

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
Școala doctorală de Inginerie Mecanică și Industrială



REZUMAT

TEZĂ DE DOCTORAT

CONTRIBUȚII PRIVIND ANALIZA STRUCTURII UNUI DOC PLUTITOR LA SOLICITĂRI EXTREME

Doctorand,
Ing. Elisabeta C. BURLACU

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

Seria I6: Inginerie Mecanică Nr. 51

GALAȚI
2019

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
Școala doctorală de Inginerie Mecanică și Industrială



REZUMAT

TEZĂ DE DOCTORAT

CONTRIBUȚII PRIVIND ANALIZA

STRUCTURII UNUI DOC PLUTITOR LA

SOLICITĂRI EXTREME

Doctorand

Ing. Elisabeta C. BURLACU

Conducător științific,

Prof univ.dr.ing. Leonard DOMNIȘORU

Referenți științifici

Prof univ.dr.ing. D.H.C. Anton HADĂR

Prof univ.dr.ing. Ioan Călin ROȘCA

Prof univ.dr.ing. Costel Iulian MOCANU

Seria I6: Inginerie Mecanică Nr. 51

GALAȚI

2019

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

Domeniul **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 **ȘTIINȚE ECONOMICE**

Seria E 1: **Economie**

Seria E 2: **Management**

Domeniul **ȘTIINȚE UMANISTE**

Seria U 1: **Filologie- Engleză**

Seria U 2: **Filologie- Română**

Seria U 3: **Istorie**

Seria U 4: **Filologie - Franceză**

Domeniul **MATEMATICĂ ȘI ȘTIINȚE ALE NATURII**

Seria C: **Chimie**

CUPRINS

	Pag.	Pag.
Cuprins.....	3	4
Introducere.....	5	10
Capitolul 1. Tehnici de lansare a navelor. Stadiul actual privind analiza capacității de operare a docurilor plutitoare.....	9	24
1.1. Tehnici de lansare a navelor în cadrul șantierelor navale.....	9	24
1.2. Tipuri de docuri plutitoare. Scurt istoric.....	11	31
1.3. Metode de analiză a capacității de operare a docurilor plutitoare....	13	34
Capitolul 2. Fundamente teoretice privind analiza capacității de operare a docurilor plutitoare	15	36
2.1. Metode pentru analiza preliminară a capacității de operare a docurilor plutitoare pe baza modelelor de grindă echivalentă 1D, în apă calmă și valuri cvasi - statice de întâlnire sau urmărire (programele FDOCK).....	15	36
2.1.1. Modulul pentru determinarea deplasamentului docurilor plutitoare pe baza pescajelor înregistrate la natură.....	16	37
2.1.2. Modulul pentru calculul curbelor hidrostatice ale docului plutitor	16	38
2.1.3. Modulul pentru calculul parametrilor de echilibrare în apă calmă	16	38
2.1.4. Modulul pentru calculul momentelor încovoietoare și a forțelor tăietoare la solicitări din valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire sau urmărire.....	17	39
2.1.5. Modulul pentru analiza stabilității transversale a docurilor plutitoare.	17	41
2.2. Metode pentru analiza capacității structurale a docurilor plutitoare pe baza modelelor 3D-FEM, la solicitări în apă calmă și valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire sau urmărire.....	18	41
2.3. Metode pentru analiza capacității structurale a docurilor plutitoare pe baza modelelor 3D-FEM și 1D, la solicitări din valuri echivalente cvasi-stactice oblice....	21	45
2.3.1. Determinarea parametrilor de echilibrare a sistemului doc plutitor – valuri cvasi - statice oblice, pe baza modelelor de grindă echivalentă 1D...	21	46
2.3.2. Metode de analiză a rezistenței locale și generale a docurilor plutitoare pe baza modelelor 3D-FEM, la solicitări din valuri echivalente cvasi - statice oblice.....	22	49
2.4. Metode pentru analiza comportării dinamice a docurilor plutitoare în valuri aleatoare	24	52
Capitolul 3. Teste experimentale pentru validarea metodei de analiză a oscilațiilor structurilor navale în valuri de întâlnire, urmărire și transversal.....	29	57
3.1. Descrierea modelului experimental.....	29	57
3.2. Analiza experimentală a oscilațiilor navei de cercetare fluvial – maritime	31	60
3.3. Concluziile analizei pe model experimental.....	39	72
Capitolul 4. Definirea caracteristicilor docurilor plutitoare considerate în studiul solicitărilor extreme	41	74
4.1. Descrierea docului plutitor de mici dimensiuni cu două versiuni constructive, Dock60_NWT și Dock60_CWT. Definirea cazurilor de operare și realizarea modelului structural 3D-FEM.....	41	74
4.2. Descrierea docului plutitor de mari dimensiuni Dock_VARD_Tulcea. Definirea cazurilor de operare și realizarea modelului structural 3D-FEM..	53	91
Capitolul 5. Analiza comparativă a capacității de operare a docurilor plutitoare Dock60_CWT, Dock60_NWT, cu tancuri laterale superioare continue și discontinue, pe baza criteriilor de rezistență structurală și bord liber minim, la solicitări extreme din valuri echivalente cvasi – statice.....	60	100
5.1. Analiza structurală preliminară ($a_F=2a_0$) a docurilor plutitoare Dock60_CWT, Dock60_NWT, pe baza modelului de grindă echivalentă 1D, la solicitări din valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire – urmărire....	61	101
5.2. Evaluarea docurilor plutitoare Dock60_CWT, Dock60_NWT, cu structură întărită ($a_F=a_0$), pe baza modelului de grindă echivalentă 1D, la solicitări din valuri oblice.....	67	113
5.3. Analiza structurală pe modele 3D-FEM a docurilor plutitoare Dock60_CWT, Dock60_NWT, la solicitări din valuri echivalente cvasi-stactice de întâlnire - urmărire și oblice.....	73	126
5.3.1. Cazul valurilor de întâlnire – urmărire.....	74	127
5.3.2. Cazul valurilor oblice.....	78	138
Capitolul 6. Analiza comparativă a capacității de operare a docurilor plutitoare Dock60_CWT, Dock60_NWT, cu două versiuni constructive, pe baza criteriilor limită la oscilații în valuri aleatoare extreme și stabilitate transversală.....	85	149

	6.1.	Analiza pe termen scurt la oscilații a docurilor plutitoare Dock60_CWT, Dock60_NWT, în zona de navigație fluvială și costieră.....	85	149
	6.1.1.	Determinarea operatorilor amplitudine răspuns <i>RAO</i> la oscilații pentru docurile plutitoare de mici dimensiuni, în două variante constructive..	86	150
	6.1.2.	Analiza răspunsului statistic pe termen scurt pentru cele două variante constructive de docuri plutitoare de mici dimensiuni.....	89	155
	6.2.	Analiza stabilității transversale a docurilor plutitoare de mici dimensiuni Dock60_CWT, Dock60_NWT, cu considerarea condițiilor meteorologice extreme.....	92	159
	6.3.	Concluzii la analiza dinamică și stabilitatea transversală a docurilor plutitoare Dock60_CWT, Dock60_NWT, cu două versiuni constructive.....	96	163
Capitolul 7.		Analiza capacității de operare a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, pe baza criteriilor de rezistență structurală și bord liber minim, la solicitări extreme din valuri echivalente cvasi – statice.....	97	164
	7.1.	Analiza structurală a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, pe baza modelului de grindă echivalentă 1D, la solicitări din valuri de întâlnire – urmărire.....	97	164
	7.2.	Analiza structurală a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, la solicitări din valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire - urmărire, folosind model 3D-FEM complet extins pe lungime.....	102	170
	7.2.1.	Analiza structurală 3D-FEM pentru cazul de operare fără încărcătură a docului plutitor de mari dimensiuni Dock_VARD_Tulcea	102	171
	7.2.2.	Analiza structurală 3D-FEM pentru cazul de operare a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, cu nava andocată de 19747 t..	104	175
	7.2.3.	Analiza structurală 3D-FEM pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 27000 t.....	106	179
	7.2.4.	Concluzii la analiza structurală a docului de mari dimensiuni Dock_VARD_Tulcea.....	108	188
Capitolul 8.		Evaluarea capacității de operare a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, pe baza criteriilor limită la oscilații în valuri aleatoare extreme și stabilitate transversală.....	110	189
	8.1.	Analiza pe termen scurt la oscilații a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, în zona de navigație fluvială și costieră.....	110	189
	8.1.1.	Determinarea operatorilor amplitudine răspuns <i>RAO</i> la oscilații pentru docul plutitor Dock_VARD_Tulcea.....	112	191
	8.1.2.	Analiza răspunsului statistic pe termen scurt pentru docul plutitor Dock_VARD_Tulcea.....	115	195
	8.2.	Analiza stabilității transversale a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, cu considerarea condițiilor meteorologice extreme.....	120	202
	8.3.	Concluziile analizei dinamice și stabilității transversale a docului plutitor de mari dimensiuni Dock_VARD_Tulcea.....	123	205
Capitolul 9.		Studiul oscilațiilor navei remorcher fluvial - maritim folosit la operațiile de tranzit ale docurilor plutitoare.....	125	207
	9.1.	Modelul numeric al remorcherului pentru navigația fluvial – maritimă...	125	207
	9.2.	Determinarea operatorilor amplitudine răspuns <i>RAO</i> la oscilațiile remorcherului fluvial – maritim de 4000 C.P.....	127	209
	9.3.	Analiza răspunsului statistic pe termen scurt pentru remorcherul fluvial - maritim	129	210
	9.4.	Concluziile analizei dinamicii remorcherului fluvial – maritim în valuri aleatoare	133	215
Capitolul 10.		Concluzii finale și contribuții personale.....	134	216
	10.1.	Concluzii finale.....	134	216
	10.2.	Contribuții personale.....	141	223
	10.3.	Perspectivă de cercetare viitoare.....	145	227
		Bibliografie selectivă.....	146	230

Cuvinte cheie: doc plutitor, model 3D-FEM, dinamica navei în mare reală, stabilitate transversală, capabilități de operare, model de grindă echivalentă 1D, solicitări din valuri echivalente cvasi-statice de întâlnire – urmărire și oblice, tancuri laterale superioare continue, tancuri laterale superioare discontinue, Femap NX/Nastran, valuri aleatoare extreme

INTRODUCERE

Actualitatea și importanța temei

În șantierele navale pentru a crește capacitățile de producție și reparație, inclusiv pentru a facilita operațiunea de lansare a corpurilor plutitoare, fără investiții suplimentare în platforma terestră a șantierului, în prezent se folosesc pe scară largă docurile plutitoare cu diverse capacități de andocare. În proiectarea curentă a docurilor plutitoare se consideră operarea standard a docurilor în condiții de apă calmă, corespunzător acvatoriilor protejate, cu includerea unor coeficienți statistici de majorare a solicitărilor de proiectare pentru alte condiții de operare, conform normelor societăților de clasificare a docurilor plutitoare [1], [2], [3]. Exploatarea docurilor plutitoare înregistrează numeroase cazuri în care docurile trebuie să opereze în condiții speciale de mediu, cazuri particulare de andocare, inclusiv să fie relocate cu sau fără masă andocată pe rute fluviale sau costiere, când apar solicitări suplimentare semnificative din valuri. Pentru a crește flexibilitatea și precizia procedurilor de proiectare în cazurile speciale de exploatare, se impune dezvoltarea unor metode de *analiză directă a capacităților de operare a docurilor plutitoare la solicitări extreme, pentru evaluarea criteriilor de rezistență locală - globală și a dinamicii acestora în valuri aleatoare, ceea ce reprezintă obiectivul fundamental pentru cercetarea din cadrul tezei.*

Obiectivele tezei

Tematica tezei are ca obiectiv general dezvoltarea unei metodologii integrate multicriteriale de evaluare a capacității de operare a docurilor plutitoare la solicitări extreme, pentru realizarea unui studiu comparativ al principalelor variante constructive și identificarea avantajelor specifice în exploatare.

Studiul comparativ dezvoltat în cadrul tezei include trei variante constructive pentru docurile plutitoare, cu capacitatea maximă de andocare de 828 t (lungimea 60 m) și 27000 t (lungimea 209,2 m), cu tancuri laterale superioare continue (CWT) sau discontinue (NWT), docuri rezultate din proiecte noi sau pe baza reconversiei unor structuri plutitoare existente, cum ar fi barjele off-shore.

Obiectivele specifice cercetării științifice dezvoltate în cadrul tezei sunt următoarele:

- Stadiul actual a tehnicilor de lansare a navelor în șantierele navale, cu prezentarea principalelor variante constructive a docurilor plutitoare, și realizarea unei sinteze a metodelor de analiză a capacității de operare a docurilor plutitoare la solicitări extreme, cu definirea criteriilor limită de siguranță.
- Dezvoltarea unui pachet de programe pentru analiza preliminară a docurilor plutitoare cu două suprafețe de referință, înveliș exterior și interior între tancurile de balast laterale superioare de pe puntea principală a pontonului, folosind modele de grindă echivalentă 1D a corpului docului, pentru calculul curbelor hidrostactice, echilibrarea în apă calmă și în valuri echivalente cvasi - statice a docului, cu determinarea eforturilor secționale și a deformațiilor structurii pe baza unor proceduri iterative neliniare, calculul curbelor de stabilitate transversală la unghiuri mari de înclinare, procedura de determinare a deplasamentului și asietei pe baza înregistrărilor la scările de pescaj. Aceste module program permit evaluarea criteriului limită de bord liber minim, a criteriilor de rezistență globală preliminară pe baza eforturilor secționale și deformațiilor admisibile, inclusiv criteriul momentului încovoietor ultim, precum și criteriile de stabilitate transversală intactă.
- Studiul comparativ, pentru trei variante constructive de docuri plutitoare, a capacității structurale pe baza criteriilor de rezistență locală și globală, tensiuni admisibile față de limita de curgere a materialului și stabilitate structurală, folosind modele 3D-FEM, complet extinse pe lungime docurilor, într-un bord sau ambele, supuse la solicitări extreme din valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire - urmărire și oblice. Dezvoltarea unor funcții și

proceduri utilizator direct implementate în programul de analiză structurală FEM, pentru exportul distribuției de mase și a formelor exterioare - interioare ale docului din modelele 3D în modelele 1D, respectiv importul parametrilor de echilibrare doc - valuri din modelele 1D pentru funcțiile de calcul și aplicare a presiunii din valurile cvasi - statice pe suprafețele imerse din modelele 3D. Analiza trebuie să includă și evaluarea criteriilor preliminare de rezistență generală, folosind modelele structurale 1D. Definirea unui set de cazuri de încărcare ce permit evaluarea cazurilor limită de operare a docurilor plutitoare, balastare maximă și andocare la capacitatea maximă.

- Studiul comparativ, pentru trei docuri plutitoare, a comportării dinamice în valuri aleatoare la relocarea pe rute fluviale și costiere, cu sau fără masă andocată funcție de particularitățile constructive, pe baza criteriilor limită de navigație (seakeeping) formulate pe principalele componente de oscilație a docului, verticale, tangaj și ruluiu, în termenii valorilor amplitudinilor cele mai probabile statistic pe termen scurt. Studiul va pune în evidență influența vitezei de remorcare și a unghiului de întâlnire doc - val privind restricțiile de navigație la relocarea docurilor plutitoare. Realizarea analizei senzitivității și validarea modelului numeric hidrodinamic folosit la analiza oscilațiilor, pe baza unui model experimental cu forme pline la bazinul de carene, în condițiile de valuri de întâlnire - urmărire și traverse, la care se estimează obținerea răspunsului dinamic maxim. Realizarea analizei la seakeeping a unui remorcher fluvial - maritim, capabil să asigure forța de tracțiune la relocarea docurilor plutitoare studiate, și verificarea restricțiilor de navigație suplimentare ce ar interfera cu cele determinate la analiza docurilor. Legat de analiza componentei oscilației de ruluiu, se evaluează criteriile de stabilitate transversală generală și meteorologică (dinamică) și a restricțiilor suplimentare impuse de acestea docurilor plutitoare.
- Analiza multicriterială a celor trei tipuri de docuri plutitoare, pe baza studiilor formulate în obiectivele anterioare, pentru realizarea unei sinteze a restricțiilor de operare a docurilor și obținerea unor referințe practice la exploatarea în siguranță a docurilor plutitoare.

Structura tezei

Teza are în structură 10 capitole și anexe, conform cu obiectivele de cercetare formulate.

Primul capitol prezintă succint tehnicile legate de diferitele moduri de lansare ale corpurilor plutitoare în șantierul naval, cu avantajele și dezavantajele fiecărei tehnologii. Continuă cu prezentarea principalelor tipuri de docuri plutitoare și un scurt istoric, urmat de o prezentare sintetică a stadiului actual al metodelor de analiză pentru evaluarea capacității de operare în siguranță a docurilor plutitoare, pe baza criteriilor limită impuse de normele societăților de clasificare navale.

Al doilea capitol prezintă fundamentele teoretice pentru analiza capacității de operare a docurilor plutitoare, incluzând: metode pentru analiza la solicitări în apă calmă și valuri cvasi - statice de întâlnire - urmărire, bazate pe modelele de grindă echivalentă 1D, criterii limită de bord liber minim, rezistență globală preliminară și stabilitate transversală intactă la unghiuri mari de înclinare; metode pentru analiza capacității structurale la solicitări în apă calmă și valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire - urmărire pe baza modelelor 3D-FEM complet extinse pe lungime, într-un bord, criterii de rezistență locală și globală, inclusiv stabilitate structurală; metode pentru analiza structurală la solicitări în valuri echivalente cvasi - statice oblice pe baza modelelor 3D-FEM complet extinse pe lungime și în ambele borduri, cu parametri de echilibrare doc - valuri oblice obținuți pe baza modelelor de grindă echivalentă 1D, criterii de rezistență locală - globală și stabilitate structurală; metode pentru analiza comportării dinamice a docurilor plutitoare în valuri aleatoare, criterii de navigație (seakeeping).

În **al treilea capitol** se prezintă analiza senzitivității și validarea modelului hidrodinamic și a codului program pentru studiul comportării dinamice a structurilor plutitoare monocorp, pe baza unui model experimental la scara 1:16 a unei nave de cercetare fluvial - maritime, cu forme pline, asemănătoare docurilor, pus la dispoziție de către compania Ship Design Group Galați, în cadrul bazinului de carene de la Facultatea de Arhitectură Navală, de la Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați. Analiza vizează principalele componente la

oscilațiile structurilor plutitoare, verticale, tangaj și ruliu, pentru condițiile de val de întâlnire - urmărire și travers.

În **al patrulea capitol** se prezintă caracteristicile celor trei tipuri de docuri plutitoare selectate pentru studiul comparativ multicriterial al capabilităților de operare, două docuri de mici dimensiuni, cu lungimea de 60 m și capacitatea maximă de andocare 828 t, cu tancuri laterale superioare continue (*Dock60_CWT*) și discontinue (*Dock60_NWT*), și un doc de mari dimensiuni, cu lungimea de 209,2 m și capacitatea maximă de andocare de 27000 t (*Dock_VARD_Tulcea*), rezultat din conversia unei barje off-shore prin creșterea lățimii pontonului și adăugarea unor tancuri laterale superioare discontinue pe puntea principală, pus la dispoziție de către Șantierul Naval Vard din Tulcea. Tot în acest capitol se prezintă modelele de grindă echivalentă 1D și modelele 3D-FEM complet extinse pe lungime, dezvoltate cu programul *Femap/NX Nastran*, pentru cele trei tipuri de docuri plutitoare.

