pe stâncă, ce poate conduce la găurirea corpului navei.

A fost arătat faptul că nava eșuată poate fi supusă unor solicitări suplimentare ce pot conduce la propagarea unor fisuri iar aspectele legate de bombarea tablelor și propagarea fisurilor au fost evaluate prin MEF, folosind programul NX al firmei SIEMENS.

c) Impactul temperaturilor crescute din cazul unei explozii la bordul navei portcontainer, atât asupra structurii navei dar și a containerelor cu marfă, avarierea acestora putând conduce la prăbușirea stivei și generalizarea incendiului cu efecte devastatoare pentru navă și echipaj.

Aspectele critice de mai sus au fost tratate etapizat pe parcursul lucrării, prin studierea contextului actual și al elementelor teoretice care stau la baza fenomenelor care se desfășoară în caz de accident, analiza unor accidente reprezentative, simularea unor situații în studii de caz și propunerea unor măsuri de îmbunătățire a siguranței, după cum urmează:

1. A fost expus în cadrul capitolului 2 al tezei, un studiu al oscilațiilor navei portcontainer, precum și teoria formării fenomenelor de rulu parametric și de pierdere a stabilității navei în valuri de urmărire, evidențiind condițiile specifice de apariție în cazul navelor portcontainer.

2. Au fost prezentate în teza abordările actuale ale accidentelor maritime, precum și conceptele noi și modelele de evaluare a riscului.

3. A fost utilizată MEF pentru studierea comportamentului structurii navei portcontainer prin simularea solicitărilor și analizarea răspunsurilor în cazul unei nave Panamax, cu ajutorul programului NX Siemens. Au fost evidențiată variația tensiunilor principale - tangențiale, von Mises și tensiuni normale – care apar și ating valori critice, ce depășesc limitele de curgere sau deformabilitate, în cazul tablelor de fund sau tablelor din zona de gurnă a navei portcontainer.

8. A fost efectuată o analiză prin MEF, a modului de propagare a fisurilor ce pot apărea în tablele de fund ale navei portcontainer în caz de eșuare. Pentru acest studiu a fost folosit programul Abaqus/CAE 6.14, și simulată dezvoltarea fisurilor în întreaga grosime a plăcii (reprezentând tabla de fund) dar și propagarea fisurilor în jurul unei găuri circulare sau elipsoidale, în conformitate cu aspectele tratate teoretic.

8. Au fost făcute propuneri de măsuri legate de eșuarea navei portcontainer pe baza studierii comportamentului structurii acesteia, care să conducă la:

- limitarea efectelor unei eșuări prin - reducerea vitezei, simulări și scenarii la navă, amenajări hidrotehnice specifice,
- reducerea riscului de eșuare prin – revizuirea procedurilor, viteze de manevră.

9. A fost prezentat pe larg stadiul actual în domeniul legislației maritime referitoare la prevenirea incendiilor și a exploziilor la bordul navelor portcontainer.

10. Au fost prezentate principalele sisteme de stingere a incendiilor la bordul navelor și prin studierea folosirii acestora în cazul unor accidente navale reprezentative (*MSC Flaminia*),

prezentate și analizate în capitolul 2, a fost evaluată eficacitatea acestora și limitările pe care aceste sisteme le au în cazul navelor portcontainer.

11. Au fost analizate situațiile prezentate în rapoartele accidentelor maritime, pe care navele portcontainer le-au avut în ultimii ani, în care au fost implicate explozii și incendii, și au fost elaborate concluzii și măsuri.

12. A fost prezentat un studiu privind rezistența containerului maritim standard, la creșterea temperaturii datorată unei explozii sau unui incendiu puternic de la bordul navei portcontainer.

13. Urmare a cercetărilor pentru pregătirea tezei efectuate în ultimii ani, în legătură cu pericolul pe care incendiul și explozia îl reprezintă pentru transportul containerizat, au fost propuse idei și echipamente noi, care să ajute la prevenirea sau controlul incendiilor, precum și măsuri pentru control ale riscului în transportul mărfurilor periculoase.

Contribuții proprii

În actuala teză au fost elaborate următoarele studii, ce constituie contribuții proprii la cercetarea în domeniul siguranței navelor portcontainer:

1. Descrierea modului de folosire a programului OCTOPUS pentru analiza oscilațiilor navei în condiții de navigație pe mare montată.

