

IOSUD – UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” DIN GALAȚI

Școala doctorală de Inginerie Mecanică și Industrială



REZUMAT

TEZĂ DE DOCTORAT

**STUDII PRIVIND ANALIZA
RISFULUI
STRUCTURAL LA SOLICITĂRI
ACCIDENTALE A
NAVELOR**

**Doctorand,
Ing. Dumitru-Silviu PERIJOC**

**Conducător științific,
Prof. univ.dr.ing. Leonard DOMNIȘORU**

**Seria I 6: Inginerie Mecanică Nr. 81
GALAȚI
2024**

IOSUD – UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” DIN GALAȚI

Școala doctorală de Inginerie Mecanică și Industrială



REZUMAT

TEZĂ DE DOCTORAT

**STUDII PRIVIND ANALIZA RISCULUI STRUCTURAL LA SOLICITĂRI
ACCIDENTALE A NAVELOR**

**Doctorand,
Ing. Dumitru-Silviu PERIJOC**

Președinte	Prof.univ.dr.ing. Elena MEREUȚĂ
Conducător științific,	Prof univ.dr.ing. Leonard DOMNIȘORU
Referenți științifici,	Prof.univ.dr.ing.H.C. Anton HADĂR Prof.univ.dr.ing. Ioan Călin ROȘCA Prof.univ.dr.ing. Costel Iulian MOCANU

**Seria I 6: Inginerie Mecanică Nr. 81
GALAȚI
2024**

Seriile tezelor de doctorat susținute public în UDJG începând cu 1 octombrie 2013 sunt:

Domeniul fundamental ȘTIINȚE INGINEREȘTI

- Seria I 1: **Biotehnologii**
- Seria I 2: **Calculatoare și tehnologia informației**
- Seria I 3: **Inginerie electrică**
- Seria I 4: **Inginerie industrială**
- Seria I 5: **Ingineria materialelor**
- Seria I 6: **Inginerie mecanică**
- Seria I 7: **Ingineria produselor alimentare**
- Seria I 8: **Ingineria sistemelor**
- Seria I 9: **Inginerie și management în agricultură și dezvoltare rurală**

Domeniul fundamental ȘTIINȚE SOCIALE

- Seria E 1: **Economie**
- Seria E 2: **Management**
- Seria E 3: **Marketing**
- Seria SSEF: **Știința sportului și educației fizice**
- Seria SJ: **Drept**

Domeniul fundamental ȘTIINȚE UMANISTE

- Seria U 1: **Filologie- Engleză**
- Seria U 2: **Filologie- Română**
- Seria U 3: **Istorie**
- Seria U 4: **Filologie - Franceză**

Domeniul fundamental MATEMATICĂ ȘI ȘTIINȚE ALE NATURII

- Seria C: **Chimie**

Domeniul fundamental ȘTIINȚE BIOMEDICALE

- Seria M: **Medicină**
- Seria F: **Farmacie**

CUPRINS

	Pag.	Pag.
Mulțumiri	3	-
Cuprins	5	3
Table of contents	9	-
Introducere	13	7
Introduction	17	-
Notații si abrevieri	21	-
Lista de figuri	23	-
Lista de tabele	33	-
Capitolul 1 STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR IN DOMENIU	35	10
1.1 Sarcini accidentale si cazuri de avarie înregistrate în exploatarea navelor	36	10
1.2 Stadiul actual al cercetărilor privind mecanica eșuării navelor	39	11
1.3 Normele societăților de clasificare navale privind evaluarea capacității structurale la solicitări accidentale	50	11
1.4 Contextul național privind accidentele navale înregistrate în România	52	12
Capitolul 2 FUNDAMENTE TEORETICE. REZISTENȚĂ GLOBALĂ ȘI LOCALĂ, OSCILAȚII, IMPACT AL NAVELOR	55	14
2.1 Etapele de modelare 3D-CAD/FEM a unei structuri navale	55	14
2.1.1 Generarea Suprafețelor Corpului Navei	55	14
2.1.2 Generarea Suprafețelor Elementelor Structurale	56	14
2.1.3 Dezvoltarea Modelului 3D-CAD în Secțiuni de tip Bloc	56	15
2.1.4 Dezvoltarea Modelului 3D-FEM pentru Corpul Navei	56	16
2.2 Metodă de analiză a rezistenței globale și locale a navelor.	58	16
2.3 Metode de evaluare a mișcărilor navei (oscilații) – valuri regulate și aleatorii	61	17
2.3.1 Analiza oscilațiilor navei prin metoda secțiunilor transversale	61	18
2.3.2 Analiza oscilațiilor navei prin metoda elementului de frontieră – Ansys Aqwa	63	18
2.4 Metode preliminare de calcul al solicitărilor din impact a structurilor	64	19
Capitolul 3 VALIDAREA MODELELOR TEORETICE	70	21
3.1 Analiza comparativă a metodelor de estimare a oscilațiilor navei	70	21
3.2 Validarea modelului numeric de analiză la impact de fund în cazul eșuării unei nave (grounding)	77	23
Capitolul 4 ANALIZA REZISTENȚEI GENERALE ȘI LOCALE PE MODELE 1D-3D/FEM A STRUCTURII UNEI BARJE FLUVIALE DE 3000TDW	79	25

	4.1 Evaluarea rezistenței generale preliminară a unei barje de 3000 TDW. Model 1D navă grindă echivalentă.	79	25
	4.2 Evaluarea rezistenței generale și locale a unei barje de 3000 TDW. Model 3D-FEM complet extins pe corpul barjei.	88	29
	4.2.1 Descrierea modelului 3D-FEM și a parametrilor de echilibrare barjă 3000 tdw – val	89	29
	4.2.2 Rezistența globală-locală, model 3D-FEM barja 3000 tdw, în cazul navigației în balast.	93	30
	4.2.3 Rezistența globală-locală, model 3D-FEM barja 3000 tdw, în cazul navigației la plină încărcare.	98	32
Capitolul 5	ANALIZA COMPARATIVĂ A PERFORMANȚEI STRUCTURALE A UNEI AMBARCAȚIUNI FLUVIAL-COSTIERE CONSTRUITĂ DIN MATERIAL COMPOZIT	103	33
	5.1 Utilizarea materialelor compozite în construcții navale	103	33
	5.2 Caracteristicile constructive și mecanice ale materialului compozit	104	33
	5.3 Modelul structural cu elemente finite al ambarcațiunii fluvial-costiere	108	34
	5.4 Parametrii de echilibrare ai ambarcațiunii fluvial-costiere din GRE în condiții de valuri oblice de proiectate	111	35
	5.5 Analiza structurală a ambarcațiunii fluvial-costiere - prima versiune constructivă	113	36
	5.6 Analiza structurală a ambarcațiunii fluvial-costiere - a doua versiune constructivă	115	37
	5.7 Analiza structurală a ambarcațiunii fluvial-costiere - a treia versiune constructivă	118	37
	5.8 Concluzii la analiza comparativă a structurii ambarcațiunii fluvial-costiere din materiale compozite GRE	120	38
Capitolul 6	ANALIZA COMPORTĂRII DINAMICE ÎN VALURI A BARJEI 3000 TDW	121	39
	6.1 Analiza comparativă a dinamicii barjei de 3000 tdw prin metode 2D-3D	121	39
	6.1.1 Oscilația de translație pe verticală	121	39
	6.1.2 Oscilația de ruluu	124	39
	6.1.3 Oscilația de tangaj	126	40
	6.1.4 Concluzii la analiza comparativă a mișcărilor cu modele 2D-3D	129	40
	6.2 Analiza răspunsului dinamic pe termen scurt în valuri aleatorii a barjei 3000 tdw	129	40
Capitolul 7	ANALIZA COMPORTĂRII DINAMICE ÎN VALURI A UNEI AMBARCAȚIUNI FLUVIAL-COSTIERE.	134	42
	7.1 Datele modelului numeric la analiza oscilațiilor ambarcațiunii fluvial-costiere	134	42
	7.2 Funcțiile operator amplitudine răspuns la oscilațiilor ambarcațiunii fluvial-costiere	134	42

	7.3 Răspunsul dinamic pe termen scurt la oscilațiile ambarcațiunii fluvial-costiere	139	42
	7.4 Limitele operaționale pe termen scurt ale ambarcațiunii fluvial-costiere	143	43
	7.5 Concluzii la analiza dinamicii ambarcațiunii fluvial-maritime	146	43
Capitolul 8	ANALIZA REZISTENȚEI STRUCTURALE LA IMPACT DIN EȘUARE A BARJEI FLUVIALE DE 3000 TDW.	147	44
	8.1 Contextul analizei la impact din eșuare la navigația fluvială	147	44
	8.2 Evaluarea structurală a barjei fluviale de 3000 tdw în urma solicitărilor de impact din eșuare în zona centrală a magaziei de marfă	148	44
	8.2.1 Condițiile de navigație pe apele interioare	148	44
	8.2.2 Modelul structural 3D-FEM și materialul barjei 3000 tdw	149	45
	8.2.3 Analiza la impact din eșuare în zona centrală a barjei	151	46
	8.2.4 Concluzii	154	47
	8.3 Evaluarea structurală a barjei fluviale de 3000 tdw în urma solicitărilor din impact la eșuare în zona prova	154	47
	8.3.1 Modelul structural 3D-FEM și condiția de navigație la eșuare	154	47
	8.3.2 Analiza la impact din eșuare în zona prova a barjei	157	48
	8.3.3 Concluzii	161	48
	8.4 Evaluarea structurală a barjei 3000 tdw la impact din eșuare în zona centrală, considerând și efectul oscilațiilor verticale în valuri	162	49
	8.4.1 Modele structurale și cazuri analizate	162	49
	8.4.2 Rezultatele analizei de impact	165	50
	8.5 Evaluarea structurală a ambarcațiunii GRE-RC la impact din eșuare în zona prova, considerând și efectul oscilațiilor verticale în valuri	184	52
	8.5.1 Model structural și cazuri analizate	184	52
	8.5.2 Rezultatele analizei de impact	185	53
Capitolul 9	Concluzii finale și contribuții personale	192	54
	9.1 Concluzii finale	192	54
	9.2 Contribuții personale	204	55
	9.3 Direcții viitoare	207	56
	Lista lucrărilor publicate	210	-
	Bibliografie	214	57

Introducere

Context și motivație

În industria navală, siguranța și durabilitatea structurilor navelor sunt priorități esențiale, mai ales pentru navele de navigație interioară, cum ar fi barjele. Condițiile de navigație interioară includ adâncimi variabile, curenți puternici și prezența obstacolelor subacvatice, factori care pot duce la incidente de eșuare. Deși inițial minore, aceste incidente pot evolua în avarii structurale grave, cu consecințe economice și ecologice importante. În acest context, evaluarea impactului eșuării navelor a devenit o componentă esențială a analizei de siguranță structurală.

Creșterea frecvenței eșuărilor în ultimele decenii subliniază necesitatea unor studii detaliate, care să abordeze atât rezistența structurală în stare intactă, cât și comportamentul sub sarcini accidentale. Datele statistice furnizate de autorități precum Agenția Europeană pentru Siguranța Maritimă (EMSA) și Autoritatea Navală Română (ANR) arată că eșuările reprezintă un procent semnificativ din totalul accidentelor maritime, iar barjele sunt adesea implicate, având cea mai mare cauzalitate.

Studiile privind impactul structural la eșuare capătă o importanță crescută pentru a înțelege modul în care mișcările navei influențează comportamentul structural și riscul de avarie. Aceste studii contribuie la dezvoltarea unor strategii de proiectare menite să crească rezistența structurală și să reducă riscul de colaps în cazul unui impact.

Eșuarea poate introduce solicitări extreme în corpul navei, iar natura și severitatea acestora depind de o serie de factori, inclusiv geometria navei și caracteristicile fundului pe care aceasta eșuează. Abordările tradiționale, bazate pe modele simplificate, nu sunt întotdeauna suficiente pentru a captura toate aspectele relevante ale comportamentului structural. Integrarea tehnicilor avansate de simulare numerică, cum este metoda elementului finit (FEM), devine astfel esențială pentru o evaluare precisă și cuprinzătoare.

Progresele recente în simularea numerică și creșterea capacității de calcul permit analize mult mai detaliate și precise, inclusiv simularea unor scenarii complexe de eșuare. Simulările numerice sunt esențiale pentru optimizarea structurii navelor, astfel încât acestea să fie mai rezistente la eșuare.

Dincolo de aspectele tehnice, există și motivații economice și ecologice puternice pentru îmbunătățirea metodelor de evaluare a riscului structural. Incidentele severe de eșuare pot genera pierderi materiale semnificative, dar și daune ecologice majore. Dezvoltarea unor metode avansate de analiză structurală poate reduce semnificativ riscul acestor incidente, contribuind la creșterea siguranței și durabilității structurilor navale.

Obiectivele tezei

Teza își propune să abordeze problemele critice legate de evaluarea rezistenței structurale și a comportamentului dinamic al navelor de navigație interioară, cu accent pe impactul la eșuare. Obiectivele sunt formulate pentru a oferi o înțelegere profundă a acestor aspecte, utilizând metode avansate de simulare numerică și validare experimentală.

1. Evaluarea rezistenței globale intacte

Primul obiectiv major este evaluarea rezistenței globale a navelor de navigație interioară în stare intactă. Acest lucru implică utilizarea modelelor tridimensionale (3D-FEM) pentru a reprezenta geometria și distribuția maselor navei, cu scopul de a identifica punctele critice de tensiune și de a evalua capacitatea structurală de a rezista la diverse condiții de încărcare.

2. Evaluarea dinamicii navelor

Al doilea obiectiv constă în evaluarea dinamicii navelor, esențială pentru a înțelege comportamentul navei în condiții variate de navigație. Acest studiu implică analiza mișcărilor de oscilație pe verticală (heave), tangaj (pitch) și ruluu (roll), influențate de forma corpului navei și condițiile de operare. Metode avansate de simulare numerică vor fi utilizate pentru modelarea acestui comportament dinamic.

3. Evaluarea la impact din eșuare în apă calmă

Un alt obiectiv major este analiza comportamentului structural al navei în condiții de eșuare, cum ar fi coliziunile cu obstacole subacvatice sau impactul cu fundul căii navigabile. Simulările numerice avansate vor permite identificarea modurilor de avarie și evaluarea impactului acestora asupra integrității structurale.

4. Evaluarea la impact din eșuare considerând dinamica navei în valuri

Ultimul obiectiv este integrarea dinamicii navei în analiza impactului din eșuare, ținând cont de influența mișcărilor navei asupra comportamentului structural în timpul impactului. Modelele numerice avansate vor simula interacțiunea dintre dinamica navei și impactul structural în scenarii de eșuare.

Structura tezei

Capitolul 1 prezintă stadiul actual al cercetării și contextul necesar pentru înțelegerea importanței evaluării impactului la eșuare. Se discută motivația studiului și obiectivele tezei, subliniind relevanța cercetării pentru navigația interioară și siguranța structurală a navelor.

Capitolul 2 prezintă fundamentele teoretice și numerice utilizate în evaluarea rezistenței structurale a navelor, cu accent pe analiza globală și locală a structurilor prin intermediul modelelor 3D-FEM, precum și analizele de impact structural. Se discută și fundamentele pentru analiza dinamicii navelor la oscilații în valuri regulate și aleatoare, utilizând diverse modele hidrodinamice.

Capitolul 3 explorează validarea modelelor teoretice prin experimente fizice. Se compară rezultatele simulărilor numerice cu datele experimentale pentru a asigura acuratețea și fiabilitatea modelărilor utilizate în evaluarea structurală la impact și dinamica oscilațiilor navelor.

Capitolul 4 prezintă analiza rezistenței generale a unei barje fluviale de 3000 TDW, utilizând modele 1D și 3D-FEM. Se evaluează tensiunile și deformațiile structurale în diverse

scenarii de încărcare, oferind o perspectivă detaliată asupra comportamentului structural global și local, în valuri oblice echivalente de proiectare.

Capitolul 5 prezintă analiza rezistenței generale a unei ambarcațiuni fluvial-costiere din materiale compozite GRE, cu lungimea de 24 m, pe modele 3D-FEM, în valuri oblice echivalente de proiectare. Capitolul include și determinarea experimentală a două tipuri de materiale compozite GRE și selectarea celei mai potrivite variante structurale.

Capitolul 6 prezintă analiza dinamicii la oscilații a unei barje fluviale de 3000 TDW, utilizând două modele hidrodinamice în valuri regulate. De asemenea, se realizează analiza statistică pe termen scurt a răspunsului dinamic în valuri aleatoare oblice, evidențiind limitele de siguranță în navigație.

Capitolul 7 analizează dinamica oscilațiilor pentru o ambarcațiune fluvial-costieră din materiale compozite GRE, în valuri regulate. Analiza include o evaluare a siguranței în navigație și furnizează parametrii cinematici pentru studiul de impact la eșuare.

Capitolul 8 tratează evaluarea impactului din eșuare atât în condiții de navigație în apă calmă, cât și în valuri. Se analizează punctele critice de cedare și modurile de avarie, folosind simulări numerice avansate pentru a determina răspunsul structural al navei în cazul unui impact la eșuare. Analizele comparative sunt realizate pentru mai multe scenarii de navigație, pentru o barjă de 3000 TDW și o ambarcațiune din materiale compozite.

Capitolul 9 sintetizează concluziile tezei, subliniind importanța integrării metodelor avansate de modelare în evaluarea riscului structural la eșuarea navelor și propune direcții viitoare de cercetare.

Capitolului 1

Stadiul actual al cercetărilor în domeniu

1.1. Sarcini accidentale și cazuri de avarie înregistrate în exploatarea navelor

Accidentele maritime, cum ar fi coliziunile și eșuările, rămân o cauză principală a pierderilor structurale și a dezastrelor ecologice. Studiile statistice arată că eșuările au contribuit în mod semnificativ la accidentele maritime, provocând avarii structurale și pierderi materiale[1], [2]. Exemple recente includ eșuarea vrachierului MV Wakashio[3] pe reciful de corali din Mauritius și coliziunea tancului petrolier SANCHI[4], care au dus la deversări de combustibil și la pierderi de vieți omenești. Un alt incident notabil este cel al tancului petrolier Exxon Valdez[5], care a provocat o scurgere masivă de petrol în Alaska, afectând mii de kilometri de coastă. Astfel de accidente subliniază necesitatea unor măsuri preventive și a unor cercetări aprofundate asupra avariilor structurale și a impactului lor asupra mediului.

Tabel 1.1. Cauze principale ale accidentelor maritime – 2019.[1]

Cauză accident	%
Pierdere control	30
Coliziune	16
Contact	16
Avarie echipamente	14
Eșuare	13
Incendiu/explozie	6
Inundare	3
Canarisire/răsturnare	1
Colaps structural	1

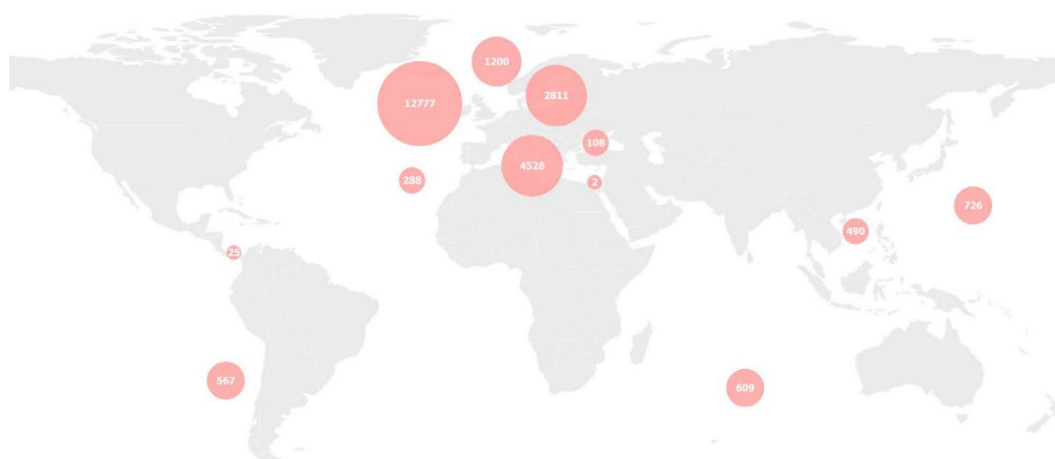


Figura 1.1. Situația globală a accidentelor maritime.[2]

1.2. Stadiul actual al cercetărilor privind mecanica eșuării navelor

Cercetările recente au avansat considerabil în ceea ce privește mecanica eșuării navelor. Pedersen (1994)[6] și Simonsen (1997)[7] au dezvoltat modele matematice care evaluează impactul eșuării asupra structurii navelor. Aceste modele identifică forțele tăietoare și momentele încovoietoare care pot apărea în timpul eșuării și cum acestea depășesc limitele structurale admise. De asemenea, metodele numerice avansate, cum ar fi FEM (Finite Element Method), oferă posibilitatea simulării eșuărilor pentru nave de mari dimensiuni și au devenit un instrument esențial în evaluarea capacității structurale. Kitamura (2002)[8] a demonstrat utilizarea eficientă a simulărilor numerice neliniare în studii de impact și eșuare.

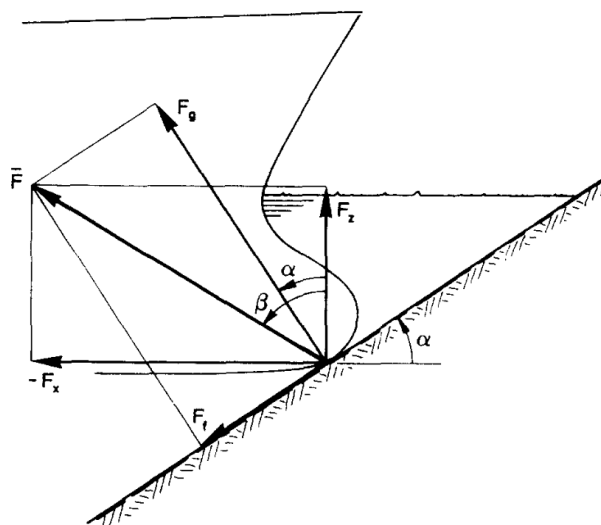


Figura 1.2 Forțele rezultante datorate impactului inițial.[6]

În plus, cercetările lui Alsos și Amdahl (2007)[9] au demonstrat impactul critic pe care eșuările pe suprafețe mari de contact, cum ar fi bancurile de nisip, îl pot avea asupra navelor, deteriorând elementele structurale și reducând capacitatea de încărcare globală. Mai recent, Nguyen et al. (2011)[10] au dezvoltat un model general de evaluare a eșuării navelor, integrând mișcările longitudinale și pe verticală ale navei în analizele lor.

1.3. Normele societăților de clasificare navale privind evaluarea capacității structurale la solicitări accidentale

Societățile de clasificare navală, cum ar fi DNV[11] și Bureau Veritas[12], au dezvoltat reglementări stricte privind evaluarea rezistenței structurale a navelor în cazul solicitărilor accidentale, inclusiv eșuări și coliziuni. Reglementările lor stabilesc cerințe pentru grosimea minimă a plăcilor și structurilor de rezistență, precum și pentru inspecțiile periodice care să asigure conformitatea cu standardele stabilite. De exemplu, normele DNV specifică faptul că navele trebuie să fie capabile să suporte momentele încovoietoare și forțele tăietoare generate în timpul unei eșuări. În mod similar, alte societăți, cum ar fi Bureau Veritas, impun reguli privind proiectarea structurilor pentru a rezista la solicitările accidentale. Aceste reglementări sunt esențiale pentru prevenirea colapsului [1], [2] structural și pentru asigurarea siguranței în exploatarea navelor.

1.4. Contextul național privind accidentele navale înregistrate în România

În România, accidentele navale sunt monitorizate de către Autoritatea Navală Română (ANR)[13], care raportează anual incidentele din apele teritoriale. Eșuările reprezintă cel mai frecvent tip de accident naval, cu peste 60 de cazuri raportate, ceea ce subliniază vulnerabilitatea navelor, în special a barjelor, la acest tip de incidente. Alte accidente frecvent raportate includ coliziunile dintre nave și infrastructuri portuare. Porturile românești, cum ar fi Constanța și Galați, înregistrează cele mai multe cazuri de eșuare, mai ales în zonele cu trafic maritim intens. Această frecvență ridicată a accidentelor impune necesitatea unor măsuri suplimentare de prevenire și cercetare asupra efectelor eșuării asupra integrității structurale a navelor.

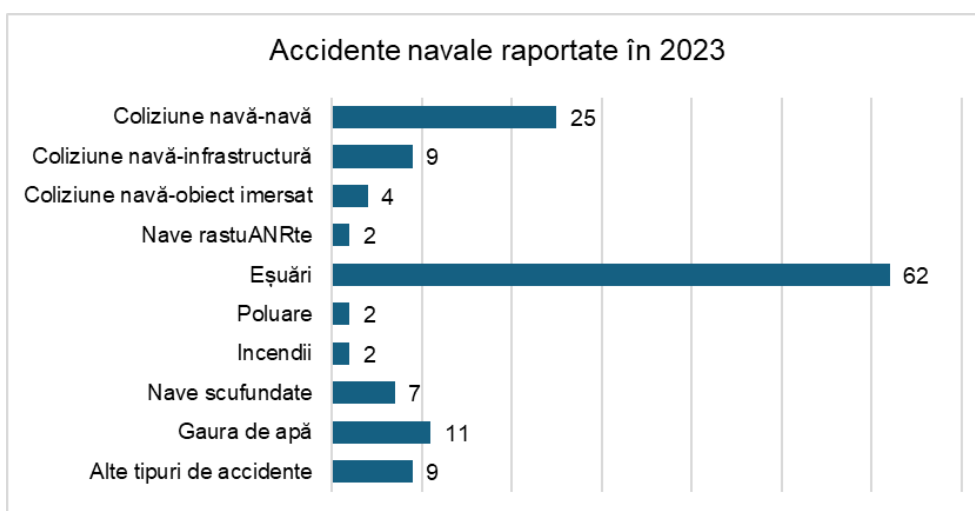


Figura 1.3 Situația accidentelor navale în apele teritoriale ale României - 2023. Raportare ANR.[13]

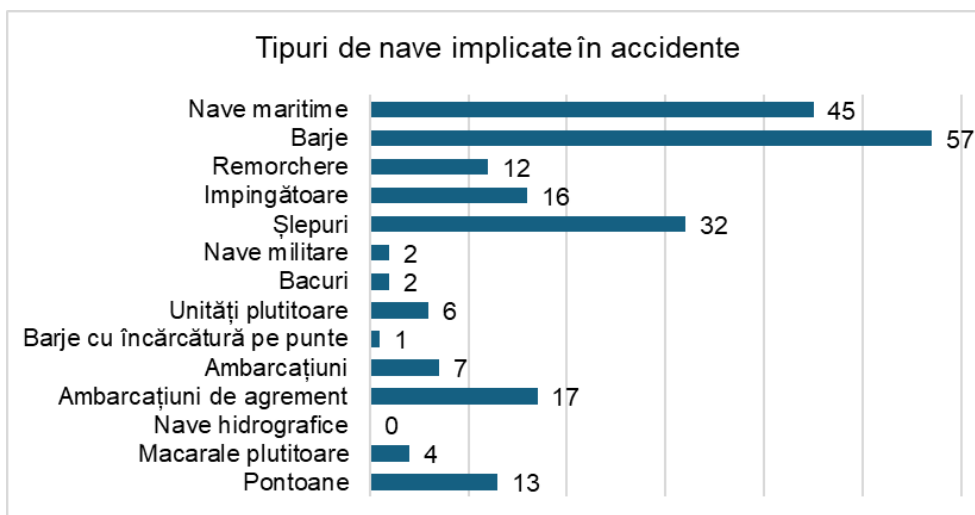


Figura 1.4 Tipuri de nave implicate in accidente - 2023. Raportare ANR.[13]

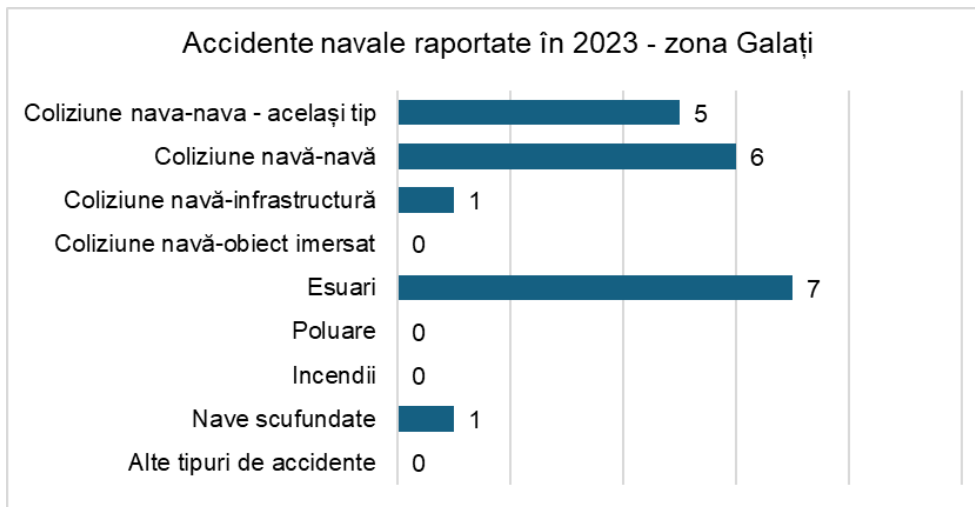


Figura 1.5 Situația accidentelor navale în zona portului Galați - 2023. Raportare ANR[13]

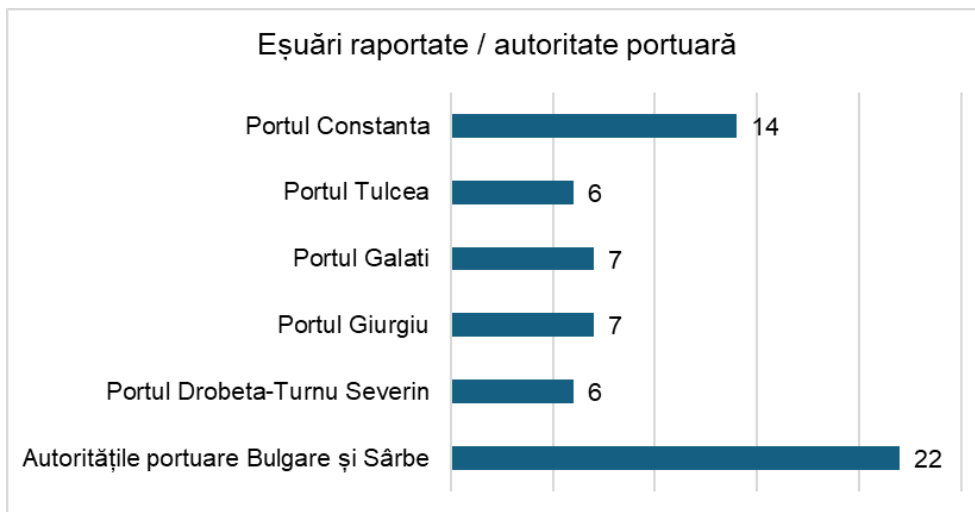


Figura 1.6 Situația eșuărilor înregistrate de autoritățile portuare - 2023. Raportare ANR.[13]

Capitolul 2

Fundamente Teoretice. Rezistență Globală și Locală, Oscilații, Impact al Navelor

2.1. Etapele de modelare 3D-CAD/FEM a unei structuri navale

Această secțiune descrie etapele esențiale pentru crearea unui model structural detaliat al unei nave, folosind programe CAD și metoda elementului finit (FEM). Modelarea 3D-CAD/FEM este esențială pentru a evalua corect comportamentul structural al navelor și pentru a găsi un echilibru între nivelul de detaliu și puterea de calcul disponibilă. Diferite secțiuni ale navei sunt dezvoltate separat, iar structura este apoi combinată într-un model global.