Capitolul cinci prezintă studiul comparativ din punct de vedere structural a celor două docuri plutitoare de mici dimensiuni (*Dock60_CWT*, *Dock60_NWT*), folosind modelele de grindă echivalentă 1D și cele complexe 3D-FEM, supuse la solicitări în apă calmă, valuri echivalente cvasi-stactice de întâlnire - urmărire și oblice (0-90°), pe baza criteriilor de rezistență globală - locală, eforturi secționale, deformații și tensiuni admisibile, stabilitate structurală, precum și criteriul de bord liber minim, fiind evidențiate cazurile extreme de exploatare. Analiza include cinci cazuri de încărcare: fără masă andocată, balastare maximă, andocare la capacitatea maximă de 828 t, având distribuția de mase uniformă, tip sagging și hogging.

Capitolul șase prezintă studiul comparativ din punct de vedere a comportării dinamice în valuri aleatoare a celor două docuri de mici dimensiuni (*Dock60_CWT*, *Dock60_NWT*), în cazul de relocare, fără masă andocată la bord, pentru gama vitezelor de remorcare 0 - 18 km/h și unghiul de întâlnire doc - val 0-360°, conform scenariilor de tranzit pe rute fluviale și costiere între șantierele navale românești de la Dunăre și Marea Neagră. Pe baza criteriilor limită la navigație (seakeeping) sunt evidențiate restricțiile impuse pentru asigurarea operațiunii de relocare a celor două docuri plutitoare în valuri aleatoare. De asemenea, la finalul capitolului se analizează cele două docuri plutitoare din criteriile de stabilitate transversală intactă, generală și meteorologice.

În **capitolul șapte** se prezintă analiza structurală a docului de mari dimensiuni (*Dock_VARD_Tulcea*), pe baza modelelor de grindă echivalentă 1D și cele 3D-FEM complet extinse pe lungime, supuse la solicitări în apă calmă și valuri echivalente cvasi-stactice de întâlnire - urmărire, cu evaluarea criteriilor de rezistență globală - locală și de bord liber minim. Analiza pune în evidență solicitările extreme la care poate opera docul de mari dimensiuni. Analiza include cinci cazuri de încărcare, toate cu pescajul de referință de 6,2 m asigurat printr-o balastare asistată continuu, conform dimensiunilor cheiului din cadrul șantierului: fără masă andocată, andocarea în șapte etape intermediare a unei nave OSV cu masa de 19747 t, andocare la capacitatea maximă de 27000 t cu distribuția de mase uniformă, tip hogging și sagging.

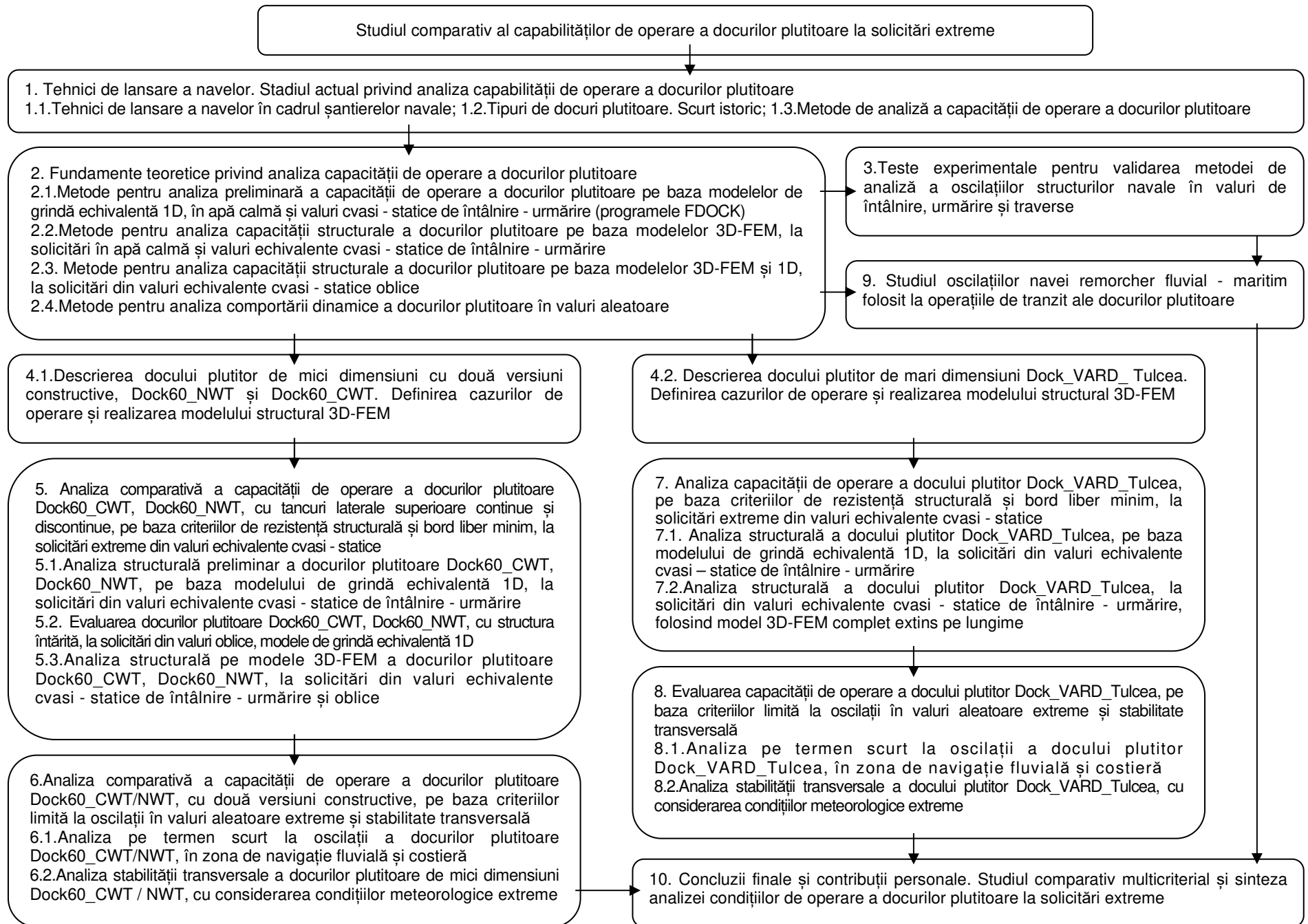
În **capitolul opt** se prezintă analiza comportării dinamice în valuri aleatoare a docului de mari dimensiuni (*Dock_VARD_Tulcea*), pentru trei pescaje de balastare 5,2 m, 6,2 m și 7,2m, pentru gama vitezelor de remorcare 0 - 12 km/h și unghiul de întâlnire doc - val 0-360°, pentru relocarea acestuia pe rute fluviale și costiere între șantierele navele. Din evaluarea criteriilor limită la navigație (seakeeping) rezultă restricțiile de operare în valuri aleatoare a docului plutitor de mari dimensiuni. Suplimentar se analizează pentru docul plutitor criteriile de stabilitate transversală intactă, generală și meteorologice (dinamice).

În **capitolul nouă** se analizează performanțele la navigație din punct de vedere al criteriilor la oscilații (seakeeping) a unui remorcher fluvial - maritim de 4000 C.P., destinat operațiilor de relocare a celor trei docuri plutitoare.

Capitolul zece prezintă concluziile finale ale cercetării, ce includ rezultatele studiului comparativ multicriterial pentru cele trei tipuri de docuri supuse la solicitări extreme și cu influența restricțiilor apărute la remorcherul fluvial - maritim, urmate de contribuțiile personale aduse cercetării dezvoltate în cadrul tezei.

Figura 1 prezintă schema logică a cercetării dezvoltate în cadrul tezei, în corelație cu obiectivele generale și specifice formulate pentru tematica tezei.

Figura 1. Schema logică a cercetării dezvoltate în cadrul tezei



CAPITOLUL 1

TEHNICI DE LANSARE A NAVELOR. STADIUL ACTUAL PRIVIND ANALIZA CAPABILITĂȚII DE OPERARE A DOCURILOR PLUTITOARE.

Acest capitol este structurat în trei părți, incluzând tehnologiile de lansare a navelor, precum și stadiul actual la analiza structurală a docurilor plutitoare. Primul subcapitol prezintă succint, tehnicile de lansare a structurilor plutitoare în șantierele navale, cu avantajele și dezavantajele fiecărei tehnologii de lansare. Se continuă prin expunerea unui scurt istoric al docurilor plutitoare și al diferitelor tipuri constructive existente în exploatare. Ultimul subcapitol prezintă în sinteză stadiul actual al metodelor de analiză pentru evaluarea capabilității de operare în siguranță a docurilor plutitoare, pe baza criteriilor limită impuse de normele societăților de clasificare navală, precum și direcțiile proprii de studiu vizate conform obiectivelor tezei.

1.1. Tehnici de lansare a navelor în cadrul șantierelelor navale

Lansarea navelor este una din etapele principale din procesul de fabricație a navei. Aceasta este faza tehnologică de translatare a navei construite în șantierele navale de pe cala de montaj la apă [4], [5], [6], [7].

În ultimii ani, această etapă din construcția navei a fost modernizată, având în vedere sistemele de lansare ce asigură siguranța structurală în timpul acestor operațiuni.

Cele două moduri de lansare a navei la apă sunt [4], [5], [7]:

- când toate lucrările de montaj ale corpului, de montare a echipamentelor și de finisare sunt realizate pe cala de montaj, nava urmând să fie lansată complet echipată;
- când doar un anumit volum de lucru la navă, determinat de condițiile de etanșeitate, rezistență locală și globală a corpului și gradul de montare a echipamentelor, este finalizat, dar este necesar ca înainte de lansare să se finalizeze unele lucrări de saturare și etanșeitate a corpului navei.

Cele mai utilizate tipuri de tehnici de lansare în șantierele navale din România sunt:

- lansarea gravitațională a navelor pe plan înclinat care presupune lansarea sub influența forței proprii de greutate (metodă utilizată pentru navele de deplasament mediu):
 - lansarea longitudinală
 - lansarea transversală (S.N. DAMEN din Galați, S.N. VARD din Brăila)
 - lansarea prin mijloace mecanizate (cărucioarele pe căile de rulare – S.N. VARD din Brăila, macarale, sincrolifturi, docuri plutitoare)
- lansarea navelor cu ajutorul baloanelor de aer – una dintre cele mai noi tehnici de lansare

- lansarea pe verticală
 - sincrolifturi (S.N. VARD din Tulcea)
 - docuri uscate (S.N. Constanța, S.N. DAMEN din Galați, S.N. DAMEN din Mangalia)
 - docuri plutitoare (S.N. Constanța, S.N. DAMEN din Galați, S.N. VARD din Tulcea, S.N. VARD din Turnu – Severin)

Docul plutitor este o construcție metalică de formă paralelipipedică, cu structură tip „U”, prevăzută de obicei cu tancuri laterale superioare pentru balastare [1], [2], [3], [5]. Acestea se pot construi prin conversia pontoanelor de tip simplu sau modular, prin montarea de tancuri de balast laterale. *Docurile plutitoare* (S.N. Constanța, S.N. DAMEN din Galați, S.N. VARD din Tulcea, S.N. VARD din Turnu - Severin), figurile 1.1. - 10., sunt dotate cu instalații de pompare cu debit mare pentru umplerea rezervoarelor de balastare în timpul operațiunii de lansare. Nava se construiește pe sisteme de andocare (blocuri de chilă, eșafode metalice, schele, sisteme hidraulice, etc.), amplasate pe puntea docului, lansarea la apă realizându-se prin inundarea tancurilor de balast ale docului și deci prin scufundarea acestuia la pescajul corespunzător plutirii navei care se află andocată pentru lansare [6], [8].

Pentru cazul de încărcare / descărcare a construcțiilor flotabile pe doc, lateral sau prin pupa acestuia, construcția care trebuie lansată, trebuie aliniată cu puntea principală a docului plutitor. Construcția este adusă la bordul docului, prin tractare pe șinele existente pe puntea docului (figura 1.4.a., b.). În timpul încărcării / descărcării, tancurile de balast se vor umple / golii, astfel încât transferul construcției de pe cheu pe puntea principală a docului să se facă cât mai ușor (asieta navei trebuie să rămână orizontală). În cazul lansării și tractării navei andocate, docul plutitor va fi imersat astfel încât construcția flotabilă andocată să poată fi tractată de către pilotine (figura 1.5.) din câmpul punții docului. În acest sens, în cadrul capitolelor 7 și 8, din actuala lucrare, se va prezenta analiza structurii unui doc plutitor la solicitări extreme, figura 1.3., cu datele tehnice inițiale puse la dispoziție de către Șantierul Naval VARD din Tulcea [4], [9].



Figura. 1.1. Barja ATLANTE II pe Dunăre, având andocată o navă ce a fost lansată în Marea Neagră [10]



Figura. 1.2. Barja ATLANTE II scufundată total în Marea Neagră în timpul unei lansări [11]



Figura. 1.3. Docul plutitor Dock_VARD_Tulcea la finalul andocării totale a cazului de calcul din capitolul 7.2.2. [12]

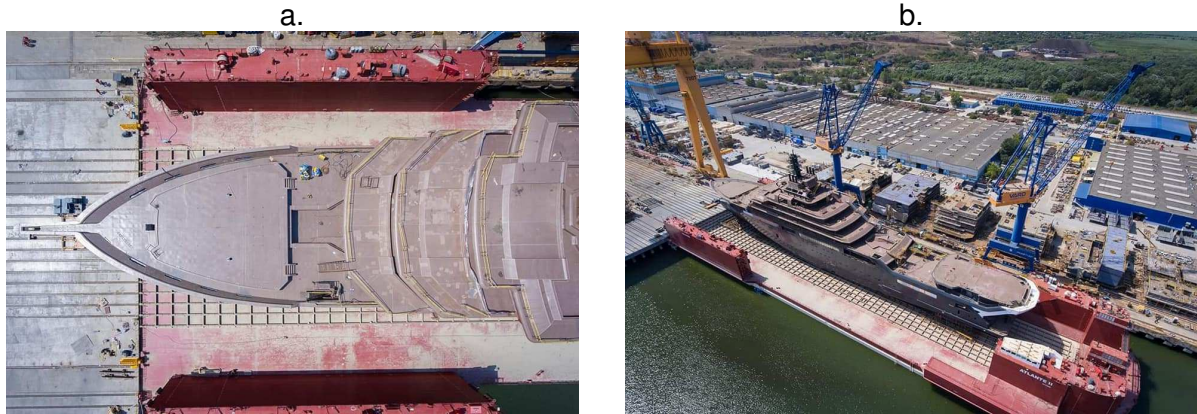


Figura 1.4. a., b. Docul plutitor Dock_VARD_Tulcea aliniat cu șinele de pe fila 2 montaj, în momentul lansării a. [13], b. [14]

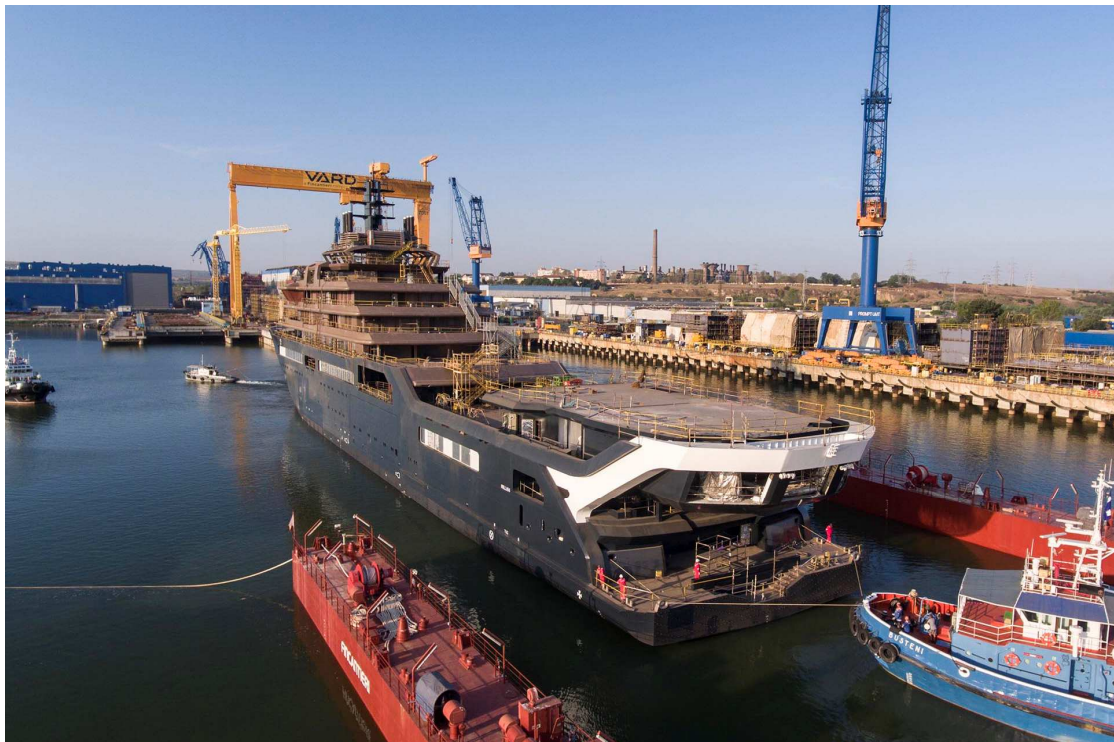


Figura 1.5. Docul plutitor Dock_VARD_Tulcea balastat maxim pentru realizarea tractării cu ajutorul pilotinelor a navei în curs de lansare [15]

1.2. Tipuri de docuri plutitoare. Scurt istoric.

Pe baza literaturii de specialitate, stadiul actual al tehnicilor de lansare a navelor în șantierele navale se realizează cu docuri plutitoare datorită multitudinii de avantaje de care beneficiază, ca și construcții flotabile dar și pentru șantierele navale.

Docul plutitor este o construcție specială, destinată andocării navelor pentru inspectarea și repararea carenei, dar și pentru lansarea diferitelor structuri marine, realizată în conformitate cu normele societăților de clasificare. Tipul principal de doc plutitor este cel cu două turnuri, bilaterale, având secțiunea transversală în formă de U. Imersarea și emersarea unui astfel de doc se face prin balastarea sau debalastarea tancurilor pontonului și a tancurilor laterale superioare de balast de pe puntea de andocare [1], [6], [16], [17].

Docurile plutitoare sunt folosite de peste 100 de ani, astăzi ajungând la un număr de aproximativ 213 docuri la nivel mondial [18], [19]. Figurile 1.6. – 1.10. prezintă câteva din

această multitudine de docuri plutitoare de diferite dimensiuni. O mare utilizare au avut în perioada celui de-al doilea război mondial, din cauza mobilității în raport cu capacitățile pe care le au, cunoscute deja de câțiva ani la acel moment [20].