2. Studiu comparativ al răspunsului dinamic al navei portcontainer de tip Panamax în două condiții de încărcare, pe ruta Hamburg - Baltimore, folosind Programul OCTOPUS evidențiind modul în care programul este folosit pentru luarea unei decizii referitoare la stabilitatea navei portcontainer în condiții de navigație pe vreme rea și evitarea fenomenelor periculoase precum rulu parametric sau căderea între valuri de urmărire.

3. Analiza prin MEF a modului de deformare a tablelor de fund ale unei nave portcontainer, în cazul unei eșuări pe fund moale, prin studierea variației tensiunilor normale, tangențiale și von Mises peste limita de curgere în eșantionul ales în zona de fund și gurnă a unei nave portcontainer, folosind programul NX.

4. Analiza prin MEF a modului de dezvoltare a fisurilor în jurul unei găuri circulare sau eliptice din tabla de fund a unei nave portcontainer, prin evidențierea variației tensiunilor normale și von Mises până la ruperea totală a eșantionului, folosind programul Abaqus.

5. Studiu privind rezistența containerului maritim stivuit la bordul navei portcontainer, la creșterea temperaturii în caz de explozie sau incendiu, prin MEF, folosind programul Abaqus.

6. Analiza proceselor din fluxul mărfurilor periculoase pe timpul transportului containerizat pentru evidențierea riscurilor și elaborarea unor măsuri de control ale riscului de explozie la bordul navei portcontainer.

Domenii de cercetare

Pentru că există un număr relativ mic de studii efectuate de cercetători din țara noastră, este oportună dezvoltarea zonei de analiză a accidentelor navale, pentru o înțelegere mai bună a producerii și desfășurării acestor accidente de către toți factorii implicați în transportul naval.

Având în vedere gradul mare de acoperire al tipului de nave pe care navigatorii români își desfășoară activitatea precum și multitudinea de terminale care deservește portul Constanța, interesul pentru creșterea siguranței specifice anumitor nave este deplin justificat, iar domeniile de cercetare propuse, în vederea unei aprofundări a cunoștințelor legate de accidente maritime sunt:

- analiza factorilor care afectează siguranța navei petrolier sau LNG în cazul unui accident maritim care implică incendiu sau explozie,
- cercetări privind comportamentul navelor vrachier sau petrolier în caz de eșuare,
- cercetări privind comportamentul navelor în caz de coliziune.