2.1.1. Generarea suprafețelor corpului navei

Modelarea începe cu generarea suprafețelor externe ale corpului navei. Acestea sunt realizate pe baza planului de forme și a aranjamentului structural preliminar, utilizând programe CAD avansate, precum Ansys SpaceClaim. Această etapă permite crearea unei geometrii precise, care poate fi ulterior utilizată pentru discretizarea cu elemente finite.

2.1.2. Generarea suprafețelor elementelor structurale

În continuare, suprafețele structurale interne, cum ar fi pereții transversali, osatura și rigidizările navei, sunt generate pe baza desenelor de construcție. Profilele de tip HP sunt echivalate cu profile de tip L, utilizate în proiectare conform cerințelor societăților de clasificare. Acest pas asigură că structura modelată respectă cerințele de rezistență impuse.

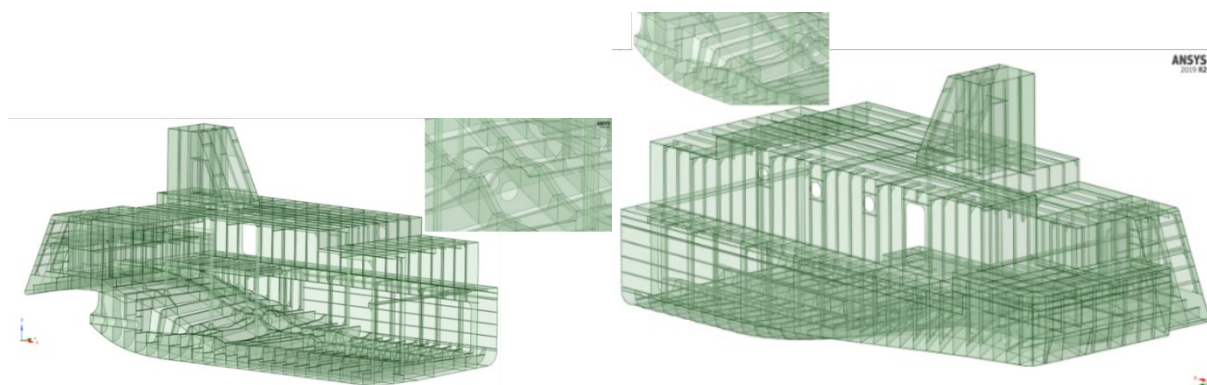


Figura 2.1. Model CAD tipic. Zona pupa, împingător fluvial.[14]

Tabel 2.1. Echivalare profile HP- cornier L.[14]

Profil HP	Profil echivalent L
Tip	$H \times W \times t$ [mm]
HP 80x6	80 x 20 x 6
HP 80x7	80 x 20 x 7
HP 100x7	100 x 25 x 7
HP 120x7	120 x 30 x 7

2.1.3. Dezvoltarea modelului 3D-CAD în secțiuni de tip bloc

Modelul CAD al navei este dezvoltat în secțiuni separate pentru zona pupa, zona centrală și zona prova, pentru a simplifica gestionarea detaliilor. Acest proces modular permite o analiză detaliată și ușor de gestionat a fiecărei secțiuni, înainte de asamblarea finală a întregului model.

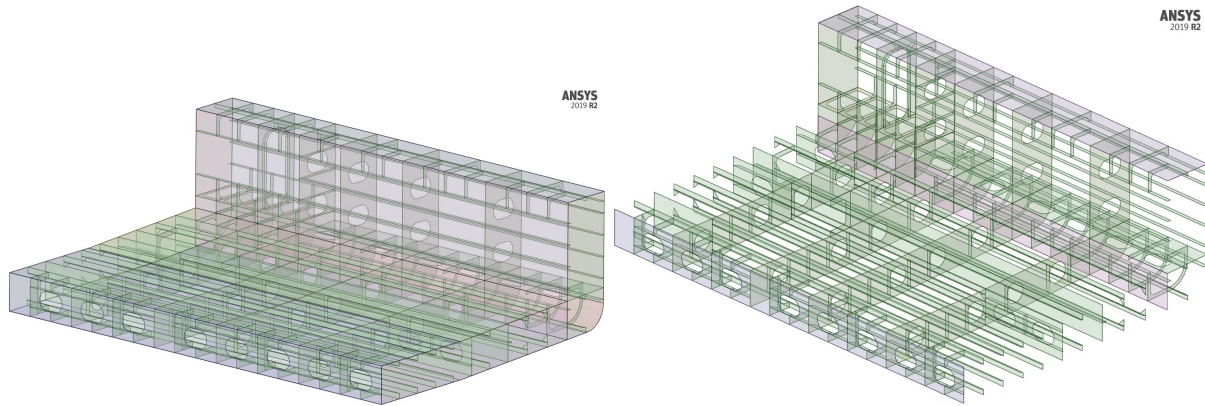


Figura 2.2 Model CAD tipic. Zona centrală, împingător fluvial.[14]

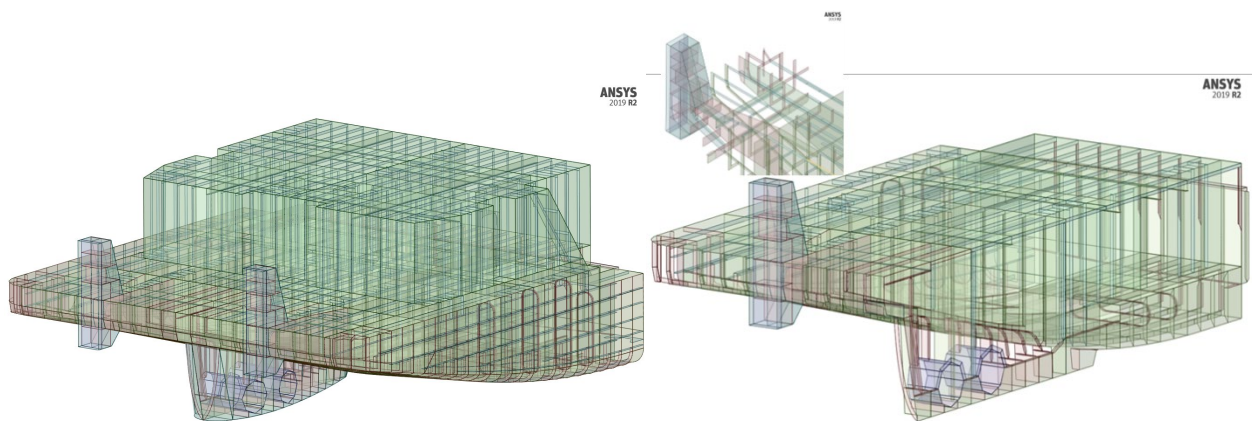


Figura 2.3 Model CAD tipic. Zona prova, împingător fluvial. [14]

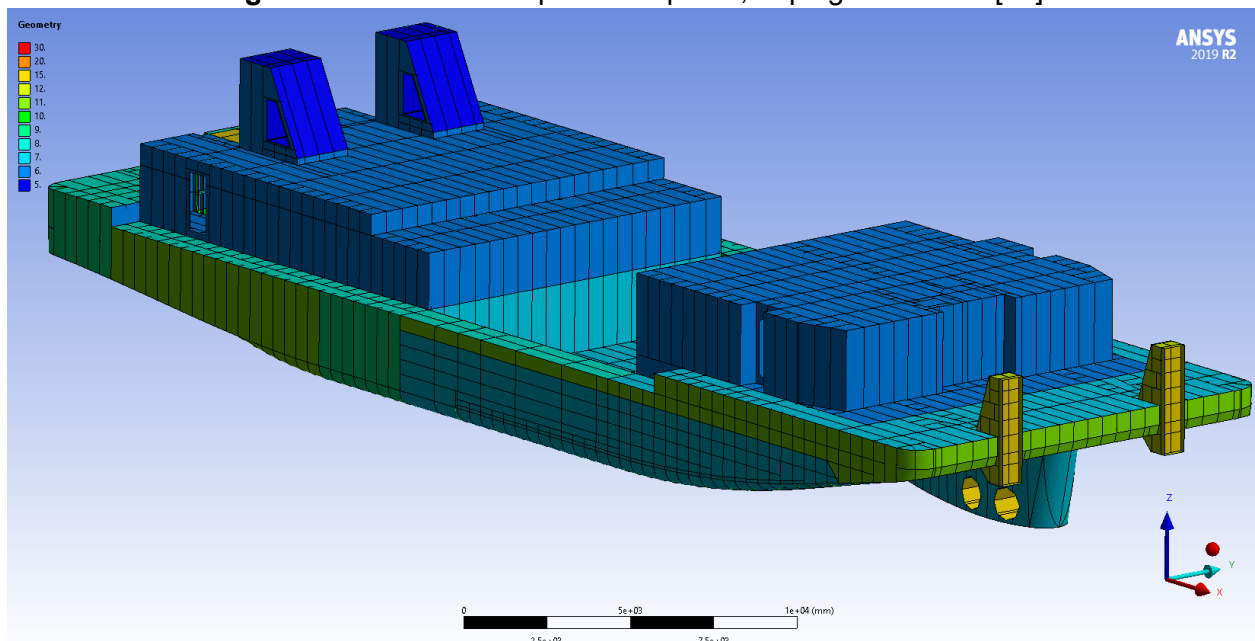


Figura 2.4 Model 3D-CAD asamblat, împingător fluvial, plot culori - grosimi. [14]

2.1.4. Dezvoltarea modelului 3D-FEM pentru corpul navei

Odată ce modelul CAD este finalizat, el este discretizat folosind elemente finite, care sunt esențiale pentru efectuarea analizelor structurale. Această etapă permite analiza detaliată a comportamentului structural al navei sub diverse condiții de încărcare, inclusiv eșuări și impacturi. Dimensiunea discretizării elementelor finite este selectată conform cerințelor societăților de clasificare și bunelor practici din domeniu pentru a asigura acuratețea analizei.

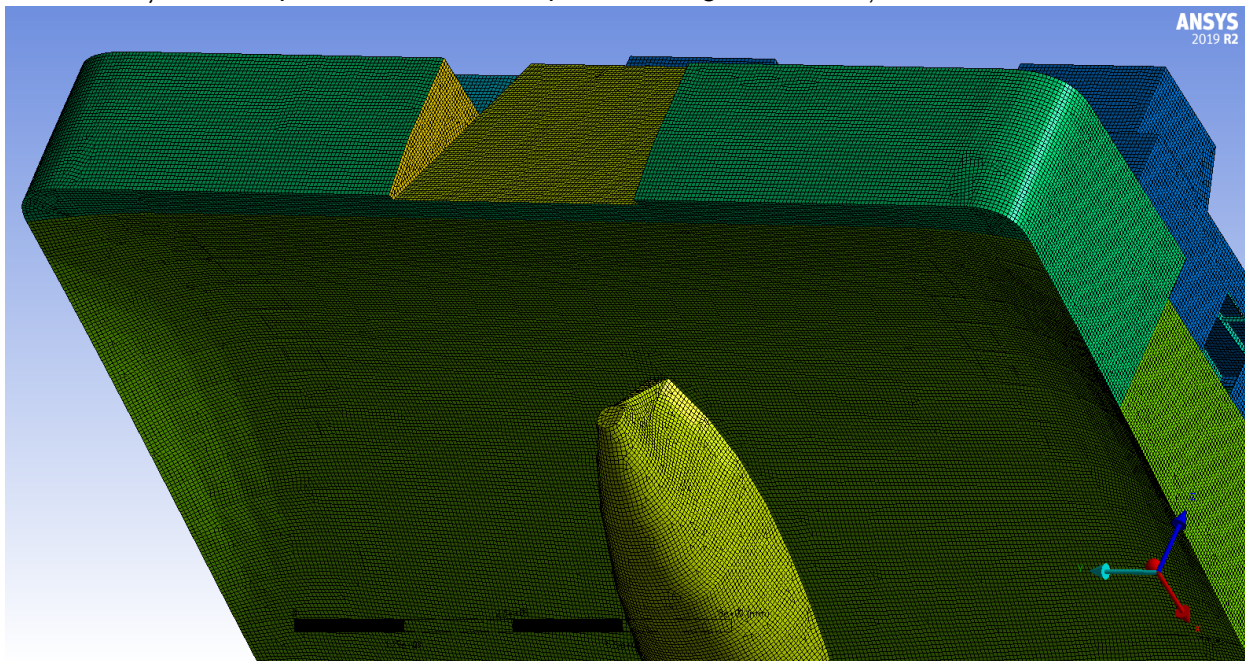


Figura 2.5 Model 3D-FEM, pupa, împingător fluvial. [14]

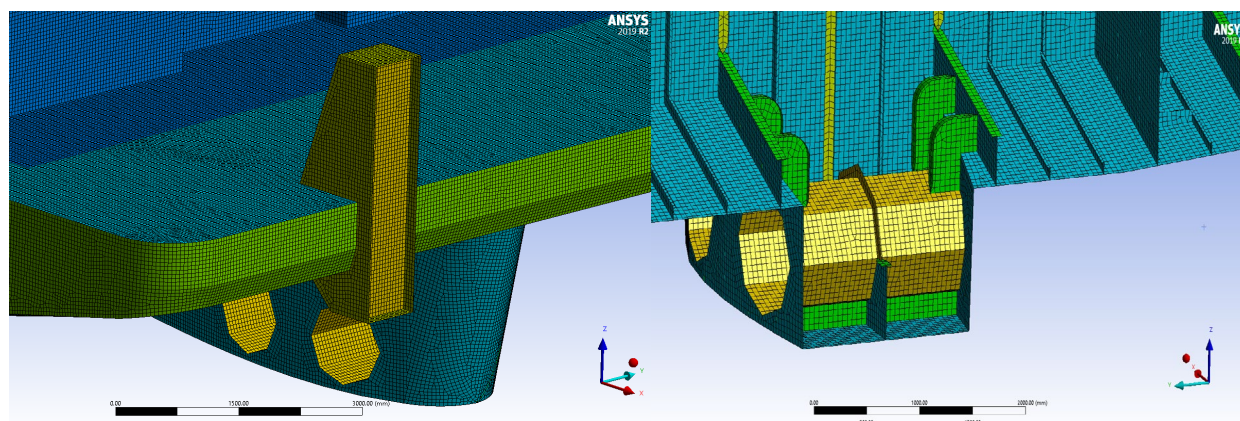


Figura 2.6 Model 3D-FEM, prova, împingător fluvial. [14]

2.2. Metodă de analiză a rezistenței globale și locale a navelor

Această secțiune descrie metodele utilizate pentru a analiza rezistența globală și locală a structurilor navale. Este prezentată o abordare combinată a metodelor 1D și 3D, care permite evaluarea comportamentului structural al navei în diferite condiții de operare. Modelele FEM sunt utilizate pentru a simula încărcările și forțele care acționează asupra navei în condiții de operare normală și în condiții extreme, cum ar fi valurile mari sau impacturile. Modelele FEM 3D sunt combinate cu evaluările hidrostatice și hidrodinamice pentru a determina punctele critice de tensiune și deformare.

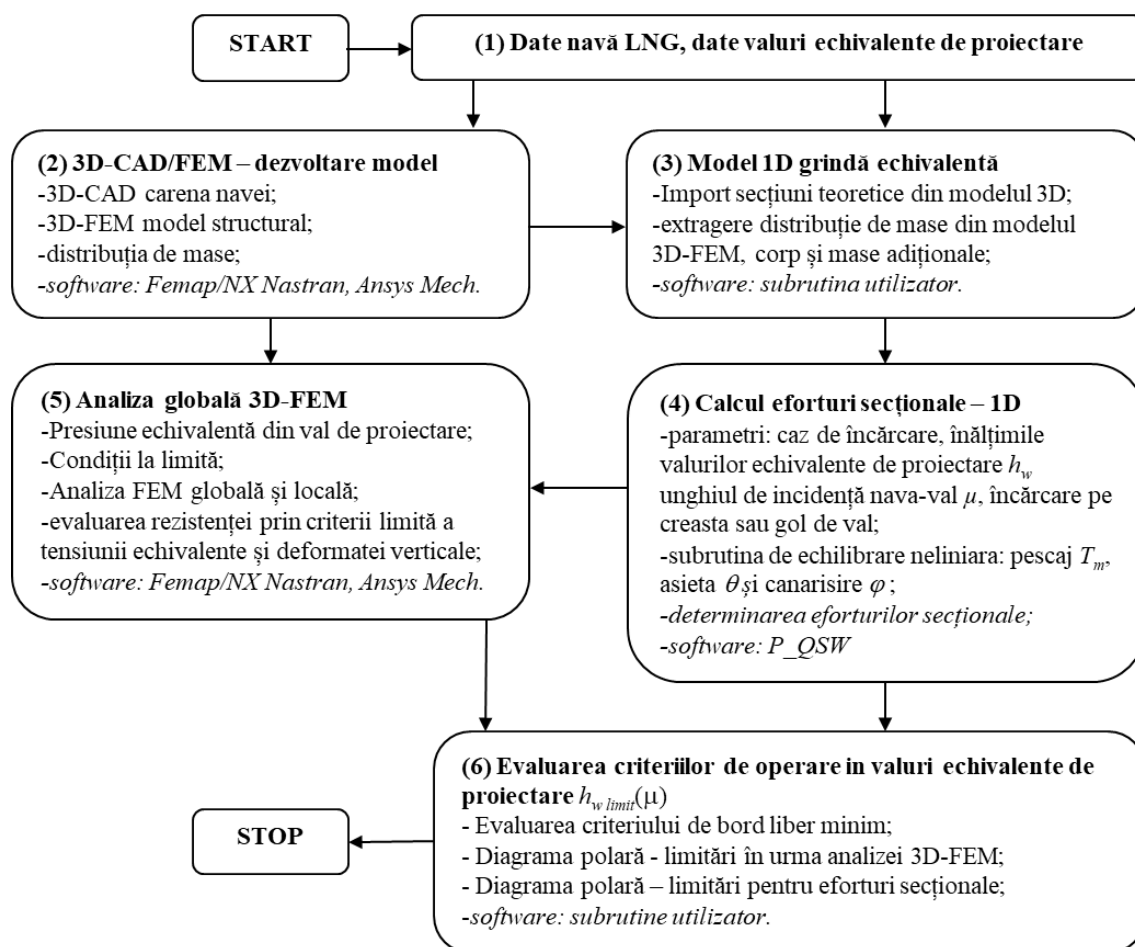


Figura 2.7 Diagrama algoritmului analizei globale și locale 1D-3D/FEM a structurii corpului unei nave.[15], [16]

2.3. Metode de evaluare a mișcărilor navei (oscilații) – valuri regulate și aleatorii

Mișcările navei în valuri sunt analizate folosind metode numerice care evaluează performanțele hidrodinamice ale navei. Această secțiune descrie două metode utilizate pentru evaluarea oscilațiilor: metoda secțiunilor transversale și metoda elementului de frontieră. Ambele metode sunt folosite pentru a analiza oscilațiile navei în valuri regulate și aleatorii, oferind informații esențiale despre stabilitatea navei și comportamentul acesteia în condiții de operare variate.

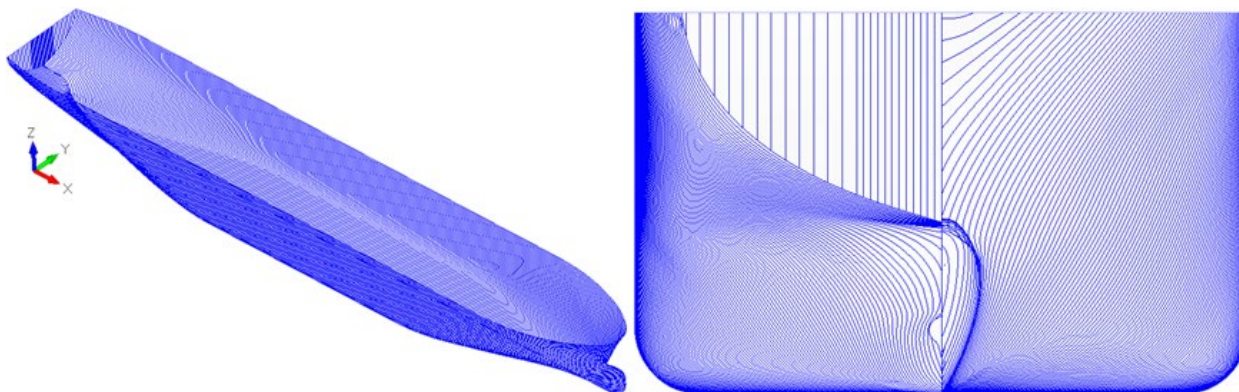


Figura 2.8 Model 3D-CAD. Plan de forme. Navă tanc LNG.[16]

2.3.1. Analiza oscilațiilor navei prin metoda secțiunilor transversale

Metoda secțiunilor transversale este utilizată pentru a evalua mișcările principale ale navei, cum ar fi translația pe verticală, ruliul și tangajul. Aceasta permite calcularea funcțiilor amplitudine de răspuns (RAO) în valuri regulate și evaluarea mișcărilor navei în condiții de valuri de diferite intensități. Această metodă este frecvent utilizată pentru navele cu corpuri mono-bloc și oferă un echilibru între acuratețea rezultatelor și cerințele de calcul.

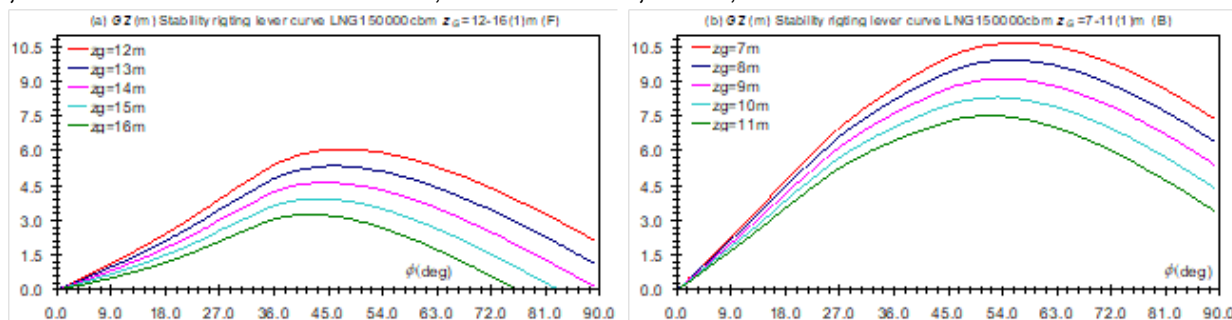


Figura 2.9 Diagramele stabilității transversale. Navă tanc LNG.[15], [17]

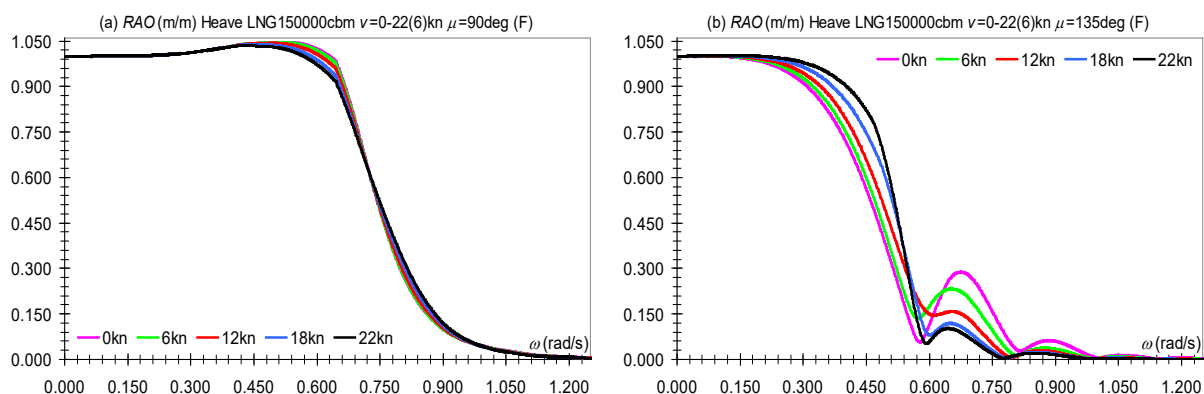


Figura 2.10 Operatorii amplitudine de răspuns la oscilații. Mișcarea pe verticală. Navă tanc LNG, cazul de plină încărcare. [15], [17]

2.3.2. Analiza oscilațiilor navei prin metoda elementului de frontieră – Ansys Aqwa

Metoda elementului de frontieră este utilizată pentru a evalua efectele încărcărilor hidrodinamice asupra navei, utilizând software-ul Ansys Aqwa. Această metodă permite evaluarea mișcărilor navei sub influența valurilor, curenților și vântului, oferind o evaluare detaliată a comportamentului structural al navei în condiții de mediu variabile. În cadrul acestei analize, sunt utilizate atât valuri regulate, cât și valuri neregulate, modelate cu ajutorul spectrelor ITTC.