Figura. 1.6. Docul plutitor ARD-1 varianta constructivă din anul 1934 [21]



Figura. 1.7. Docul plutitor aflat in exploatarea S.N. VARD Vung Tau, Vietnam [22]



Figura.1.8. Doc plutitor de 180 m – Norden Shipdesign House [23]

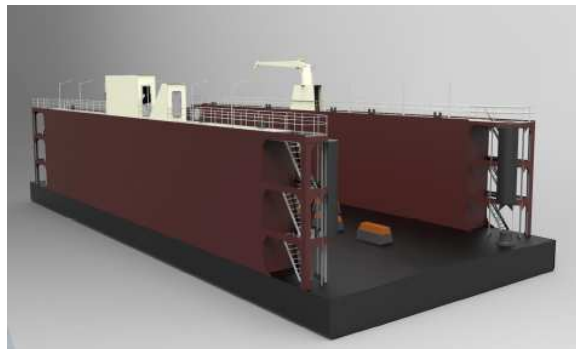


Figura. 1.9. Doc plutitor de 50 m – Norden Shipdesign House [24]



Figura. 1.10. Docul plutitor S.N. Geoje, Coreea de Sud (430mx84mx23,5m – 20800t) [25]

1.3. Metode de analiză a capacității de operare a docurilor plutitoare

Construcția docurilor plutitoare este reglementată de societățile de clasificare din industria navală ce sunt asociate în IACS - Asociația Internațională a Societăților de Clasificare (DNV-GL - Det Norske Veritas - Germanische Lloyd; ABS - American Bureau of Shipping, BV - Bureau Veritas; LRS - Lloyd's Register of Shipping; RINA - Registro Italiano Navale; NKK - Nippon Kaiji Kyokai, etc.) [1], [3]. În cadrul tezei, *capitolul 4*, vom prezenta cerințele normelor privind *valorile limită admisibile la evaluarea docurilor plutitoare*.

Obs. Detaliile regulilor din normele societăților de clasificare privind dimensionarea elementelor structurale ale docurilor plutitoare, ce vor fi supuse analizelor la solicitări extreme, nu sunt incluse, nefiind componentă de cercetare stabilită prin obiectivele științifice ale tezei.

În cele ce urmează prezentăm în sinteză stadiul actual al tipurilor de analiză ce vor fi abordate în cadrul tezei pentru evaluarea siguranței în operare a docurilor plutitoare.

Cerințele reglementate de către societățile de clasificare navală pentru evaluarea capabilității de operare în condiții de siguranță în cazuri extreme impun următoarele analize:

- selecția tipului constructiv al docului plutitor în funcție de capacitatea de operare;
- analiza stabilității transversale și volumetria docului plutitor;
- analiza rezistenței globale și locale a structurii docurilor plutitoare;
- analiza momentului încovoietor vertical la rezistența ultimă (stabilitate globală);
- analiza comportării dinamice a docului (seakeeping) la relocarea între șantierul naval.

Societățile de clasificare navală, împart acest tip de structuri flotabile în docuri plutitoare care au capacitatea de încărcare mai mică sau egală cu 40000 t și docuri plutitoare cu capabilitate de balastare pentru capacități de încărcare mai mari de 40000 t. O examinare specială de către societatea de clasificare trebuie făcută în cazul în care un doc plutitor cu capabilitate de balastare și capacitate de încărcare mai mare de 40000 t trebuie să fie încărcat cu două nave una lângă alta, sau în cazul în care nava de andocat are un deplasament de cel puțin două ori mai mare decât masa totală a docului plutitor fără masă andocată și nebalastat (RINA, DNV-GL, BV, ABS) [1], [3].

Din punct de vedere constructiv docurile plutitoare pot fi de tip cheson, la care regăsim un ponton de bază și două tancuri superioare laterale care pot fi continue (CWT) sau discontinue (NWT) pe toată lungimea docului, sau tip ponton, la care pontonul de bază este format din pontoane individuale, discontinue, conectate permanent sau detașabile de tancurile superioare laterale de balast.

O altă clasificare a docurilor plutitoare poate fi făcută din punctul de vedere al modului de balastare: doc cu balastare uniformă sau doc cu balastare controlată. Un doc cu balastare uniformă, este un doc care are capabilitatea că tancurile sunt încărcate cu balast simultan la același nivel. Acest sistem este benefic, deoarece în acest caz nu se poate discuta de apariția unor momente încovoietoare sau deformații excesive în cazul operării. În cazul unui doc cu balastare controlată fiecare tanc este balastat în mod independent. Această soluție constructivă dă posibilitatea reglării asietei precum și controlul eforturilor în toate etapele de operare. Docurile plutitoare trebuie să fie echipate cu *echipamente de monitorizare a deformațiilor globale* [3].

Din punct de vedere al rezistenței globale și locale, evaluată pe baza criteriului tensiunilor admisibile față de limita de curgere a materialului, în orice fază a proiectării este necesară dezvoltarea unor modele de grindă echivalentă 1D și 3D structurale, supuse la solicitări echivalente cvasi - statice din valuri și apă calmă, bazate pe statistici pe termen lung, pe toată durata de exploatare a docurilor plutitoare, conform normelor societăților de clasificare navală internaționale (RINA, BV, ABS, LR, DNV-GL, etc.) [1], [3].

Analiza preliminară a rezistenței globale se realizează folosind modelul grinzii elastice echivalente 1D a corpului docului plutitor, folosind proceduri iterative neliniare pentru calculul condițiilor de echilibrare ale docului plutitor în valuri, ce permite obținerea eforturilor secționale și a tensiunilor globale maxime, evaluarea pe baza valorilor admisibile prescrise

de normele navale, precum și calculul deformațiilor globale maxime. Principalul dezavantaj al acestui model este imposibilitatea includerii detaliilor structurale, respectiv a evaluării corecte a concentratorilor de tensiune [26].

Evoluția modelării numerice în domeniul analizei structurilor navale a condus la dezvoltarea modelelor structurale tridimensionale prin metoda elementului finit, 3D-FEM, ce permit eliminarea dezavantajelor generate de utilizarea modelelor 1D de grindă echivalentă. Structura corpului docului plutitor este definită complet pe toată lungimea, cu solicitările echivalente cvasi - statice conform normelor navale, obținând starea de tensiuni locale și globale extreme în toate planșeele docului, fiind implicate resurse considerabile de calcul. Sunt incluse detaliile structurale, având local o discretizare mai fină pentru evaluarea factorilor concentratorilor de tensiune cu acuratețea corespunzătoare [27]. Parametrii de echilibrare sunt preluați din analizele pe modelele structurale de grindă echivalentă 1D. Dezavantajul principal al modelelor 3D-FEM complet extinse pe întreaga lungime a docului plutitor este faptul că nu se pot utiliza pentru analiza structurilor în faza de proiect preliminar.

În cadrul tezei, se vor analiza diferite modele constructive și capacități de andocare a docurilor plutitoare.

La evaluarea rezistenței globale se aplică și criteriul rezistenței ultime, respectiv pe baza metodei Smith [28] se calculează momentul încovoietor ultim, corespunzător pierderii stabilității planșeele docului plutitor (DNV-GL, BV, ABS, etc.) [1], [3].

Pentru evaluarea cazurilor extreme la operațiunea de relocare a docurilor, pe căi navigabile interioare sau costiere se impune analiza dinamică în valuri aleatoare (seakeeping), la oscilații verticale, de tangaj și ruluu [29], [30], [31], [32]. Docurile plutitoare au forme dominant prismatice ce se pretează la analiza liniară a oscilațiilor, respectiv funcțiile operator amplitudine răspuns pe componentele de oscilație se pot obține printr-o soluție directă în domeniul frecvențelor pentru valurile regulate. Răspunsul dinamic în valuri aleatoare se obține printr-o analiză statistică pe termen scurt, folosind funcțiile densitate spectrală de putere ale valurilor aleatoare [33], [34].

Datorită variației semnificative a maselor docului la fiecare etapă a operațiunii de andocare, normele solicită evaluarea siguranței în exploatare și pe baza criteriilor de stabilitate transversală intactă la unghiuri mari de înclinare, inclusiv pe baza criteriilor meteorologice (BV, DNV-GL, ABS, etc.) [1], [3].

În următoarele capitole se vor prezenta fundamentele modelelor teoretice, capitolul 2, și analiza capacității de operare în condiții de siguranță a unui doc tip cheson, de mici dimensiuni, cu două variante constructive, cu tancuri laterale superioare de balast continue și discontinue, precum și un doc de mari dimensiuni, cu date tehnice puse la dispoziție de către Șantierul Naval VARD din Tulcea [9], [11], pe baza criteriilor de rezistență globală, locală și ultimă, de bord liber minim, stabilitate transversală și comportare dinamică în valuri aleatoare, capitolele 5-8.

CAPITOLUL 2

FUNDAMENTE TEORETICE PRIVIND ANALIZA CAPACITĂȚII DE OPERARE A DOCURILOR PLUTITOARE

Acest capitol prezintă o sinteză a fundamentelor teoretice ce stau la baza programelor utilizate în cadrul cercetării privind analiza docurilor plutitoare supuse la solicitări extreme. Metodele de calcul abordate în cadrul tezei, pentru studiul docurilor plutitoare, au fost dezvoltate atât pentru analize preliminare, pe baza modelelor simplificate de grindă echivalentă 1D, cât și pentru analize complexe, pe baza modelelor structurale 3D-FEM complet extinse pe corpul docurilor.

2.1. Metode pentru analiza preliminară a capacității de operare a docurilor plutitoare pe baza modelelor de grindă echivalentă 1D, în apă calmă și valori cvasi-stactice de întâlnire sau urmărire (programele FDOCK).

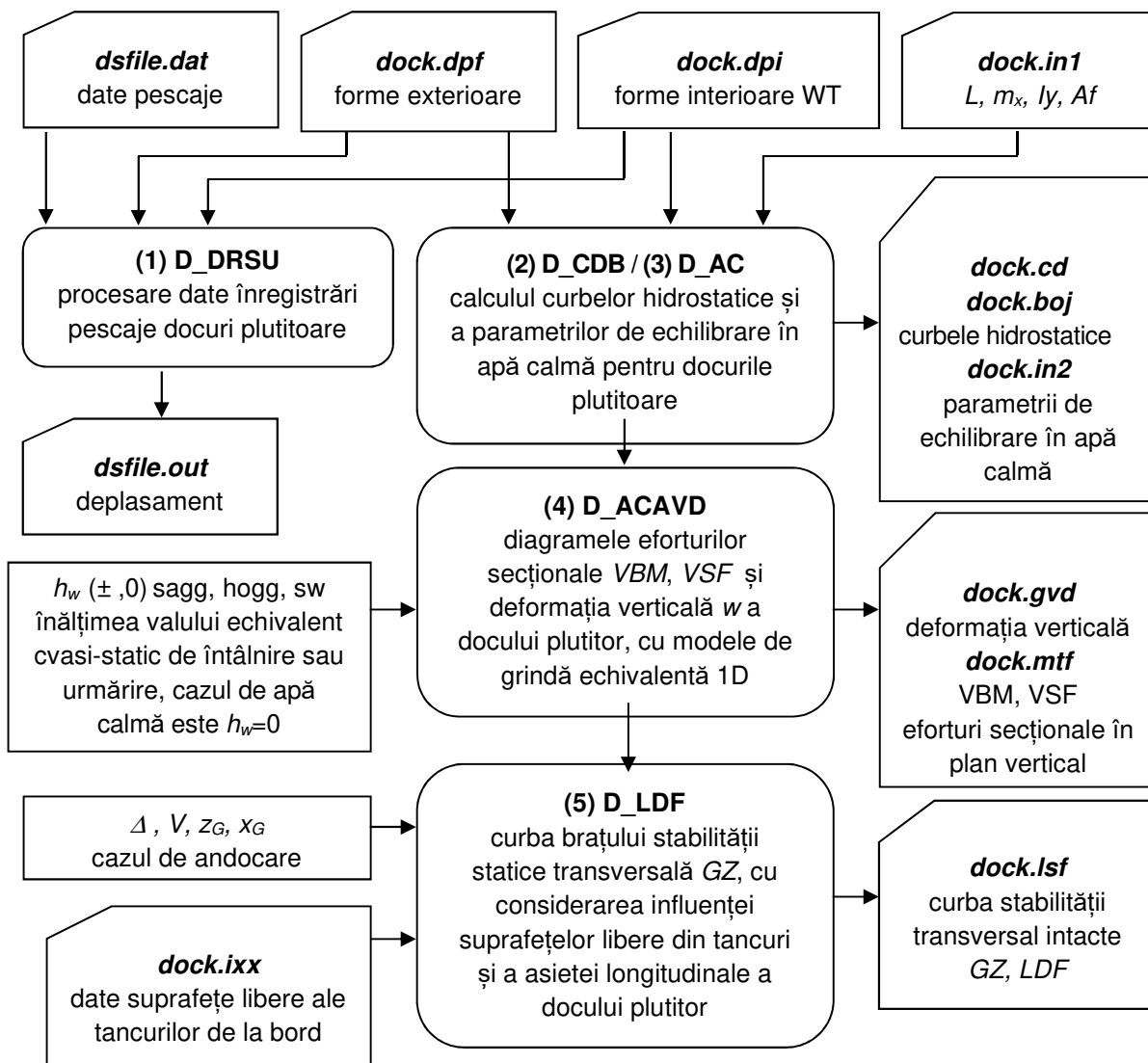


Figura.2.1. Schema logică a modulelor pachetului de programe FDOCK [4], [35] pentru evaluarea preliminară a capacității de operare în siguranță a docurilor plutitoare, fișiere date de intrare și ieșire

Capacitatea de operare în siguranță a unui doc plutitor trebuie evaluată în fiecare etapă de lucru a acestuia, pentru solicitările la lansare sau andocare a navelor sau blocurilor de navă, în funcție de criteriile limită impuse de societățile de clasificare navale [1].

În acest scop am dezvoltat un pachet de programe proprii *FDOCK* [4], [35], ce permit evaluarea preliminară multicriterială a capacității de operare a docurilor plutitoare.

În figura 2.1. se prezintă schema logică pentru modulele pachetului de programe *FDOCK* [4], [35], folosite pentru evaluarea preliminară a docurilor plutitoare, ce au fost dezvoltate în limbajul de programare Free-Pascal [36] (Anexele 1-5).

2.1.1. Modulul pentru determinarea deplasamentului docurilor plutitoare pe baza pescajelor înregistrate la natură

Modulul D_DRSU, figura 2.1. (Anexa 5), este dezvoltat pentru procesarea datelor înregistrate la natură privind pescajele docurilor plutitoare, ținând cont de asietă longitudinală și de deformația verticală a acestora [4], [35]. Acest modul poate fi folosit pentru determinarea experimentală a deplasamentului, poziției longitudinale a centrului de greutate și deformația în plan vertical a docului plutitor, în timpul operațiunilor de andocare, cazul de apă calmă.

2.1.2. Modulul pentru calculul curbelor hidrostatice ale docului plutitor

Modulul D_CDB, figura 2.1. (Anexa 1), este dezvoltat pentru calculul curbelor hidrostatice ale docului plutitor, carene drepte și diagrama Bonjean [4], [35], folosite pentru evaluarea bordului liber minim și a stabilității transversale inițiale a docului plutitor pentru fiecare caz de andocare, în condiții de apă calmă. Se consideră formele exterioare și interioare, între tancurile de balast superioare, ale docurilor plutitor.

2.1.3. Modulul pentru calculul parametrilor de echilibrare în apă calmă

Modulul D_AC, figura 2.1. (Anexa 2), este dezvoltat pentru calculul preliminar al parametrilor de echilibrare în apă calmă a docului plutitor corespunzător condiției de operare, folosind modelul numeric de grindă echivalentă 1D [4], [27], [35].

Se utilizează o procedură iterativă neliniară pentru condițiile de flotabilitate și asietă longitudinală, ce permite determinarea celor doi parametri de echilibrare în apă calmă a docului plutitor, T_{pp} , T_{pv} pescajele pupa, prova, în cazul de andocare cu deplasamentul Δ și centrul de greutate x_G [1], [28], respectiv se evaluează criteriul de bord liber minim.

$$FB_{PD}(x) = D_p - T(x) \geq FB_{PDadm} ; FB_{UD}(x) = D - T(x) \geq FB_{UDadm} \quad (2.1)$$

$$T(x) = T_{pp} + (T_{pv} - T_{pp}) \frac{x}{L} ; x = 0, L \quad (2.2)$$

unde: $T(x)$ este pescajul la abscisa $x=0, L$, L lungimea docului, D_p , D sunt înălțimile punții pontonului și a punții superioare a docului, FB_{PD} , FB_{UD} sunt valorile bordului liber la puntea pontonului și puntea superioară a docului, FB_{PDadm} , FB_{UDadm} , valorile minime admisibile ale bordului liber conform normelor pentru docurile plutitoare [1], [4], [35].

2.1.4. Modulul pentru calculul momentelor încovoietoare și a forțelor tăietoare la solicitări din valuri echivalente cvasi-stactice de întâlnire sau urmărire

Pe baza metodei preliminare de analiză cu model numeric de grindă echivalentă 1D, a fost dezvoltat *modulul D_ACAVD*, figura 2.1. (Anexa 3), pentru calculul momentelor încovoietoare în plan vertical VBM și a forțelor tăietoare verticale VSF, precum și deformația în plan vertical w , în condiții de apă calmă (SW), $h_w = 0$ și de val echivalent cvasi-static de întâlnire sau de urmărire, $h_w \neq 0$, de tip sagging și hogging [1], [4], [27], [35]. Lungimea valului este considerată egală cu lungimea docului $\lambda = L$ [28]. Rezultatele pe baza acestui modul sunt folosite pentru evaluarea criteriilor de rezistență generală, momente încovoietoare și forțe tăietoare admisibile în plan vertical, momentul încovoietor ultim admisibil (metoda Smith [4], [28], [37]) și deformația verticală admisibilă, conform normelor pentru docurile plutitoare [34], [38].

Analog subcapitolului 2.1.3., în cazul solicitărilor docului din valuri echivalente cvasi-stactice de întâlnire sau urmărire utilizăm tot o procedură iterativă neliniară cu doi parametri, pentru satisfacerea condițiilor de echilibru de flotabilitate și asietă longitudinală, la un caz de andocare specificat (Δ , x_G) [1], [4], [27], [28], [35], ce asigură simultan intersecția suprafeței libere a valului cu învelișul exterior cât și interior al docului.

Conform normelor de construcție a docurilor plutitoare, înălțimea maximă valului h_{w_max} are următoarele valori [4], [33], [35]:

$$h_{w_max} \leq 2m \text{ SW, IN}(0.6), \text{ IN}(1.2), \text{ IN}(2.0) \text{ pentru operare în zonă fluvială} \quad (2.3)$$

$$h_{w_max} = 0,50 \cdot 0,0856 \cdot L; L < 90 \text{ m}$$

$$h_{w_max} = 0,50 \cdot \left[10,75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{3/2} \right]; 90 \leq L \leq 300 \text{ m} \quad \text{RE}(50\%) \text{ pentru operare în zona costieră} \quad (2.4)$$

Pe baza procedurii iterative neliniare cu doi parametri se obțin următoarele rezultate:

$$Z(x) = T_{pp} + (T_{pv} - T_{pp}) \frac{x}{L} \pm \frac{h_w}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{L}\right) \rightarrow A_t(x) \rightarrow p_x(x) = g \cdot m_x(x) - \rho_w g \cdot A_t(x); x \in [0, L]$$

$$VSF(x) = \int_0^x p_x(x) dx \leq AVSF; VBM(x) = \int_0^x VSF(x) dx \leq \min\{AVBM, AUSVBM\} \quad (2.5)$$

$$w(x) \leq w_{adm} = L/400; x \in [0, L] \quad (2.6)$$

$$FB_{PD}(x)|_{Z(x)} = D_p - Z(x) \geq FB_{PDadm}; FB_{UD}(x)|_{Z(x)} = D - Z(x) \geq FB_{UDadm} \quad (2.7)$$

unde: T_{pp} , T_{pv} , definesc poziția planului median al valului echivalent cvasi-static de întâlnire sau urmărire, față de planul de bază al docului plutitor, \pm val sagging sau hogging, $Z(x)$ este elongația suprafeței libere a valului, $m_x(x)$ este distribuția de mase, $A_t(x)$ ariile transversale imerse, $AUSVBM$ este momentul încovoietor ultim admisibil calculat conform metodei Smith [35], [28], [37] folosind programul *DNVGL-Poseidon* [39], $AVSF$ forța tăietoare și $AVBM$ momentul încovoietor admisibile conform normelor de rezistență generală a docurilor plutitoare [27], [28], w este deformația verticală totală a docului plutitor, w_{adm} este deformația verticală admisibilă.