Bibliografie

- [1] *** Review of Maritime Transport 2016, United Nations, Geneva 2017.
- [2] *Levinson M*, The box: How the shipping container made the world smaller and the world economy bigger, Princetown University, 2006.
- [3] *** <https://www.statista.com/statistics/253987/international-seaborne-trade-carried-by-containers/>.
- [4] *** https://www.alphaliner.com/resources/Alphaliner_Monthly_Monitor/.
- [5] *** <https://alphaliner.axsmarine.com/PublicTop100> .
- [6] *** Annual Overview Of Marine Casualties And Incidents, EMSA, 2017.
- [7] *** Claims at a Glance, The Swedish Club, ianuarie 2017, www.swedishclub.com.
- [8] *** OP Notice To Shipping No.N-1-2016, Panama Canal Authority, 2016.
- [9] *** Container Ship Update, DNV-GL Maritime, 2016, www.dnvgl.com.
- [10] *** <https://theloadstar.co.uk/msc-cma-cgm-jumbo-ise-21-containerships-ulcvs/>.
- [11] *** Rules for Building and Classing, American Bureau of Shipping, 2017, www.dnvgl.com.
- [12] *** Interim Report of Committee on Large Container Ship Safety, Committee on Large Container Ship Safety, Japan -December 2013, www.classnk.or.jp.
- [13] *** Intermodal Marine Container Transportation: Impediments and Opportunities, Transportation Research Board, Special Report 236, National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, Washington DC, 1992, <https://doi.org/10.17226/11404>.
- [14] *Payer, H.G.*, Challenges în ship design, fabrication and inspection – A Class view, 9th Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures, Luebeck-Travemuende, Germany, 2004
- [15] *** Interim Guidelines for Open-top Containerships, MSC/Circular 608/Rev.1, IMO, 1994.
- [16] *** Adoption of the International Code on Intact Stability, Resolution MSC.267(85), IMO, December 2008.
- [17] *** Investigation Report on Structural Safety of Large Container Ships, Class NK, September 2014, www.classnk.or.jp.
- [18] *** Flooding of engine room of Emma Maersk, Danish Maritime Accident Investigation Board, 19 December 2013, www.dmaib.com.
- [19] *** Report on the investigation of the structural failure of MV MSC Napoli, Marine Accident Investigation Branch, 9 April 2008, www.maib.gov.uk.
- [20] *** Grounding of the MV Norfolk Express on the River Vesser, Federal Bureau of Maritime Casualty Investigation, Germany, 10 April 2014, www.bsu-bund.de.
- [21] *** Fire and explosion on board the MSC Flaminia în Atlantic and ensuing events, Federal Bureau of Maritime Casualty Investigation, Germany, 28 February 2014, www.bsu-bund.de.
- [22] *Yong B., Wei-Liang J.*, Marine Structural Design, Butterworth-Heinemann, 2016 ISBN 978-0-08-099997-5.
- [23] *** Final Report of Committee on Large Container Ship Safety, Committee on Large Container Ship Safety, March 2015, <http://www.mlit.go.jp/common/001081297>.
- [24] *** Functional Requirements on Load Cases for Strength Assessment of Container Ships by Finite Element Analysis, Mai 2015, www.iacs.org.uk.
- [25] *Nguen TH., Amdahl J., Leira B.J., Garre L.*, Understanding ship-grounding events, Marine Structures, October 2011, www.researchgate.net/publication/251621852.
- [26] *Wang G., Ohtsubo H., Liu D.*, A Simple Method for Predicting the Grounding Strength of Ships, Journal of Ship Research, Vol. 41, No. 3, Sept. 1997, pp. 241-247
- [27] *Simonsen B.C.* – Ship grounding on the rock – Danish Center For Applied Mathematics And Mechanics, Report No 555, Octombrie 1997
- [28] *Wang G., Seah A.H., Shin Y.*, Predicting Ship Structure Performance in Accidents, MARTECH 2002 International Conference on Maritime Accidents, Singapore, 18 - 20 September, 2002
- [29] *** Damage Assessment After Accidental Events, 17th International Ship And Offshore Structures Congress, 2009 Seoul, Korea - VOLUME 2 , COMMITTEE V.1, pag 30
- [30] *Buzdugan G.*, Rezistența materialelor, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1963.
- [31] *Tripa P.*, Rezistența Materialelor, Editura MIRTON, Timișoara, 2001
- [32] *** Curs de mecanica ruperii, Universitatea Politehnică din București, www.resist.pub.ro
- [33] *Diaconu-Șotropa D.*, Bazele securității la incendiu în construcții, Universitatea Tehnică „Gh. Asachi” din Iași, Editura POLITEHNIUM, 2014.