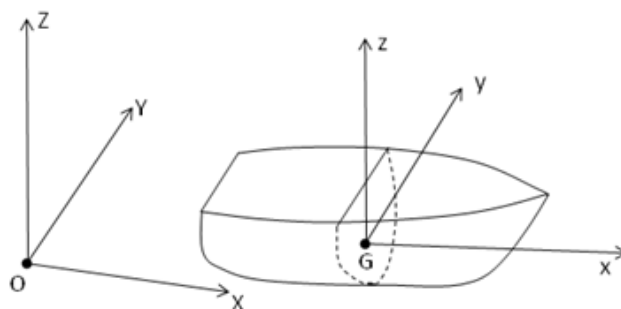


Figura 2.11 Definiția sistemului de coordonate.[18]

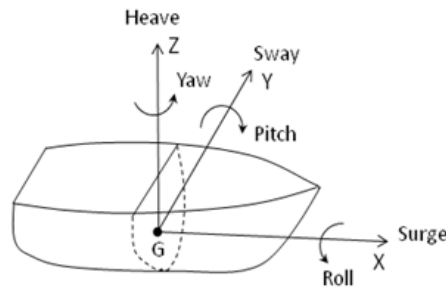


Figura 2.12 Definiția mișcărilor navei raportate la sistemul de coordonate. [18]

2.4. Metode preliminare de calcul al solicitărilor din impact a structurilor

Această secțiune prezintă metodele preliminare utilizate pentru a evalua solicitările structurale generate de impacturi. Simulările numerice sunt realizate folosind codul Femap NX/Nastran și solverul Advanced Nonlinear Explicit pentru a evalua comportamentul plăcilor de oțel, cu și fără rigidizări, în urma impactului cu obiecte rigide sau deformabile. Evaluările includ analize pentru diverse viteze de impact, iar rezultatele sunt prezentate sub formă de grafice care ilustrează forțele totale de contact, distribuțiile tensiunilor von Mises și deformările structurale. Aceste analize sunt esențiale pentru determinarea punctelor critice de cedare structurală și pentru dezvoltarea unor soluții optime de proiectare care să asigure integritatea navei în condiții de impact.

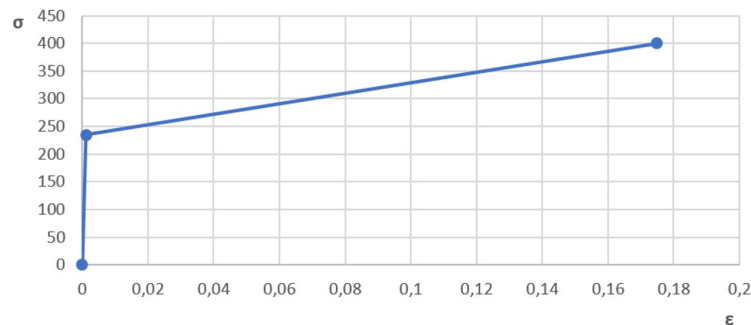


Figura 2.13 Relația tensiune-deformație. [19]

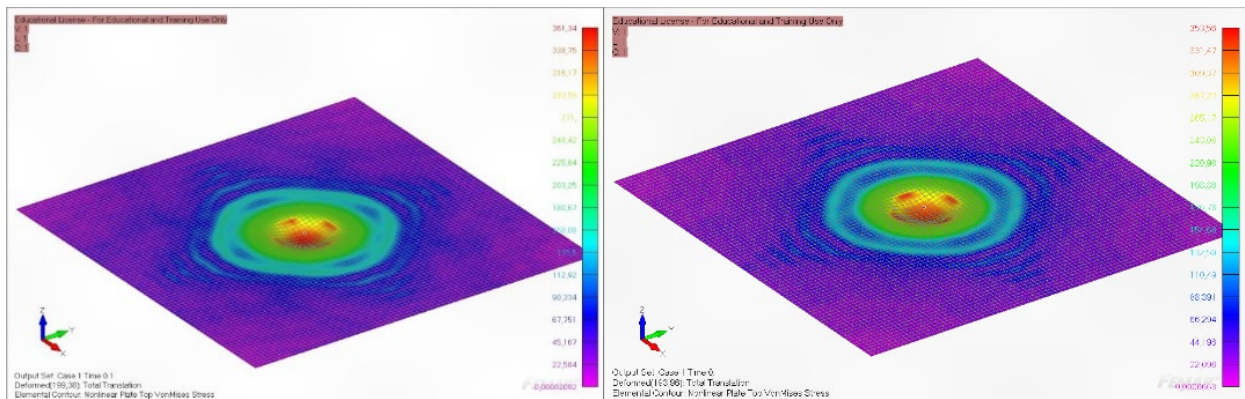


Figura 2.14 Cazul 2(stânga). Cazul 5(dreapta). Placă simplă. Tensiuni von Mises la impact

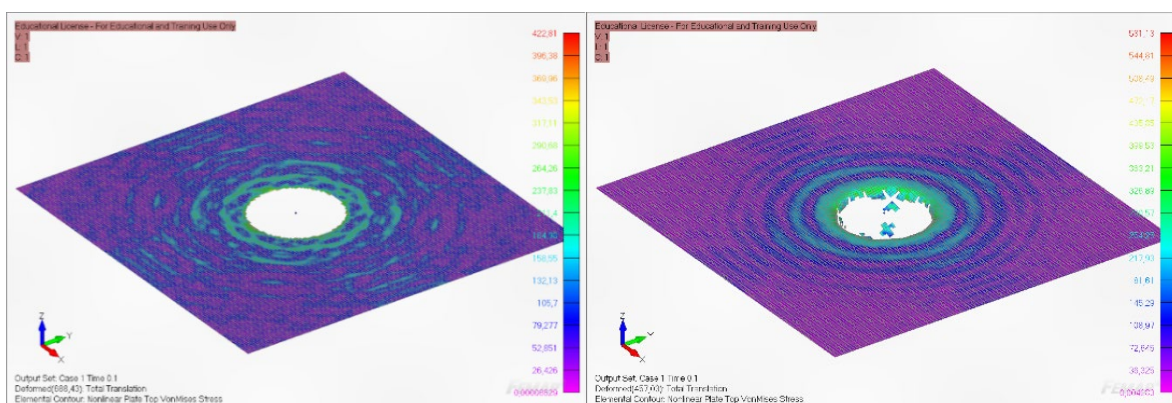


Figura 2.15 Cazul 12(stânga). Cazul 16(dreapta). Impactor rigid. Viteza impactorului $v=5$ m/s

Tabel 2.8. Forța totală de impact. Viteză impactor $v=2$ m/s

Caz	Tip impactor	Dim. Elem.	μ	Forța totală de impact
		[mm]		[MN]
17	Rigid	50	0	2,827
18			0,6	2,827
19		25	0	1,756
20			0,6	1,755
21	Deformabil	50	0	1,536
22			0,6	1,536
23		25	0	1,356
24			0,6	1,357

Tabel 2.9. Procentul structurii afectate. Viteză impactor $v=2$ m/s

Caz	Tip impactor	Dim. Elem.	μ	Structură afectată
		[mm]		%
17	Rigid	50	0	0,13%
18			0,6	0,04%
19		25	0	0,43%
20			0,6	0,45%
21	Deformabil	50	0	-
22			0,6	-
23		25	0	0,28%
24			0,6	0,28%

Capitolul 3

Validarea modelelor teoretice

3.1 Analiza comparativă a metodelor de estimare a oscilațiilor navei

Această secțiune compară două metode numerice utilizate pentru estimarea oscilațiilor navelor: metoda secțiunilor transversale (ST) utilizată în programul DYN-OSC și metoda elementului de frontieră (BEM) implementată în Ansys Aqwa. Datele obținute prin aceste metode sunt validate prin teste experimentale realizate în bazinul de carene pe un model la scară redusă pentru o navă destinată operării în Marea Caspică.

Testele experimentale au fost realizate pe un model redus la scară 1:16, iar măsurătorile au fost făcute atât pentru condiții de viteză zero, cât și pentru modelul tractat la viteza de 1,28 m/s, la diferite unghiuri de incidență (0° , 90° , 180°). Rezultatele experimentale au fost comparate cu cele obținute prin simulările numerice pentru a evalua precizia și fiabilitatea fiecărei metode.

Rezultatele analizei comparative au arătat o corelație bună între metodele numerice și datele experimentale, deși s-au observat unele diferențe, în special în intervalele de frecvență joasă, unde datele experimentale indică un răspuns mai amplificat. Aceste discrepanțe pot fi atribuite efectelor de radiație și difracție prezente în modelul fizic și care nu sunt captate în totalitate de simulările numerice.

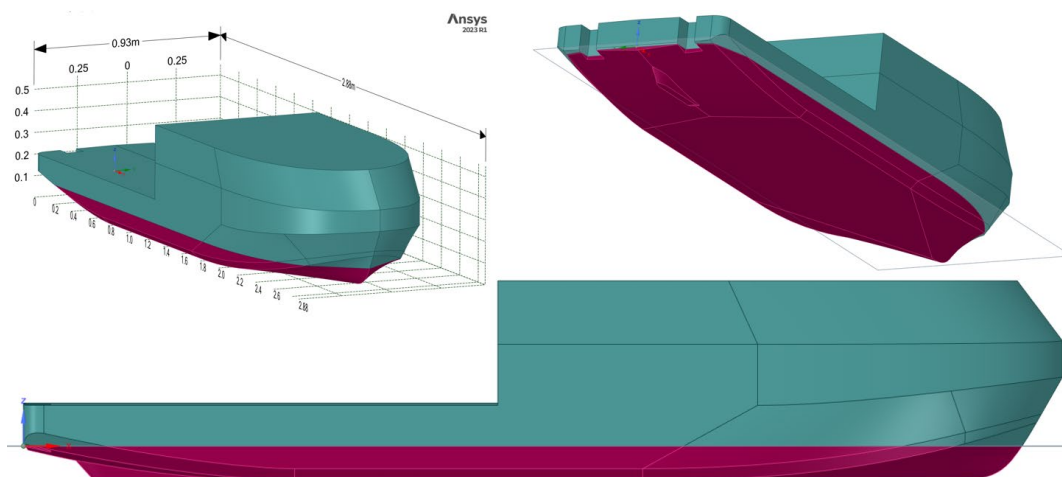


Figura 3.1. Geometrie CAD. Model redus la scară 1:16.[20], [21]



Figura 3.2. Model navă redus la scară. Scara 1:16. [78]

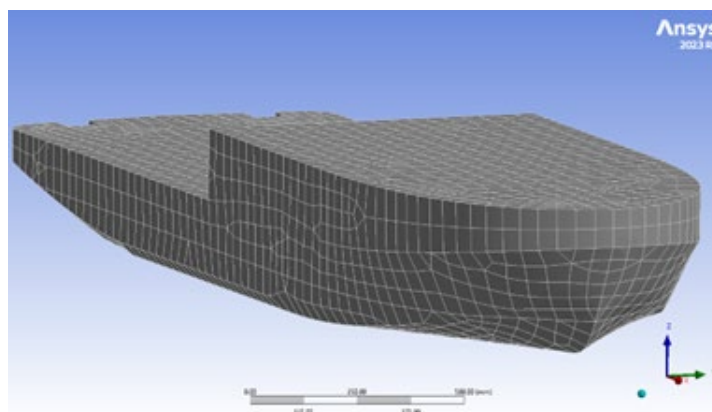


Figura 3.3. Discretizare model difractant. Ansys Aqwa.

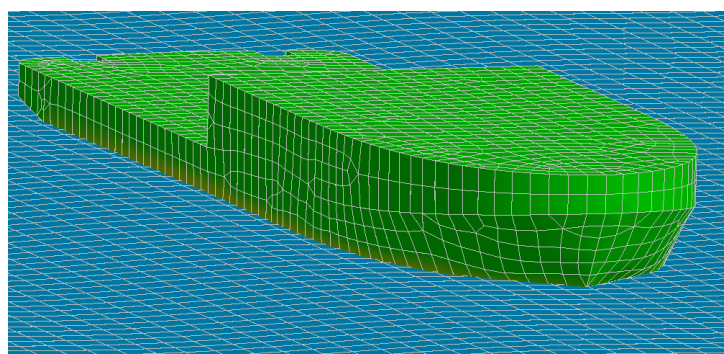


Figura 3.4. Discretizare model difractant și suprafața liberă. Ansys Aqwa.

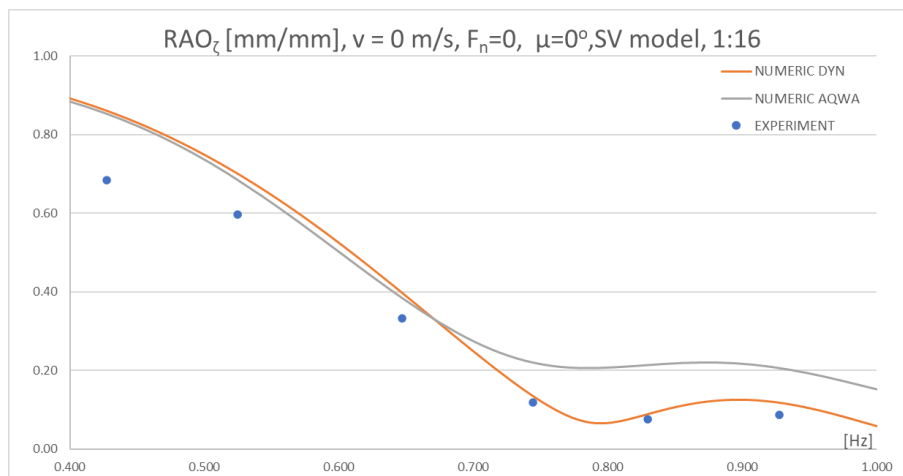


Figura 3.5. Mișcarea de oscilație la translația pe verticală (RAO_z), $v=0$ m/s, $\mu=0^\circ$.

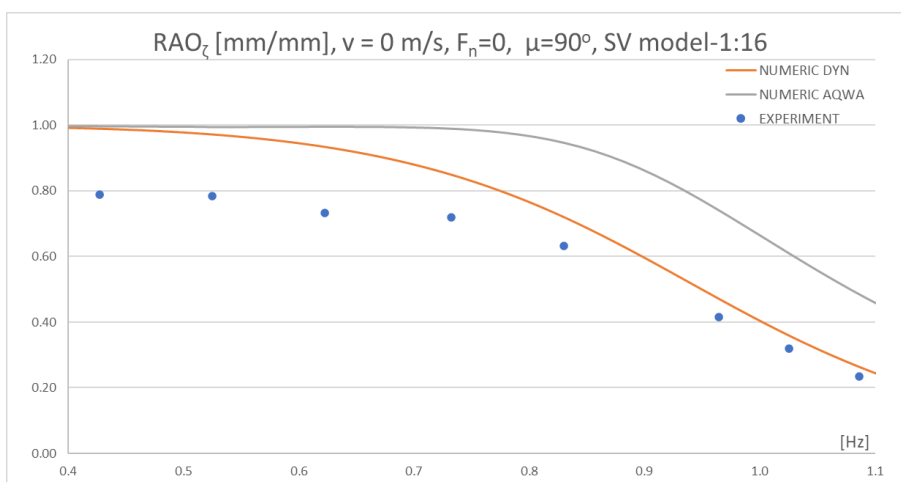


Figura 3.6. Mișcarea de oscilație la translația pe verticală (RAO_z), $v=0$ m/s, $\mu=90^\circ$.

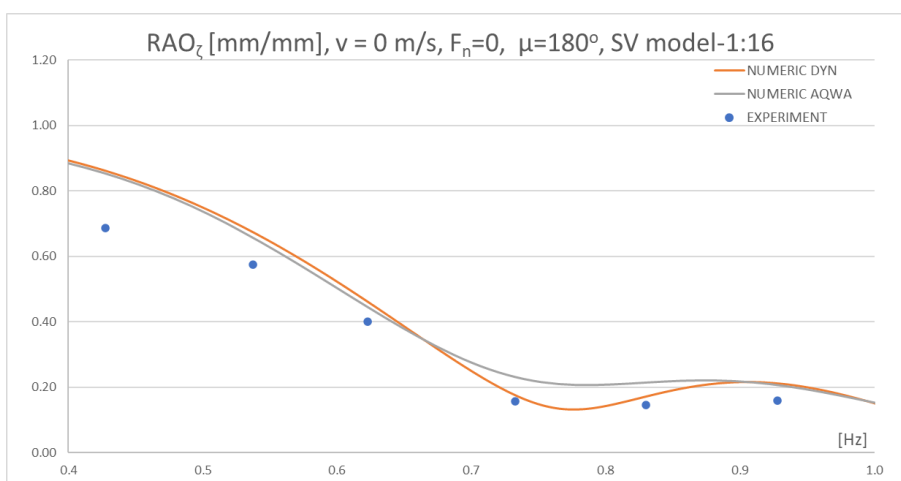


Figura 3.7. Mișcarea de oscilație la translația pe verticală (RAO_z), $v=0$ m/s, $\mu=180^\circ$.

3.2 Validarea modelului numeric de analiză la impact de fund în cazul eșuării unei nave (grounding)

Această secțiune validează modelul numeric utilizat pentru analiza comportamentului structural al unei nave în cazul unui impact de fund, în contextul eșuării. Modelul a fost realizat folosind programul Ansys AutoDyn, iar validarea a fost realizată prin comparația cu date experimentale și benchmark-uri din literatura de specialitate.

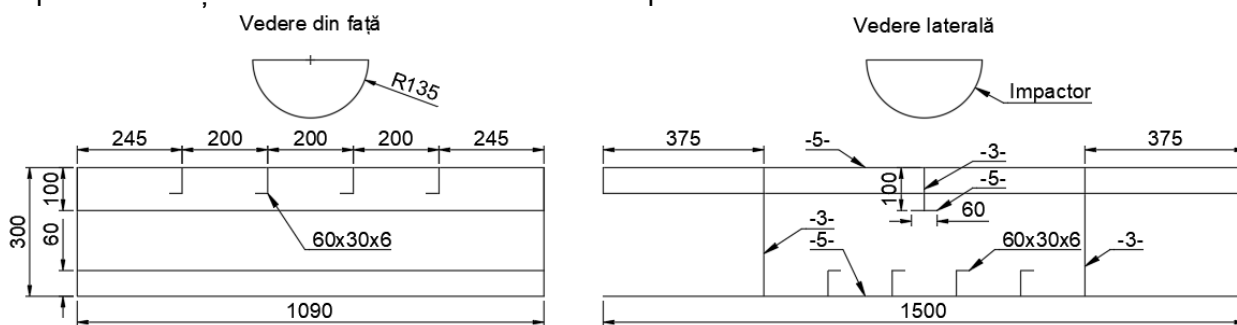


Figura 3.8 Descrierea geometriei benchmark-ului pentru analiza impactului de fund.[22], [23]

Geometria structurii utilizate pentru simularea impactului de fund a fost preluată dintr-un studiu de referință, iar elementele finite utilizate în simulare au fost modelate cu atenție pentru a reproduce fidel condițiile reale de impact. Impactul a fost simulat la o viteză de 5 m/s, iar timpul total de simulare a fost setat pentru a permite penetrarea completă a structurii de fund a navei.

Rezultatele simulărilor au fost comparate cu cele experimentale, iar graficele forță-deplasare au arătat o bună corelare între datele obținute prin simulări și cele experimentale. Diferențele observate au fost minore și s-au manifestat în special în faza de relaxare structurală după ruperea plăcilor de oțel. În general, rezultatele au fost considerate suficient de precise pentru a valida metodologia de modelare și a confirma capacitatea modelului de a evalua corect comportamentul structural în cazul unui impact de fund.

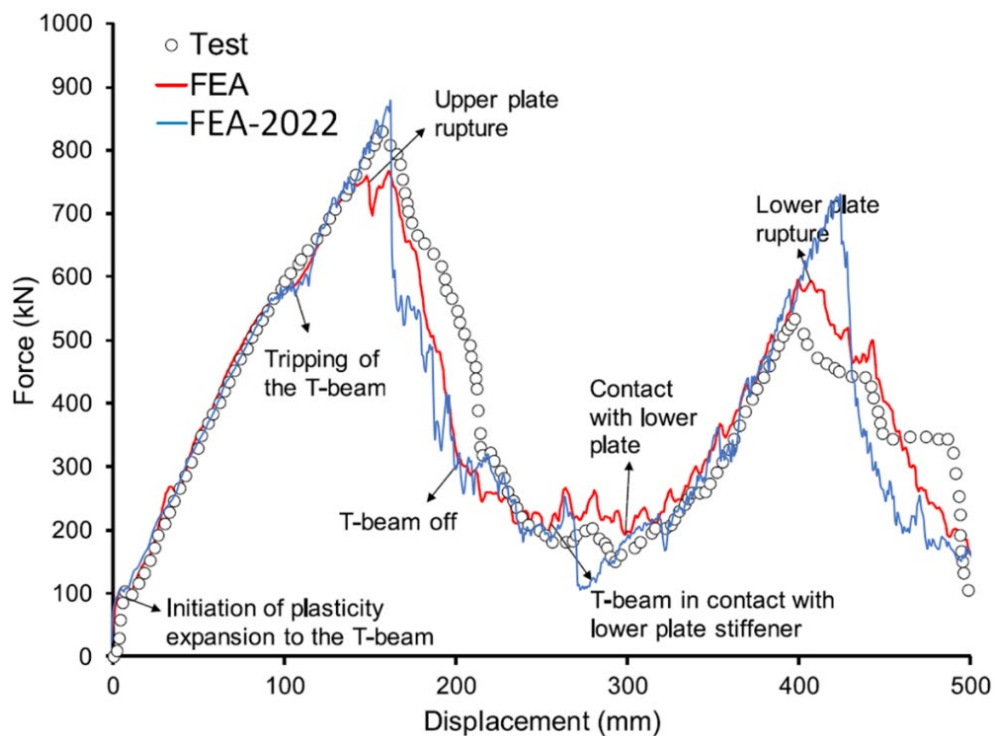


Figura 3.14. Comparație răspuns structural la impact de fund – experiment / analiză numerică.[22]–[24]

Capitolului 4

Analiza rezistenței generale și locale pe modele 1D-3D/FEM a structurii unei barje fluviale de 3000 TDW

4.1 Evaluarea rezistenței generale preliminare a unei barje de 3000 TDW. Model 1D navă grindă echivalentă.

Această secțiune prezintă analiza preliminară a rezistenței structurale a barjei de 3000 TDW folosind modelul 1D de grindă echivalentă. Scopul principal este evaluarea momentelor încovoietoare și forțelor tăietoare pe structura navei. Modelul 1D simplificat permite o analiză rapidă și eficientă a eforturilor structurale, oferind o vedere generală asupra comportamentului structural în condiții de navigație. În acest caz, barja analizată are următoarele caracteristici: lungime de 90 metri, lățime de 11 metri și deplasament de 3620,8 tone la încărcare completă.

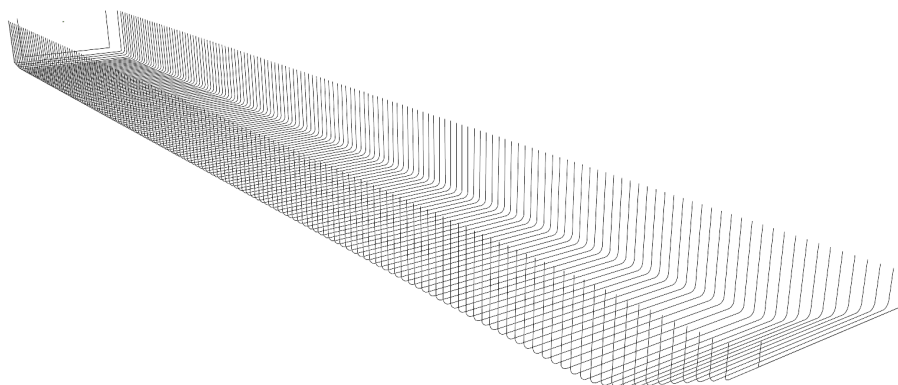


Figura 4.1. Secțiunile transversale de calcul, barja fluvială de 3000 TDW.

Această evaluare preliminară este esențială pentru proiectarea rapidă a navelor, fiind folosită în special în etapele inițiale de proiectare, înainte de aplicarea metodelor mai complexe de simulare. Modelele 1D sunt utilizate pentru a calcula eforturile secționale, inclusiv momentele încovoietoare și forțele tăietoare. Aceste eforturi sunt apoi transferate la modelele 3D pentru o analiză detaliată.

Tabel 4.1. Dimensiuni principale. Barja fluvială de 3000 TDW.

Lungime totală	L_{OA} (m)	90
Lățime	B(m)	11
Înălțime de construcție	D(m)	4.5
Pescaj	T(m)	3.8
Deplasament, navă goală	$D_{nava\ goală}$ (t)	507.5
Deplasament, Balast	D_{balast} (t)	529.5
Deplasament, Plină încărcare	$D_{plină\ încărcare}$ (t)	3620.8
Coeficient bloc	C_b (-)	0.923
Balast, condiția asietă 0°	M_{balast} (t)	22

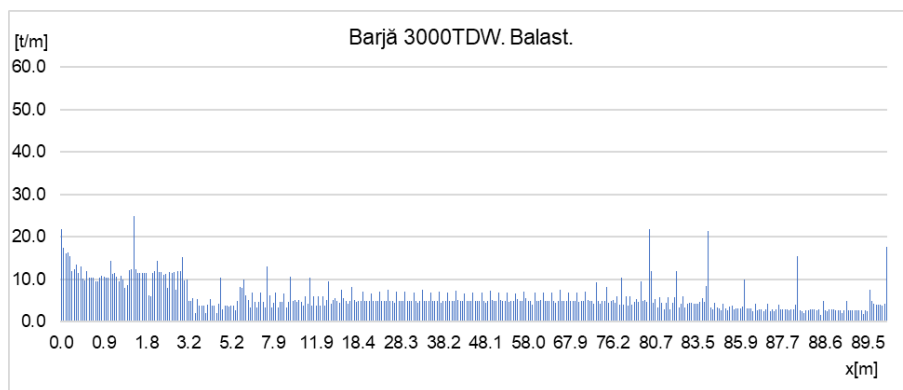


Figura 4.2. Distribuția maselor pe lungime. Balast. Barja fluvială de 3000 TDW

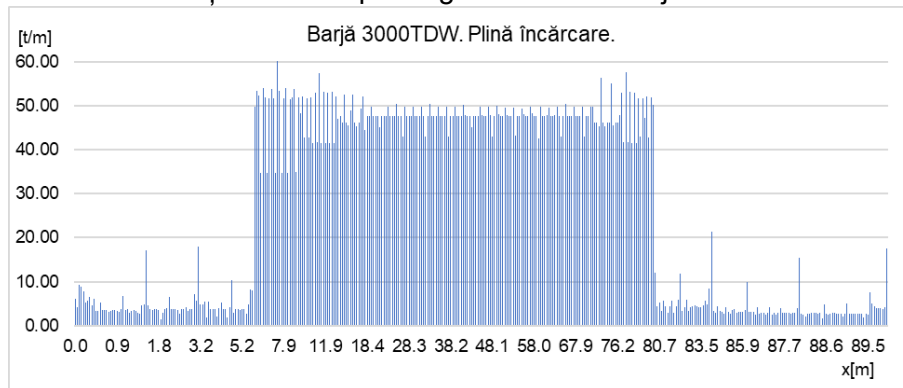


Figura 4.3. Distribuția maselor pe lungime. Plină încărcare. Barja fluvială de 3000 TDW

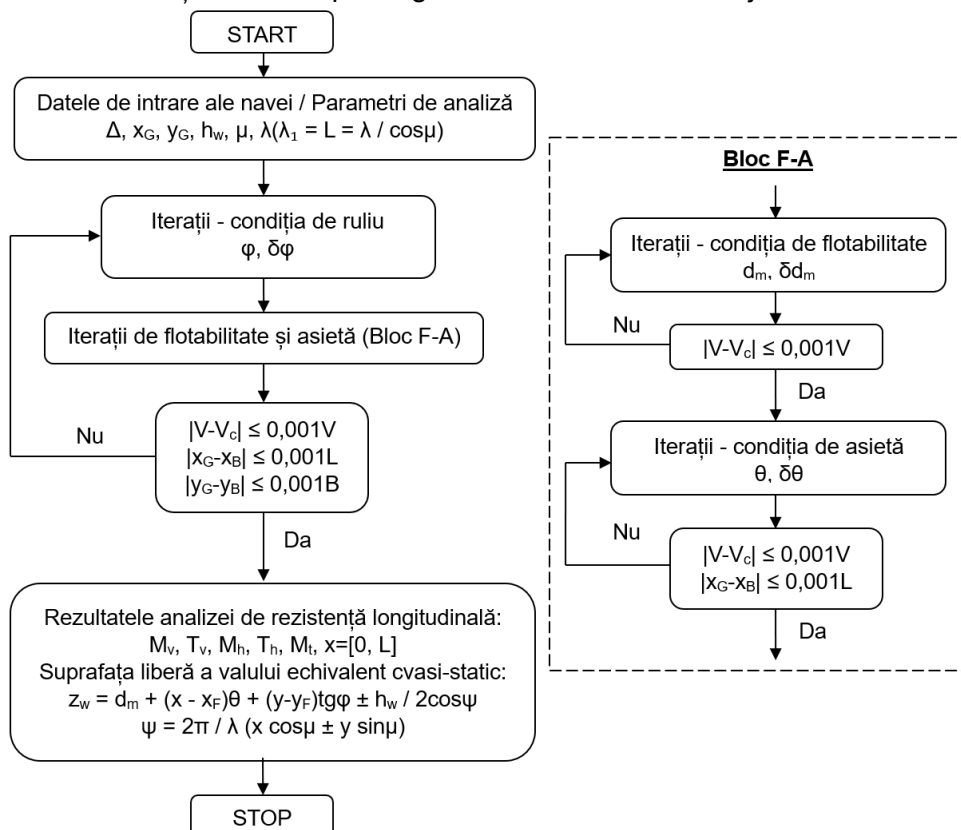


Figura 4.4. Algoritm de echilibrare al navei în plutire liberă, model 1D de navă grindă echivalentă.