2.1.5. Modulul pentru analiza stabilității transversale a docurilor plutitoare

Modulul L_LDF, figura 2.1. (Anexa 4), este dezvoltat pentru calculul curbei stabilității transversale GZ a docurilor plutitoare, cu considerarea influenței suprafeței libere a tancurilor de la bord și a modificării asietei longitudinale în apă calmă funcție de valoarea unghiului de înclinare transversală, pe baza unei proceduri iterative neliniară ce generalizează metoda panto-carenelor.

Rezultatele din acest modul sunt folosite pentru evaluarea criteriilor de stabilitate transversală intactă, generale și meteorologice, conform normelor societăților de clasificare pentru docurile plutitoare [4], [35], [78].

$$GM_0 = \frac{dGZ_c}{d\varphi} \Big|_{\varphi=0} \geq 1m ; GZ_c(\varphi_{ref}) \geq GZ_{ref} ; LDF_c(\varphi) = \int_0^{\varphi} GZ_c(\varphi) d\varphi ; K_{meteo}(LDF_{ref}(\varphi)) \geq 1 \quad (2.8)$$

unde: GZ_c , LDF_c sunt curbele stabilității transversale cu corecția pentru influența suprafeței libere a tancurilor parțial umplute de la bordul docului; φ unghiul de înclinare transversală.

2.2. Metode pentru analiza capacității structurale a docurilor plutitoare pe baza modelelor 3D-FEM, la solicitări în apă calmă și valori echivalente cvasi-stactice de întâlnire sau urmărire.

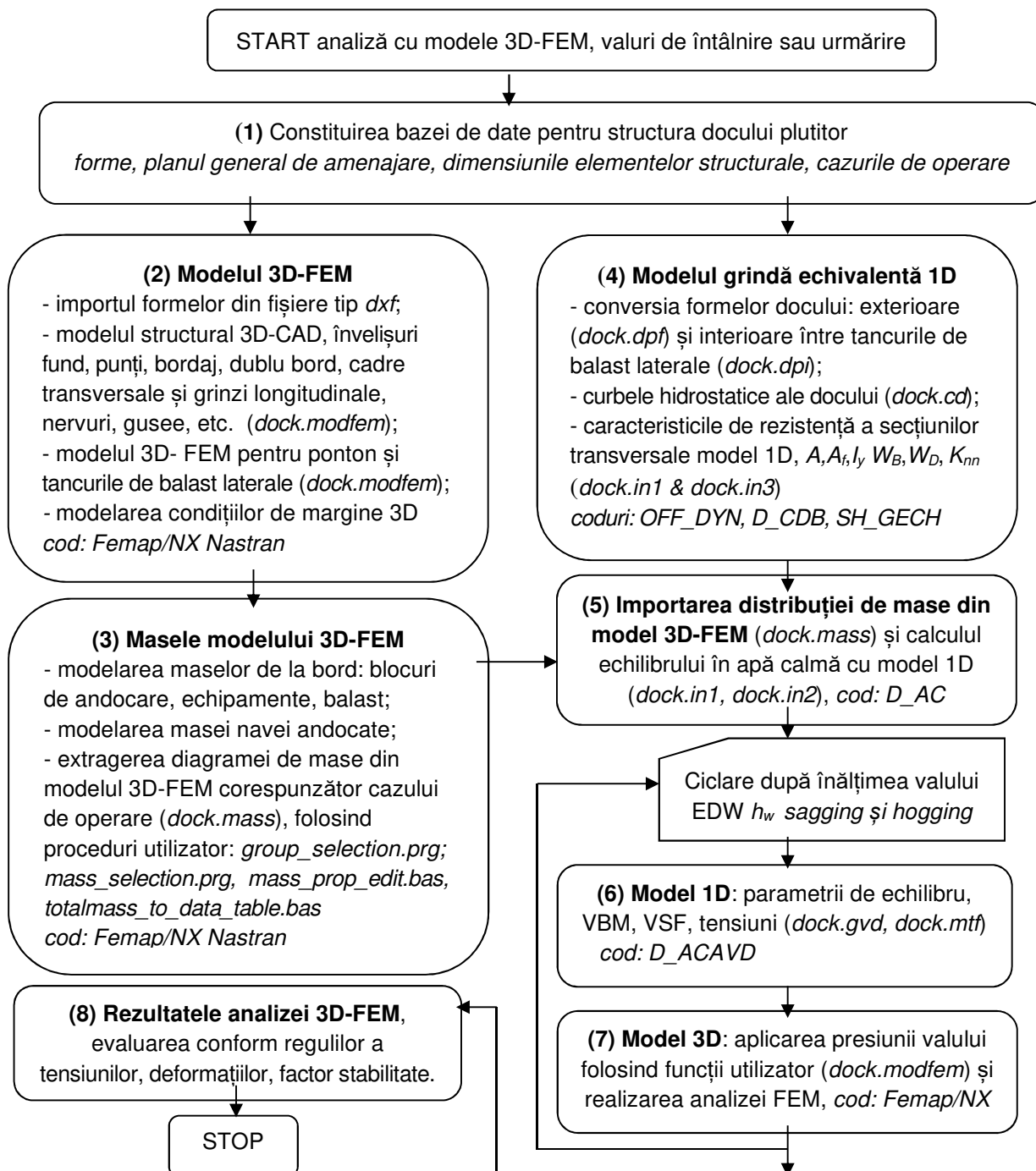


Figura 2.2. Schema logică de analiză a rezistenței docului plutitor cu modele 3D-FEM, la solicitări din valuri echivalente cvasi-stactice de întâlnire sau urmărire [40], [41]

Pentru analiza complexă a docurilor plutitoare se impune folosirea modelelor structurale 3D-FEM, complet extinse pe lungime, astfel încât în comparație cu modelele de grindă echivalentă 1D (subcapitolele 2.1.3., 2.1.4.) se poate evalua simultan atât rezistența generală cât și locală a corpului docurilor, cu includerea detaliilor structurale și a maselor.

În cazul analizei pe modele 3D-FEM echilibrul dintre doc și valul echivalent cvasi-static de întâlnire sau urmărire se obține tot pe baza modelelor 1D, deoarece din punct de vedere practic implementarea procedurilor iterative neliniare (subcapitolele 2.1.3, 2.1.4) în modele structurale complexe ar conduce la timpi de calcul foarte mari. În acest caz se impune asigurarea unei corespondențe cu o acuratețe ridicată a formelor, rigidității echivalente și a diagramei de mase, de la modelele 3D-FEM la modelele de grindă echivalentă 1D.

Pentru analiza capacității structurale a docurilor plutitoare pe baza criteriilor de rezistență generală și locală am folosit mai multe coduri program și funcții tip utilizator implementate în programul Femap/NX Nastran [27], [41], [42], [43] interconectate conform schemei logice prezentate în figura 2.2.

1. *Constituirea bazei de date pentru structura unui doc plutitor.*

2. *Dezvoltarea modelului structural 3D-FEM.* Pe baza opțiunilor de modelare FEM implementate în programul Femap/NX Nastran [42], se dezvoltă modelul structural 3D-FEM al docului plutitor, ce include pontonul și tancurile superioare de balast (continue sau discontinue). Modelul 3D-FEM este complet extins pe lungimea docului plutitor și doar într-un bord, figura 2.3., fiind vizate doar solicitările din valuri echivalente cvasi-stactice de întâlnire sau urmărire. Structura docului este dezvoltată cu elemente finite de membrană și placă groasă (Mindlin), triunghiulare și patrulatere (PLATE). Condițiile de margine [44] aplicate pe modelele 3D-FEM sunt prezentate în tabelul 2.1 și figura 2.3.

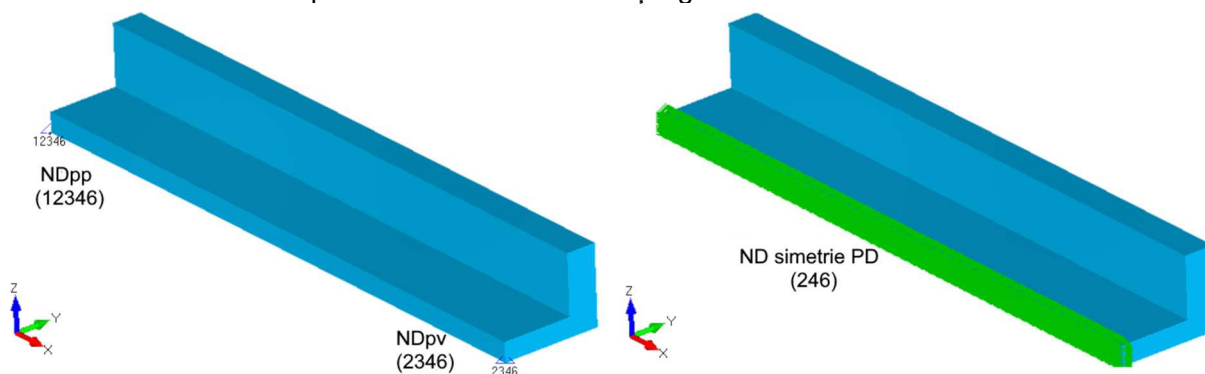


Figura 2.3 Condițiile de margine pentru modelul 3D-FEM, la valuri de întâlnire sau urmărire

Tabelul 2.1 Condițiile de margine pentru modelul 3D-FEM, la valuri de întâlnire sau urmărire [44]

Condițiile de margine	Gradele de libertate blocate DOF					
	$U_x(1)$	$U_y(2)$	$U_z(3)$	$R_x(4)$	$R_y(5)$	$R_z(6)$
Simetrie la planul diametral PD	-	X	-	X	-	X
Nodul master la pupa ND_{pp}	X	X	X	X	-	X
Nodul master la prova ND_{pv}	-	X	X	X	-	X

3. *Masele modelului 3D-FEM.* Pentru aplicarea maselor pe modelele 3D-FEM, în cadrul programului Femap/NX Nastran [42] se folosesc elemente de masă concentrată sau elemente nestructurale cu masă distribuită pe suprafețe. Folosind proceduri utilizator proprii (*group_selection.prg; mass_selection.prg, mass_prop_edit.bas, totalmass_to_data_table.bas, Anexele 6-9*) implementate în programul Femap/NX Nastran [42], se extrage digrama maselor pe unitatea de lungime a docului plutitor pentru modelele de grindă echivalentă 1D.

4. *Modelul de grindă echivalentă 1D* include următoarele date tehnice: formele exterioare și interioare ale docului (geometric 3D) importate din fișiere tip *dxf*. folosind programul *OFF_DYN* [45], curbele hidrostatice ale docului folosind programul *D_CDB* (*Anexa 1*), caracteristicile de rezistență a secțiunilor transversale, program *SH_GECH* [46].

5. *Importul distribuției de mase din modelul 3D-FEM.* Deoarece obținerea parametrilor de echilibrare a sistemului doc plutitor și valorile echivalente cvasi-stactice se realizează pe baza modelelor 1D (subcapitolele 2.1.3., 2.1.4.), se impune asigurarea corelației pentru formele și distribuția maselor docului între modelele 3D și 1D. Folosind programul *D_AC* (Anexa 2), se determină parametrii de echilibrare în apă calmă doc-val pentru verificarea preciziei modelării cazului de încărcare analizat pe modelele 3D/1D.

6. *Determinarea parametrilor de echilibru a sistemului doc-val.* Pe baza unei proceduri neliniare iterativă, cu doi parametrii (subcapitolul 2.1.4.), se obține poziția planului median al valului echivalent cvasi-static de întâlnire sau urmărire față de planul de bază al docului (T_{pp} , T_{pv}). Acest algoritm este implementat în programul *D_ACAVD* (Anexa 3).

Pentru a aplica presiunea din val echivalent cvasi-static de întâlnire sau urmărire (EDW) pe învelișul exterior și interior între tancurile superioare de balast a docurilor plutitoare, model structural 3D-FEM, am dezvoltat funcția tip utilizator din ecuația:.

$$Pressure: \max(0.000; (!ro*9.81*(-ZEL(!EL)+!Tpp+(!Tpv-!Tpp)*XEL(!EL)/!L \pm \pm h_w/2 * \cos((2*180*(XEL(!EL)/!L)))))) \quad (2.9)$$

unde: T_{pp} , T_{pv} sunt pozițiile verticale la pupa și prova a planului median al valului echivalent cvasi-static întâlnire sau urmărire, respectiv reprezintă pescajele în cazul apei calme; h_w este înălțimea valului cvasi-static; XEL , ZEL sunt funcții predefinite în programul Femap/NX Nastran [42] pentru selecția poziției longitudinale x și verticale z a centrului elementului curent EL ; L este lungimea modelului 3D-FEM a docului plutitor, \pm val sagging sau hogging.

7. *Presiunea din val cvasi-static aplicată pe modelul 3D-FEM.* Pe baza funcției tip utilizator din ecuația (2.27.) și a parametrilor de echilibru doc-val din etapa 6, corespunzător cazului de andocare analizat și a valului cu înălțimea h_w , folosind meniul *Model / Load / Elemental / Pressure* al programului Femap/NX Nastran [42] se identifică elementele imerse și se aplică în mod automat presiunea din val pe aceste elemente. Folosind solver-ul NX Nastran [42], se realizează o analiză statică-liniară [28], [47], [48], [49] a modelului 3D-FEM pentru docul plutitor. De asemenea, folosind opțiunea buckling a solverului NX Nastran [42] se realizează analiza stabilității structurale pe baza modelului 3D-FEM.

$$[\bar{K}_g] \{\bar{u}_g\} = \{\bar{Q}_g\} \quad (2.10)$$

$$([\bar{K}_g] + B[\bar{K}_g^\sigma]_{ref}) \{d\bar{u}_g\} = 0 \quad (2.11)$$

unde: $[\bar{K}_g]$ matricea de rigiditate, $[\bar{K}_g^\sigma]_{ref}$ matricea de rigiditate geometrică, $\{\bar{Q}_g\}$ este vectorul încărcărilor exterioare, $\{\bar{u}_g\}$ este vectorul gradelor de libertate nodale a modelului numeric 3D-FEM, B este factorul stabilității structurale (buckling).

Pentru evaluarea acurateței stării de echilibru a sistemului doc – val echivalent cvasi-static, reacțiunile pe direcție verticală RFZ la cele două noduri master pupa (ND_{pp}) și prova (ND_{pv}) trebuie să tindă spre zero (2.12), ceea ce semnifică satisfacerea simultană a condițiilor de echilibru la flotabilitate și asietă longitudinală.

$$RFZ(ND_{pp}) \rightarrow 0 \quad RFZ(ND_{pv}) \rightarrow 0 \quad (2.12)$$

8. *Evaluarea rezultatelor la analiza rezistenței locale și generale a docului plutitor pe model 3D-FEM.* Rezultatele numerice de la etapa 7 sunt evaluate conform criteriilor de rezistență locală și generală: tensiuni echivalente von Mises admisibile față de limita de curgere a materialului, factorul stabilității structurale admisibil și deformația verticală maximă admisibilă, pe baza normelor societăților de clasificare a docurilor plutitoare [1], [50].

În cadrul tezei, procedura prezentată în acest subcapitol este aplicată la studiul capabilității structurale la solicitări din valuri echivalente cvasi-stactice de întâlnire sau urmărire, extreme, pentru două docuri de mici dimensiuni ($L=60\text{m}$) în capitolul 5.1., 5.3. și pentru un doc mare ($L=209,2\text{m}$) în capitolul 7, folosind modele structurale 3D-FEM și de grindă echivalentă 1D.

2.3. Metode pentru analiza capacității structurale a docurilor plutitoare pe baza modelelor 3D-FEM, la solicitări din valuri echivalente cvasi - stactice oblice

În cazul solicitărilor din valuri echivalente cvasi-stactice oblice pentru analiza rezistenței generale pe modele 3D-FEM, analog valurilor de întâlnire sau urmărire (subcapitolul 2.2.) din punct de vedere practic nu se pot aplica direct în aplicația FEM procedurile iterative neliniare pentru determinarea echilibrului sistemului doc – val oblic, deoarece timpii de rulare ar fi excesiv de mari. În consecință și în cazul valurilor oblice vom apela la modelele de grindă echivalentă 1D pentru corpul docului, ce permit implementarea practică a procedurilor pentru determinarea parametrilor de echilibrare doc-val oblic (subcapitolul 2.3.1.), urmând ca aceștia să fie folosiți la analizele rezistenței locale și generale pe modele 3D-FEM (subcapitolul 2.3.2.), pentru modelarea presiunii din val oblic.

2.3.1. Determinarea parametrilor de echilibrare a sistemului doc plutitor – valuri cvasi-stactice oblice, pe baza modelelor de grindă echivalentă 1D

În cazul solicitărilor din valuri echivalente cvasi-stactice oblice considerăm unghiul de întâlnire doc-val cu valori de $\mu = 0^\circ - 180^\circ$ (360°), figura 2.4., ținând cont de simetria la planul diametral (PD) a corpului docului plutitor. Lungimea valului oblic este $\lambda = \lambda_r \cos \mu = L \cos \mu$, considerând lungimea relativă a valului egală cu lungimea docului $\lambda_r = L$, [28], [44], [51].

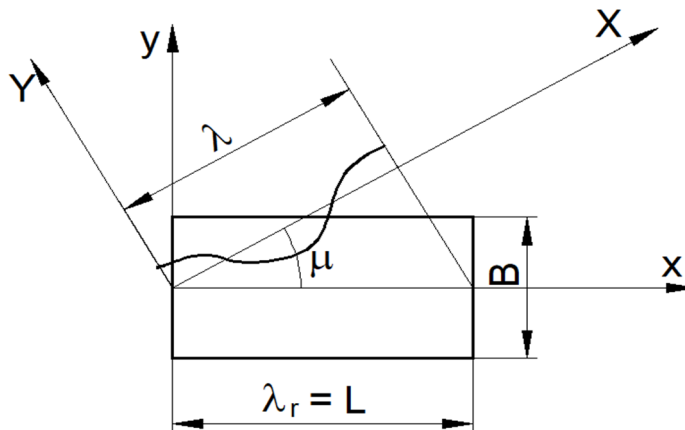


Figura 2.4. Poziția relativă doc plutitor – val cvasi-static oblic [28]

Cazul de andocare este definit prin deplasamentul Δ cu volumul imers V , poziția centrului de greutate $x_G \neq 0$, $y_G = 0$ și distribuția de mase pe lungimea docului $m_x(x)$, $x=0, L$.