- [34] ***, Fire safety – Vocabulary, ISO 13943:2017
- [35] *Zoltan T.*, Analize calitative și cantitative în managementul riscului în sectorul industrial chimic, Universitatea Babeș –Bolyai, Facultatea De Științe și Ingineria Mediului, Teza de doctorat, 2010
- [36] *Eckhoff R.*, Dust explosions in the process industries, 3rd ed., Burlington: Gulf Professional Publishing, 2003.
- [37] *Eberly R.*, Fire Performance of Intermodal Shipping Containers, Merchant Marine Technical Division, Washington, 1977.
- [38] *Tripa P., Huluscu M.*, Rezistența Materialelor. Noțiuni Fundamentale Și Aplicații, Editura Mirton, Timișoara 2006.
- [39] *Franssen J.M., Talamona D., Kruppa J., Cajot L.G.*, Stability Of Steel Columns In Case Of Fire: Experimental Evaluation, Journal of Structural Engineering, February 1998.
- [40] ***, Eurocode 3: Design of Steel structures – Part 1-2: General rules –Structural fire design, The European Union Per Regulation, 2011.
- [41] *Kaspar W., Yunping X., Keun L., Byunhun K.*, Thermal Response Of Reinforced Concrete Structures In Nuclear Power Plants, College of Engineering and Applied Science, University of Colorado, SESM No. 02-2009.
- [42] *Zaharia R.*, Calculul Structurilor La Actiunea Focului. Partea aI-a: Eurocoduri, Universitatea “Politehnică” Din Timișoara Facultatea De Construcții, Curs Master, 2016.
- [43] ***, Convenția Internațională din 1974 pentru ocrotirea vieții omenești pe mare (Convenția SOLAS), Rezoluția 98(73) a Comitetului de Securitate Maritimă a IMO, Londra, 2000
- [44] ***, Rezoluție nr. 365/2014, Comitetul de Securitate Maritimă a IMO, Amendamente la Convenția internațională din 1974 pentru ocrotirea vieții omenești pe mare Londra, 22 mai 2014.
- [45] ***, Rezoluție nr. 380/2014, Comitetul de Securitate Maritimă a IMO, Amendamente la Convenția internațională din 1974 pentru ocrotirea vieții omenești pe mare Londra, 24 noiembrie 2014.
- [46] ***, Rezoluție A.81 (IV), Codul maritim internațional pentru mărfuri periculoase (Codul IMDG), Londra, 27 noiembrie 1965.
- [47] ***, Alternative Design and Arrangements for Fire Safety, Guidance Notes, American Bureau of Shipping, January 2004.
- [48] ***, Rules for Classification of Ships, Additional Fire Protection Part 6 Chapter 4, Det Norske Veritas, January 2011.
- [49] ***, Enhanced Fire Protection Arrangements, American Bureau of Shipping, September 2013.
- [50] ***, Fire-Fighting Systems for On-Deck Cargo Areas of Container Carriers, American Bureau of Shipping, May 2017.
- [51] ***, Codul Internațional pentru instalațiile de protecție contra incendiului (Codul FSS), Organizația Maritimă Internațională, Londra, 2006.
- [52] *Andrei C., Lamba M.D., Hanzu Pazara R.*, A Proposed Criterion for Assessment the Pure Loss of Stability of Ships in Longitudinal Waves, U.P.B. Sci. Bull., Series D, Vol. 77, Iss. 2, 2015
- [53] ***, The Swedish Club, Heavy Weather 2014, www.swedishclub.com
- [54] *Rahola J.*, The judging of the stability of ships and the determination of the minimum amount of stability, Ph.D. Thesis, Helsinki 1939.
- [55] *St. Denis M, Pierson W.*, On the motions of ships in confused seas, Princetown University, 2006.
- [56] ***, IMO MSC707, Guidance to the Master for Avoiding Dangerous Situations in Following and Quartering Seas, Octombrie 1995.
- [57] ***, IMO Document SLF 55, Summary Report, February 2013.
- [58] *Maier V.*, Mecanica și Construcția Navei, VOL II - Dinamica Navei, Editura Tehnică 1987.
- [59] *Domnișoru L.*, Dinamica Navei, Oscilații și vibrații ale corpului navei, Editura Tehnică, 2001.
- [60] *Belenky V.L., Katt J.O., Umeda N.*, On Performance-Based Criteria for Intact Stability, ABS Technical Papers, 2007.
- [61] *Shin Y.S., Belenky V.L., Pauling J.R., Weems K.M., Lin W.M.*, Criteria for Parametric Roll of Large Containerships in Longitudinal Seas, ABS Technical Papers, 2004.
- [62] *Belenky V., Bassler C., Spyrou K.*, Development of Second Generation Intact Stability Criteria, Naval Surface Warfare Centre, Carderock Division , Report NSWCCD-5-FR- 2011/065 (USA Navy public release December 2011).
- [63] *Vromen, T.G.M.*, Analysis of Parametric Roll Resonance using Poincare Maps, Eindhoven Institute of Technology, 2010.