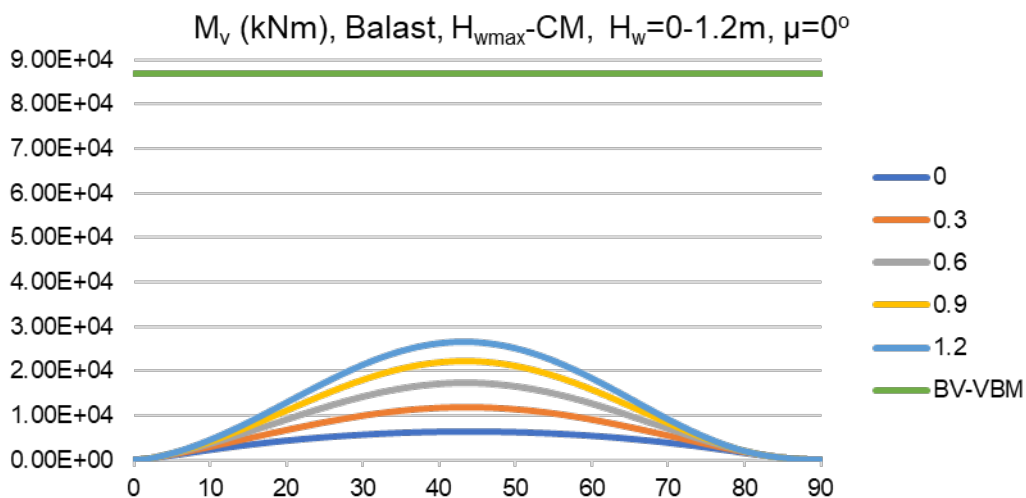


Figura 4.5. Diagrama momentului încovoiator vertical. Balast. Creastă de val. $\mu=0^\circ$

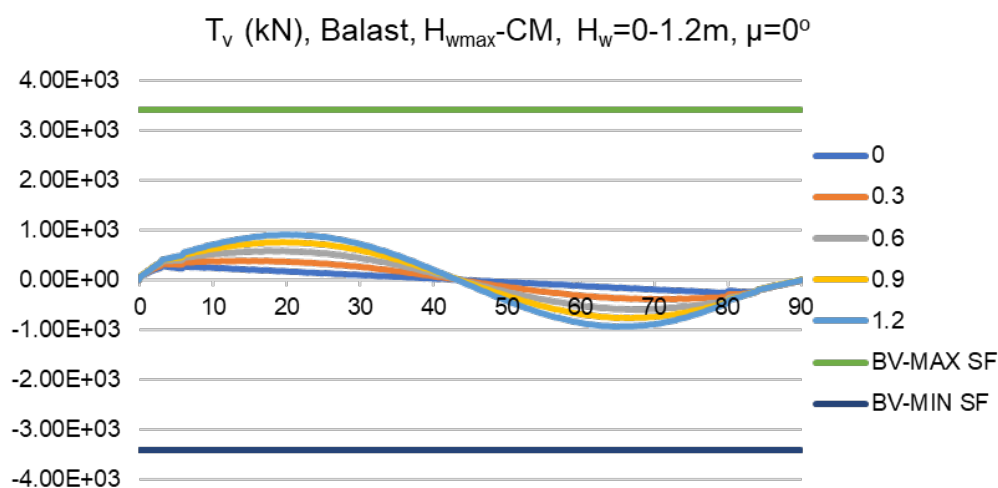


Figura 4.6. Diagrama forței tăietoare verticale. Balast. Creastă de val. $\mu=0^\circ$

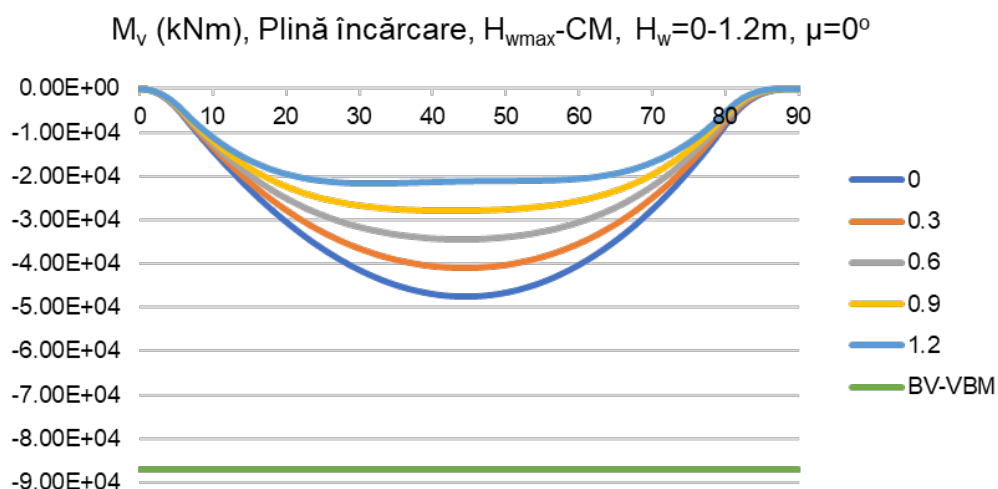


Figura 4.7. Diagrama momentului încovoiator vertical. Plină încărcare. Creastă de val. $\mu=0^\circ$

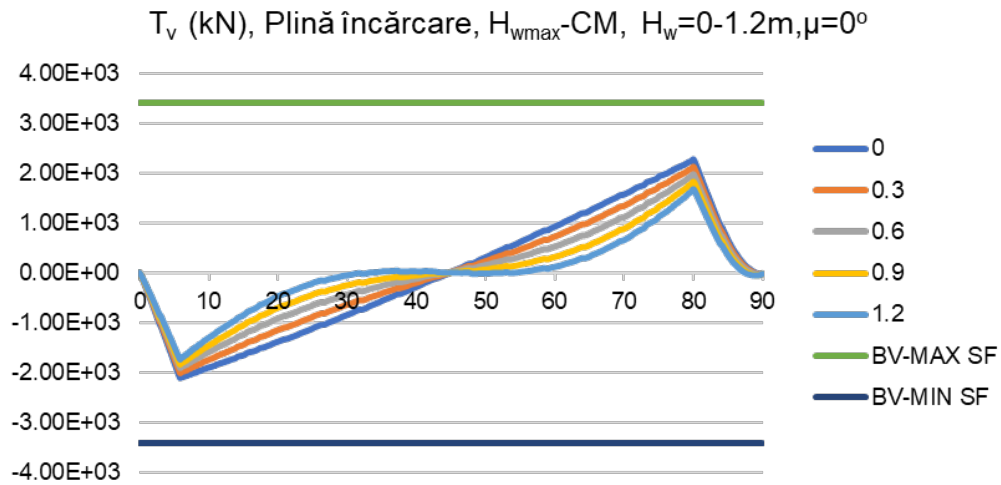


Figura 4.8. Diagrama forței tăietoare verticale. Plină încărcare. Creastă de val. $\mu=0^\circ$

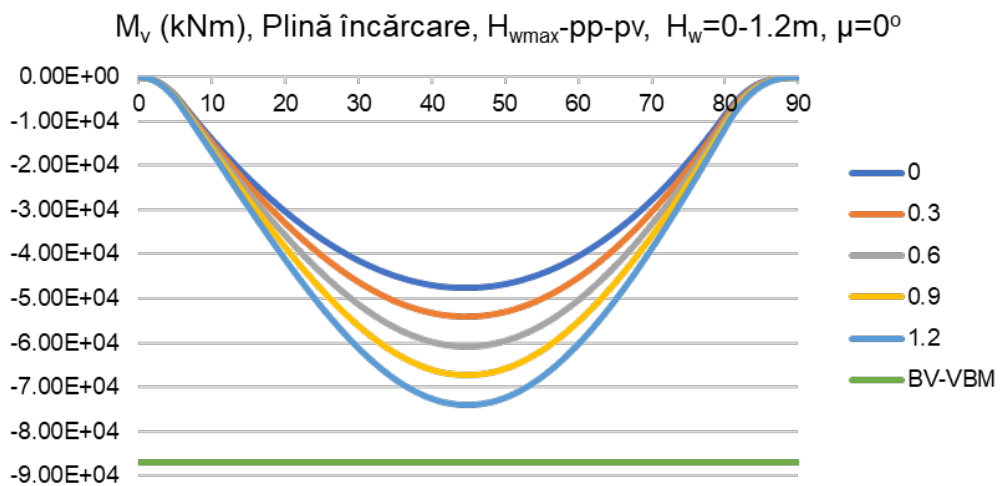


Figura 4.9. Diagrama momentului încovoietor vertical. Plină încărcare. Gol de val. $\mu=0^\circ$

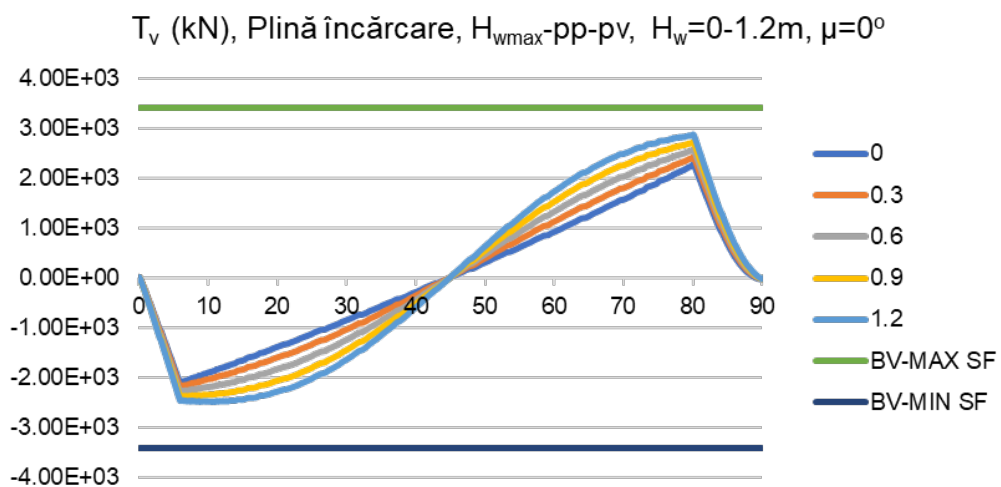


Figura 4.10. Diagrama forței tăietoare verticale. Plină încărcare. Gol de val. $\mu=0^\circ$

4.2 Evaluarea rezistenței generale și locale a unei barje de 3000 TDW. Model 3D-FEM complet extins pe corpul barjei.

Această secțiune extinde analiza prin utilizarea unui model complet 3D-FEM pentru barja de 3000 TDW. Modelarea 3D permite o analiză detaliată a distribuției tensiunilor și a comportamentului structural sub încărcări complexe. Modelul include detalii structurale precum puntea, tancurile de balast și pereții longitudinali și transversali. Pentru analiza structurală au fost luate în considerare două scenarii de încărcare: balast și plină încărcare.

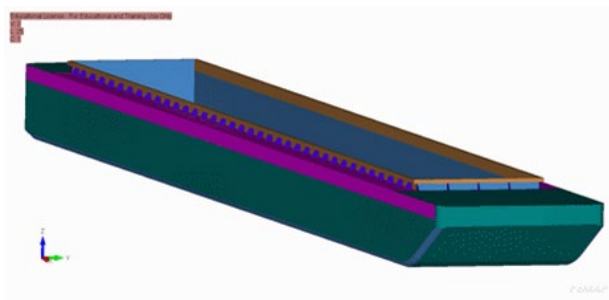


Figura 4.11. Model 3D-FEM, barja 3000 tdw.

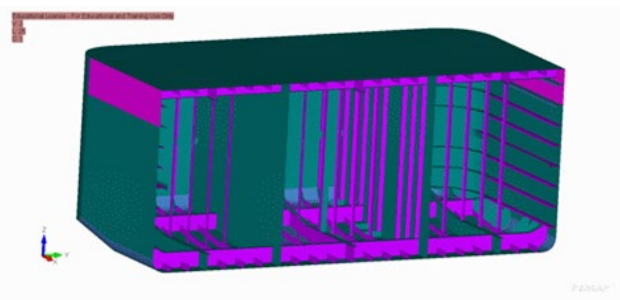


Figura 4.12. Detaliu structural, zona pupa, barja 3000 tdw.

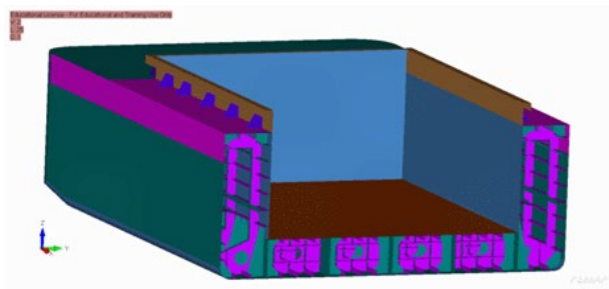


Figura 4.13. Detaliu structural, zona pupa a magaziei de marfă, barja 3000 tdw.

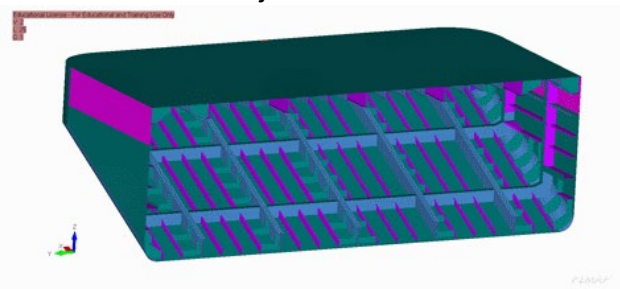


Figura 4.14. Detaliu structural, zona prova, barja 3000 tdw.

4.2.1 Descrierea modelului 3D-FEM și a parametrilor de echilibrare barjă 3000 tdw – val

Modelul 3D-FEM este generat folosind software-ul Siemens Femap NX/Nastran. Geometria barjei este discretizată în elemente finite, dimensiunea elementelor fiind cuprinsă între 50 și 75 mm. Acest model oferă un nivel ridicat de detaliu, fiind utilizat pentru evaluarea tensiunilor și deformărilor sub acțiunea valurilor cvasi-stactice echivalente. Modelul a fost echilibrat în condiții de apă calmă și valuri oblice, simulând impactul valurilor asupra structurii.

Tabel 4.3. Condiții de margine pentru modelul 3D-FEM.[25]

Locație	Deplasare = 0	
Pupa	Babord	Z
	plan diametral	Y
	Tribord	Z
Prova	plan diametral	X, Y, Z

Tabel 4.4. Parametrii de echilibrare navă-val, model 1D, valori oblice echivalente de proiectare, creastă și gol de val, barja 3000 TDW, cazul de încărcare – balast.

No.	M	Hw	θ	φ	X_F	Y_F	T_M	No.	Θ	φ	X_F	Y_F	T_M
	(°)	(mm)	(rad)	(rad)	(mm)	(mm)	(mm)		(rad)	(rad)	(mm)	(mm)	(mm)
LC_1	0		0.00001	0	42170.490		565.27	-	-	-	-	-	-
LC_2	-300		-0.00076	0	42103.590		554.71	LC_26	0.00073	0	42256.590		574.92
LC_3	0	-600	-0.00158	0	42035.690		542.65	LC_27	0.00138	0	42259.260		583.69
LC_4	-900		-0.00243	0	41967.380		528.00	LC_28	0.00198	0	42325.570		591.69
LC_5	-1200		-0.00367	0	41895.140		505.49	LC_29	0.00253	0	42389.680		598.54
LC_6	-300		-0.00076	-0.00004	42103.6	0	554.77	LC_30	0.00072	0.00003	42256.570		574.87
LC_7	-600		-0.00158	-0.00011	42035.710		542.78	LC_31	0.00138	0.00006	42259.240		583.60
LC_8	-900		-0.00242	-0.00021	41967.43	-0.01	528.23	LC_32	0.00197	0.00007	42325.530		591.57
LC_9	-1200		-0.00366	-0.00081	41895.17	-0.09	505.63	LC_33	0.00252	0.00006	42332.760	0.55	598.24
LC_10	-300		-0.00074	-0.00009	42103.650		554.98	LC_34	0.00071	0.00007	42256.490	0.01	574.68
LC_11	-600		-0.00155	-0.00023	42035.82	-0.01	543.27	LC_35	0.00135	0.00012	42259.170		583.27
LC_12	-900		-0.00238	-0.00045	42003.07	-1.93	528.95	LC_36	0.00194	0.00015	42325.390	0.01	591.10
LC_13	-1200		-0.00365	-0.00177	41895.29	-0.21	506.13	LC_37	0.00248	0.00013	42327.620	0.01	597.61
LC_14	-300		-0.00071	-0.00016	42103.77	-0.01	555.52	LC_38	0.00068	0.00012	42256.3	0.01	574.23
LC_15	-600		-0.00147	-0.00039	42099.84	-0.03	544.42	LC_39	0.00129	0.00021	42258.990	0.01	582.41
LC_16	-900		-0.00227	-0.00076	42031.72	-0.08	530.93	LC_40	0.00186	0.00026	42325.020	0.01	589.92
LC_17	-1200		-0.00361	-0.00306	41895.61	-0.35	507.47	LC_41	0.00238	0.00023	42327.230	0.01	596.06
LC_18	-300		-0.00059	-0.00026	42112.68	-0.91	557.08	LC_42	0.00058	0.0002	42255.680	0.02	572.88
LC_19	-600		-0.00125	-0.00062	42101.24	-0.04	548.02	LC_43	0.00111	0.00035	42258.440	0.02	579.91
LC_20	-900		-0.00194	-0.00118	42034.3	-0.06	537.11	LC_44	0.0016	0.00046	42323.890	0.03	586.39
LC_21	-1200		-0.00343	-0.00481	41913.22	-1.99	512.42	LC_45	0.00208	0.00027	42326.010	0.02	593.59
LC_22	-300		-0.00009	-0.00041	42170.17	-0.02	564.25	LC_46	0.00012	0.00036	42170.840	0.02	566.46
LC_23	-600		-0.00023	-0.001	42169.81	-0.05	564.63	LC_47	0.00021	0.00070	42171.150	0.03	567.52
LC_24	-900		-0.00042	-0.00162	42168.97	-0.12	565.74	LC_48	0.0003	0.00103	42173.890	0.29	568.29
LC_25	-1200		-0.00074	-0.00278	42142.98	-0.18	566.37	LC_49	0.00049	0.00004	42237.6	0	591.18

4.2.2 Rezistența globală-locală, model 3D-FEM barja 3000 tdw, în cazul navigației în balast

Analiza cazului de navigație în balast include 49 de scenarii de încărcare, în care au fost simulate valuri oblice cu înălțimi cuprinse între 0 și 1,2 metri. Rezultatele evaluării au arătat că tensiunile maxime apar la trecerea între zona de marfă și tancurile de balast din pupa și prova. În cazul valurilor cu înălțimea de 1,2 metri, tensiunile echivalente von Mises au atins 59,96 Mpa, iar deformațiile verticale maxime au fost de 68 mm.

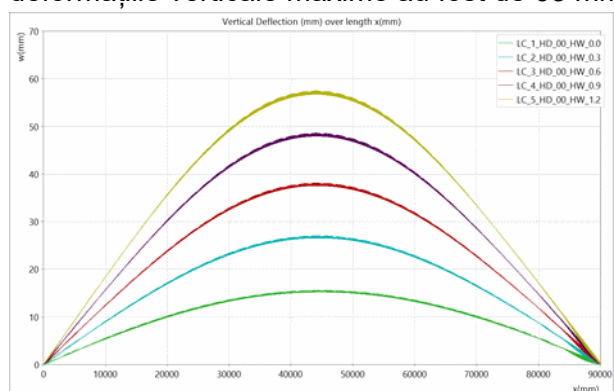


Figura 4.15. Deformata verticală (mm) pe lungime x(mm), $\mu=0^\circ$, Cazul încărcării - balast, solicitare de încovoiere în arc, barja 3000 tdw.

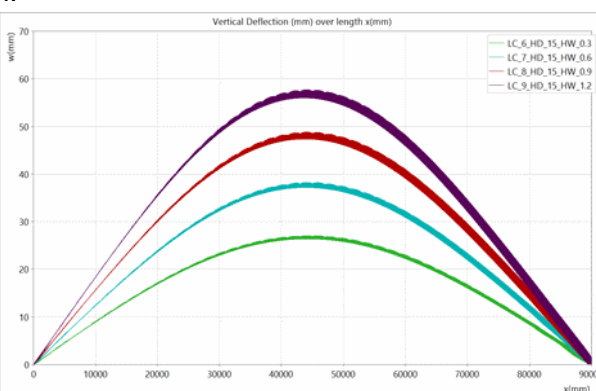


Figura 4.16. Deformata verticală (mm) pe lungime x(mm), $\mu=15^\circ$. Cazul încărcării - balast, solicitare de încovoiere în arc, barja 3000 tdw.

Tabel 4.6. Rezultatele analizei 3D-FEM a rezistenței globale-locale, barja 3000 tdw, creastă și gol de val, condiția de încărcare balast.

<i>Nr.</i>	μ (°)	<i>Hw</i> (mm)	σ_{VM} (Mpa)	w_{max} (mm)	<i>YR</i> -	<i>DR</i> -	<i>Nr.</i>	σ_{VM} (Mpa)	w_{max} (mm)	<i>YR</i> -	<i>DR</i> -
LC_1	0		19.00	15.64	0.095	0.087	-	-	-	-	-
LC_2	0	300	25.57	27.13	0.128	0.151	LC_26	18.54	4.051	0.093	0.023
LC_3	0	600	35.56	38.24	0.178	0.212	LC_27	17.80	8.213	0.089	0.046
LC_4	0	900	46.23	48.75	0.231	0.271	LC_28	22.67	20.229	0.114	0.112
LC_5	0	1200	55.52	57.66	0.278	0.320	LC_29	34.75	32.372	0.174	0.180
LC_6	15	300	25.57	27.17	0.128	0.151	LC_30	18.55	4.165	0.093	0.023
LC_7	15	600	35.62	38.37	0.178	0.213	LC_31	17.99	8.532	0.090	0.047
LC_8	15	900	46.32	48.98	0.232	0.272	LC_32	22.76	20.710	0.114	0.115
LC_9	15	1200	55.58	57.89	0.278	0.322	LC_33	34.86	32.998	0.175	0.183
LC_10	30	300	25.55	27.26	0.128	0.151	LC_34	18.56	4.435	0.093	0.025
LC_11	30	600	35.65	38.59	0.178	0.214	LC_35	17.94	8.895	0.090	0.049
LC_12	30	900	46.38	49.43	0.232	0.275	LC_36	22.76	21.214	0.114	0.118
LC_13	30	1200	55.51	58.33	0.278	0.324	LC_37	34.86	33.647	0.175	0.187
LC_14	45	300	25.48	27.39	0.128	0.152	LC_38	18.41	4.917	0.092	0.027
LC_15	45	600	35.62	39.09	0.178	0.217	LC_39	17.66	9.361	0.088	0.052
LC_16	45	900	46.36	50.25	0.232	0.279	LC_40	22.58	21.820	0.113	0.121
LC_17	45	1200	55.18	59.04	0.276	0.328	LC_41	34.58	34.389	0.173	0.191
LC_18	60	300	25.28	27.69	0.127	0.154	LC_42	17.69	5.832	0.089	0.032
LC_19	60	600	35.35	39.91	0.177	0.222	LC_43	18.73	10.072	0.094	0.056
LC_20	60	900	46.12	51.80	0.231	0.288	LC_44	21.78	22.672	0.109	0.126
LC_21	60	1200	54.19	60.18	0.271	0.334	LC_45	32.94	34.640	0.165	0.192
LC_22	75	300	26.83	27.78	0.134	0.154	LC_46	19.55	8.386	0.098	0.047
LC_23	75	600	36.84	40.95	0.184	0.228	LC_47	23.67	11.740	0.119	0.065
LC_24	75	900	48.58	54.42	0.243	0.302	LC_48	27.79	23.820	0.139	0.132
LC_25	75	1200	59.96	68.06	0.300	0.378	LC_49	35.18	29.323	0.176	0.163

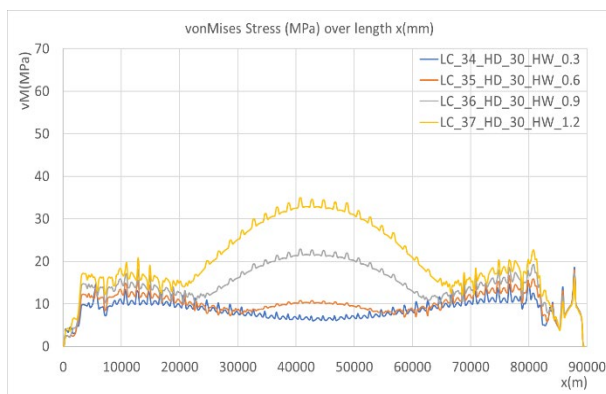


Figura 4.17. Tensiuni von Mises (Mpa) pe lungime x(mm), $\mu=30^\circ$. Cazul încărcării - balast, solicitare de încovoiere în contra-arc, barja 3000 tdw.

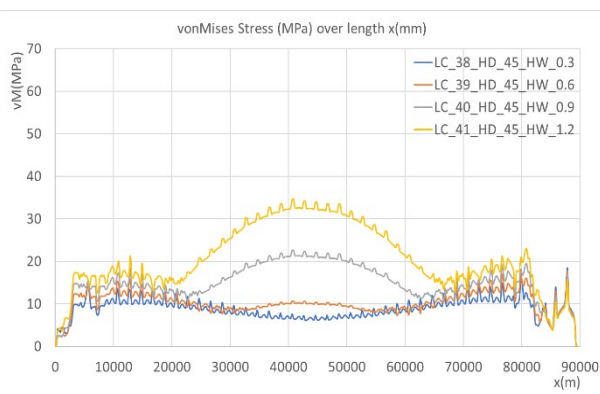


Figura 4.18. Tensiuni von Mises (Mpa) pe lungime x(mm), $\mu=45^\circ$. Cazul încărcării - balast, solicitare de încovoiere în contra-arc, barja 3000 tdw.

4.2.3 Rezistența globală-locală, model 3D-FEM barja 3000 tdw, în cazul navigației la plină încărcare

Această secțiune analizează scenariile de încărcare completă a barjei, incluzând 49 de cazuri de solicitări în arc și contra-arc. La fel ca în cazul de balast, s-au luat în considerare valuri oblice cu înălțimi variabile. Valorile maxime ale tensiunilor von Mises au fost de 158,18 Mpa, iar deformațiile verticale maxime au ajuns la 177,07 mm în condițiile cele mai severe de încărcare.

Rezultatele obținute din modelele 1D și 3D-FEM arată că tensiunile și deformațiile sunt semnificativ influențate de înălțimea valurilor și de scenariile de încărcare. În cazul navigației la plină încărcare, tensiunile maxime sunt aproape de limita admisibilă, ceea ce subliniază importanța proiectării corecte a structurii barjei pentru a rezista solicitărilor extreme din mediul de operare.

Tabel 4.7. Rezultatele analizei 3D-FEM a rezistenței globale-locale, barja 3000 tdw, creastă și gol de val, condiția de plină încărcare.