Suprafața liberă a valului echivalent cvasi-static oblic are expresia:

$$z_w(x, y) = T_m + (x - x_F) \cdot \theta + (y - y_F) \cdot \text{tg}(\varphi) \pm \frac{h_w}{2} \cos \left[\frac{2\pi}{\lambda} (x \cos \mu + y \sin \mu) \right] \quad x \in [0, L] \quad y \in \left[-\frac{B}{2}, \frac{B}{2} \right] \quad (2.13)$$

unde: T_m, θ, φ sunt parametrii de echilibrare doc-val oblic, ce definesc poziția planului median a valului în raport cu planul de bază al docului (deplasare pe verticală, înclinare longitudinală și transversală); x_F, y_F poziția centrului planului median al valului în sistemul de coordonate al docului (x, y); h_w, λ sunt înălțimea și lungimea valului; L, B sunt lungimea și lățimea docului.

În cazul valului oblic procedura iterativă neliniară de echilibrare doc – val are trei parametri (T_m, θ, φ) [44], [51], [52] și reprezintă o generalizare a procedurii cu doi parametri

folosită în cazul condițiilor de apă calmă sau val de întâlnire sau urmărire (subcapitolele 2.1.3., 2.1.4.), condițiile de flotabilitate T_m , înclinare longitudinală θ și transversală φ , ce este implementată în programul P_QSW [44], [52], folosind limbajul Free Pascal [36].

Rezultă următoarele eforturile secționale la solicitările din valului echivalente cvasi-stactice oblice la abscisa $x=0, L$: forța tăietoare verticală VSF și momentul încovoietor în plan vertical VBM , forța tăietoare HSF și momentul încovoietor în plan orizontal HBM , momentul de torsiune MT la referința centrului de răsucire R (Z_R).

Parametrii $T_m, \theta, \varphi, x_F, y_F, h_w, \mu, \lambda_1$ definesc echilibrul dintre docul plutitor și valul echivalent cvasi-static oblic și sunt folosiți pentru aplicarea presiunii din val pe învelișul docului cu model 3D-FEM extins pe toată lungimea și în ambele borduri (subcapitolul 2.3.2.).

2.3.2. Metode de analiză a rezistenței locale și generale a docurilor plutitoare pe baza modelelor 3D-FEM, la solicitări din valuri echivalente cvasi-stactice oblice

În Figura 2.5. se prezintă schema logică pentru procedura de analiză a rezistenței docurilor plutitoare pe modele 3D-FEM la solicitări din valuri echivalente cvasi-stactice oblice.

1. *Datele docului plutitor și parametrii cazurilor de operare.* Definierea unui caz de operare include: înălțimea valului echivalent cvasi-static oblic, $h_{wmax}, \delta h_w = 0,25m$, unghiul de întâlnire doc-val $\mu = 0 - 180^\circ$ (360°), $\delta\mu = 15^\circ$, ținând cont de simetria corpului docului la planul diametral (PD). Pentru selecția înălțimii maxime a valului la fiecare caz de operare se ține cont de cerințele normelor [1] și de restricțiile impuse de criteriul bordului liber minim.

2. *Modelul 3D-CAD/FEM.* În cazul valului echivalent cvasi-static oblic EDW presiunea pe învelișul exterior nu mai este simetrică în borduri ca în cazul valurilor de întâlnire sau urmărire. Astfel, pentru analizele numerice modelele 3D-FEM trebuie să fie extinse atât pe toată lungimea docului, cât și în ambele borduri, ducând la dublarea numărului de noduri și de elemente finite. Modelele 3D-FEM sunt dezvoltate cu elemente de membrană și placă groasă (Mindlin), (Plate). Masele de la bordul docului sunt modelate ca elemente nestructurale de masă (mase distribuite pe suprafață) sau elemente de masă concentrate, conform cazului de andocare $\Delta, x_G, y_G=0$. Fiecare variantă constructivă a docurilor plutitoare se va analiza pentru cazurile de andocare extreme [1], precum și la condițiile de operare impuse de șantierul naval. Diagrama de mase, corespunzătoare fiecărui caz de andocare, se extrage din modelul 3D-FEM pe baza procedurilor tip utilizator proprii (Anexele 6-9), ce sunt implementate direct în programul Femap/NX Nastran [42].

3. *Pregătirea datelor pentru procedura de echilibrare între docul plutitor și valul cvasi-static oblic.* Pentru fiecare caz de andocare echilibrul relativ între docul plutitor și valul cvasi-static oblic se calculează folosind o procedură neliniară iterativă cu trei parametri (subcapitolul 2.3.1.), modulele 4.a., 4.b., 4.c. (figura 2.5). Pentru modelul 1D vom importa din modelul 3D-FEM ca date de intrare: formele exterioare și interioare, caracteristicile de rigiditate echivalente, precum și diagrama de mase corespunzător cazului de andocare.

4.a., b., c., d. *Procedura de echilibrare a docului în valuri cvasi-stactice oblice.* Pentru fiecare variantă constructivă a docurilor plutitoare și caz de andocare, folosind programul P_QSW [44], [52], realizăm ciclarea după condițiile de operare: înălțimea valului h_w și unghiul de întâlnire doc-val μ . Ulterior, pentru analiza 3D-FEM se vor selecta doar cazurile care satisfac restricțiile de bord liber minim. Pe baza celor trei parametri de echilibru se calculează suprafața liberă a valului echivalent cvasi-static oblic (2.13).

$$\begin{aligned}
 \text{Pressure: } & \max(0.000; (!ro*9.81*(-ZEL(!EL)+!Tm+ \\
 & +(XEL(!EL)-!xf)*!teta*180!/PI+(YEL(!EL)-!yf)*TAN((!phi*180!/PI)))\pm \\
 & \pm!hw/2*COS((XEL(!EL)*360*COS(!niu)/!lambda+ \\
 & +YEL(!EL)*360*SIN(!niu)/!lambda))))
 \end{aligned} \tag{2.14}$$

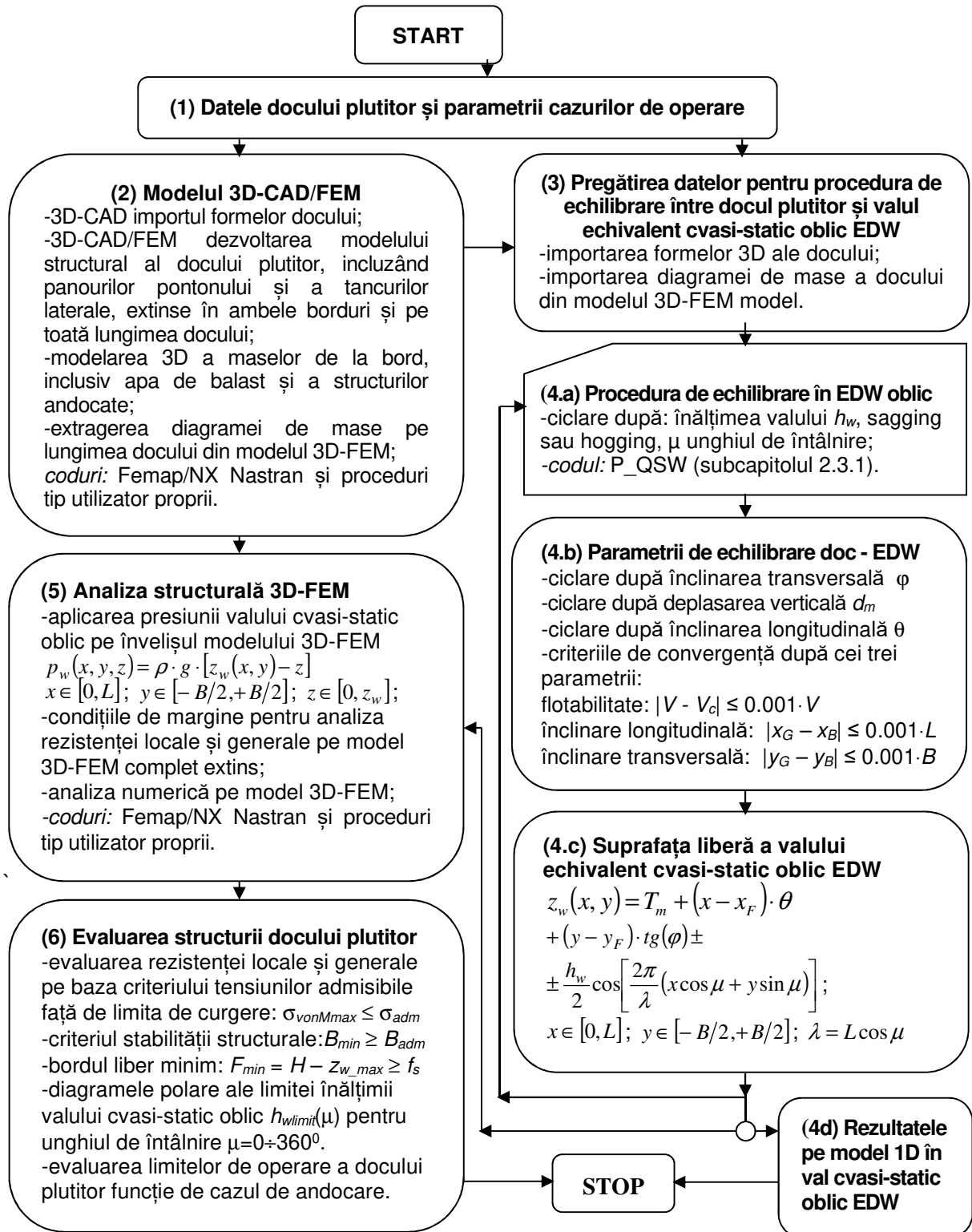


Figura 2.5. Schema logică pentru procedura de analiză structurală pe modele 3D-FEM a docului plutitor la solicitări din valuri echivalente cvasi-stactice oblice [51]

5. Analiza structurală 3D-FEM. Presiunea exterioră din val echivalent cvasi-static oblic, pentru fiecare caz de andocare și operare este aplicată pe învelișul docului folosind o funcție tip utilizator (2.14), implementată în programul Femap/NX Nastran [42]. Deoarece presiunea din val oblic are o distribuție asimetrică în raport cu planul diametral al docului, se impune formularea unor condiții de margine speciale pentru modelul structural 3D-FEM, în patru noduri, unul la prova și trei la pupa (Figura 2.6., Tabelul 2.2.), astfel încât analiza poate

acoperi atât evaluarea rezistenței locale cât și rezistența generală. Studiul numeric include: o analiză statică-liniară, în ipoteza că tensiunile sunt sub limita de curgere a materialului (2.10) și o analiză la stabilitate structurală (primul mod de colaps) (2.11) [27], [28], [44], [53], [54], folosind solvelele din programul Femap/NX Nastran [42].

6. *Evaluarea structurii docului plutitor la analiza 3D-FEM.* Evaluarea rezistenței locale și generale a docurilor plutitoare se realizează pe baza a trei criterii: tensiunile admisibile față de limita de curgere a materialului, σ_{adm} , factorul admisibil al stabilității structurale B_{adm} și bordul liber minim admisibil f_s , conform normelor societăților de clasificare navale [1], [3]. Pe baza celor trei criterii, pentru fiecare variantă constructivă a docurilor plutitoare se obțin diagramele polare ale înălțimii limite a valului cvasi-static oblic, $h_{wlimit}(\mu)|_{încărcare}$, pentru întreaga gamă a unghiului de întâlnire doc-val $\mu=0-360^\circ$, ce permit evaluarea capacității structurale de operare în siguranță a docurilor plutitoare.

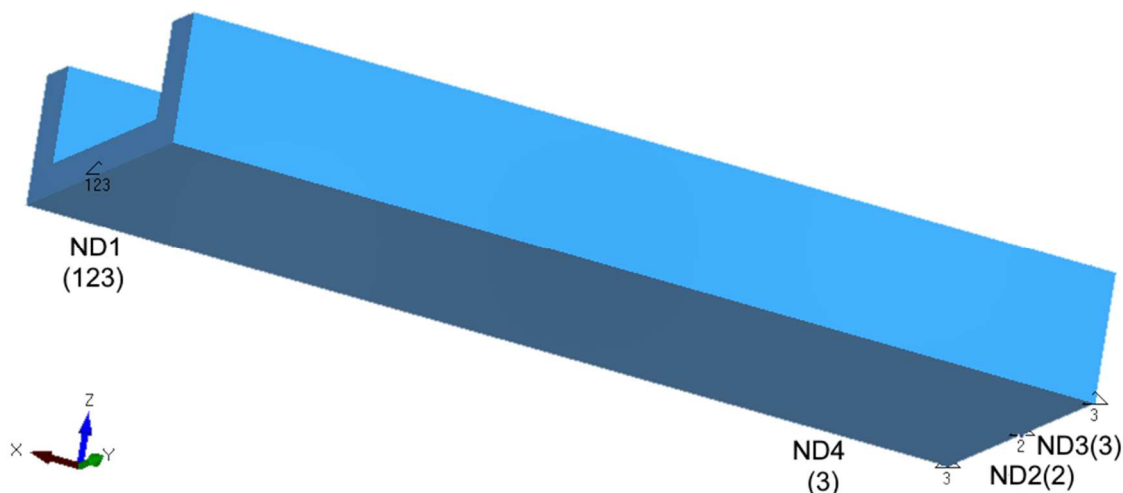


Figura 2.6 Condițiile de margine pentru modelul 3D-FEM, la valuri cvasi-statice oblice

Tabelul 2.2 Condițiile de margine pentru modelul 3D-FEM, la valuri cvasi-statice oblice [44]

Poziție	NOD	x	y	z	U_x (1)	U_y (2)	U_z (3)	R_x (4)	R_y (5)	R_z (6)
Prova	ND_1	L	0	0	x	x	x	-	-	-
Pupa	ND_2	0	0	0	-	x	-	-	-	-
	ND_3	0	B/2	0	-	-	x	-	-	-
	ND_4	0	-B/2	0	-	-	x	-	-	-

În cadrul tezei, procedura prezentată în acest subcapitol este aplicată la studiul capabilității structurale la solicitări din valuri echivalente cvasi-statice oblice, extreme, pentru două docuri de mici dimensiuni ($L=60m$) în capitolul 5.3., folosind modele structurale 3D-FEM și 1D.

2.4. Metode pentru analiza comportării dinamice a docurilor plutitoare în valuri aleatoare

În exploatarea docurilor plutitoare pot apare situații când acestea trebuie relocate între diferite șantiere navale, amplasate pe rute fluviale sau costiere. De regulă operațiunea de relocare a docurilor se realizează fără masă andocată, balastate la un pescaj mediu dictat de asigurarea criteriilor de stabilitate transversală și de bord liber minim. În acest caz de operare, pe lângă evaluarea capacității structurale a docurilor plutitoare (subcapitolele 2.1. - 2.3.), normele societăților de clasificare docuri [1], [3] impun analiza comportării dinamice a docurilor în valuri aleatoare oblice (oscilații), pentru evaluarea criteriilor limită la seakeeping.

Pentru analiza la oscilații a docurilor plutitoare am folosit programul DYN (modul OSC) [30], [45] cu schema logică din figura 2.9, ce are la bază un model hidrodinamic liniar, metoda fâșiiilor [55] și care este validat experimental pe un model redus la scară a unei nave la bazinul de carene (capitolul 3). Analiza răspunsului dinamic al docului plutitor la operațiunea de relocare include următoarele etape principale:

1. *Dezvoltarea modelului numeric.* Datele de intrare pentru analiza oscilațiilor docului sunt preluate de la modelul structural de grindă echivalentă 1D. Gama de viteze pentru analiza dinamică se stabilește funcție de caracteristicile rezistenței la înaintare a convoiului remorcher – doc plutitor, de unde rezultă viteza maximă de remorcare v_{max} , iar viteza minimă este $v_{min}=0$, ce corespunde cazului extrem de avarie a remorcherului. În funcție de traseul selectat pentru relocarea docului am considerat rute pe fluviul Dunărea, unde înălțimea semnificativă maximă a valului este $H_s = 0,6; 1,2; 2$ m. sau rute pe coasta Mării Negre, între Sulina și Mangalia, unde înălțimea semnificativă maximă a valurilor neregulate H_{smax} este selectată conform normelor societăților de clasificare [1],[3] pentru zona costieră RE(50%).

2. *Determinarea funcțiilor amplitudine răspuns RAO.* Pe baza unui model hidrodinamic liniar 2D de curgere potențială, conform metodei fâșiilor, și cu secțiunile transversale parametrizate prin transformata conformă cu trei parametrii, conform metodei Lewis, se calculează termenii de radiație, masele hidrodinamice adiționale și amortizările hidrodinamice pe componentele de oscilație ale docului plutitor [30], [55] funcție de pulsația de întâlnire doc-val ω_e (2.16), fiind constante în timp cu referința la poziția de echilibru a docului în apă calmă. Termenii de difracție se calculează pentru excitația din val regulat cu amplitudine unitară ($a_w=h_w/2=1$) [56]. Pentru fiecare viteză de remorcare unghiul de întâlnire doc-val este în gama $\mu=0-360^0$, $\delta\mu=5^0$, și pulsația valului este în gama $\omega=0-3$ rad/s și $\delta\omega=0,001$ rad/s. Sistemul ecuațiilor de mișcare în domeniul timp la oscilațiile docului sunt liniarizate și pentru excitația din val regulat, cu amplitudine unitară, are expresia:

$$([M] + [A(\omega_e)])\{\dot{Q}(t)\} + [B(\omega_e)]\{\dot{Q}(t)\} + [C(\omega_e)]\{Q(t)\} = \{\bar{F}_w(\omega_e)\}e^{-i\omega_e t}; \{Q(t)\} = \{\bar{Q}(\omega_e)\}e^{-i\omega_e t} \quad (2.15)$$

$$\omega_e = \omega - \omega^2/g \nu \cos \mu \quad (2.16)$$

unde: $[M]$ este matricea maselor proprii a docului; $[A(\omega_e)]$, $[B(\omega_e)]$, $[C(\omega_e)]$ sunt matricele de radiație, inerție și amortizare hidrodinamică, matricea de redresare hidrostatică; $\{\bar{F}_w(\omega_e)\}$ este vectorul amplitudine al forței de difracție din valul regulat de excitație; $\{\bar{Q}(\omega_e)\}$ este vectorul amplitudine al componentelor de mișcare; ω , ω_e sunt pulsația valului și pulsația de întâlnire navă-val; g este accelerația gravitațională.

Soluția stabilizată a sistemului ecuațiilor de mișcare (2.15) se obține direct în domeniul frecvențelor și pentru componenta j de oscilație operatorul amplitudine răspuns RAO $_j$:

$$[D(\omega_e)]\{\bar{Q}(\omega_e)\}e^{-i\omega_e t} = \{\bar{F}_w(\omega_e)\}e^{-i\omega_e t} \rightarrow \{\bar{Q}(\omega_e)\} = [D(\omega_e)]^{-1}\{\bar{F}_w(\omega_e)\}; \quad (2.17)$$

$$[D(\omega_e)] = -\omega_e^2 ([M] + [A(\omega_e)]) - i\omega_e [B(\omega_e)] + [C(\omega_e)]$$

$$\{\bar{Q}(\omega_e)\} = \{Q_1(\omega_e)\} + i\{Q_2(\omega_e)\} \rightarrow q_j(t) = Q_{1j}(\omega_e)\cos\omega_e t + Q_{2j}(\omega_e)\sin\omega_e t \quad j=1,6 \quad (2.18)$$

$$q_j^a(\omega_e) = \sqrt{Q_{1j}^2(\omega_e) + Q_{2j}^2(\omega_e)} \rightarrow RAO_j(\omega_e)_{\nu,\omega,\mu} = \frac{q_j^a(\omega_e)}{a_w} \Big|_{a_w=1} \quad j=1,6$$

Pentru docurile plutitoare răspunsul dinamic este semnificativ pe trei componente de oscilație: verticală ζ ($j=3$), tangaj θ ($j=5$) și ruliu ϕ ($j=4$).