- [64] *Francescutto A., Bulian G.*, Nonlinear and Stochastic Aspects of Parametric Rolling Modelling, Ship Stability Workshop, Webb Institute, 2002.
- [65] *Deleanu D.*, Numerical investigation of a two – degrees – of – freedom ship model for pitch – roll motion, 4th International Conference "Modern Technologies in Industrial Engineering", 2017.
- [66] *Deleanu D.*, Simultaneous Resonance Cases In A Pitch – Roll Ship Model. Part 1: First – Order Approximate Solutions, Fourth International Scientific Conference "Engineering, Technology, Education, Security", DOI10.13140/RG.2.1.2147.7529, 2016.
- [67] ***ABS, Guide for the assessment of parametric roll resonance in the de design of container carriers, American Bureau of Shipping, September 2004 (updated June 2008).
- [68] *Spyrou K.J.* The Nonlinear Dynamics of Ships in Broaching, MCFA Annals, Ianuarie 2001, <http://www.mariecurie.org/annals/volume1/spyrou.pdf>.
- [69] *Davidson K.S.M.* A note on the steering of ships in following seas, 7th Int. Congr. Appl. Mech., London 1948.
- [70] *Grim O.*, Das Schiff in von Achtern Anlaufender See, 1951.
- [71] *Umeda N., Hashimoto H., Maki A., Hori M., Matsuda A., Momoki T.*, Prediction Methods for Broaching and Their Validation – Final report of SCAPE Committe (Part 6), IMO SLF 51 Session, Iulie 2008, https://www.jasnaoe.or.jp/en/research/pdf/Part_6.pdf.
- [72]. ***, Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, American Institute of Chemical Engineers (AIChE), Second Edition, New York, 2000.
- [73] *** Revised Guidelines For Formal Safety Assessment (FSA) For Use In The Imo Rule-Making Process, IMO MSC-MPEC. 2/Circ 12, Iulie 2013.
- [74] *** Formal Safety Assessment FSA - Container Vessels - Details Of The Formal Safety Assessment, IMO MSC 83/INF, 8 Iulie 2007.
- [75] *** Annual Overview Of Marine Casulities And Incidents, European Maritime Safety Agency, 2015, www.emsa.europa.eu.
- [76] *Varsami A.E., Chircor M., Popescu C., Hanzu – Pazara R.*, Refloating A Ship Using Her Own Means - Annals Of DAAAM & Proceedings Of The 23rd International DAAAM Symposium, Volume 23, 2012.
- [77] *Varsami A.E., Popescu C., Dumitrache C.L., Hanzu - Pazara R., Chircor M., Acomi N.*, The Influence Of Grounding Events On Maritime Industry - Annals Of DAAAM & Proceedings Of The 22nd International DAAAM Symposium, Volume 22, 2011.
- [78] *Hong L., Amdahl J.*, Rapid Assessment Of Ship Grounding Over Large Contact Surfaces, Ships And Offshore Structures, Vol. 7, No. 1, 2012.
- [79] *Heinvee M, Tabri K.*, A Simplified Method To Predict Grounding Damage Of Double Bottom Tankers, Journal Of Marine Structures, Elsevier, Octombrie 2015.
- [80] *Pedersen P.T., Simonsen B.C.*, Dynamics Of Ships Running Aground – Danish Center For Applied Mathematics And Mechanics, Martie 1995.
- [81] *Hong L.*, Simplified Analysis And Design Of Ships Subjected To Collision And Grounding, Norwegian University Of Science And Technology, Decembrie 2008
- [82] *** Collision And Grounding, 16th International Ship And Offshore Structures Congress, August 2006.
- [83] *Wang G., Spence J., Chen Y.*, Assessment Of A Ship's Performance In Accidents, American Bureau Of Shipping, Houston, 2002.
- [84] *Simonsen B.C.*, Ship Grounding on Rock, Danish Center For Applied Mathematics And Mechanics, Octombrie 1997.
- [85] *Samuelides M.S., Amdahl J., Dow R.*, Studies On The Behaviour Of Bottom Structures During Grounding, 1st International Conference Of Marine Structures – Glasgow, Martie 2007.
- [86] *** Marine Accident Report, Caroline Maersk Fire in containers, Danish Maritime Investigation Board, Aprilie 2016, www.dmaib.com.
- [87] *** Fire and explosion on board the MSC FLAMINIA on 14 July 2012 in the Atlantic and the ensuing events, Federal Bureau of Maritime Casualty Investigation, Februarie 2014, www.bsu-bund.de.
- [88] *** , Revised Emergency Response Procedures for Ships Carrying Dangerous Goods (EmS Guide), MSC/Circ.1025, Organizația Maritimă Internațională, Londra, 2002.
- [89] *** , Fișa cu date de securitate Nitrat (azotat) de amoniu, www.azomures.com.