Nr.	μ (°)	Hw (mm)	σ_{vm} (Mpa)	w (mm)	YR -	DR -	Nr.	σ_{vm} (Mpa)	w (mm)	YR -	DR -
-	-	-	-	-	-	-	LC_74	123.80	118.49	0.620	0.658
LC_50	0	300	151.20	103.900	0.757	0.577	LC_75	130.43	133.12	0.653	0.740
LC_51	0	600	135.32	89.317	0.677	0.496	LC_76	137.03	147.76	0.686	0.821
LC_52	0	900	132.77	74.752	0.665	0.415	LC_77	147.37	162.43	0.738	0.902
LC_53	0	1200	142.76	60.297	0.715	0.335	LC_78	158.18	177.07	0.792	0.984
LC_54	15	300	151.20	103.970	0.757	0.578	LC_79	130.57	133.14	0.654	0.740
LC_55	15	600	135.32	89.455	0.677	0.497	LC_80	137.32	147.8	0.687	0.821
LC_56	15	900	132.65	74.957	0.664	0.416	LC_81	147.36	162.48	0.738	0.903
LC_57	15	1200	142.60	60.569	0.714	0.336	LC_82	158.18	177.14	0.792	0.984
LC_58	30	300	151.22	104.120	0.757	0.578	LC_83	130.64	133.11	0.654	0.740
LC_59	30	600	135.36	89.752	0.678	0.499	LC_84	137.46	147.74	0.688	0.821
LC_60	30	900	132.09	75.400	0.661	0.419	LC_85	147.32	162.39	0.738	0.902
LC_61	30	1200	141.85	61.156	0.710	0.340	LC_86	158.13	177.03	0.792	0.984
LC_62	45	300	151.27	104.420	0.757	0.580	LC_87	130.59	132.96	0.654	0.739
LC_63	45	600	135.48	90.371	0.678	0.502	LC_88	137.36	147.45	0.688	0.819
LC_64	45	900	131.34	76.328	0.658	0.424	LC_89	147.20	161.95	0.737	0.900
LC_65	45	1200	140.63	62.366	0.704	0.346	LC_90	157.98	176.47	0.791	0.980
LC_66	60	300	151.46	105.230	0.758	0.585	LC_91	130.08	132.43	0.651	0.736
LC_67	60	600	135.83	91.991	0.680	0.511	LC_92	136.34	146.38	0.683	0.813
LC_68	60	900	130.22	78.766	0.652	0.438	LC_93	146.82	160.35	0.735	0.891
LC_69	60	1200	139.15	65.538	0.697	0.364	LC_94	157.45	174.33	0.788	0.969
LC_70	75	300	152.47	108.950	0.763	0.605	LC_95	126.48	129.44	0.633	0.719
LC_71	75	600	137.80	99.416	0.690	0.552	LC_96	134.73	140.41	0.674	0.780
LC_72	75	900	126.11	90.492	0.631	0.503	LC_97	144.61	151.63	0.724	0.842
LC_73	75	1200	132.77	81.725	0.665	0.454	LC_98	154.49	163.33	0.773	0.907

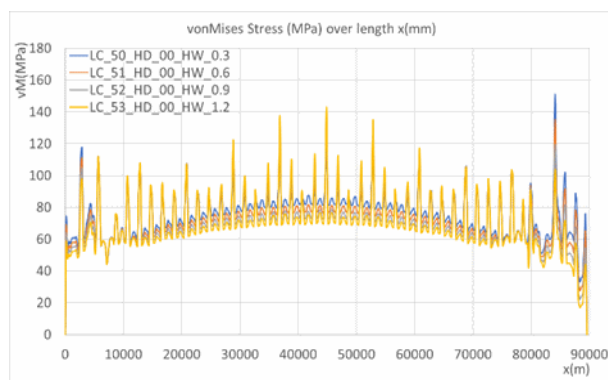


Figura 4.19. Tensiuni von Mises (Mpa) pe lungimea x(mm), $\mu=0^\circ$. Cazul de plină încărcare, solicitare în arc, barja 3000 tdw.

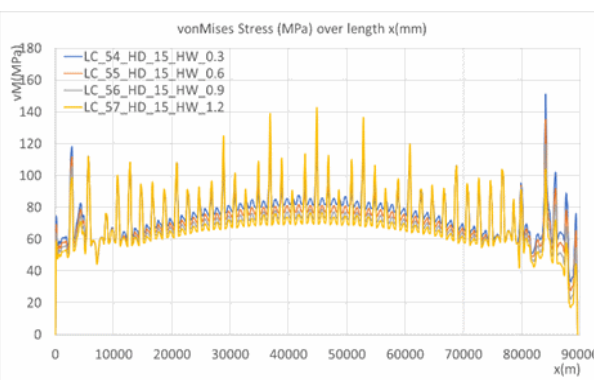


Figura 4.20. Tensiuni von Mises (Mpa) pe lungimea x(mm), $\mu=15^\circ$. Cazul de plină încărcare, solicitare în arc, barja 3000 tdw.

Capitolul 5

ANALIZA COMPARATIVĂ A PERFORMANȚEI STRUCTURALE A UNEI AMBARCAȚIUNI FLUVIAL-COSTIERE CONSTRUITĂ DIN MATERIAL COMPOZIT

5.1 Utilizarea materialelor compozite în construcții navale

Materialele compozite, în special rășina epoxidică armată cu fibră de sticlă (GRE), au devenit din ce în ce mai utilizate în construcțiile navale datorită avantajelor lor semnificative: greutate redusă, rezistență mecanică superioară și eficiență structurală. Aceste materiale oferă soluții durabile pentru ambarcațiuni, în special în ceea ce privește reducerea costurilor de întreținere și îmbunătățirea performanțelor. Studiul din acest capitol se concentrează pe o ambarcațiune fluvial-costieră de 24 de metri, construită din GRE, și pe modul în care materialul influențează comportamentul structural al acesteia.

5.2 Caracteristicile constructive și mecanice ale materialului compozit

Materialele compozite GRE sunt preferate pentru ambarcațiuni datorită proprietăților mecanice ridicate, cum ar fi rezistența la tracțiune și modulul de elasticitate, care contribuie la rigiditatea și rezistența structurii. Această secțiune descrie testele experimentale efectuate pe diferite tipuri de materiale compozite, evidențiind diferențele de comportament între acestea. S-au analizat două variante de compozite: unul simplificat, fără strat intermediar (A1), și unul complex (A2), cu straturi suplimentare pentru întărirea structurii. Rezultatele arată că materialul A2 prezintă o rigiditate mai mare și o rezistență mecanică superioară comparativ cu A1.

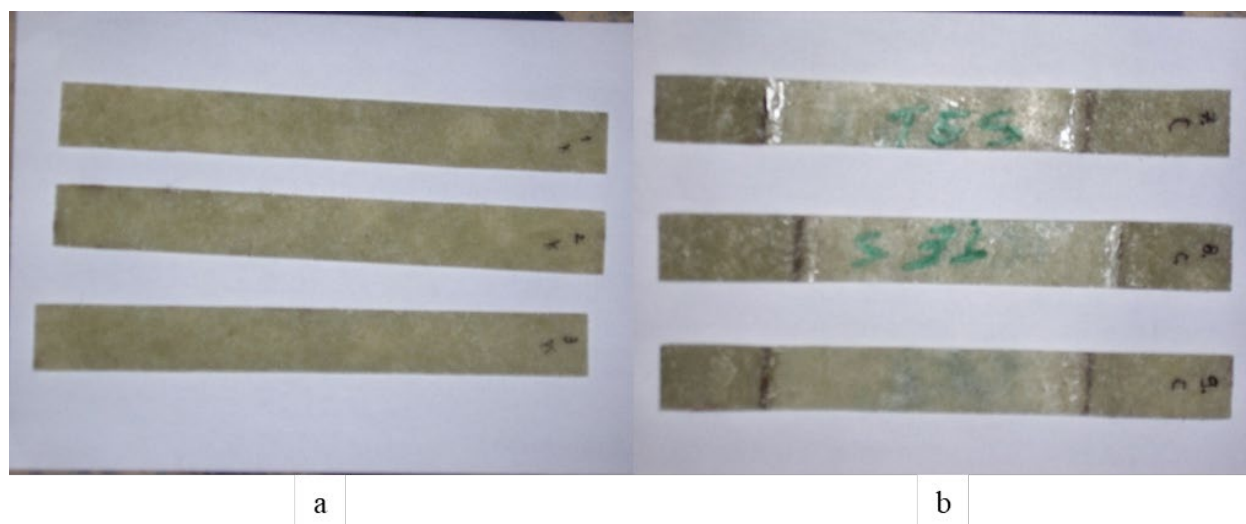


Figura 5.1. Epruvete din materialele compozite GRE, A1 și A2.

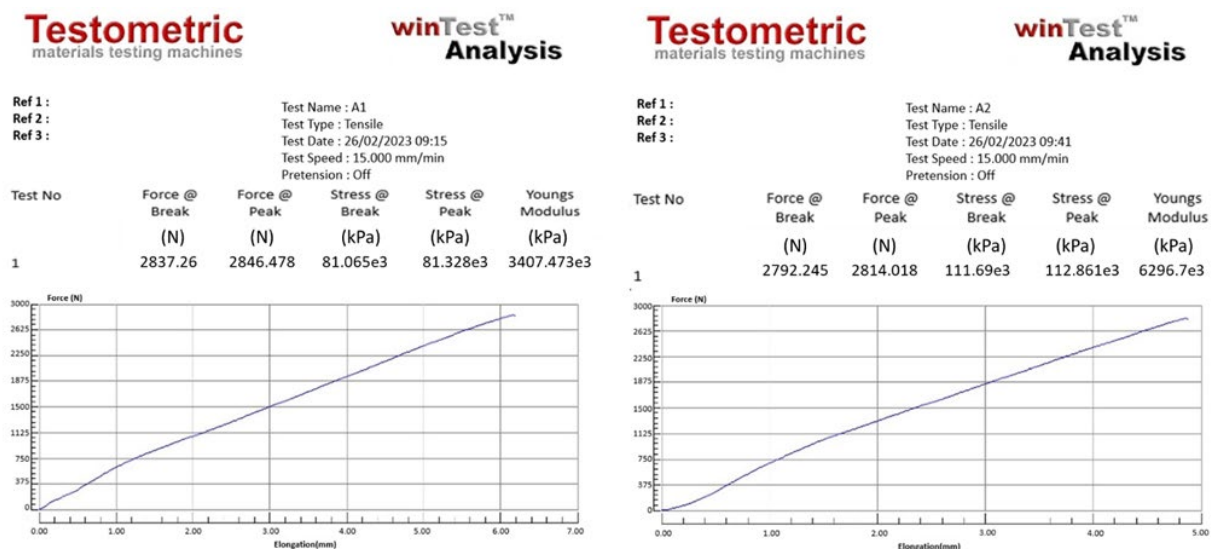


Figura 5.2. Curbele forță de tracțiune-alungire pentru epruvetele din materialele compozite GRE tip A1 și A2.

Tabel 5.1. Caracteristicile materialelor compozite GRE A1 și A2

Material	L x l x t			Forță rupere	R _m	E	v	ρ _m	von Mises adm.	Factor stabilitate adm.	Deplasare verticală adm.
	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[kPa]	[kPa]	[-]	[kg/m ³]	[kPa]	[-]	[mm]
A1	200	10	3.5	2837	8.11E+04	3.41E+06	0.275	1320	20.27E+03	1.3	+/-85
A2	200	10	2.5	2962	1.12E+05	6.30E+06	0.275	1320	27.92E+03	1.3	+/-85

5.3 Modelul structural cu elemente finite al ambarcațiunii fluvial-costiere

Această secțiune prezintă modelarea structurală a ambarcațiunii fluvial-costiere folosind metoda elementului finit (FEM). Modelul creat include toate detaliile structurale ale ambarcațiunii, cum ar fi punțile, pereții laterali și longitudinale, precum și geometria carenei. Această abordare permite simularea comportamentului structural al navei sub diverse condiții de încărcare și valuri. Modelul este utilizat pentru a evalua tensiunile echivalente și deformațiile, oferind o imagine clară a modului în care materialele compozite influențează performanța structurală globală a ambarcațiunii.

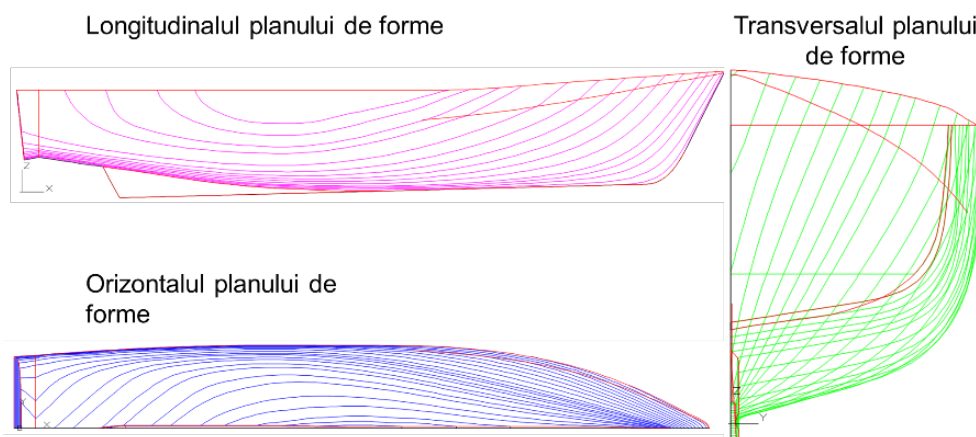


Figura 5.3. Plan de forme ambarcațiune fluvial-costieră din materiale compozite

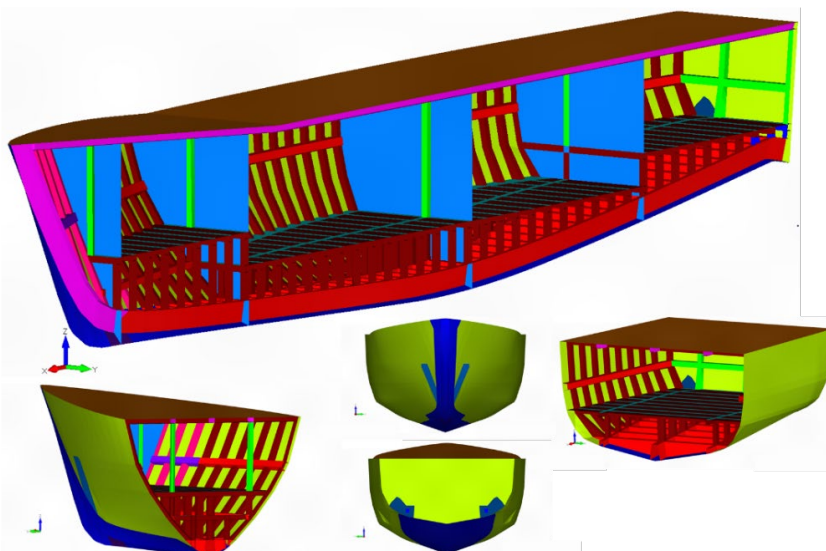


Figura 5.4. Model 3D-FEM al ambarcațiunii fluvial-costiere din materiale compozite.

5.4 Parametrii de echilibrare ai ambarcațiunii fluvial-costiere din GRE în condiții de valuri oblice de proiectate

Secțiunea analizează comportamentul ambarcațiunii în valuri oblice, folosind simulări pentru diferite înălțimi și unghiuri de atac ale valurilor. Rezultatele arată că înălțimea valurilor și unghiul de atac au un impact semnificativ asupra stabilității și rezistenței structurale a navei. Modelele simulate au fost echilibrate pentru a reflecta condițiile reale de operare, iar rezultatele au fost comparate cu criteriile de siguranță impuse de societățile de clasificare. S-a observat că materialul A2 oferă o stabilitate mai bună în condiții de valuri mari, în timp ce A1 tinde să depășească limitele admise în anumite condiții extreme.

Tabel 5.5. Parametrii de echilibrare navă-val. Ambarcațiunea fluvial-costieră din materiale compozite GRE. Creastă de val la cuplul maestru (încovoiere în arc).

Parametri Model 1D	$\mu [^\circ]$	0	Înălțimea valului h_w [m]									
			0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
Pescaj mediu (m)	1.5	0	1.440	1.360	1.250	1.112	0.933	0.744	0.501	0.442	0.229	0.058
		15	1.441	1.362	1.255	1.119	0.939	0.758	0.524	0.445	0.235	0.061
		30	1.445	1.372	1.271	1.143	0.960	0.808	0.634	0.439	0.279	0.103
		45	1.454	1.394	1.311	1.151	1.014	0.906	0.716	0.573	0.384	0.186
		60	1.479	1.437	1.373	1.285	1.194	1.065	0.948	0.827	0.664	0.566
		75	1.548	1.521	1.396	1.354	1.291	1.229	1.129	1.090	0.845	0.805
Asietă (rad)	0.0	0	-0.017	-0.034	-0.051	-0.070	-0.002	-0.112	-0.134	-0.003	-0.003	-0.003
		15	-0.017	-0.034	-0.051	-0.070	-0.002	-0.112	-0.134	-0.003	-0.003	-0.003
		30	-0.016	-0.033	-0.050	-0.069	-0.002	-0.111	-0.002	-0.003	-0.002	-0.003
		45	-0.015	-0.031	-0.048	-0.002	-0.002	-0.103	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
		60	-0.011	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	0.000	-0.001	0.000
		75	0.008	0.014	0.000	0.000	-0.001	-0.013	-0.006	0.000	0.070	0.070
Canarisire (rad)	0.0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		15	-0.007	-0.015	-0.022	-0.028	-0.010	-0.042	-0.048	-0.014	-0.014	-0.016
		30	-0.016	-0.031	-0.046	-0.061	-0.033	-0.089	-0.040	-0.042	-0.045	-0.044
		45	-0.025	-0.051	-0.077	-0.058	-0.065	-0.127	-0.073	-0.079	-0.077	-0.082
		60	-0.037	-0.058	-0.082	-0.099	-0.112	-0.117	-0.122	-0.117	-0.115	-0.120
		75	-0.018	-0.036	-0.060	-0.131	-0.094	-0.122	-0.094	-0.133	0.031	0.051

Tabel 5.6. Parametrii de echilibrare navă-val. Ambarcațiune fluvial-costieră din materiale compozite GRE. Creastă de val pupa-prova (încovoiere în contra-arc).

Parametri Model 1D	$\mu [^\circ]$	0	Înălțimea valului h_w [m]									
			0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
Pescaj mediu (m)	1.5	0	1.546	1.581	1.608	1.626	1.630	1.617	1.580	1.524	1.463	1.410
		15	1.545	1.580	1.606	1.622	1.627	1.614	1.590	1.509	1.444	1.390
		30	1.542	1.574	1.597	1.612	1.615	1.601	1.555	1.454	1.352	1.326
		45	1.534	1.559	1.575	1.584	1.582	1.563	1.519	1.425	1.342	1.317
		60	1.513	1.517	1.514	1.503	1.484	1.498	1.286	1.254	1.154	1.119
		75	1.443	1.357	1.383	1.159	1.240	1.349	1.262	1.223	1.120	1.108
Asietă (rad)	0.0	0	0.015	0.030	0.042	0.053	0.063	0.071	0.075	0.083	0.092	0.102
		15	0.015	0.029	0.041	0.052	0.061	0.069	0.077	0.082	0.090	0.100
		30	0.014	0.027	0.038	0.047	0.052	0.061	0.063	0.077	0.086	0.092
		45	0.012	0.022	0.030	0.036	0.036	0.043	0.039	0.048	0.052	0.057
		60	0.006	0.009	0.009	0.000	0.000	-0.001	0.022	0.038	0.049	0.055
		75	-0.012	-0.002	-0.001	-0.001	-0.001	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000
Canarisire (rad)	0.0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		15	0.007	0.014	0.021	0.029	0.036	0.036	0.037	0.040	0.047	0.048
		30	0.015	0.030	0.045	0.060	0.068	0.091	0.094	0.101	0.110	0.119
		45	0.024	0.048	0.073	0.089	0.117	0.138	0.172	0.157	0.157	0.174
		60	0.035	0.069	0.096	0.136	0.175	0.205	0.192	0.188	0.185	0.181
		75	0.015	0.005	0.106	0.038	0.040	0.066	0.056	0.047	0.045	0.041

5.5 Analiza structurală a ambarcațiunii fluvial-costiere - prima versiune constructivă

Prima versiune a structurii ambarcațiunii este analizată în detaliu sub diferite scenarii de încărcare. Analizele FEM arată că materialul compozit A1 prezintă tensiuni von Mises mai mari decât A2, iar în cazul unor valuri de peste 4 metri și unghiuri de atac mari, tensiunile depășesc limitele de siguranță. Deformațiile verticale sunt, de asemenea, semnificativ mai mari pentru A1, ceea ce sugerează că acest material nu oferă suficientă rigiditate pentru condițiile de operare proiectate.

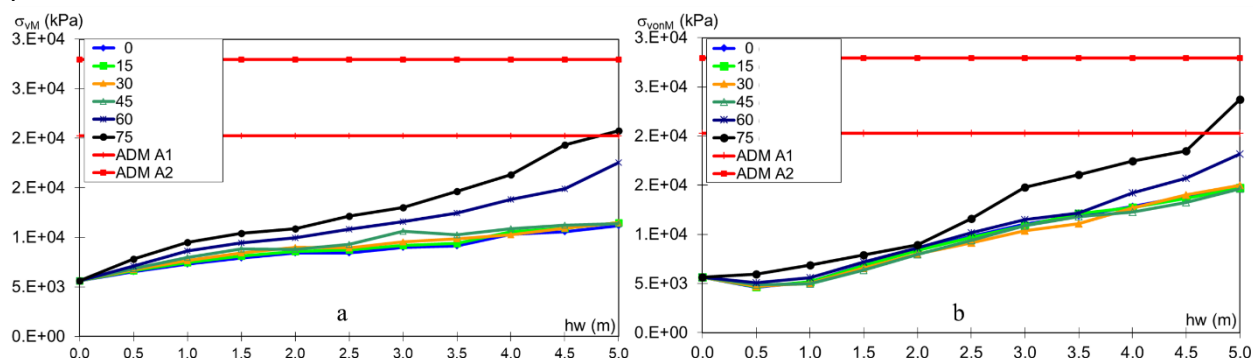


Figura 5.5. Material A1-A2. Tensiuni von Mises, încovoiere în arc(a) și contra-arc(b). Grup T. 1.

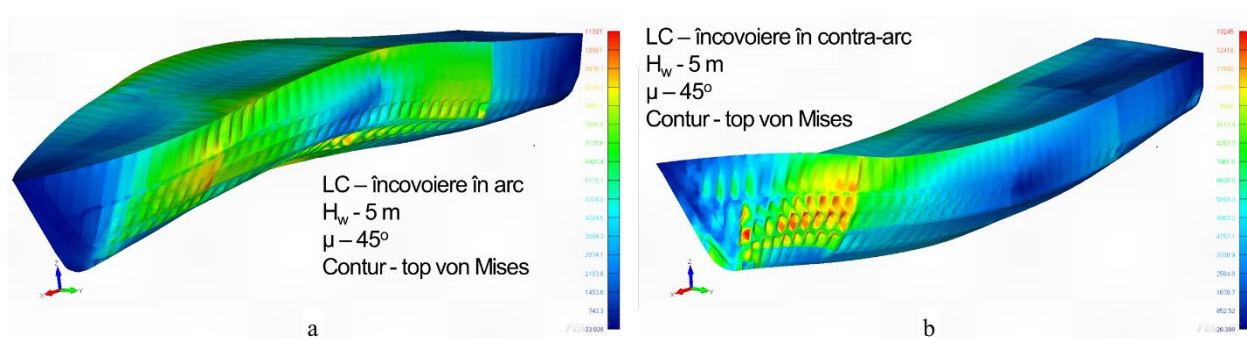


Figura 5.6. Material A1-A2. Tensiuni von Mises, încovoiere în arc(a) și contra-arc(b). Grup T. 1.

5.6 Analiza structurală a ambarcațiunii fluvial-costiere - a doua versiune constructivă

A doua versiune a ambarcațiunii, realizată cu materialul A2 și grosimi suplimentare pentru structurile principale, arată o îmbunătățire semnificativă a comportamentului structural. Tensiunile von Mises și deformațiile verticale rămân în limitele admise pentru toate condițiile de operare simulate. Această versiune a fost capabilă să suporte valori de până la 5 metri fără să depășească criteriile de siguranță stabilite de normele internaționale.

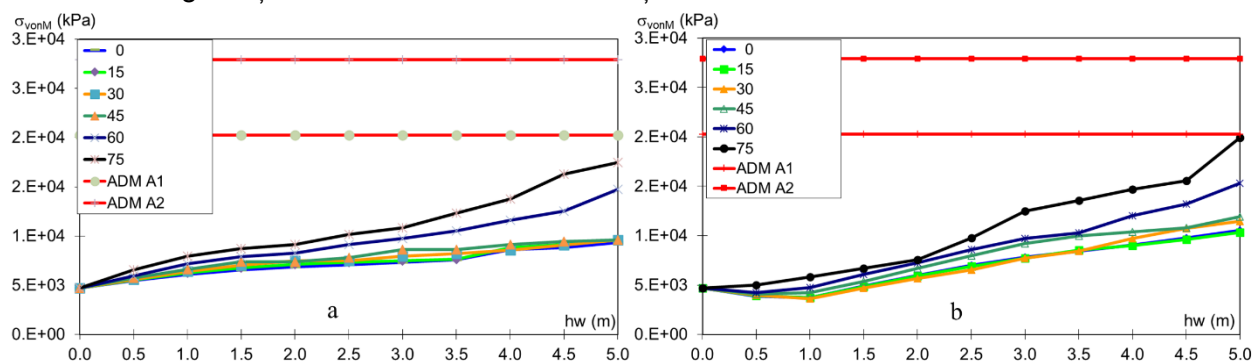


Figura 5.7. Material A1-A2. Tensiuni von Mises, încovoiere în arc(a) și contra-arc(b). Grup T. 2.

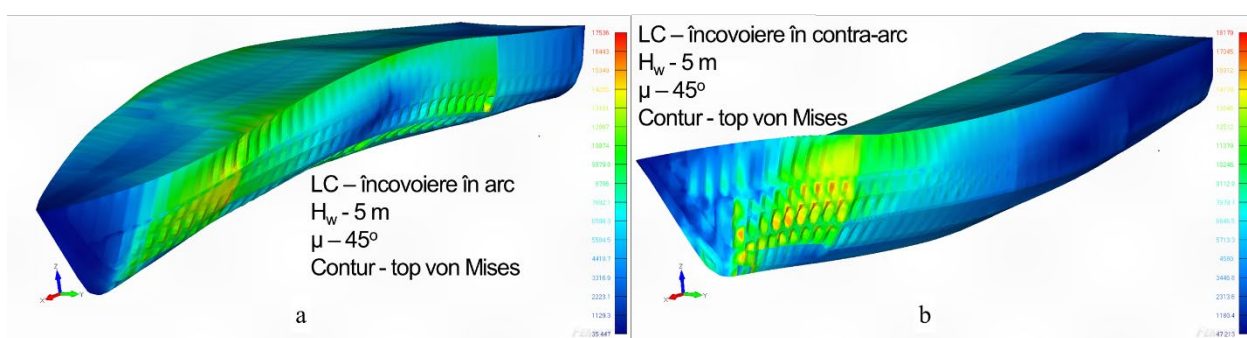


Figura 5.8. Material A1-A2. Tensiuni von Mises, încovoiere în arc(a) și contra-arc(b). Grup T. 2.

5.7 Analiza structurală a ambarcațiunii fluvial-costiere - a treia versiune constructivă

A treia versiune a structurii ambarcațiunii, cu grosimi suplimentare în zonele critice, prezintă cele mai bune rezultate. Analizele arată că atât tensiunile von Mises, cât și deformațiile verticale sunt mult sub limitele admise, chiar și în condiții extreme de valuri și încărcări. Această versiune optimizează performanța structurală, asigurând un echilibru ideal între rezistență și greutate.

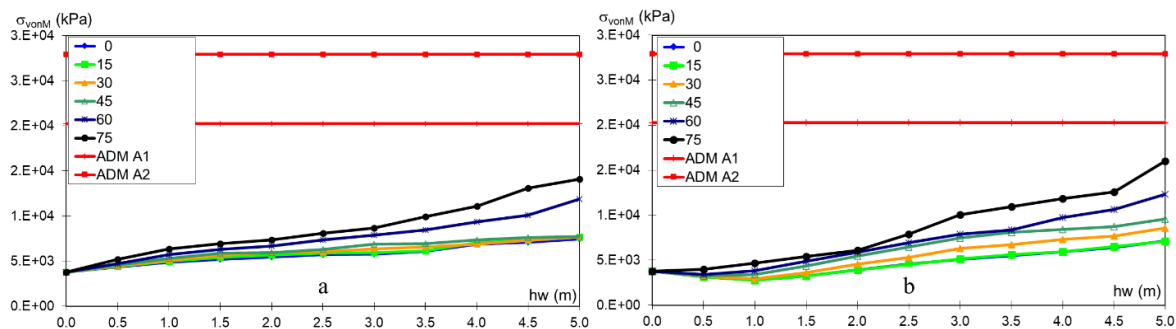


Figura 5.9. Material A1-A2. Tensiuni von Mises, încovoiere în arc(a) și contra-arc(b). Grup T. 3.