3. *Determinarea răspunsului dinamic statistic pe termen scurt (SSTR).* Pentru modelarea valurilor aleatoare am considerat funcția densitate spectrală de putere $S_w(\omega)$ cu un parametru ITTC [57], [58], [59] (2.45.) pentru ambele areale de navigație la relocarea docurilor, atât pentru zona fluviului Dunărea (Galați - Sulina) cu înălțimea semnificativă maximă a valurilor de $H_{smax} \leq 2$ m, cât și pentru zona costieră a Mării Negre (Sulina - Mangalia, figura 2.7), cu histograma pe termen lung a înălțimii semnificative a valurilor din figura 2.8. [60], [61], [62], având probabilitatea de 99,5% de apariție a valurilor cu înălțimea semnificativă în gama $H_s=0-4$ m.

$$S_w(\omega) = \frac{\alpha}{\omega^5} e^{-\frac{\beta}{\omega^4}}; \alpha = 0,7795; \beta = \frac{3,11}{H_s^2}; S_w^e(\omega_e) = S_w(\omega) \cdot |1 - 2\omega/g \nu \cos \mu|^{-1} \quad (2.19)$$

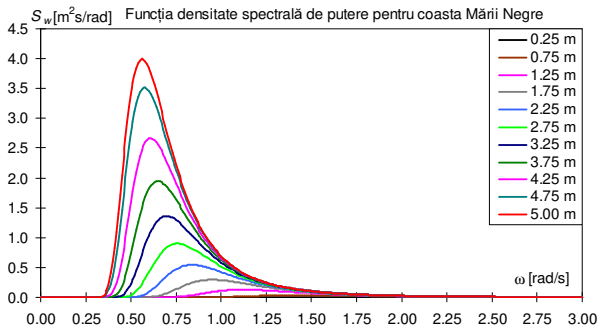


Figura 2.7. S_w Funcția densitate spectrală de putere a valurilor aleatoare pentru zona costieră a Mării Negre (Sulina-Mangalia) [60]

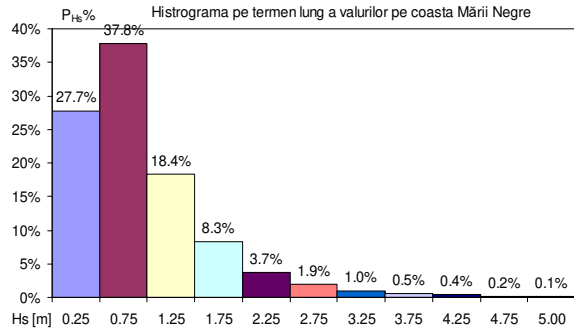


Figura 2.8. $P_{H_s\%}$ Histograma pe termen lung a înălțimii semnificative a valurilor aleatoare pe coasta Mării Negre, sectorul românesc [61]

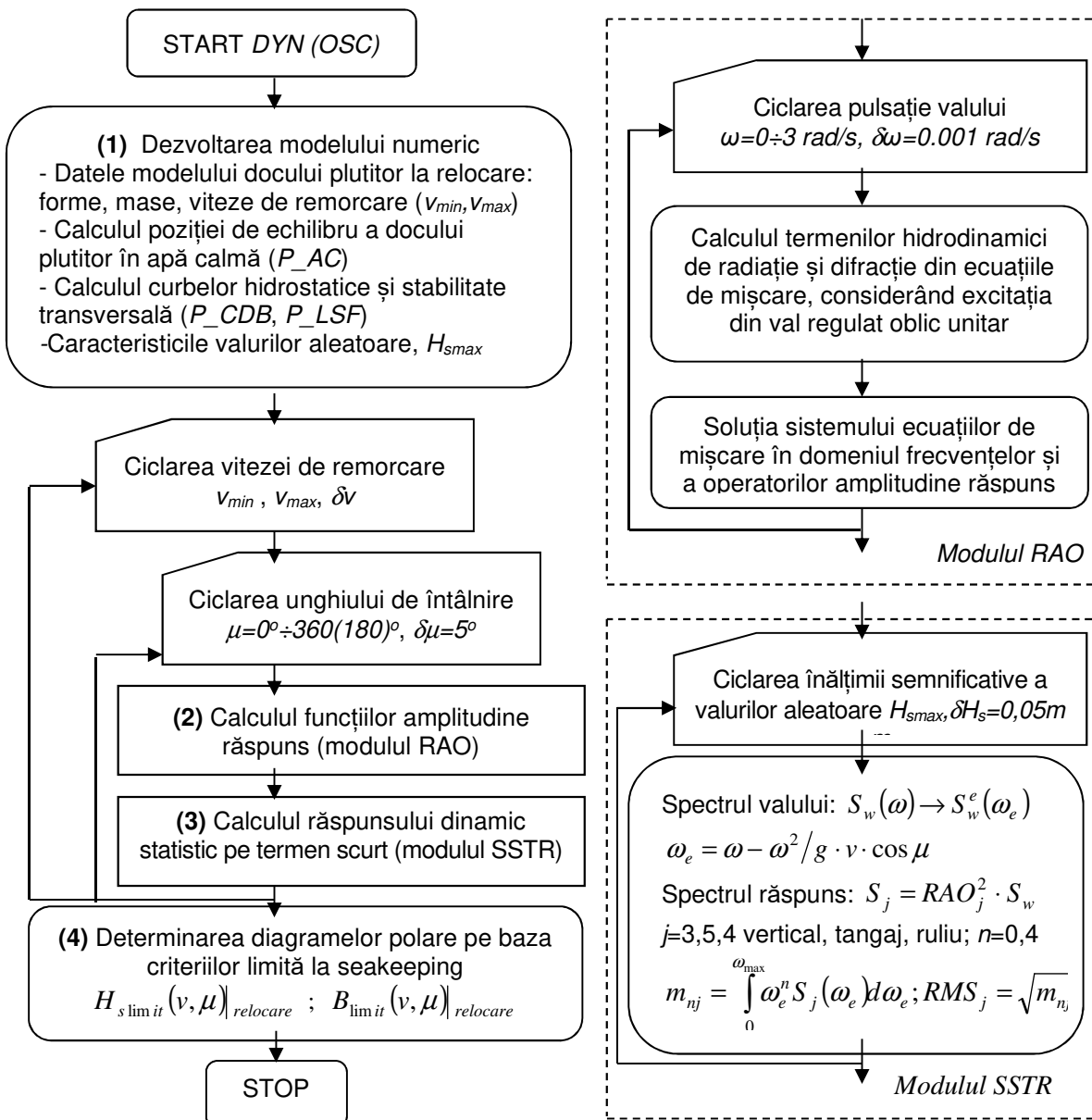


Figura 2.9. Schema logică a programului DYN (modulul OSC) [45], [62], [63] pentru analiza răspunsului dinamic a docurilor plutitoare la operațiunea de relocare

Funcția densitate spectrală de putere a răspunsului dinamic $S_j(\omega_e)$ se obține pe baza funcțiilor operator amplitudine răspuns $RAO_j(\omega_e)$ și spectrul valurilor $S_w^e(\omega_e)$:

$$S_j(\omega_e) = RAO_j^2(\omega_e) \cdot S_w^e(\omega_e) \Big|_{v, \omega, \mu} \quad j=1,6 \quad (2.20)$$

$$m_{0j} = \int_0^{\omega_{\max}} S_j(\omega_e) d\omega_e; \quad m_{4j} = \int_0^{\omega_{\max}} \omega_e^4 S_j(\omega_e) d\omega_e \quad j=1,6 \quad (2.21)$$

$$q_j^{mp} = RMS_j = \sqrt{m_{0j}}; \quad q_{acj}^{mp} = RMS_{acj} = \sqrt{m_{4j}} \quad j=1,6 \quad (2.22)$$

de unde rezultă momentele spectrale m_{0j}, m_{4j} și răspunsul statistic pe termen scurt, amplitudinile cele mai probabile ale mișcărilor $q_j^{mp} = RMS_j$ și accelerațiilor $q_{acj}^{mp} = RMS_{acj}$, folosite la evaluarea criteriilor de seakeeping.

4. *Determinarea diagramelor polare pe baza criteriilor limită la seakeeping.* În ultima etapă, pe baza codului DYN (modulul OSC) [45], figura 2.9. se determină diagramele polare privind siguranța la navigația docurilor plutitoare, exprimate în termenii înălțimii semnificative limită $H_{slimit}(v, \mu)$ și a intensității Beaufort $B_{limit}(v, \mu)$. Diagramele polare se obțin pe baza criteriilor limită la seakeeping (2.23 - 2.25), ținând cont și de criteriul bordului liber minim, fără inundarea punții pontonului docului, fiind formulate ca valorile admisibile cele mai probabile statistic pe termen scurt RMS_{adm} și aplicate pentru: mișcările pe verticală la pupa $RMS_z|_{pp}$, prova $RMS_z|_{pv}$, mijloc $RMS_z|m$, rezultate din combinarea oscilațiilor verticale, tangaj, ruliu la $x=0, L/2, L$ și $y=B/2$; mișcările de tangaj RMS_θ și ruliu RMS_ϕ ; accelerațiile verticale $RMS_{ac\zeta}$, tangaj $RMS_{ac\theta}$ și ruliu $RMS_{ac\phi}$. [64], [65], [66]

Studiul capabilității de operare în condiții de valori aleatoare a remorcherului folosit la relocarea docurilor plutitoare pe rute fluviale sau costiere se realizează folosind tot programul DYN (modul OSC) [144] (figura 2.9).

- mișcările verticale pupa, prova și mijloc

$$\begin{aligned} RMS_{z adm} \Big|_{pp, pv, m} &= D_{pp, pv, m} - f_s - T_{pp, pv, m} \geq RMS_z \Big|_{pp, pv, m} \\ RMS_z \Big|_{pp} &= RMS_\zeta + x_F \cdot RMS_\theta + B/2 \cdot RMS_\phi + H_s/4; \\ RMS_z \Big|_{pv} &= RMS_\zeta + (L - x_F) \cdot RMS_\theta + B/2 \cdot RMS_\phi + H_s/4 \\ RMS_z \Big|_{mid} &= RMS_\zeta + B/2 \cdot RMS_\phi + H_s/4 \end{aligned} \quad (2.23)$$

- mișcările de tangaj și ruliu

$$RMS_{\theta adm} \geq RMS_\theta; \quad RMS_{\phi adm} \geq RMS_\phi \quad (2.24)$$

- accelerațiile verticale, de tangaj și ruliu

$$\begin{aligned} RMS_{ac\zeta adm} &\geq RMS_{ac\zeta}; \quad RMS_{ac\phi adm} = \overline{RMS}_{ac\phi adm} / (B/2) \geq RMS_{ac\phi} \\ RMS_{ac\theta adm} &= \overline{RMS}_{ac\theta adm} / (\min\{x_F, (L - x_F)\}) \geq RMS_{ac\theta} \end{aligned} \quad (2.25)$$

unde: L, B, D, x_F sunt lungimea, lățimea, înălțimea la puntea pontonului și centrul plutirii de echilibru în apă calmă; H_s este înălțimea semnificativă a valului; g este accelerația gravitațională; f_s este valoarea minimă a bordului liber admis.

Tabelul 2.3 Valorile admisibile pentru criteriile la seakeeping [60], [62], [63]

Criteriul	$RMS_{z adm} _{pp, pv, m}$	f_s	$RMS_{\theta adm}$	$RMS_{\varphi adm}$	$RMS_{\zeta adm}$	$\overline{RMS}_{\theta adm}$	$\overline{RMS}_{\varphi adm}$
Dock60_CWT	relațiile (2.23) $L=60m$	0,075m	1°	4°	0,05-g	0,10-g	0,15-g
Dock60_NWT	relațiile (2.23) $L=60m$	0,300m	1°	4°	0,05-g	0,10-g	0,15-g
Dock_VARD_Tulcea	relațiile (2.23) $L=209,2m$	0,300m	2°	4°	0,10-g	0,10-g	0,10-g
TUG 4000C.P.	relațiile (2.23) $L=48m$	0,300m	3°	8°	0,10-g	0,15-g	0,10-g

În cadrul tezei am analizat condițiile de navigație în siguranță pentru trei tipuri de docuri plutitoare Dock60-CWT ($L=60$ m, tancuri superioare continue, capitolul 6), Dock60-NWT ($L=60$ m, tancuri superioare discontinue, capitolul 6), Dock_VARD_Tulcea ($L=209,2$ m, tancuri superioare discontinue, capitolul 8), cu datele tehnice din capitolul 4, precum și pentru remorcherul fluvial-maritim TUG 4000 C.P., capitolul 9, fiind selectate limitele admisibile pentru criteriile la seakeeping conform normelor societăților de clasificare navale internaționale [1], [3], și prezentate în Tabelul 2.3. Clasele de navigație sunt notate pe zona fluvială SW (apă calmă), IN(0.6), IN(1.2), IN(2.0) și costieră C(2.5), C(3.0), C(4.0), funcție de înălțimea valului 0 – 4 m.

CAPITOLUL 3

TESTE EXPERIMENTALE PENTRU VALIDAREA METODEI DE ANALIZĂ A OSCILAȚIILOR STRUCTURILOR NAVALE ÎN VALURI DE ÎNTÂLNIRE, URMĂRIRE ȘI TRANSVERSAL

Pentru analiza numerică a oscilațiilor structurilor navale în valuri regulate și aleatoare, am folosit codul program DYN [45], pe baza modelului hidrodinamic prezentat în *subcapitolul 2.4*. Pentru validarea codului program DYN [45], am dezvoltat studiul experimental în cadrul bazinului de carene al Facultății de Arhitectură Navală din Galați, folosind un model la scara 1:16 al unei nave de cercetare fluvial - maritimă cu forme pline, pusă la dispoziție de Compania SDG – Ship Design Group din Galați [67]. Modelul experimental este realizat din lemn și fibră de sticlă, acesta fiind montat pe căruciorul bazinului de carene și este instrumentat cu traductoare pentru măsurarea deplasării la oscilația pe direcția verticală și unghiurile la oscilațiile de tangaj și ruliu. De asemenea, pe căruciorul bazinului se montează traductorul de val. Testele experimentale se efectuează pentru două viteze de referință și câteva cazuri semnificative ale înălțimii valurilor de întâlnire, de urmărire și transversal. **Rezultatele din acest capitol sunt publicate și prezentate în articolul din referința [68].**

3.1. Descrierea modelului experimental

Pentru evaluarea siguranței în cazul navigației docurilor plutitoare în faza de tranziție între locații (capitolul 6, capitolul 8), vom analiza oscilațiile docurilor în valuri regulate și aleatoare folosind codul program DYN [45], cu modelul hidrodinamic prezentat în *subcapitolul 2.4*.

Pentru validarea codului program DYN [45], am considerat în studiul experimental, o navă de cercetare fluvial - maritimă (SV), proiectată de Compania SDG – Ship Design Group din Galați [67].

Modelul experimental al navei de cercetare este redus la scara 1:16 (figura 3.1.a., b.) și este realizat din lemn și fibră de sticlă, fiind extins doar până la puntea principală. Figura 3.2. prezintă planul de forme pentru nava de cercetare [67]. Tabelul 3.1. prezintă principalele caracteristici ale modelului la scară naturală și redus la scara 1:16.

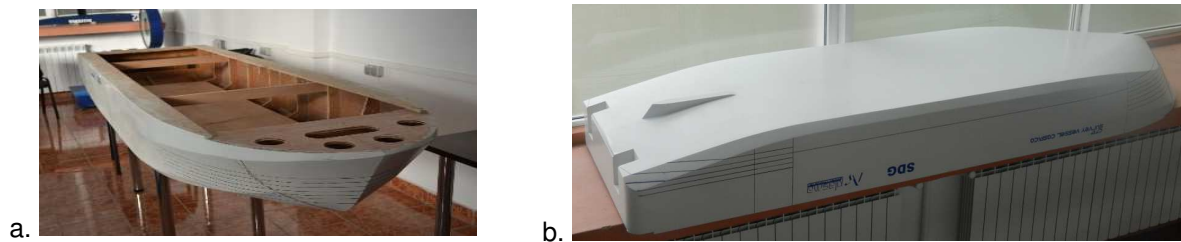


Figura 3.1.a., b. Modelul experimental la scara 1:16 a navei de cercetare fluvial – maritimă (a. – vedere de sus – prova, b. – vedere din pupa cu fundul navei)

Tabelul 3.1. Principalele caracteristici ale navei și ale modelului navei de cercetare [67].

Simbolul și unitatea de măsură	Nava la scară	Modelul navei la scara 1:16	Simbolul și unitatea de măsură	Nava la scară	Modelul navei la scara 1:16
L_{max} [m]	46,4	2,9	C_B		0,791
L_{CWL} [m]	44,151	2,759	C_M		0,991
L_{Pp} [m]	43,2	2,7	C_W		0,941
D_{Pp} [m]	3,25	0,203	N_C		80
B_{WL} [m]	13,0	0,813	d_x [m]	0,6	0,037
T_M [m], T_{Pp} [m], T_{Pv} [m]	1,5	0,094	φ_{max} [°]		26
x_G [m]	20,074	1,255	g [m/s ²]		9,81
y_G [m]	1,992	0,125	ρ [kg/m ³]	1010,0	998,9
GM_T [m]	8,950	0,559	v [km], v [m/s]	10	1,28
Δ [m ³]	680,97	0,166	F_n		0,246

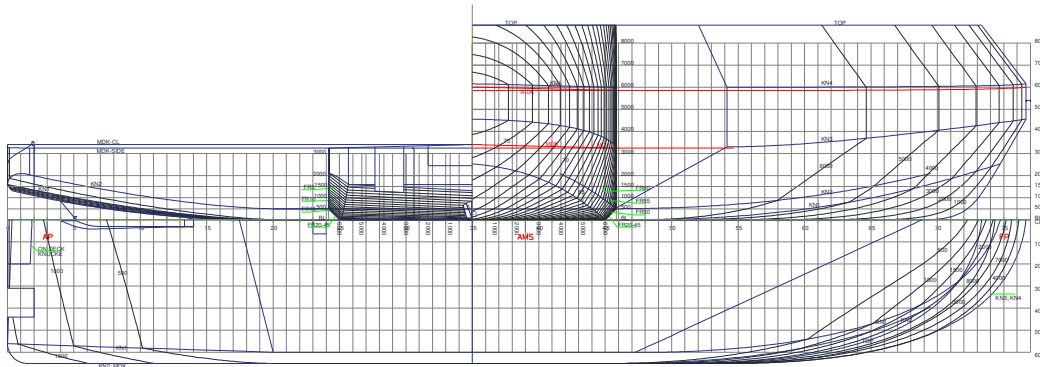


Figura 3.2. Planul de forme al navei de cercetare fluvial - maritime [67]

Testele experimentale sunt elaborate la bazinul de carene al Facultății de Arhitectură Navală, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați (figurile 3.3.a., b., figurile 3.4.a., b., figura 3.5., figura 3.6.), având dimensiunile principale 45x4x3 m și cu viteza maximă de tracțiune de 4 m/s. Bazinul de carene are în dotare un cărucior automatizat pentru remorcarea modelelor experimentale, produs de firma *Cussons Marine Technology Ltd* [69], având un sistem integrat de comandă și măsurare. Sistemul de achiziție este dotat cu traductoare (figurile 3.4.a., b.) pentru măsurarea mișcărilor de oscilații verticale și tangaj, dacă modelul este dispus longitudinal bazinului de carene (figura 3.7.), respectiv pentru măsurarea mișcărilor de oscilații verticale și ruluu, dacă modelul este dispus transversal față de bazinul de carene (figura 3.8.). De asemenea, pe căruciorul bazinului de carene este montat și traductorul de val (figura 3.6.). Preliminar toate traductoarele au fost etalonate.