- [90] *Chițu M.G., Zăgan R.*, Prediction for Roll Cross-Vertical Oscillatory Motions of the Ship in Real Sea Using OCTOPUS, International Journal of Modern Manufacturing Technologies Vol VI, No 1/2014.
- [91] *Journee H.M.J., Pinkster J.*, Introduction in ship hydromechanics, Delft University of Tehnology, April 2002.
- [92] *** OCTOPUS Office 6 User Manual, AMARCON BV September 2010.
- [93] *France W.N., Levandou M., Trakle T.W., Michel R.K., Moore K.*, An Investigation of Head-Sea Parametric Rolling and its Influence on Container Lashing Systems, SNAME Annual Meeting Presentation, 2001.
- [94] *** MSC267(85), Code on Intact Stability IMO, December 2008.
- [95] *Acomi N., Ancuta C, Andrei C, Bostina A*, Avoiding the Parametric Roll, 8th International Conference on Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics, and Nanotechnologies (ATOM-N) 25-28 sept 2016 Constanta, Romania.
- [96] *** Program NX, Siemens PLM Software, <https://www.plm.automation.siemens.com/en>.
- [97] *** Program Nastran, <https://www.plm.automation.siemens.com/en/products/femap/nxNastran/>.
- [98] *Hadar A., Marin C.*, Metode Numerice În Inginerie, Ed. Politehnica, București, 2004
- [99] *Domnișoru L.*, Analiza Structurilor Navale Prin Metoda Elementului Finit. Aplicații Numerice, Editura Fundației Universitare „Dunărea De Jos” Galați, ISBN: 978-973- 627-437-4, 2009.
- [100] *Năstăsescu V., Amado S.*, Analiza Neliniară A Structurilor Mecanice Prin Metoda Elementelor Finite, Ed. ATM, București, 2002.
- [101] *Radeș M.*, Analiza Cu Elemente Finite, Ed. Politehnica, București, 2006.
- [102] *Domnișoru L.*, Calculul Și Construcția Navei. Îndrumar De Proiect, Editura Universității “Dunărea De Jos” Galați, 2004.
- [103] *Maier V.*, Mecanica Și Construcția Navei, Ed. Tehnică, Vol. I. București
- [104] *CCC Highways Consulting Co.*, Vessel Grounding Study Report, PANAMA CANAL AUTHORITY
- [105] *** Manual SIMULIA, www.3ds.com/product-services.
- [106] *Paik J., Wierzbicki T.*, A Benchmark Study on crushing and cutting of plated structures, Journal of Ship Research, 1997, pag. 147-160
- [107] *** *Manual Abaqus*, www.abaqus.software.polimi.it.
- [108] ***, Series Freight Containers – Specification and Testing – Part 1, General Cargo Containers, ISO 1496-1, 5th edition 1990.
- [109] *Zha X., Zuo Y.*, Finite Element Study of Container Structure under Normal and High Temperature, Mathematical Problems in Engineering, Volume 2016.
- [110] *Zipfel B., Lehmann E.*, Evaluation of Critical Grounding Incidents, 5th International Conference on Collision and Grounding of Ships, Finland 2010, pp.97-103
- [111] *** Marine Accident Report, Charlotte Maersk Fire, Danish Maritime Investigation Board, Iulie 2010, www.dmaib.com.
- [112] *** P&I - FAQ Calcium Hypochlorite, The Swedish Club, Mai 2011, www.swedishclub.com.
- [113] *** Guidelines for the Carriage of Calcium Hypochlorite in Containers, A Joint Publication of CINS (the Cargo Incident Notification System) and the International Group of P&I Clubs, Mai 2016.
- [114] *** Guidelines for the Carriage of Charcoal and Carbon in Containers, A Joint Publication of CINS (the Cargo Incident Notification System) and the International Group of P&I Clubs, October 2017.
- [115] *Yeoh C.M., Chai B.L., Kwon T.H., Yi K.O., Kim T.H., Lee C.S., Kwark G.H., Lim H.*, Ubiquitous Containerized Cargo Monitoring System. Development based on Wireless Sensor Network Technology, Int. J. of Computers, Communications & Control, ISSN 1841-9836, E-ISSN 1841-9844 Vol. VI (2011), No. 4 (December), pp. 779-793.