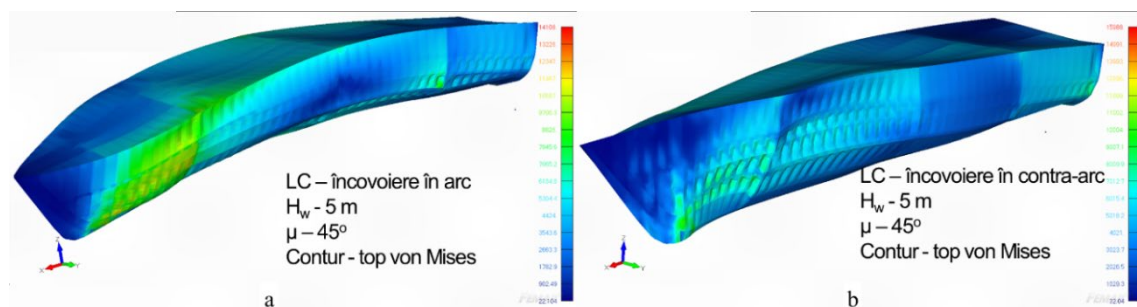


Figura 5.10. Material A1-A2. Tensiuni von Mises, încovoiere în arc(a) și contra-arc(b). Grup T. 3.

5.8 Concluzii la analiza comparativă a structurii ambarcațiunii fluvial-costiere din materiale compozite GRE

Analiza comparativă a arătat că materialul compozit A2, combinat cu grosimile adecvate din versiunea T2 și T3, oferă cele mai bune performanțe structurale pentru ambarcațiunea fluvial-costieră. Materialul A1, deși mai ușor, nu a reușit să respecte criteriile de siguranță în anumite condiții de operare. În concluzie, utilizarea materialului A2, împreună cu grosimi suplimentare, este recomandată pentru a asigura siguranța și durabilitatea ambarcațiunii în condiții dificile de operare.

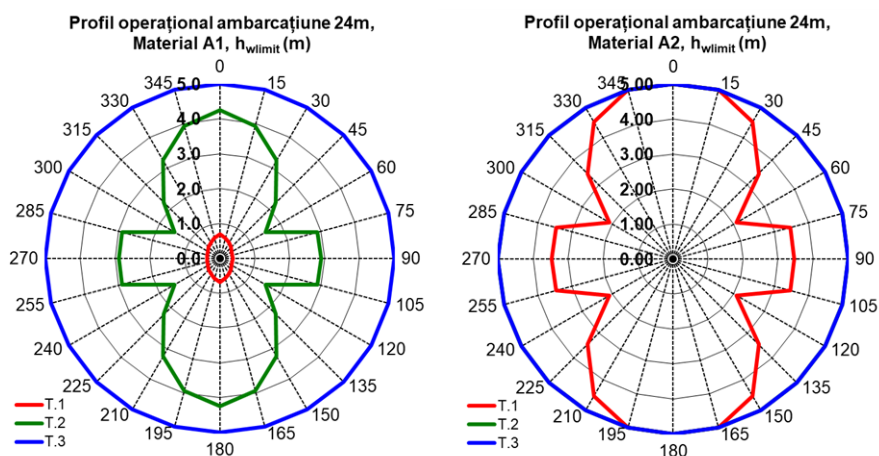


Figura 5.11. Diagramele polare ale profilului operațional, materiale compozite GRE A1, A2, pe baza criteriilor de rezistență structurală locală-globală.

Capitolul 6

ANALIZA COMPORTĂRII DINAMICE ÎN VALURI A BARJEI 3000 TDW

6.1 Analiza comparativă a dinamicii barjei de 3000 TDW prin metode 2D-3D

În această secțiune, s-a realizat o analiză comparativă a comportamentului dinamic al barjei de 3000 TDW, utilizând două metode numerice: metoda secțiunilor transversale (2D) și metoda elementului de frontieră (3D). Ambele metode au fost validate anterior, iar scopul principal a fost compararea răspunsurilor obținute din punctul de vedere al oscilațiilor de translație pe verticală, rulu și tangaj. Testele au fost efectuate atât în condiții de viteză zero, cât și la o viteză de 15 km/h, pentru a evalua impactul vitezei asupra dinamicii navei. Rezultatele au arătat diferențe semnificative între cele două metode, în special la viteze mai mari, unde modelul 3D a prezentat o sensibilitate mai mare în tratarea interacțiunilor hidrodinamice complexe.

6.1.1 Oscilația de translație pe verticală

Rezultatele pentru oscilația de translație pe verticală arată o corespondență bună între cele două metode pentru pulsații scăzute, dar la viteze mai mari și pulsații ridicate, modelul 3D prezintă o amplitudine ușor mai mare. Acest lucru sugerează că metoda 3D este mai sensibilă la efectele dinamice complexe, în special în domeniul de rezonanță, unde interacțiunile hidrodinamice sunt mai pronunțate. La viteza de 15 km/h, diferențele sunt și mai accentuate, indicând o tendință a modelului 3D de a prezenta răspunsuri mai ample în comparație cu modelul 2D.

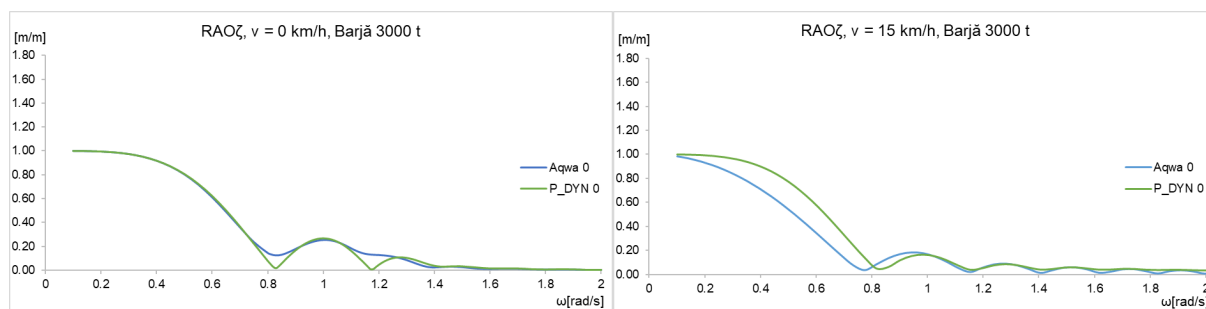


Figura 6.1. Operatorii amplitudine răspuns RAO ζ , $\mu=0^\circ$ - oscilația pe verticală.
 $v=0$ km/h(stânga), $v=15$ km/h(dreapta). Barja 3000 tdw, plină încărcare.

6.1.2 Oscilația de rulu

Pentru oscilațiile de rulu, rezultatele arată o foarte bună concordanță între cele două metode la pulsații joase și viteză zero. La viteza de 15 km/h, diferențele devin mai evidente, cu modelul 3D arătând răspunsuri mai amplificate. Aceasta indică faptul că modelul 3D poate captura mai bine efectele dinamice și neliniare asociate mișcării de rulu, în special la viteze mai mari și în condiții de valuri oblice. Diferențele observate sunt atribuite modului diferit de modelare a amortizării hidrodinamice.

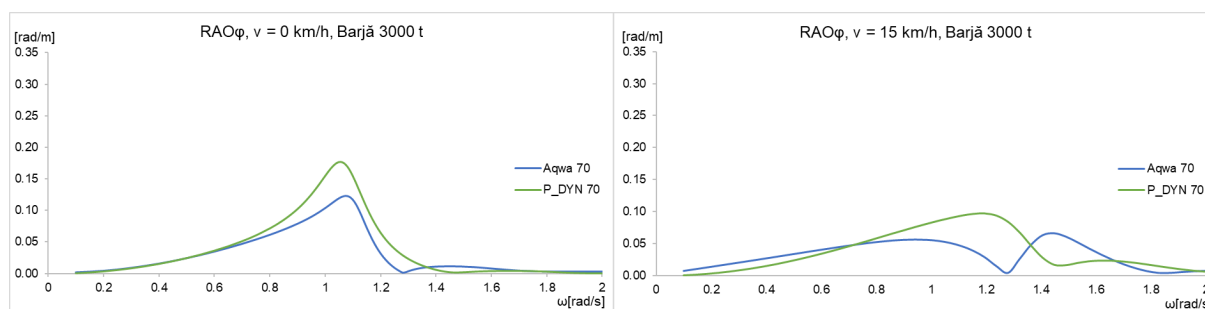


Figura 6.2. Operatorii amplitudine răspuns RAO_{ϕ} , $\mu=70^{\circ}$ – oscilația de ruliul.
 $V=0$ km/h (stânga), $v=15$ km/h (dreapta). Barja 3000 tdw, plină încărcare.

6.1.3 Oscilația de tangaj

Oscilațiile de tangaj prezintă o corespondență bună între cele două metode la pulsații mici, dar la pulsații mai ridicate și viteze mai mari, modelul 3D arată din nou o amplitudine mai mare. Acest lucru indică o sensibilitate mai mare la efectele hidrodinamice și inerțiale asociate tangajului, în special la viteze de avans ridicate. Diferențele observate între cele două modele la viteze mari indică o influență semnificativă a vitezei asupra răspunsului dinamic al navei.

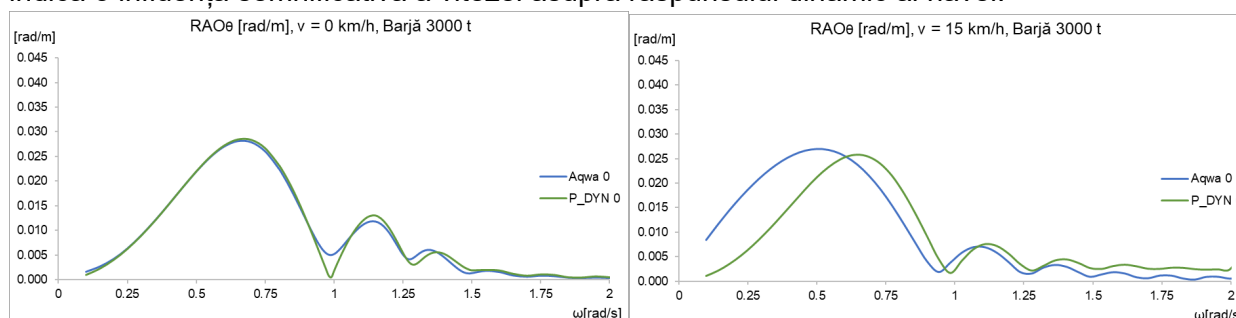


Figura 6.3. Operatorii amplitudine răspuns RAO_{θ} , $\mu=0^{\circ}$ - oscilația de tangaj.
 $V=0$ km/h (stânga), $v=15$ km/h (dreapta). Barja 3000 tdw, plină încărcare.

6.1.4 Concluzii la analiza comparativă a mișcărilor cu modele 2D-3D

Analiza comparativă a relevat că ambele metode oferă rezultate similare la pulsații mici și viteze reduse, dar modelul 3D a prezentat o sensibilitate mai mare la pulsații mari și viteze mari, sugerând că acesta poate captura mai bine interacțiunile complexe între valuri și carenă. Diferențele dintre cele două modele devin mai pronunțate la viteze mari, indicând faptul că metoda 3D oferă o reprezentare mai detaliată a fenomenelor dinamice, în special în domeniile de rezonanță.

6.2 Analiza răspunsului dinamic pe termen scurt în valuri aleatorii a barjei 3000 TDW

În această secțiune, s-a realizat analiza răspunsului dinamic pe termen scurt al barjei de 3000 TDW în valuri aleatorii, pentru condițiile de plină încărcare. S-au evaluat mișcările navei, precum translația pe verticală, tangajul și ruliul, pentru a determina dacă aceste mișcări se încadrează în limitele de siguranță impuse de criteriile seakeeping. De asemenea, s-au analizat accelerațiile maxime ale navei, pentru a determina efectele asupra încărcăturii și siguranței structurale a navei.

Rezultatele au arătat că, pentru majoritatea condițiilor de operare, mișcările și accelerațiile navei rămân sub limitele admisibile. Totuși, în condiții de valuri mari și viteze ridicate, mișcările de translație pe verticală și tangaj au prezentat valori apropiate de limitele de siguranță. În aceste condiții, este necesară gestionarea atentă a vitezelor de avans, pentru a preveni riscurile asupra stabilității și integrității structurale a navei.

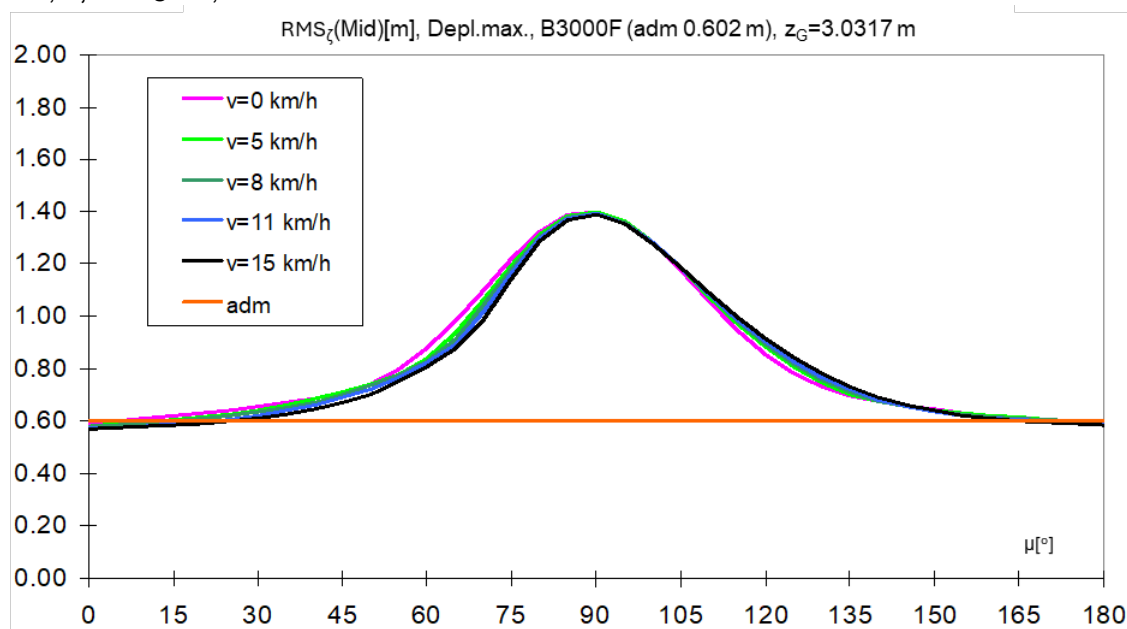


Figura 6.4. RMS maximum - Mișcarea de translație pe verticală combinată (verticală+ruliu) la cuplul maestru, v=0-15 km/h, z_G=3,0317 m.

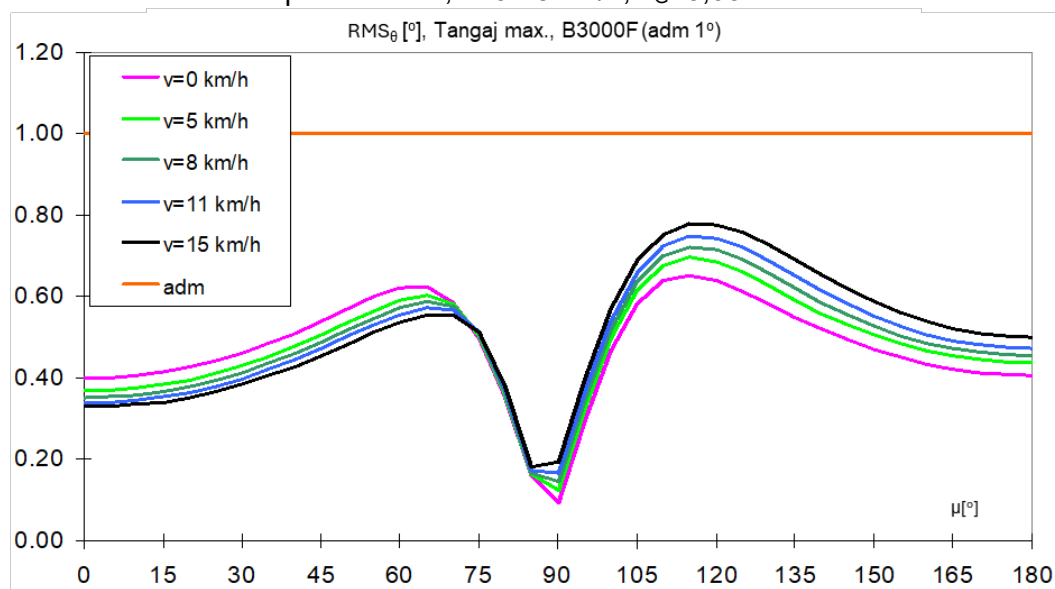


Figura 6.5. RMS maximum - Mișcarea de tangaj, v=0-15 km/h.

În concluzie, analiza răspunsului dinamic pe termen scurt a arătat că barja de 3000 TDW poate opera în siguranță în condiții de valuri moderate, dar în cazul valurilor severe sau vitezelor mari, se impune o monitorizare atentă a mișcărilor și ajustarea vitezei pentru a asigura siguranța operațională.

Capitolul 7

ANALIZA COMPORTĂRII DINAMICE ÎN VALURI A UNEI AMBARCAȚIUNI FLUVIAL-COSTIERE.

7.1 Datele modelului numeric la analiza oscilațiilor ambarcațiunii fluvial-costiere

În această secțiune sunt prezentate datele modelului numeric utilizat pentru analiza oscilațiilor ambarcațiunii fluvial-costiere, incluzând mișcările de translație pe verticală, tangaj și ruliu. Modelul a fost realizat folosind programul P_DYN, iar simulările au fost efectuate pentru viteze cuprinse între 0 și 15 noduri, cu unghiuri de incidență navă-val variabile între 0° și 180° . Mișcările au fost analizate folosind funcțiile operator amplitudine răspuns (RAO), iar pentru mișcarea de ruliu s-a inclus și efectul amortizării suplimentare, cu și fără chile de ruliu. Rezultatele simulărilor au evidențiat o bună corelare între modelul numeric și comportamentul dinamic al ambarcațiunii în condiții de valuri regulate, oferind date utile pentru evaluarea performanțelor ambarcațiunii în diverse scenarii de operare.

7.2 Funcțiile operator amplitudine răspuns la oscilațiilor ambarcațiunii fluvial-costiere

Pentru mișcarea de translație pe verticală, funcțiile RAO au arătat o amplificare moderată a răspunsului ambarcațiunii la unghiuri de incidență navă-val de 0° și 45° , în timp ce la unghiurile de 135° și 180° , răspunsul s-a amplificat semnificativ, în special la viteze mari. În cazul mișcării de tangaj, s-a observat o creștere a amplitudinilor la viteze mari și la unghiuri oblice, în special la unghiul de 180° , unde amplitudinile au atins valorile maxime. Mișcările de ruliu au fost influențate de poziția centrului de greutate și de prezența chilelor de ruliu, amplitudinile fiind mai pronunțate la viteze mari și fără amortizare suplimentară.

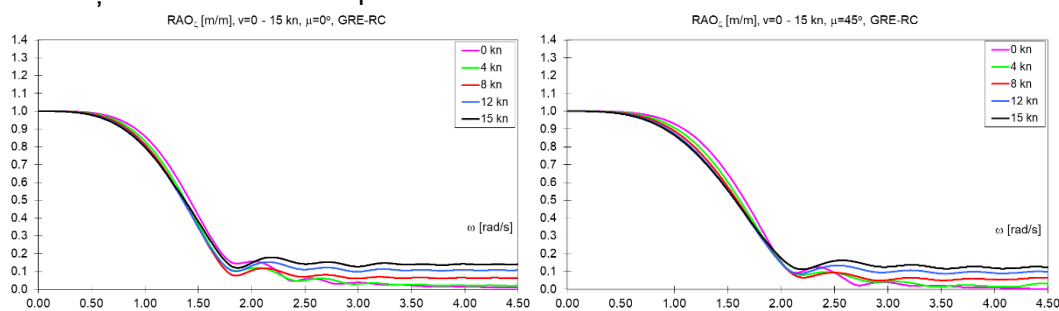


Figura 7.1. RAO - Mișcarea de translație pe verticală, $v=0-15$ kn, $\mu=0^\circ$, $\mu=45^\circ$.

7.3 Răspunsul dinamic pe termen scurt la oscilațiile ambarcațiunii fluvial-costiere

Răspunsul dinamic pe termen scurt al ambarcațiunii în valuri aleatorii a fost analizat folosind spectrul de val ITTC. S-au evaluat mișcările verticale, tangajul și ruliul, precum și accelerațiile asociate acestor mișcări. Valorile RMS (Root Mean Square) au arătat că mișcările verticale sunt amplificate la unghiuri de incidență navă-val apropiate de 90° , în timp ce mișcările de tangaj și ruliu au atins valori maxime la unghiuri de 135° și 180° . De asemenea, accelerațiile au crescut progresiv la viteze mari, în special pentru mișcările de tangaj și ruliu, depășind limitele admise în anumite condiții.

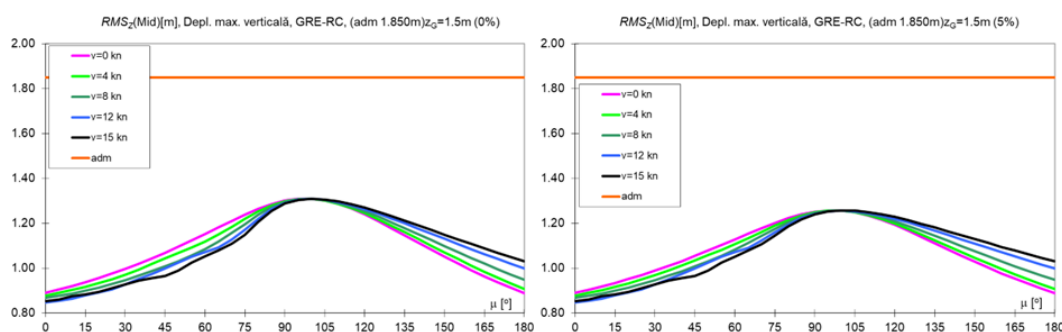


Figura 7.2. RMS maximum - Mișcarea de translație pe verticală combinată (vertical + ruliu) la cuplul maestru, $v=0-15$ kn, $z_G=1,5$ m, amortizare 0-5%.

7.4 Limitele operaționale pe termen scurt ale ambarcațiunii fluvial-costiere

Limitele operaționale ale ambarcațiunii au fost stabilite pe baza înălțimii semnificative a valurilor (H_s limit) și a scării Beaufort (B limit), în funcție de viteza de navigație și unghiul de incidență navă-val. Pe măsură ce viteza crește, limitele operaționale scad, în special la unghiurile critice de 90° și 135° . În cazul vitezelor mari, limitele H_s scad sub 0,8 m, iar scara Beaufort scade sub nivelul 1 la unghiurile critice, indicând o performanță dinamică redusă a ambarcațiunii în condiții de valuri puternice și viteze ridicate. Amortizarea suplimentară introdusă de chilele de ruliu a îmbunătățit ușor aceste limite, dar influența sa generală a fost limitată.

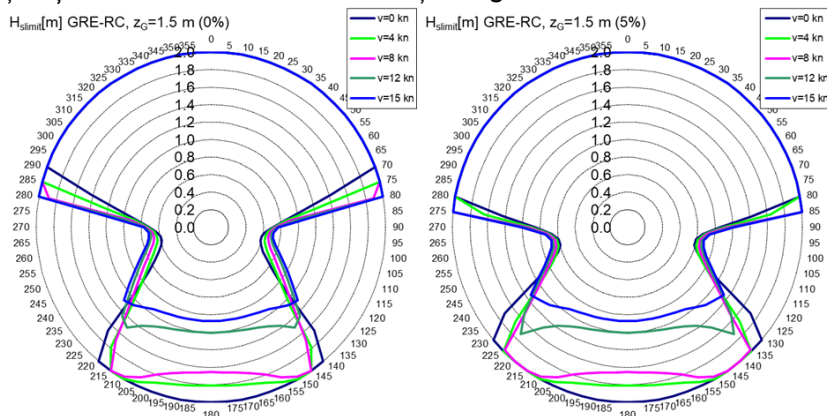


Figura 7.3. $H_{s\text{limit}}$ - Limite operaționale, înălțimi semnificative de val, $v=0-15$ kn, $z_G=1,5$ m, amortizare suplimentară la ruliu 0-5%.

7.5 Concluzii la analiza dinamicii ambarcațiunii fluvial-maritime

Analiza dinamică a evidențiat faptul că mișcările de ruliu sunt cele mai sensibile la viteza de navigație și la unghiul de incidență navă-val. Pe măsură ce viteza crește, amplitudinile mișcărilor și accelerațiilor cresc semnificativ, în special la unghiuri oblice. Poziția centrului de greutate influențează considerabil mișcările de ruliu, o poziție mai joasă amplificând oscilațiile. Implementarea chilelor de ruliu a redus amplitudinile oscilațiilor, dar nu a reușit să elimine complet efectele negative în condiții de valuri puternice și viteze mari. În concluzie, viteza de navigație, unghiul de incidență navă-val și poziția centrului de greutate sunt factori esențiali în optimizarea performanței dinamice a ambarcațiunii.

Capitolul 8

ANALIZA REZISTENȚEI STRUCTURALE LA IMPACT DIN EȘUARE A BARJEI FLUVIALE DE 3000 TDW.

8.1 Contextul analizei la impact din eșuare la navigația fluvială

Navigația fluvială se desfășoară frecvent în condiții de adâncime redusă și pe căi navigabile care pot prezenta obstacole subacvatice, crescând riscul de eșuare. Impactul din eșuare reprezintă o problemă critică pentru barjele fluviale, mai ales când acestea sunt încărcate complet. Eșuarea poate produce daune structurale semnificative, care pot afecta atât structura navei, cât și încărcătura transportată, provocând pierderi economice mari. În acest capitol, se prezintă o analiză detaliată a impactului din eșuare, luând în considerare efectele asupra unei barje de 3000 TDW, un tip comun de navă utilizată pentru transportul pe râuri.

8.2 Evaluarea structurală a barjei fluviale de 3000 tdw în urma solicitărilor de impact din eșuare în zona centrală a magaziei de marfă

8.2.1 Condițiile de navigație pe apele interioare

Barjele fluviale operează adesea pe căi navigabile interioare cu adâncime variabilă, ceea ce le expune riscului de eșuare în zonele cu adâncime insuficientă. Condițiile de navigație sunt esențiale în determinarea riscului de eșuare și a severității impactului, acestea incluzând adâncimea apei, viteza navei și natura fundului râului.