Figura 3.3.a., b. Căruciorul de la bazinul de carene, model *Cussons Marine Technology Ltd.* [69]



Figura 3.4.a, b. Traductoarele pentru măsurarea deplasărilor la oscilațiile verticale, a unghiului la oscilațiile de tangaj și ruluu



Figura 3.5. Generatorul de valuri de la bazinul de carene

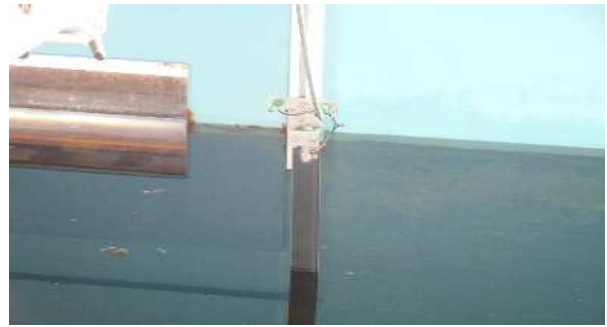


Figura 3.6. Traductorul de măsurare a elongației valului

Pentru analiza experimentală s-a considerat în toate cazurile un timp de achiziție de $T_s = 30$ s, cu un pas de timp de eșantionare de $\delta t = 0,1$ s, ce corespunde la frecvența de eșantionare de $f_{\text{eșantionare}} = 10$ Hz. S-a ținut cont că, răspunsul dinamic înregistrat, are frecvența maximă de 2 Hz. Oscilațiile modelului experimental sunt produse de generatorul mecanic de la bazinul de carene (*figura 3.5.*), cu valuri regulate de întâlnire, urmărire și transversal, având domeniul de frecvență $f = 0,4 - 1,1$ Hz. Analiza experimentală a oscilațiilor modelului redus la scară este realizat cu respectarea procedurilor internaționale ITTC [58], [59].



Figura 3.7. Modelul experimental dispus longitudinal bazinului de carene



Figura 3.8. Modelul experimental dispus transversal bazinului de carene

3.2. Analiza experimentală a oscilațiilor navei de cercetare fluvial - maritime

Programul analizei experimentale a oscilațiilor navei de cercetare pe modelul redus la scară 1:16, urmărește determinarea funcțiilor operator de amplitudine răspuns RAO în valuri regulate (definite în *subcapitolul 2.4., relația 2.18.*).

În tabelul 3.2. se prezintă programul de teste experimentale pentru modelul navei de studiu. Am considerat patru cazuri principale funcție de direcția de propagare a valului:

- Val de întâlnire $\mu = 180^\circ$ și viteza modelului de $v = 1,28$ m/s, $F_n = 0,246$;
- Val de întâlnire $\mu = 180^\circ$ și modelul staționar la mijlocul bazinului, $v = 0$ m/s, $F_n = 0$, dispus longitudinal față de axa bazinului de carene și orientat cu prova către generatorul de val;

- Val de urmărire $\mu = 0^\circ$ și modelul staționar la mijlocul bazinului, $v = 0$ m/s, $F_n = 0$, dispus longitudinal față de axa bazinului de carene și orientat cu pupa către generatorul de val;
- Val transversal $\mu = 90^\circ$ și modelul staționar la mijlocul bazinului, $v = 0$ m/s, $F_n = 0$, dispus transversal față de axa bazinului de carene.

Frecvența valurilor generate la bazinul de carene sunt în gama $f = 0,427 - 1,086$ Hz, rezultând în cazul modelului cu viteza de $v = 1,28$ m/s frecvența de întâlnire navă – val $f_e = 0,568 - 1,672$ Hz.

Tableul 3.2. Programul de teste experimentale pentru modelul navei de cercetare și valorile amplitudinilor din analiză spectrală FFT

Caz	μ [°]	v [m/s]	F_n	Cazuri de frecvență	f [Hz]	f_e [Hz]	A_{SW} [mm]	$A_{S\zeta}$ [mm]	$A_{S\theta}$ [°]	$A_{S\phi}$ [°]	
1	180	Val de întâlnire	1,28	0,246	T1	0,432	0,586	6,237	4,493	0,174	0,000
					T2	0,534	0,769	6,546	4,430	0,269	0,000
					T3	0,634	0,964	9,506	4,119	0,383	0,000
					T4 Fig. 3.10.a. – h.	0,743	1,196	9,623	1,388	0,217	0,000
					T5	0,849	1,440	12,302	0,211	0,083	0,000
					T6	0,943	1,672	10,215	0,491	0,010	0,000
2	180	Val de întâlnire	0	0	T1	0,427	0,27	7,209	4,951	0,248	0,000
					T2	0,537	0,537	6,371	3,664	0,316	0,000
					T3	0,623	0,623	9,295	3,724	0,529	0,000
					T4 Fig. 3.11.a. – h.	0,732	0,732	14,655	2,307	0,714	0,000
					T5	0,830	0,830	15,046	2,197	0,398	0,000
					T6	0,928	0,928	10,486	1,679	0,018	0,000
3	0	Val de urmărire	0	0	T1	0,427	0,427	6,924	4,740	0,232	0,000
					T2	0,525	0,525	6,674	3,981	0,297	0,000
					T3	0,647	0,647	9,081	3,014	0,443	0,000
					T4	0,745	0,745	8,279	0,977	0,281	0,000
					T5	0,830	0,830	14,647	1,097	0,236	0,000
					T6 Fig. 3.12.a. – h.	0,928	0,928	11,527	1,005	0,059	0,000
4	90	Val transversal	0	0	T1	0,427	0,427	7,346	5,796	0,000	0,275
					T2	0,525	0,525	8,810	6,905	0,000	0,502
					T3	0,623	0,623	7,496	5,489	0,000	0,656
					T4	0,732	0,732	12,721	9,162	0,000	1,393
					T5	0,830	0,830	14,041	8,876	0,000	1,927
					T6	0,964	0,964	14,439	6,011	0,000	2,541
					T7	1,025	1,025	16,853	5,369	0,000	3,244
					T8 Fig. 3.13.a. – h.	1,086	1,086	16,438	3,855	0,000	2,986



Figura 3.10.a. Imagine cadru înregistrată la proba $v=1,28$ m/s, $T4$, $\mu=180^\circ$, vedere din prova



Figura 3.10.b. Imagine cadru înregistrată la proba $v=1,28$ m/s, $T4$, $\mu=180^\circ$, vedere din pupa

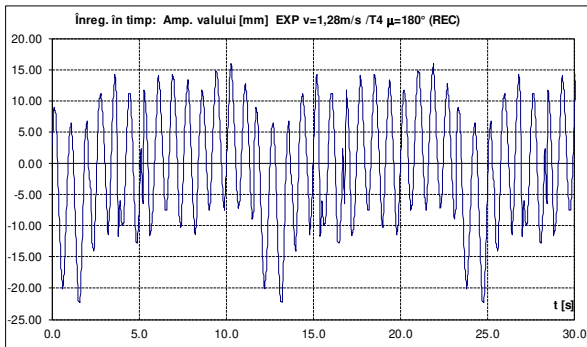


Figura 3.10.c. Înregistrarea elongației valului [mm], $v=1,28$ m/s, $T4$, $\mu=180^\circ$

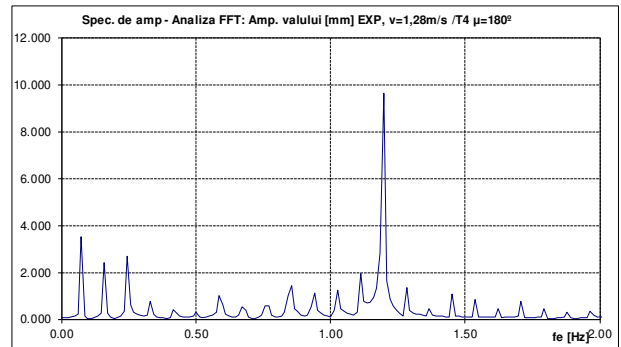


Figura 3.10.d. Spectrul de amplitudine (FFT) elongația valului [mm], $v=1,28$ m/s, $T4$, $\mu=180^\circ$

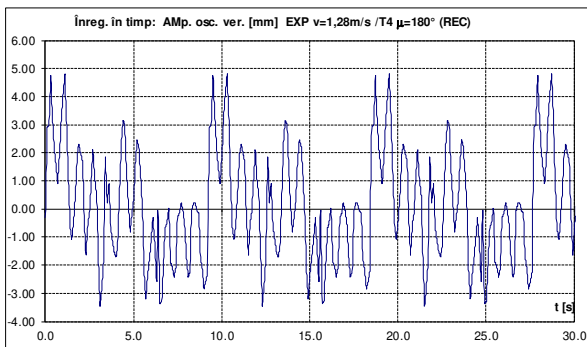


Figura 3.10.e. Înregistrarea deplasării verticale [mm], $v=1,28$ m/s, $T4$, $\mu=180^\circ$

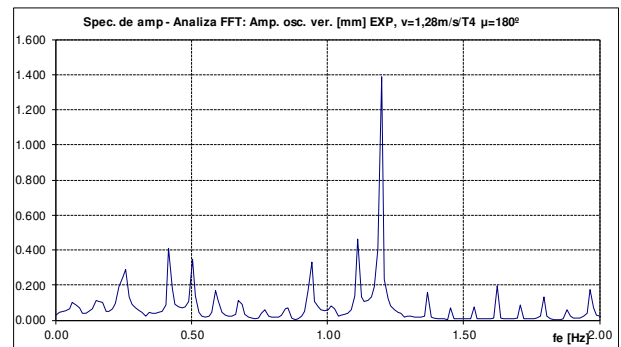


Figura 3.10.f. Spectrul de amplitudine (FFT) deplasare verticală [mm], $v=1,28$ m/s, $T4$, $\mu=180^\circ$

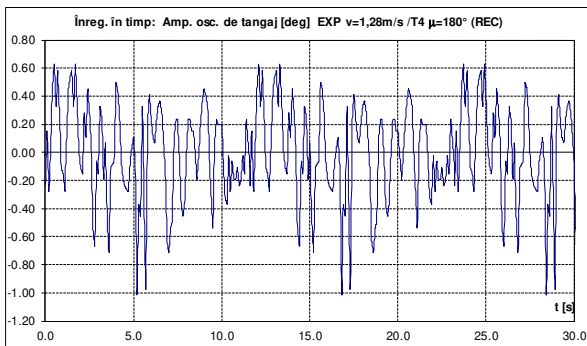


Figura 3.10.g. Înregistrarea unghiului de tangaj [°], $v=1,28$ m/s, $T4$, $\mu=180^\circ$

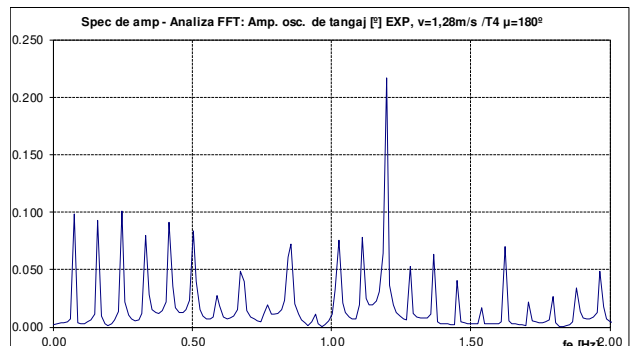


Figura 3.10.h. Spectrul de amplitudine (FFT) unghi de tangaj [°], $v=1,28$ m/s, $T4$, $\mu=180^\circ$

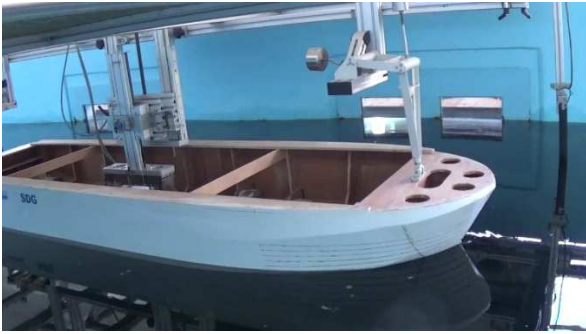


Figura 3.11.a. Imagine cadru înregistrată la proba $v=0$ m/s, $T4$, $\mu=180^\circ$, vedere din prova



Figura 3.11.b. Imagine cadru înregistrată la proba $v=0$ m/s, $T4$, $\mu=180^\circ$, vedere din pupa

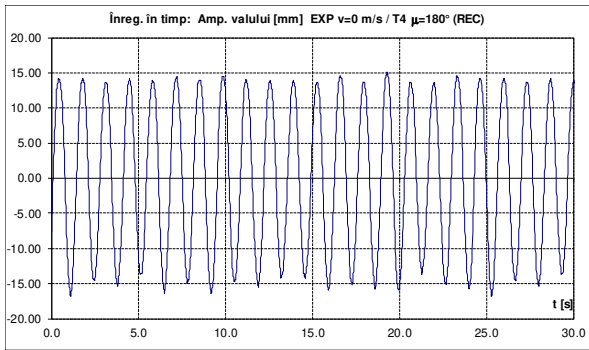


Figura 3.11.c. Înregistrarea elongației valului [mm], $v=0$ m/s, $T4$, $\mu=180^\circ$

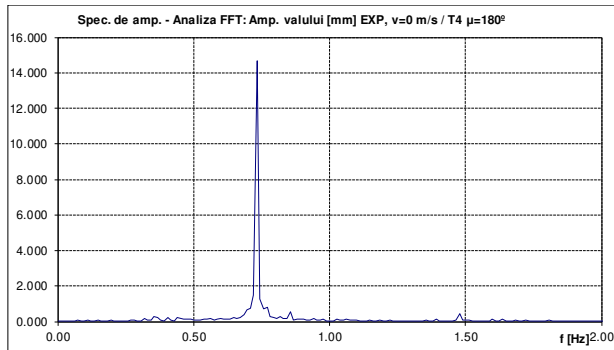


Figura 3.11.d. Spectrul de amplitudine (FFT) elongația valului [mm], $v=0$ m/s, $T4$, $\mu=180^\circ$

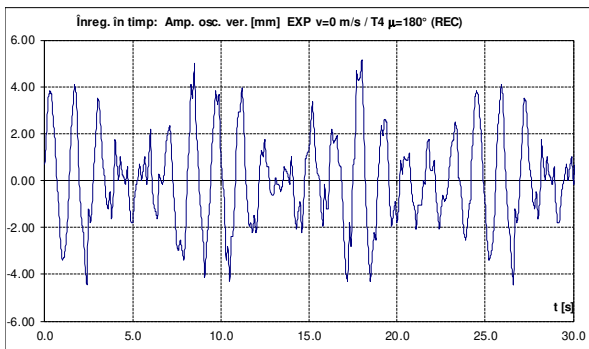


Figura 3.11.e. Înregistrarea deplasării verticale [mm], $v=0$ m/s, $T4$, $\mu=180^\circ$

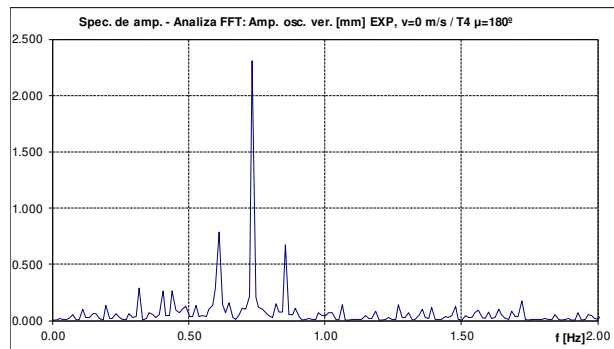


Figura 3.11.f. Spectrul de amplitudine (FFT) deplasare verticală [mm], $v=0$ m/s, $T4$, $\mu=180^\circ$

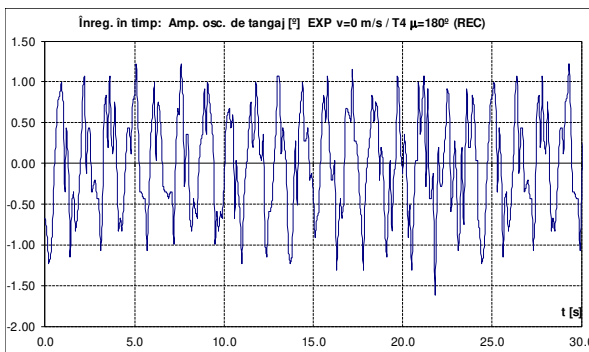


Figura 3.11.g. Înregistrarea unghiului de tangaj [°], $v=0$ m/s, $T4$, $\mu=180^\circ$

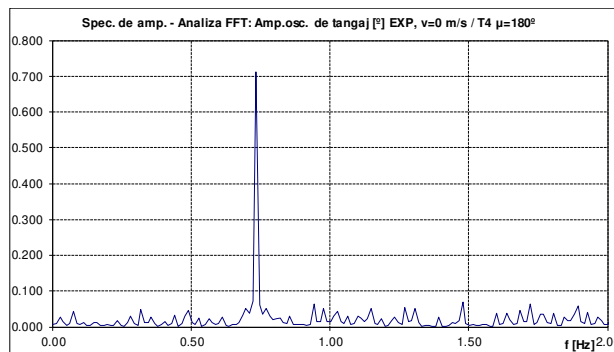


Figura 3.11.h. Spectrul de amplitudine (FFT) unghi de tangaj [°], $v=0$ m/s, $T4$, $\mu=180^\circ$



Figura 3.12.a. Imagine cadru înregistrată la proba $v=0$ m/s, T_6 , $\mu=0^\circ$, vedere din pupa



Figura 3.12.b. Imagine cadru înregistrată la proba $v=0$ m/s, T_6 , $\mu=0^\circ$, vedere din prova

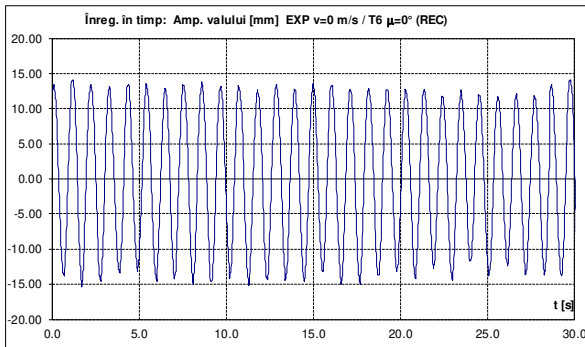


Figura 3.12.c. Înregistrarea elongației valului [mm], $v=0$ m/s, T_6 , $\mu=0^\circ$

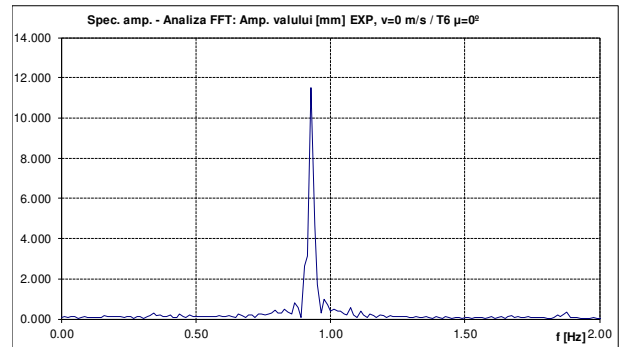


Figura 3.12.d. Spectrul de amplitudine (FFT) elongația valului [mm], $v=0$ m/s, T_6 , $\mu=0^\circ$