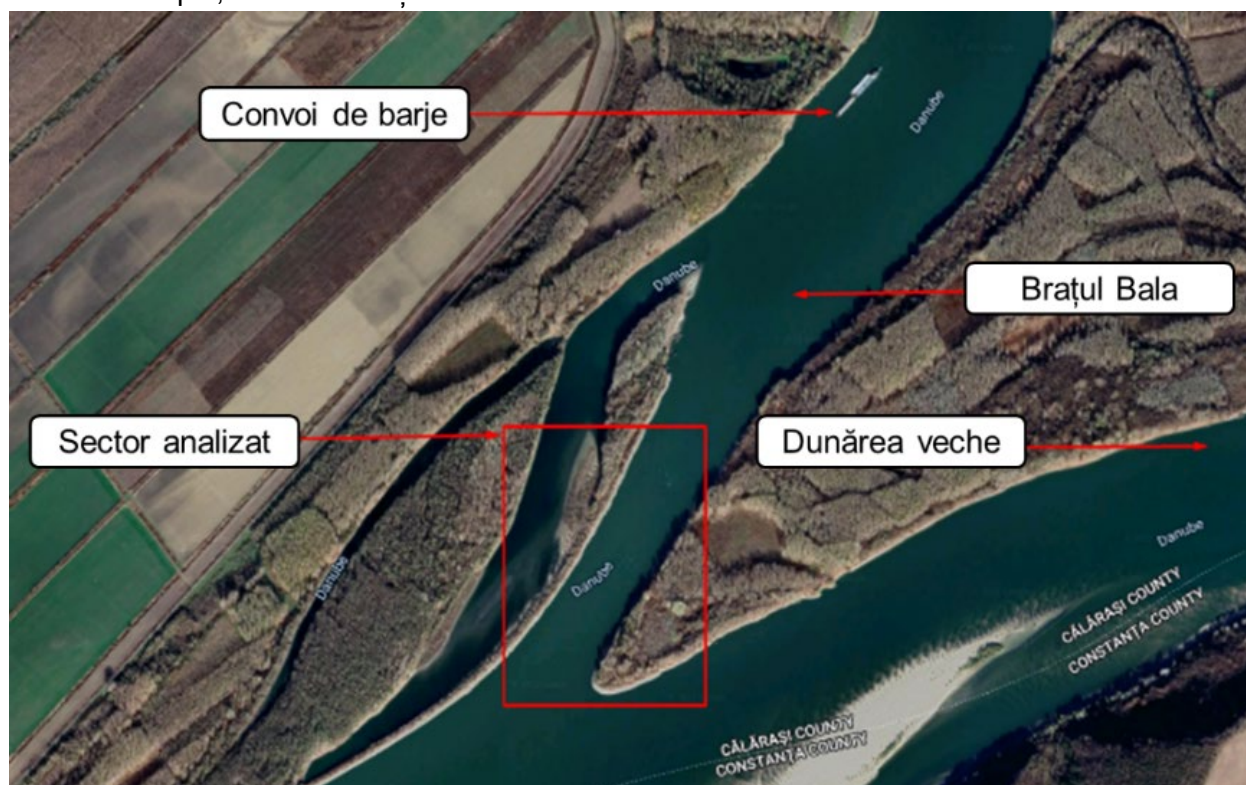


Figura 8.1. Locația brațului Bala (N 44.1906, E27.5689, Google Maps)[126][127]

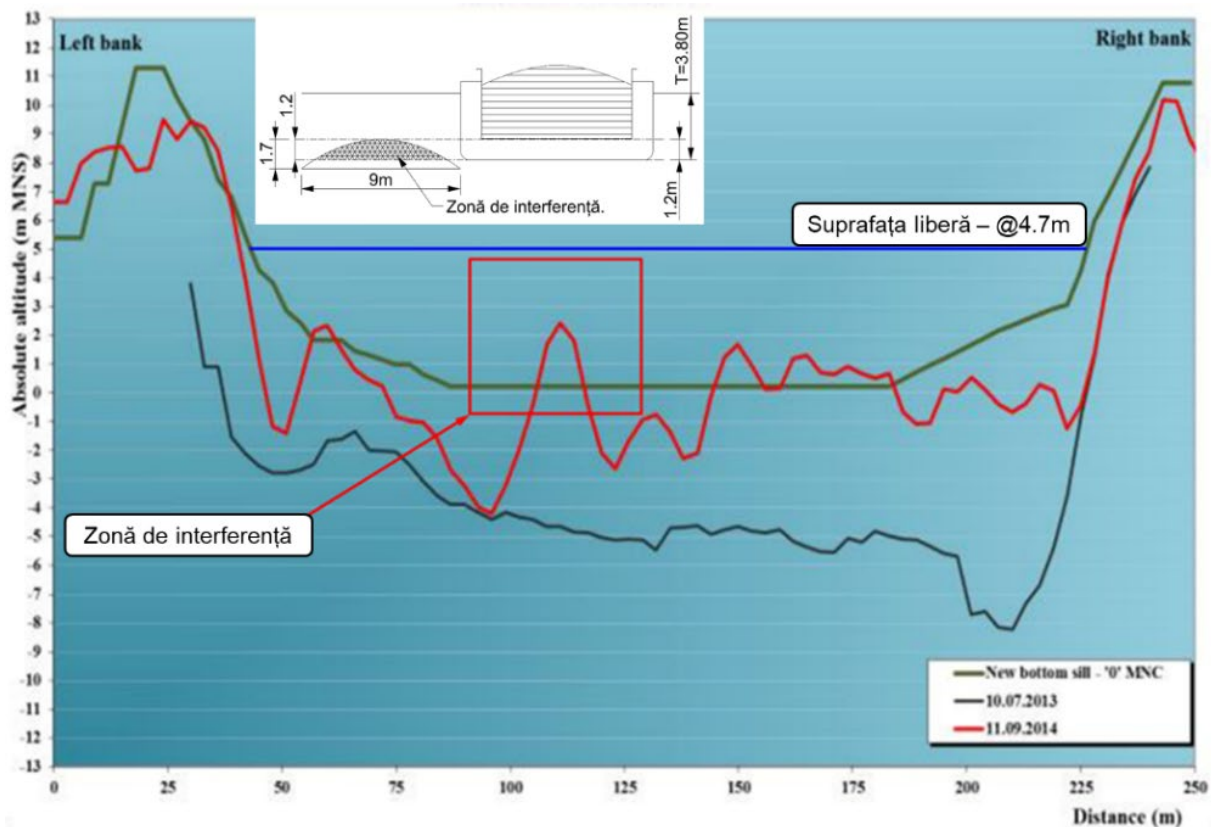


Figura 8.2. Secțiune prin albia fluviului Dunărea, 2013-2014.[126]

8.2.2 Modelul structural 3D-FEM și materialul barjei 3000 tdw

Pentru a evalua comportamentul structural al barjei în urma impactului, a fost realizat un model 3D-FEM al secțiunii centrale. Modelul a inclus detaliile structurale principale, precum grinzile longitudinale și transversale, pereții și rigidizările. Materialul utilizat pentru structura navei a fost oțel, iar caracteristicile acestuia au fost definite conform normelor societăților de clasificare navală.

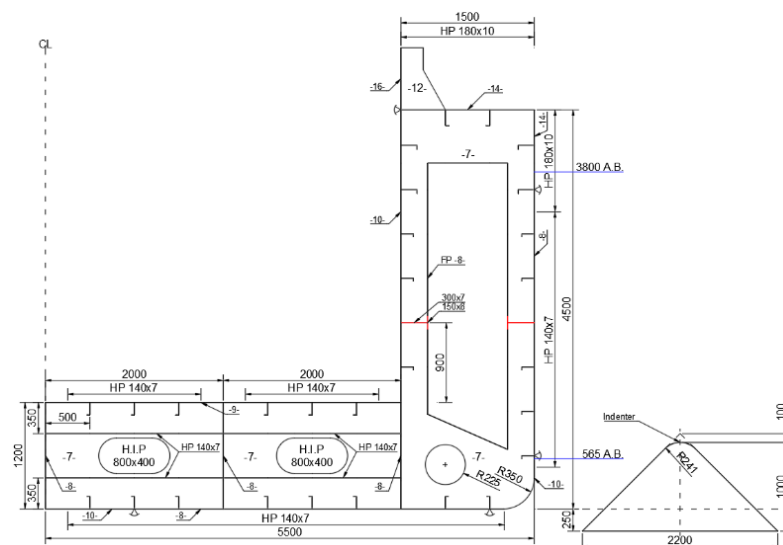


Figura 8.3. Secțiunea transversală centrală, magazie de marfă, barjă 3000 tdw.

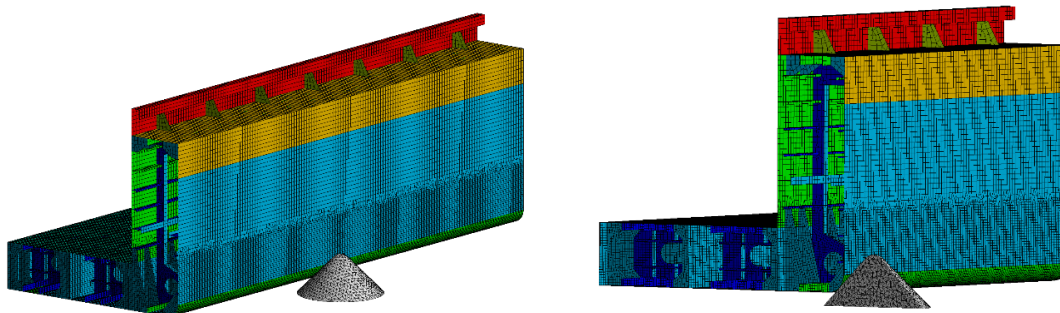


Figura 8.4. Discretizare geometrie. Model 3D-FEM complet(stânga), secțiune prin impactor(dreapta)

8.2.3 Analiza la impact din eșuare în zona centrală a barjei

Simulările au arătat că tensiunile maxime apar în dublu-fund și în pereții longitudinali din apropierea punctului de impact. În funcție de viteza de impact și de unghiul de eșuare, se observă cedarea locală a structurii. În scenariile de navigație cu plină încărcare, tensiunile au atins valori mai ridicate, indicând un risc crescut de avarie structurală severă în zona centrală.

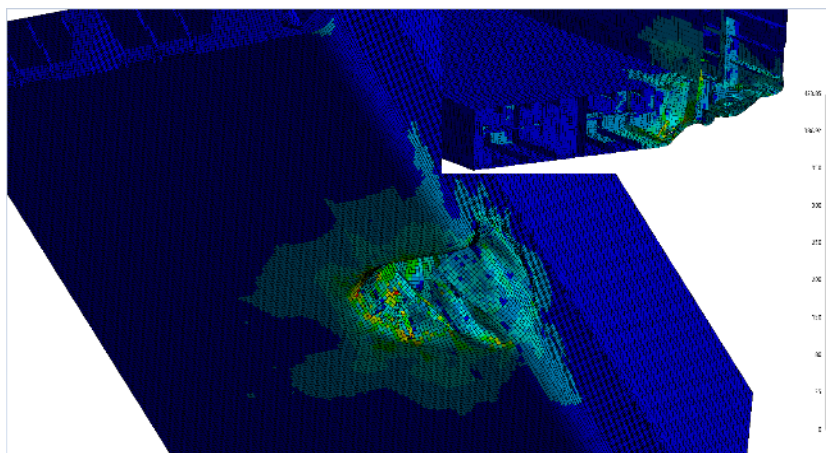


Figura 8.5. Tensiuni von Mises (Mpa), Caz A3 - Plină încărcare - Model FEM fără preîncărcare, barja 3000 tdw.

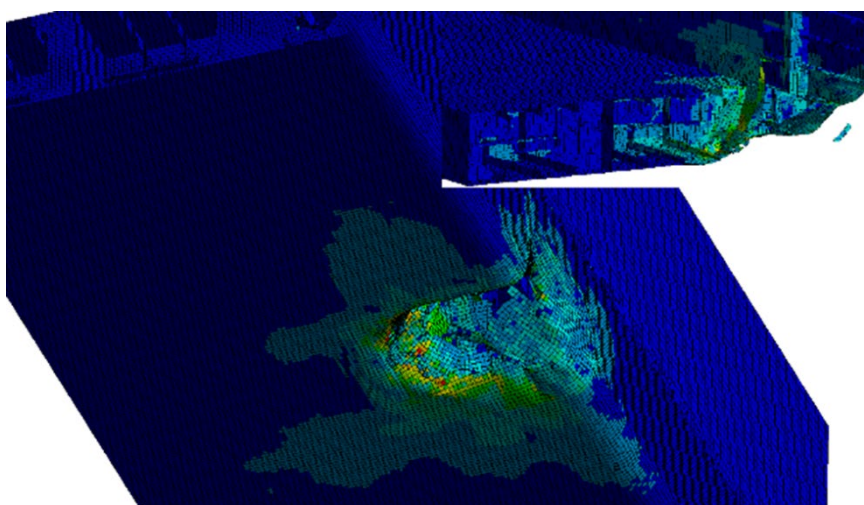


Figura 8.6. Tensiuni von Mises (Mpa), Caz A4 - Plină încărcare - Model FEM cu preîncărcare, barja 3000 tdw.

8.2.4 Concluzii

Rezultatele indică faptul că zona centrală a barjei este vulnerabilă la avarii în cazul eșuării, iar comportamentul structural depinde de viteza de impact și de încărcătura transportată. Măsurile de protecție, cum ar fi întărirea dublu-fundului, ar putea reduce riscul de avarii majore în aceste condiții.

8.3 Evaluarea structurală a barjei fluviale de 3000 tdw în urma solicitărilor din impact la eșuare în zona prova

8.3.1 Modelul structural 3D-FEM și condiția de navigație la eșuare

Modelul structural al probei a fost elaborat pentru a analiza impactul din eșuare în această zonă, considerată critică din punct de vedere al mișcărilor hidrodinamice. Au fost simulate scenarii de eșuare cu diverse viteze și unghiuri de impact, pentru a evalua rezistența structurală în condiții de eșuare.

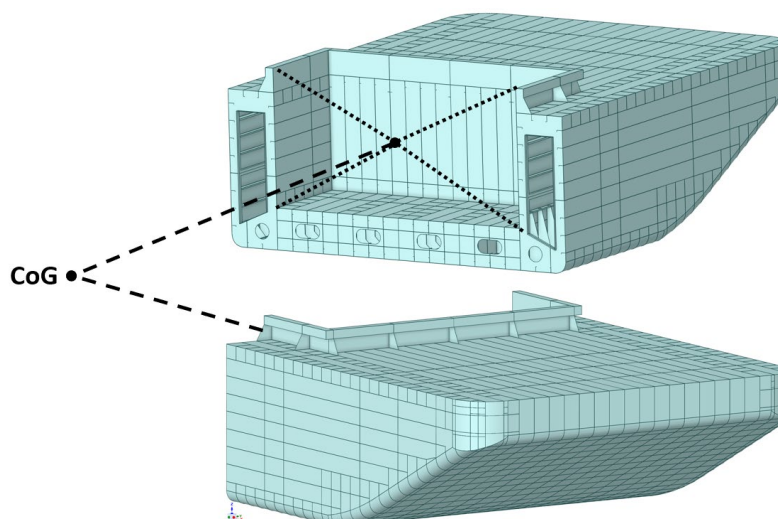


Figura 8.7. Model 3D CAD prova, barja 3000 tdw.

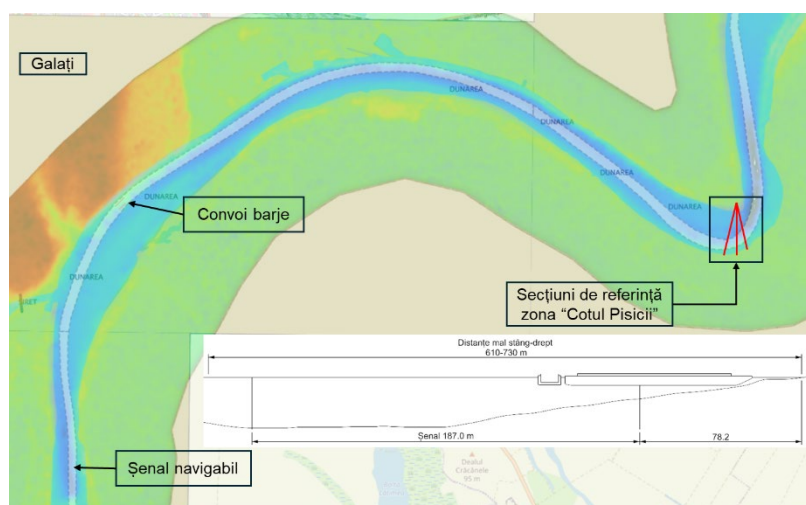


Figura 8.8. Harta de navigație suprapusă pe scanarea 3D. Zona Galați. Poziția barjei în secțiunea albiei.

8.3.2 Analiza la impact din eșuare în zona prova a barjei

Rezultatele indică o distribuție mai uniformă a tensiunilor în zona provei în comparație cu zona centrală. Geometria specifică a probei favorizează alunecarea în cazul eșuării, ceea ce limitează severitatea avariilor. Totuși, la viteze ridicate și în condiții de navigație grea, tensiunile pot depăși limitele admise, indicând necesitatea unor măsuri suplimentare de protecție structurală.

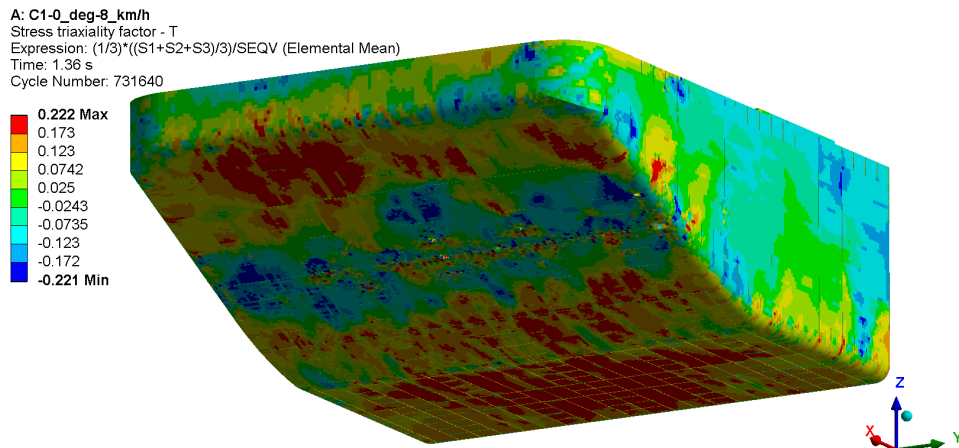


Figura 8.9. Distribuția factorului de triaxialitate. Caz 1. $M=0^\circ$, $v=8$ km/h. Impact din eșuare la prova barjei 3000 tdw.

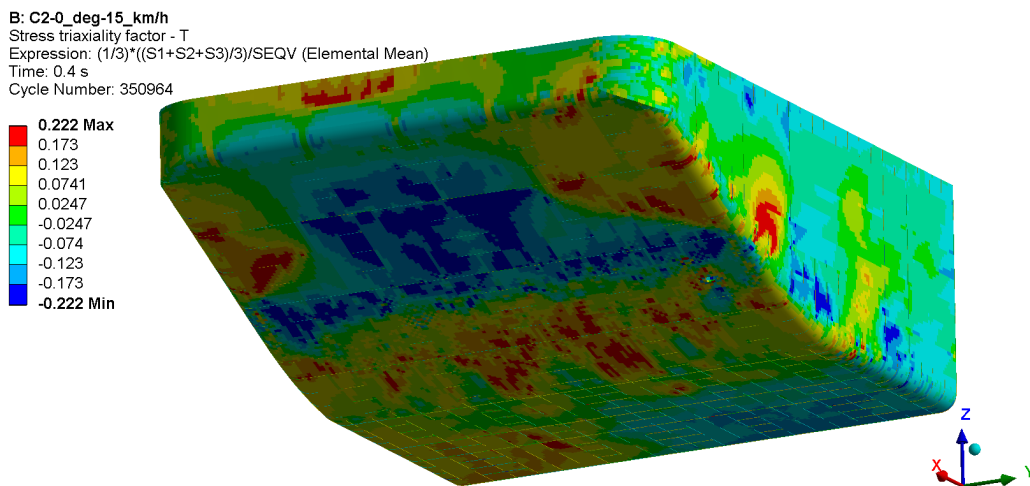


Figura 8.10. Distribuția factorului de triaxialitate. Caz 2. $M=0^\circ$, $v=15$ km/h. Impact din eșuare la prova barjei 3000 tdw.

8.3.3 Concluzii

Zona provei barjei de 3000 TDW prezintă o rezistență mai bună la eșuare comparativ cu zona centrală. Deși geometria probei reduce severitatea impactului, riscul de avarie crește în condiții de operare la viteze mari sau în medii cu obstacole subacvatice.

8.4 Evaluarea structurală a barjei 3000 tdw la impact din eșuare în zona centrală, considerând și efectul oscilațiilor verticale în valuri

8.4.1 Modele structurale și cazuri analizate

Pentru această analiză, au fost luate în considerare oscilațiile verticale induse de valuri asupra barjei de 3000 TDW. Modelele FEM au fost modificate pentru a include oscilațiile induse de valuri și au fost simulate mai multe scenarii de impact cu valuri, atât în condiții de balast, cât și de încărcare completă.

Tabel 8.3. Descrierea cazurilor analizate.

Caz analizat	Sistem osatură fund - dublu-fund	Sistem osatură bordaj	μ [°]	v_x [m/s]	v_y	v_z
C1	Longitudinal	Transversal	180°	-	-	0.455
C2		Longitudinal		-	-	
C3		Transversal	4.167	-		
C4		Longitudinal	45°	2.946	2.946	
C5		Transversal	30°	3.608	2.083	
C6		Longitudinal				
C7		Transversal				
C8		Longitudinal				

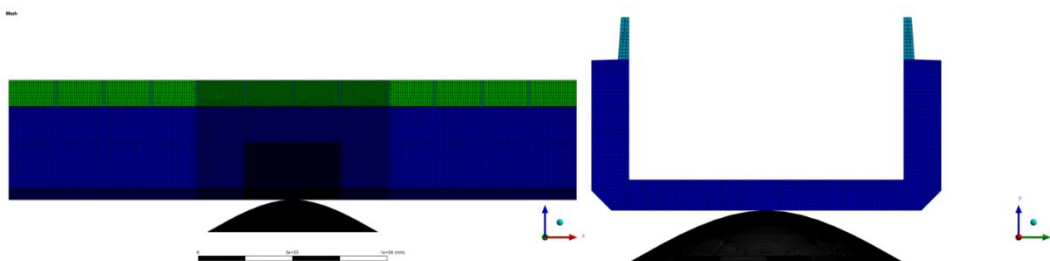


Figura 8.11. Model FEM, zona cuplului maestru, barjă 3000 tdw, fund SLO, bordaje STO(C1, C3, C5, C7).

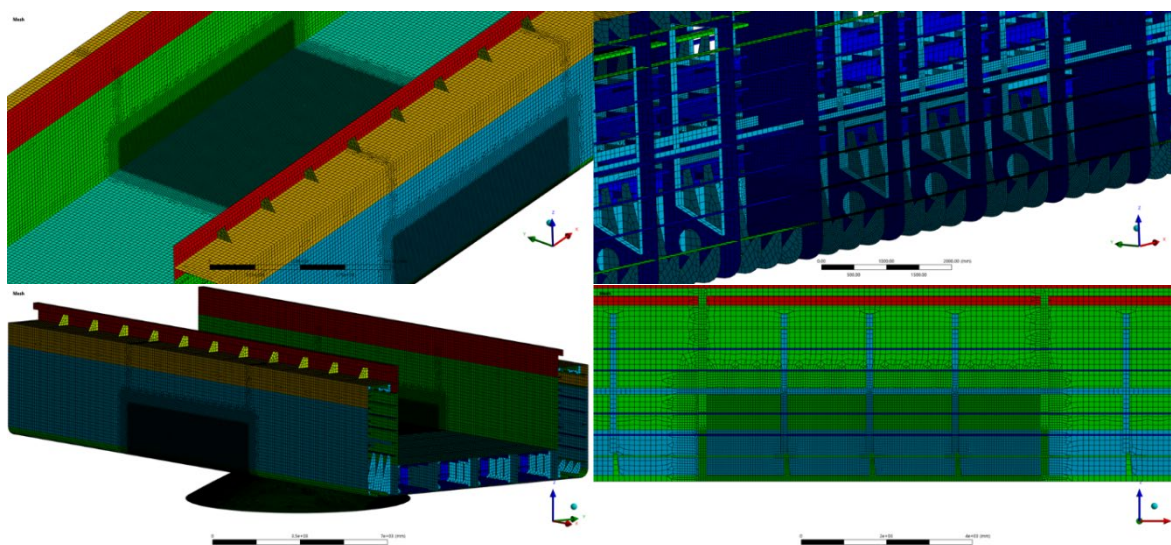


Figura 8.12. Model FEM, zona cuplului maestru, barjă 3000 tdw, fund SLO, bordaje SLO(C2, C4, C6, C8), detalii discretizare.

8.4.2 Rezultatele analizei de impact

Analiza a relevat influența oscilațiilor verticale în cazul impactului din eșuare. În special, valurile mari combinate cu viteza de avans a navei au dus la o evaluare corespunzătoare a tensiunilor în zonele critice ale barjei. Oscilațiile au contribuit la o distribuție neuniformă a sarcinilor, identificând riscul de cedare structurală în anumite părți ale navei.

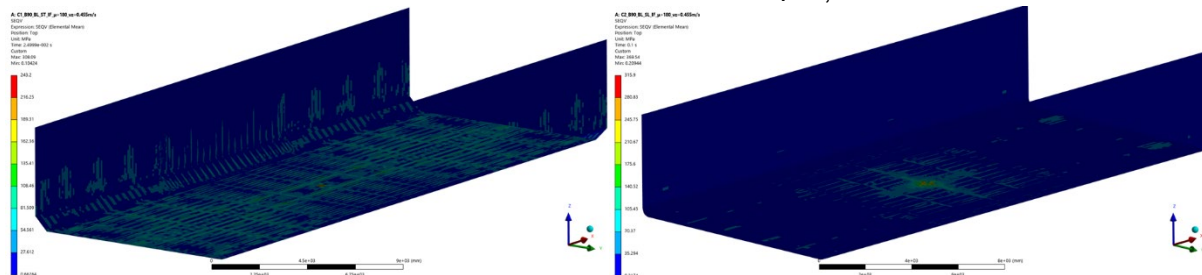


Figura 8.13. C1-C2, barjă 3000 tdw, σ_{VM} - tensiune von Mises, înveliș exterior.

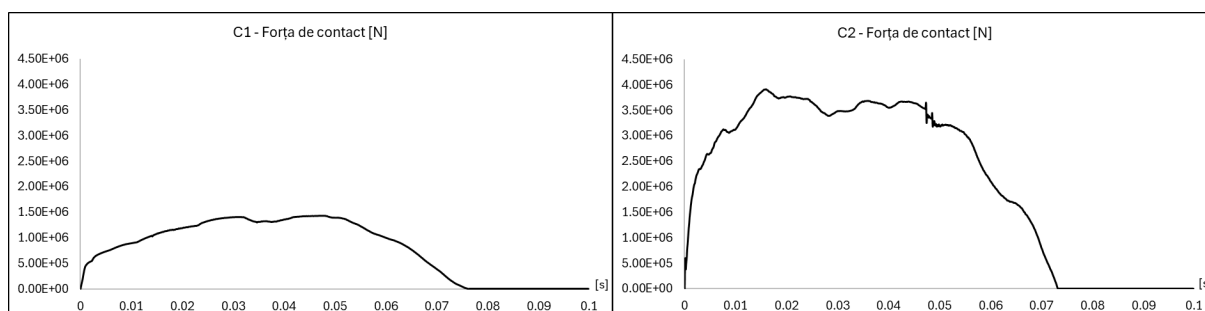


Figura 8.14. C1-C2, barjă 3000 tdw, Forța de contact la impact.

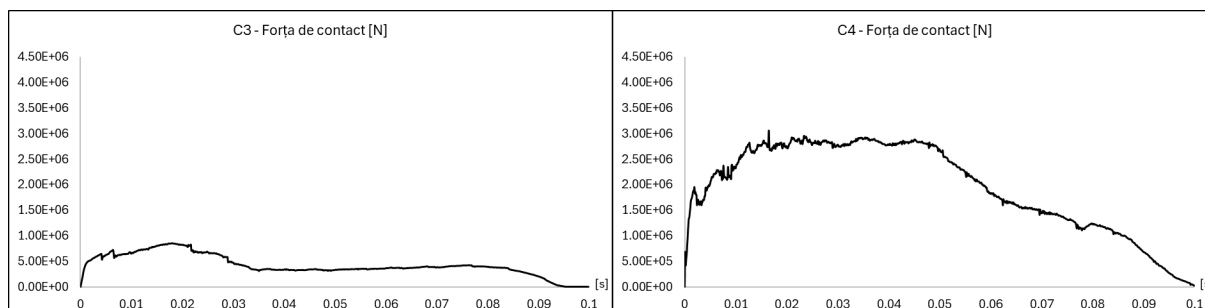


Figura 8.15. C3-C4, barjă 3000 tdw, Forța de contact la impact.

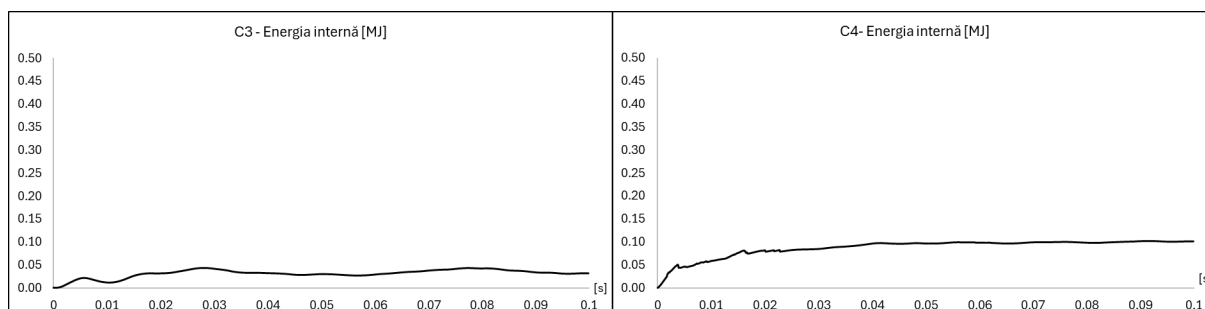


Figura 8.16. C3-C4, barjă 3000 tdw, Energia internă de deformație.

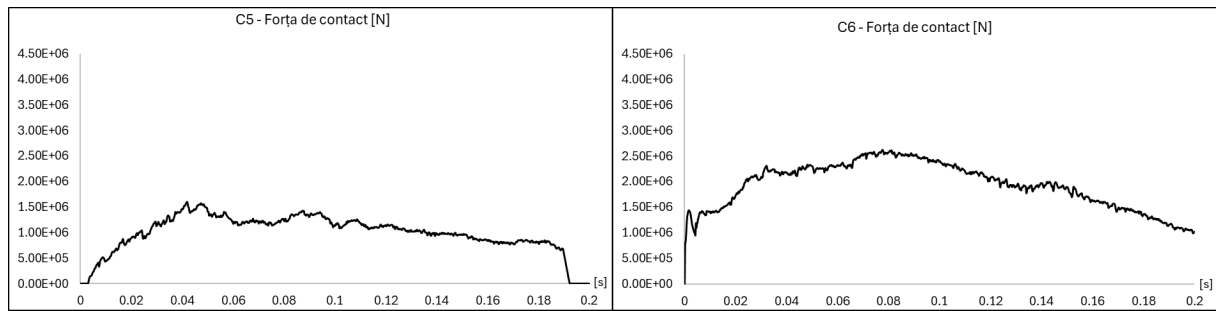


Figura 8.17. C5-C6, barjă 3000 tdw, Forța de contact la impact.

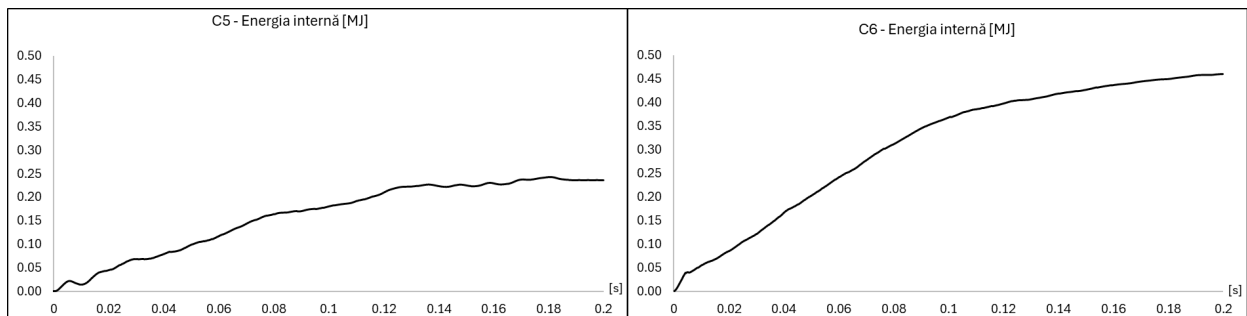


Figura 8.18. C5-C6, barjă 3000 tdw, Energia internă de deformație.

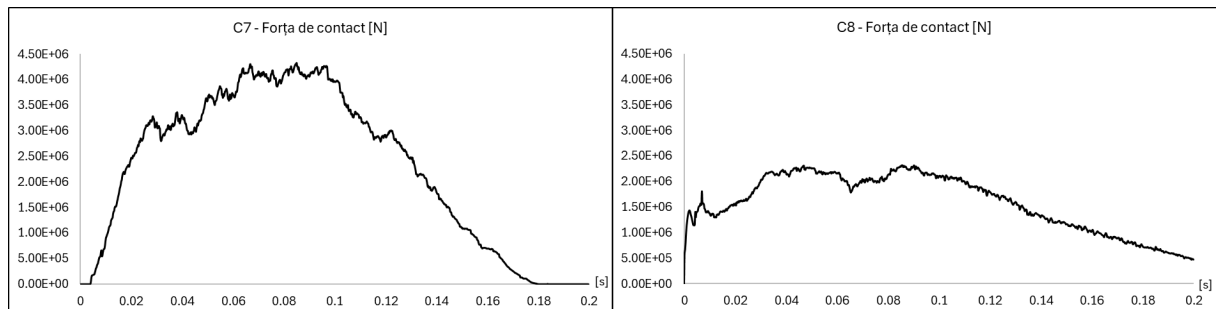


Figura 8.19. C7-C8, barjă 3000 tdw, Forța de contact la impact.

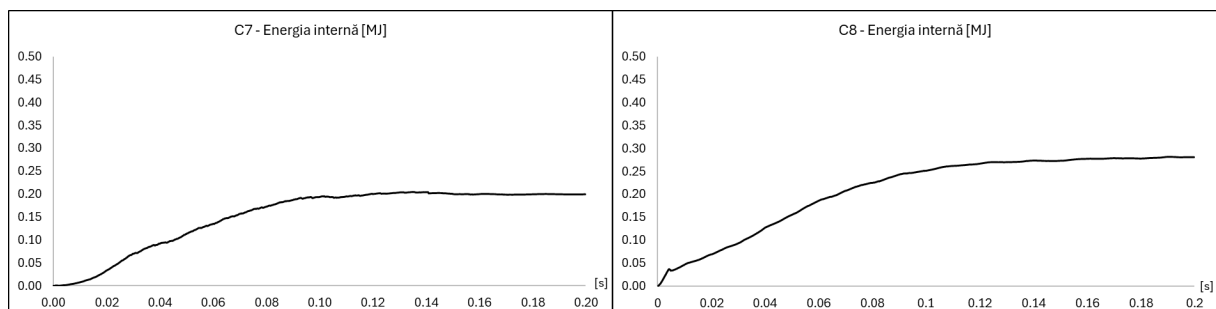


Figura 8.20. C7-C8, barjă 3000 tdw, Energia internă de deformație.

Tabel 8.5. Rezultate analiză impact la eșuare considerând mișcările navei, Barjă 3000 tdw.
 (criteriul la rupere - deformația specifică limită de 0.1817 mm/mm)

Caz analizat		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Direcție impactare		180°	180°	180°	180°	45°	45°	30°	30°
σ_{VM}	[Mpa]	308.71	372.59	>410	>410	>410	>410	>410	>410
σ_x	[Mpa]	226.55	322.86	-344.9	-385.5	-407.9	>410	307.28	365.92
σ_y	[Mpa]	250.17	353.29	327.98	361.75	>-410	>410	-395.16	-373.76
σ_z	[Mpa]	-216.98	408.76	>-410	376.06	>-410	>410	>-410	386.2
T_{xy}	[Mpa]	91.93	173.06	134.03	-289.65	-133.26	213.31	-194.87	133.95
T_{yz}	[Mpa]	-118.66	207.83	174.39	164.06	299.86	240.84	-201.12	177.92
T_{xz}	[Mpa]	-70.25	149.73	212.53	242.85	-211.6	210.71	-210.91	-191.69
ϵ_p	[mm/mm]	0.066	0.1255	0.1817	0.1817	0.1817	0.1817	0.1814	0.1817
E_c	[MJ]	0.374	0.374	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7
E_i	[MJ]	0.045	0.044	0.044	0.102	0.24	0.461	0.205	0.2817
Penetrare înveliș	-	0	0	0	1	1	1	1	1
Elemente cedate	-	0	0	1	101	70	109	362	77
δ_z	[mm]	11	13	11	63	219	285	166	191

8.5 Evaluarea structurală a ambarcațiunii GRE-RC la impact din eșuare în zona prova, considerând și efectul oscilațiilor verticale în valuri

8.5.1 Modelul structural și cazurile analizate

Ambarcațiunea GRE-RC, realizată din materiale compozite, a fost supusă unei analize de impact similară cu cea a barjei, cu simulări care includ oscilațiile verticale induse de valuri. Materialul compozit a fost modelat pentru a reflecta comportamentul său specific în condiții de solicitare din impact.

Tabel 8.6. Cazuri analizate, ambarcațiune GRE-RC.

Caz analizat	μ [°]	v_x [m/s]	v_y	v_z
C1-A	180°	7.716	-	-
C2-A	-	-	-	1.000

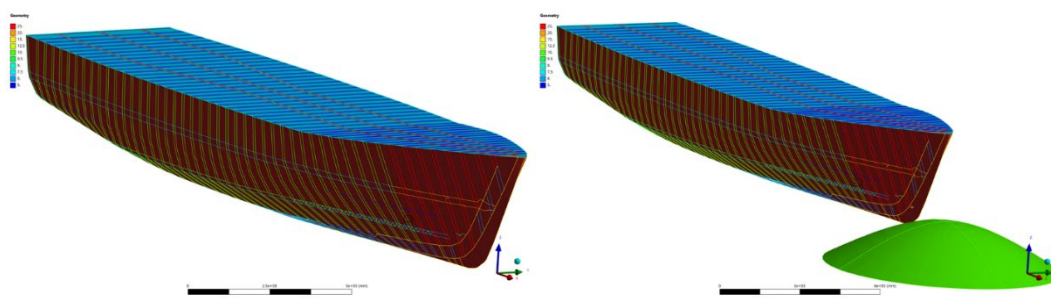


Figura 8.21. Geometrie CAD, ambarcațiune GRE-RC.

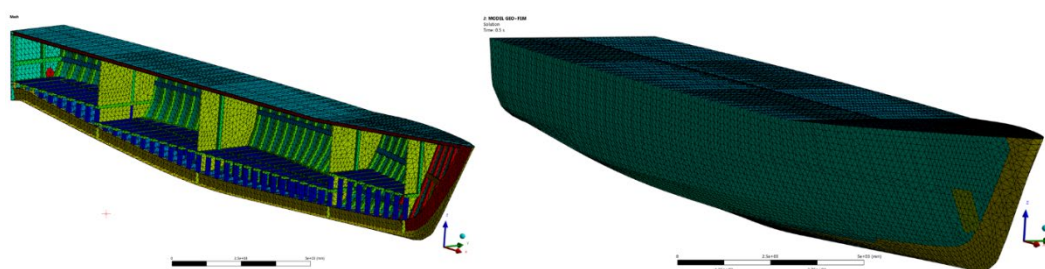


Figura 8.22. Model FEM, ambarcațiune GRE-RC.

8.5.2 Rezultatele analizei de impact

Materialele compozite s-au comportat diferit față de cele metalice în cazul impactului din eșuare. Rezultatele au indicat o absorbție mai bună a energiei impactului datorită elasticității materialului, ceea ce a dus la o distribuție mai uniformă a tensiunilor. Oscilațiile verticale au avut un efect moderat asupra avariilor în cazul ambarcațiunii GRE-RC, datorită rigidității specifice a materialului compozit.

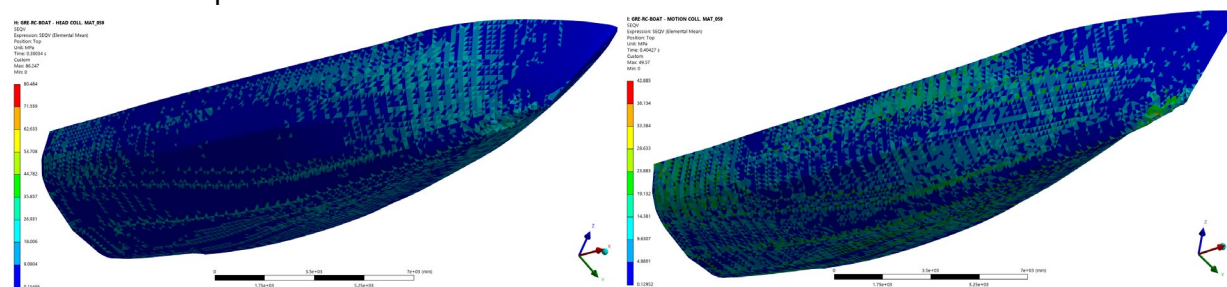


Figura 8.23. C1-A - C2-A, ambarcațiune GRE-RC, σ_{vM} - tensiune von Mises, înveliș exterior.

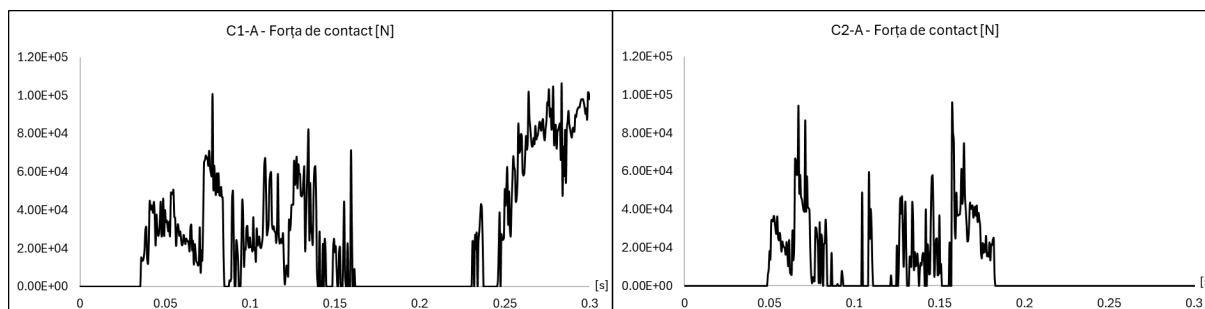


Figura 8.24. C1-A - C2-A, ambarcațiune GRE-RC, Forța de contact la eșuare.

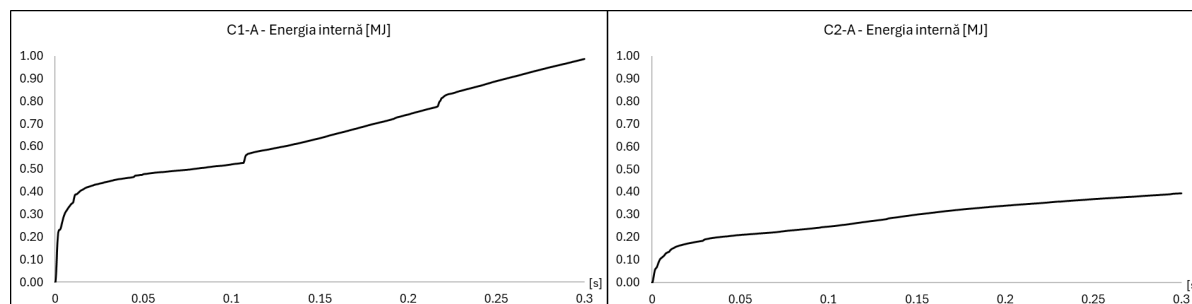


Figura 8.25. C1-A - C2-A, ambarcațiune GRE-RC, Energia internă de deformare.

Capitolul 9

Concluzii finale și contribuții personale

9.1 Concluzii finale

Zona Galați, situată pe Dunăre, este un punct cheie pentru traficul naval din România, având o influență majoră asupra economiei regionale și naționale. Studiul siguranței navale și al accidentelor în această zonă a relevat că eșuările sunt cele mai frecvente incidente raportate. Ele implică de obicei barje fluviale, evidențiind vulnerabilitățile specifice navigației în ape interioare. Aceste eșuări duc la avarii structurale, subliniind necesitatea unor metode avansate de modelare structurală pentru evaluarea și gestionarea riscurilor.

1. Analiza cercetărilor actuale (capitolul 1) arată că evaluarea riscurilor structurale asociate solicitărilor accidentale asupra navelor s-a îmbunătățit semnificativ datorită modelării numerice și experimentelor. Simulările realizate de cercetători precum Pedersen, Simonsen și Ehlers au evidențiat că eșuările introduc solicitări extreme în structura navei, în special la navele mari, cum ar fi tancurile petroliere. Utilizarea metodei elementului finit (FEM) a permis o evaluare precisă a comportamentului structural al navelor în scenarii de avarie, însă necesită eforturi semnificative în pregătire.

2. Analiza fundamentelor teoretice pentru înțelegerea rezistenței structurilor navale (capitolul 2) s-a concentrat pe utilizarea modelării CAD/FEM pentru a analiza rezistența globală și locală a navelor. Studiile de caz au inclus o analiză a unei nave LNG și a unui împingător fluvial. Etapele de evaluare a rezistenței implică calcularea presiunilor din valuri aplicate pe structura navei și identificarea punctelor critice de tensiune. De asemenea, a fost analizat comportamentul navelor în condiții de oscilații și impacturi structurale.

3. Validarea modelelor numerice utilizate pentru simulările de oscilații și analiza impactului structural (capitolul 3) a confirmat eficiența acestora în evaluarea comportamentului dinamic al navelor. Comparațiile între metodele numerice și rezultatele experimentale au arătat o bună corelare, dar au indicat și anumite limitări în captarea efectelor neliniare de radiație și difracție.

4. Analiza rezistenței structurale a unei barje fluviale de 3000 TDW (capitolul 4) a fost realizată atât prin modelare 1D, cât și prin simulări detaliate 3D-FEM. Studiul a evaluat comportamentul barjei în diferite scenarii de încărcare și valuri oblice, identificând concentratori de tensiune în zonele de tranziție structurală, ceea ce sugerează necesitatea îmbunătățirilor pentru prevenirea avariilor.

5. Performanța structurală a unei ambarcațiuni fluviale din materiale compozite a fost analizată comparativ (capitolul 5). Două materiale compozite (A1 și A2) au fost evaluate în diverse condiții de solicitare. Materialul A2 a prezentat o performanță superioară în toate scenariile. Analiza 3D-FEM a arătat că ambarcațiunea din materialul A2 a respectat limitele de tensiune și deformație în toate condițiile de operare.

6. Comportamentul dinamic al unei barje de 3000 TDW în valuri (capitolul 6) a fost analizat prin metode numerice avansate, comparând metodele P_DYN și Ansys Aqwa. Rezultatele au arătat că Ansys Aqwa modelează mai detaliat interacțiunile hidrodinamice la viteze mari. De asemenea, s-a constatat că barja este sensibilă la valurile travers, impunând restricții asupra operării în siguranță la valuri mari.

7. Analiza comportamentului dinamic al unei ambarcațiuni fluviale din materiale compozite în valuri aleatorii (capitolul 7) a evidențiat importanța ajustării vitezei de avans și a poziției centrului de greutate pentru a optimiza performanțele dinamice. Chilele de rulu au redus semnificativ oscilațiile de rulu, iar analiza a arătat că oscilațiile navei sunt cel mai sensibile la aceste mișcări.

8. Analiza impactului la eșuare pentru două tipuri de nave (capitolul 8) a evaluat rezistența structurală a unei barje fluviale și a unei ambarcațiuni fluvial-costiere din materiale compozite. Studiul a inclus mișcările verticale ale navelor în scenariile de impact, ceea ce a permis o evaluare mai realistă a avariilor structurale. Rezultatele au arătat că barjele cu osatură transversală au distribuit mai bine solicitările de impact, în timp ce structurile cu osatură longitudinală au fost mai predispuse la penetrare și avarii.

Concluzia generală a studiului este că includerea mișcărilor navei în simulările de impact la eșuare oferă o evaluare mai realistă și precisă a riscurilor de avarii structurale. Această abordare inovatoare contribuie la îmbunătățirea proiectării navelor, făcându-le mai rezistente în condiții extreme de operare.

9.2 Contribuții personale

1. Studiul amplu al stadiului actual al cercetărilor în domeniu: Lucrarea a realizat o analiză detaliată a literaturii de specialitate privind riscurile structurale și accidentele navale, subliniind progresele realizate în utilizarea simulărilor numerice pentru analiza comportamentului structural al navelor. În trecut, metodele empirice dominau analiza, dar dezvoltările recente au introdus tehnici mai precise de modelare, cum ar fi FEM și simulările hidrodinamice tridimensionale.

2. Validarea metodelor numerice prin date experimentale: O contribuție majoră a fost validarea modelelor numerice prin comparații cu datele experimentale. Acest pas a permis ajustarea simulărilor și asigurarea unei corelații solide între comportamentul real și predicțiile numerice. S-a pus accent pe compararea deformărilor și tensiunilor obținute în simulări cu rezultatele experimentale, ceea ce a consolidat credibilitatea metodelor utilizate.

3. Analize globale detaliate: Au fost realizate simulări globale complexe pentru o barjă fluvială de 3000 TDW și o ambarcațiune compozită de 24 m. S-a pus accent pe analiza comportamentului structural în condiții de navigație și eșuare, incluzând scenarii variate de încărcare și impact. Aceste simulări au oferit o perspectivă clară asupra rezistenței și comportamentului structural al navelor în condiții operaționale.

4. Analize ale dinamicii navelor și estimarea răspunsului maxim pe termen scurt: Studiul a abordat detaliat mișcările navelor în valuri, analizând translația pe verticală, tangajul și ruliul, oferind predicții asupra comportamentului dinamic în condiții de valuri severe. Integrarea metodelor statistice a permis evaluarea detaliată a mișcărilor navei, oferind o bază solidă pentru evaluarea siguranței operaționale.

5. Înglobarea analizelor dinamice pe termen scurt în realizarea analizelor de impact din eșuare cu considerarea mișcărilor navelor: O contribuție inovatoare a fost integrarea mișcărilor dinamice ale navei în analizele de impact din eșuare. Aceasta a permis o evaluare mai realistă a modului

În care structura navei răspunde la impacturi în condiții de navigație realiste. Metodologia oferă soluții de optimizare a designului navelor pentru a preveni avariile structurale.

6. Studiu cuprinzător pentru analiza impactului din eșuare pentru barje de navigație interioară și ambarcațiuni de dimensiuni medii (24 m): Studiul a inclus simulări detaliate pentru două tipuri de nave, o barjă fluvială și o ambarcațiune compozită, explorând modul în care fiecare structură răspunde la impacturi laterale și frontale. Această analiză detaliată a permis identificarea unor soluții de consolidare pentru structuri vulnerabile la impacturi.

7. Concluzii cu privire la efectul considerării mișcărilor navelor în analiza de impact din eșuare: Integrarea mișcărilor navei în analizele de impact a arătat că acestea pot influența semnificativ distribuția tensiunilor și deformațiilor în structura navei, sugerând necesitatea implementării acestor evaluări pentru o proiectare mai sigură.

9.3 Direcții viitoare

1. Dezvoltarea metodelor numerice avansate: Este necesară îmbunătățirea metodelor numerice prin simularea mai precisă a fenomenelor neliniare și a interacțiunilor structură-fluid. Tehnologii precum inteligența artificială și învățarea automată pot accelera simulările și optimiza procesele de evaluare a riscurilor.

2. Extinderea validării experimentale prin testări la scară reală: Cercetările viitoare ar trebui să includă testări la scară reală pentru a asigura o validare mai riguroasă a metodelor numerice, explorând efectele neliniare și interacțiunile complexe dintre structuri și mediul marin/fluvial.

3. Integrarea efectelor climatice și de mediu: Schimbările climatice și fenomenele meteorologice extreme trebuie integrate în simulări pentru a evalua corect impactul acestora asupra siguranței navelor.

4. Optimizarea designului navelor pe baza analizelor integrate: Concluziile studiului sugerează că designul navelor poate fi optimizat prin includerea rezultatelor simulărilor dinamice în etapele de proiectare, pentru a preveni avariile structurale și a îmbunătăți performanțele navelor.

5. Cercetări asupra noilor materiale pentru construcțiile navale: Dezvoltarea materialelor avansate, cum ar fi aliajele de aluminiu sau compozitele hibride, poate oferi soluții inovatoare pentru îmbunătățirea rezistenței și siguranței navelor.

6. Îmbunătățirea monitorizării structurale în timp real: Tehnologiile de monitorizare în timp real ar trebui extinse pentru a detecta avariile în fazele incipiente și a preveni riscurile operaționale, prin integrarea sistemelor de senzori și algoritmilor de inteligență artificială.

7. Investigarea detaliată a comportamentului navei în valuri extreme: Cercetările viitoare ar trebui să se concentreze pe simularea navelor în scenarii extreme de valuri, explorând modul în care structurile și performanțele navelor sunt afectate de condiții extreme de navigație.

Bibliografie selectivă

- [1] EMSA, *Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2019*, 2019.
- [2] EMSA, *Marine Casualties and Incidents » Incident Data*, 2020. [Online]. Valabil la: <https://gisis.imo.org/Public/MCI/Browse.aspx?Form=Incident&Action=View&IncidentID=10319>
- [3] www.fleetmon.com, *Major oil spill off Mauritius Island | WAKASHIO - FleetMon Maritime News*, 2020. <https://www.fleetmon.com/maritime-news/2020/30533/major-oil-spill-mauritius-island/> (data accesării 12 septembrie 2020).
- [4] SAFETY4SEA, *Sanchi: The world's worst oil tanker disaster in decades - SAFETY4SEA*, 2018. <https://safety4sea.com/cm-sanchi-the-worlds-worst-oil-tanker-disaster-in-decades/> (data accesării 12 septembrie 2020).
- [5] Anchorage Daily News, *30 years after the Exxon Valdez, have Alaskans forgotten its most important lessons? - Anchorage Daily News*, 1989. <https://www.adn.com/opinions/2019/03/23/30-years-after-the-exxon-valdez-have-alaskans-forgotten-its-most-important-lessons/> (data accesării 12 septembrie 2020).
- [6] P. T. Pedersen, *Ship grounding and hull-girder strength*, *Mar. Struct.*, vol. 7, nr. 1, pp. 1-29, ian. 1994, doi: 10.1016/0951-8339(94)90008-6.
- [7] B. C. Simonsen, *Mechanics of Ship Grounding Department of Naval Architecture And Offshore Engineering*, 1997.
- [8] O. Kitamura, *FEM approach to the simulation of collision and grounding damage*, *Mar. Struct.*, vol. 15, nr. 4-5, pp. 403-428, 2002, doi: 10.1016/S0951-8339(02)00010-2.
- [9] H. S. Alsos și J. Amdahl, *On the resistance of tanker bottom structures during stranding*, *Mar. Struct.*, vol. 20, nr. 4, pp. 218-237, oct. 2007, doi: 10.1016/j.marstruc.2007.06.001.
- [10] T. H. Nguyen, J. Amdahl, L. Garrè, și B. J. Leira, *A study on dynamic grounding of ships*, în *Advances in Marine Structures - Proceedings of the 3rd International Conference on Marine Structures, MARSTRUCT 2011*, 2011, pp. 373-380. doi: 10.1201/b10771-46.
- [11] DNV GL, *Rules for Classification of Ships, Part 6 Additional Class Notations, Chapter 2 Section 1*, nr. December, pp. 1-6, 2015.
- [12] Bureau Veritas, *Rules for the classification of inland navigation vessels: Part B - Hull design and construction*, vol. 32, nr. November 2014, 2011, Data accesării: 13 martie 2021. [Online]. Valabil la: <https://marine-offshore.bureauveritas.com/bv-rules>
- [13] ANR, *Autoritatea navală română*, 2020. <https://portal.rna.ro/> (data accesării 1 septembrie 2020).
- [14] D.-S. Perijoc, L. Domnișoru, și C. Angheluță, *On the methods for 3D-CAD-FEM modelling of a pusher structure*, nr. June, p. 2020, 2020.
- [15] L. Domnișoru, *Special chapters on ship's structures analysis. Applications*. Galați: The University Foundation „Dunarea de Jos” Galați Publishing House, 2017.
- [16] L. Domnișoru, *On the Structural Valuation in Oblique Waves of a Large Liquefied Natural Gas Carrier By 3D-Fem Model Approach*, *Int. J. Mod. Manuf. Technol.*, vol. 15, nr. 2, pp. 200-219, 2023, doi: 10.54684/ijmmt.2023.15.2.200.
- [17] L. Domnișoru și D.-S. Perijoc, *On the seakeeping response valuation in random sea state conditions of a large LNG liquefied natural gas carrier*, *Int. J. Mod. Manuf. Technol.*, 2024.
- [18] Ansys Inc., *Ansys Aqwa User Manual*, 2012.
- [19] *European agreement concerning the international carriage of dangerous goods by inland*

- waterways (ADN)*, vol. I, nr. January. 2019. doi: 10.18356/91419305-en.
- [20] E. Burlacu, L. Domnisoru, și D. Obreja, *SEAKEEPING PREDICTION OF A SURVEY VESSEL OPERATING IN THE CASPIAN SEA*, 2018.
- [21] D. Obreja, *Survey Vessel Caspica. Model Resistance Tests, Report No. 617*, Galati, 2013.
- [22] J. W. Ringsberg *et al.*, *MARSTRUCT benchmark study on nonlinear FE simulation of an experiment of an indenter impact with a ship side-shell structure*, *Mar. Struct.*, vol. 59, nr. February, pp. 142-157, 2018, doi: 10.1016/j.marstruc.2018.01.010.
- [23] B. C. Cerik, J. W. Ringsberg, și J. Choung, *Revisiting MARSTRUCT benchmark study on side-shell collision with a combined localized necking and stress-state dependent ductile fracture model*, *Ocean Eng.*, vol. 187, p. 106173, sep. 2019, doi: 10.1016/j.oceaneng.2019.106173.
- [24] D. S. Perijoc, L. Domnisoru, și C. M. Angheluță, *Grounding crashworthiness of an inland floating structure*, *Sci. Bull. Nav. Acad.*, vol. XXV, nr. 1, pp. 50-57, aug. 2022, doi: 10.21279/1454-864X-22-11-006.
- [25] IACS, *Common Structural Rules for Bulk Carriers and Oil Tankers*, 2024.