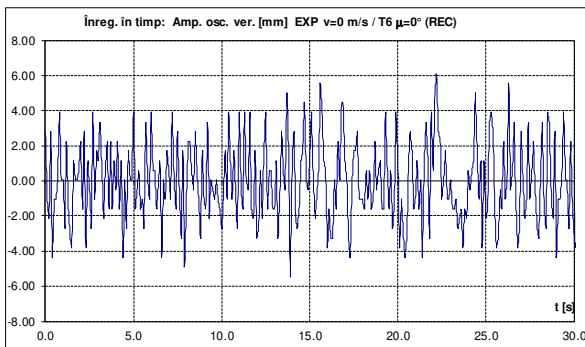


Figura 3.12.e. Înregistrarea deplasării verticale [mm], $v=0$ m/s, T_6 , $\mu=0^\circ$

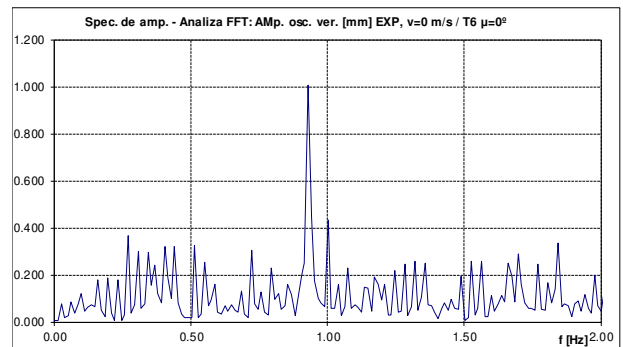


Figura 3.12.f. Spectrul de amplitudine (FFT) deplasare verticală [mm], $v=0$ m/s, T_6 , $\mu=0^\circ$

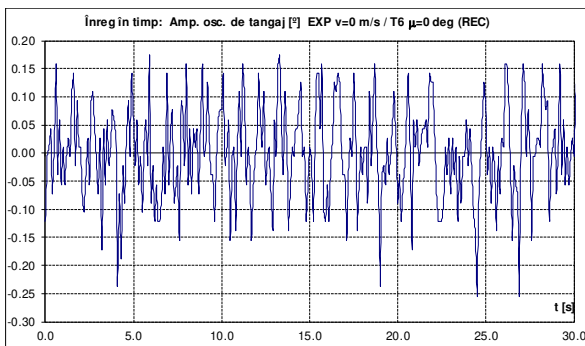


Figura 3.12.g. Înregistrarea unghiului de tangaj [°], $v=0$ m/s, T_6 , $\mu=0^\circ$

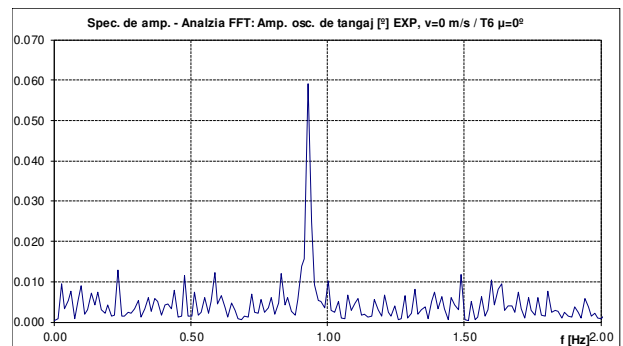


Figura 3.12.h. Spectrul de amplitudine (FFT) unghi de tangaj [°], $v=0$ m/s, T_6 , $\mu=0^\circ$



Figura 3.13.a. Imagine cadru înregistrată la proba $v=0$ m/s, $T8$, $\mu=90^\circ$, vedere din tribord



Figura 3.13.b. Imagine cadru înregistrată la proba $v=0$ m/s, $T8$, $\mu=90^\circ$, vedere din pupa

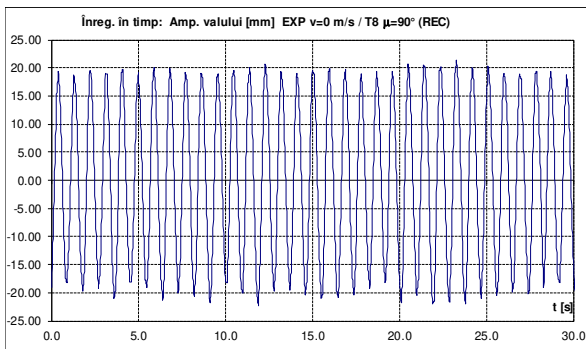


Figura 3.13.c. Înregistrarea elongației valului [mm], $v=0$ m/s, $T8$, $\mu=90^\circ$

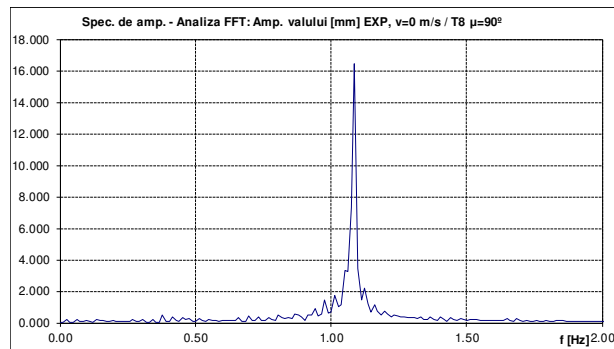


Figura 3.13.d. Spectrul de amplitudine (FFT) elongația valului [mm], $v=0$ m/s, $T8$, $\mu=90^\circ$

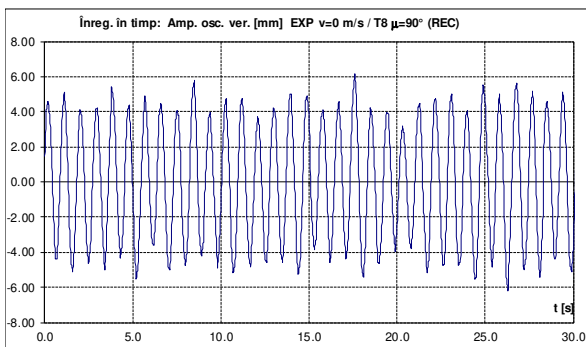


Figura 3.13.e. Înregistrarea deplasării verticale [mm], $v=0$ m/s, $T8$, $\mu=90^\circ$

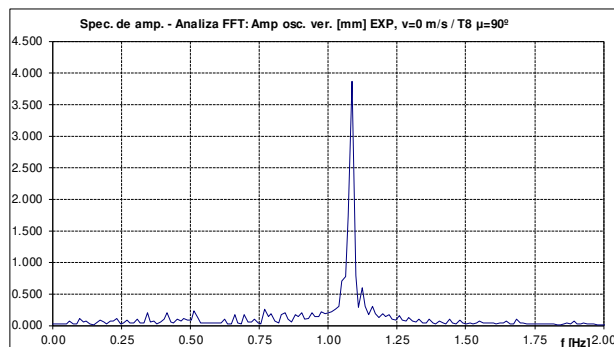


Figura 3.13.f. Spectrul de amplitudine (FFT) deplasare verticală [mm], $v=0$ m/s, $T8$, $\mu=90^\circ$

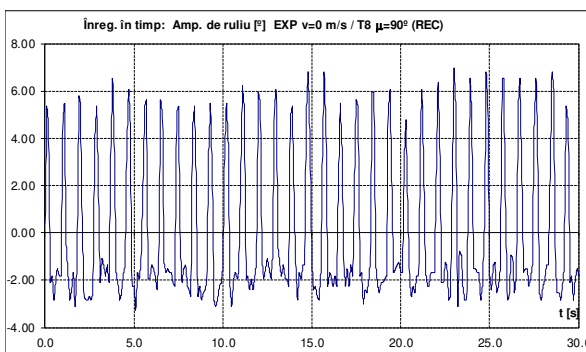


Figura 3.13.g. Înregistrarea unghiului de rulu [°], $v=0$ m/s, $T8$, $\mu=90^\circ$

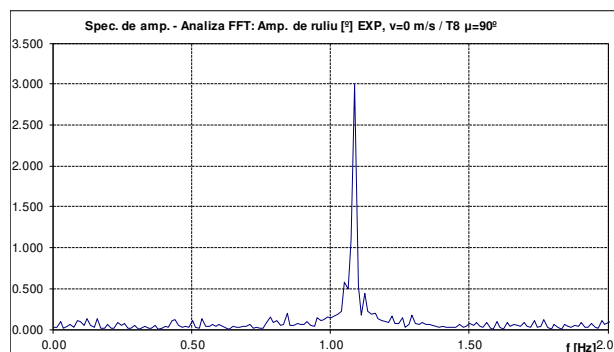


Figura 3.13.h. Spectrul de amplitudine (FFT) unghi de rulu [°], $v=0$ m/s, $T8$, $\mu=90^\circ$

Pentru înregistrările în domeniul timp a elongației valului și a răspunsului dinamic la oscilații (deplasare verticală, unghiul de tangaj și unghiul de ruliu) utilizând Transformarea Fourier Rapidă - FFT [58], se obțin spectrele de amplitudine. Pentru a asigura acuratețea procedurii FFT, toate înregistrările în domeniul timp inițiale sunt prelucrate numeric, astfel încât pasul de eșantionare este adus la valoarea de $\delta t = 0,01$ s.

Figurile 3.10. – 13.a., b. prezintă selectat cadre din filmele realizate în timpul experimentelor. Figurile 3.10. – 13.c., d., e., f., g., h. prezintă înregistrările în domeniul timp și spectrele de amplitudine ale valului A_{SW} [mm] și la oscilații: deplasare verticală $A_{S\zeta}$ [mm], unghiuri de tangaj $A_{S\theta}$ [°] și ruliu $A_{S\phi}$ [°] pentru cazurile experimentale selectate (tabelul 3.2.).

Pe baza spectrelor de amplitudine rezultate din prelucrarea FFT a înregistrărilor în domeniul timp pentru toate seturile de teste (tabelul 3.2.), în figurile 3.14. – 17.a., b. și tabelele 3.3. – 6., se prezintă operatorii amplitudine răspuns RAO experimentali pentru oscilațiile verticale, unghiurile de tangaj și ruliu, calculate cu relația:

$$RAO_q^{\text{exp}} = \frac{A_{S_q}^{\text{exp}}}{A_{S_w}^{\text{exp}}} \Big|_{freq}; q \in \{\zeta, \theta, \phi\}; freq \in \{f; f_e\}; f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (3.1.)$$

$$f_e = f - \frac{2\pi}{9,81} \cdot f^2 \cdot v \cdot \cos(\mu) \quad (3.2.)$$

Efectele secundare asupra componentelor valurilor (figurile 3.10. – 13.d.) datorate reflexiei pe frontiera cuvei bazinului de carene, precum și valului propriu al corpului navei, sunt neglijate, astfel încât din spectrele amplitudine considerăm la calculul funcțiilor operator amplitudine răspuns RAO doar componenta principală corespunzătoare valului de excitație.

Pentru modelul navei de cercetare la scara 1:16 (tabelul 3.1., figura 3.1. a., b.), folosind codul program DYN [45], cu modelul hidrodinamic prezentat în subcapitolul 2.4., se obțin operatorii răspuns numeric RAO_q^{num} , $q \in \{\zeta, \theta, \phi\}$ (figurile 3.14. – 17. a., b.) pentru cele patru seturi de teste (tabelul 3.2.). La analiza numerică am considerat ca sursă de excitație valul regulat cu amplitudinea unitară $a_w = 1$ mm și pulsația $\omega = 0 - 9$ rad/s ($f_{max} = 1,432$ Hz), $\delta\omega = 0,01$ rad/s.

Tabelele 3.3. – 6. prezintă și diferențele medii dintre operatorii amplitudine răspuns la oscilații verticale, unghiul de tangaj și ruliu, obținuți experimental și numeric, pentru modelul redus la scara 1:16 al navei de cercetare fluvial - maritime, definite ca:

$$\delta_q = \left[1 - \frac{1}{n_r} \sum_{j=1}^n \left(\frac{RAO_q^{\text{exp}}}{RAO_q^{\text{num}}} \right)_j \right]; q \in \{\zeta, \theta, \phi\} \quad (3.3.)$$

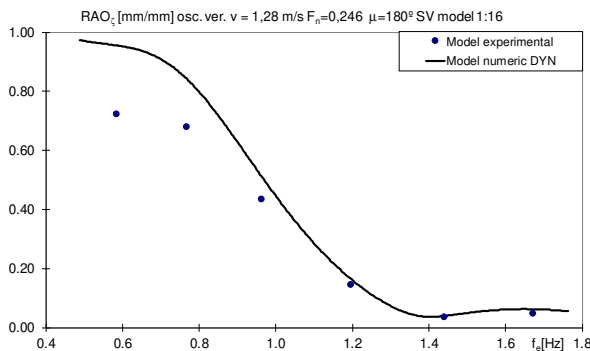


Figura 3.14.a. RAO_{ζ} oscilații verticale
 [mm/mm],
 SV 1:16, $\mu=180^\circ$, $v=1,28$ m/s

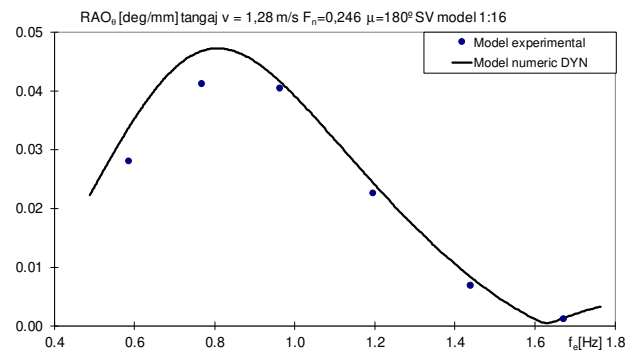


Figura 3.14.b. RAO_{θ} oscilații de tangaj [°/mm],
 SV 1:16, $\mu=180^\circ$, $v=1,28$ m/s

Tabelul 3.3. Funcțiile operator amplitudine răspuns RAO în cazul testelor experimentale și numeric pentru $v=1,28$ m/s, $\mu=180^0$

Caz	f [Hz]	f_e [Hz]	RAO_{ζ} [mm/mm]		RAO_{θ} [°/mm]	
			experiment	numeric	experiment	numeric
T1	0,432	0,586	0,720	0,954	0,028	0,034
T2	0,534	0,769	0,677	0,840	0,041	0,047
T3	0,634	0,964	0,433	0,511	0,040	0,042
T4	0,743	1,196	0,144	0,165	0,023	0,024
T5	0,849	1,440	0,034	0,040	0,007	0,008
T6	0,943	1,672	0,048	0,063	0,001	0,001
			$\delta\zeta = 18,17\%$		$\delta\theta = 13,28\%$	

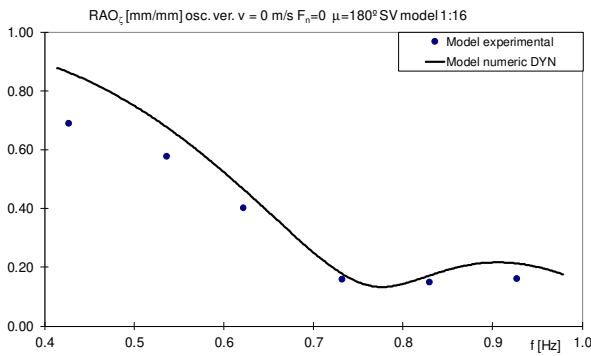


Figura 3.15.a. RAO_{ζ} oscilații verticale [mm/mm], SV 1:16, $\mu=180^0$, $v=0$ m/s.

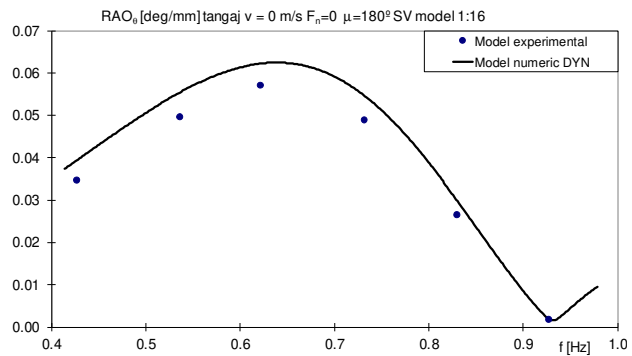


Figura 3.15.b. RAO_{θ} oscilații de tangaj [°/mm], SV 1:16, $\mu=180^0$, $v=0$ m/s

Tabelul 3.4. Funcțiile operator amplitudine răspuns RAO în cazul testelor experimentale și numeric pentru $v=0$ m/s, $\mu=180^0$

Caz	f [Hz]	f_e [Hz]	RAO_{ζ} [mm/mm]		RAO_{θ} [°/mm]	
			experiment	numeric	experiment	numeric
T1	0,427	0,427	0,687	0,862	0,034	0,039
T2	0,537	0,537	0,575	0,675	0,050	0,055
T3	0,623	0,623	0,401	0,463	0,057	0,062
T4	0,732	0,732	0,157	0,177	0,049	0,054
T5	0,830	0,830	0,146	0,173	0,026	0,030
T6	0,928	0,928	0,160	0,213	0,002	0,002
			$\delta\zeta = 16,67\%$		$\delta\theta = 11,11\%$	

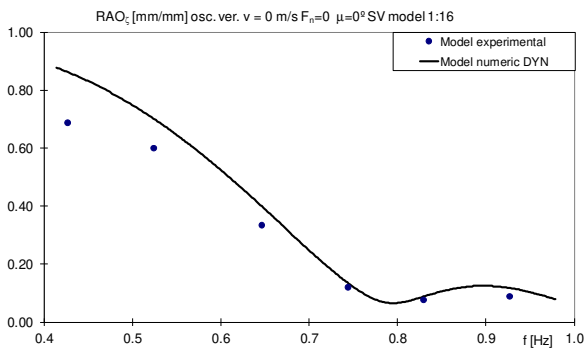


Figura 3.16.a. RAO_{ζ} oscilații verticale [mm/mm], SV 1:16, $\mu=0^0$, $v=0$ m/s.

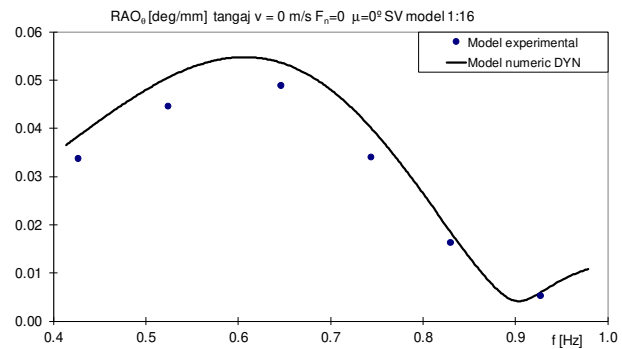


Figura 3.16.b. RAO_{θ} oscilații de tangaj [°/mm], SV 1:16, $\mu=0^0$, $v=0$ m/s

Tabel 3.5. Funcțiile operator amplitudine răspuns RAO în cazul testelor experimentale și numeric pentru $v=0\text{m/s}$, $\mu=0^\circ$

Caz	f [Hz]	f_e [Hz]	RAO_ζ [mm/mm]		RAO_θ [°/mm]	
			experiment	numeric	experiment	numeric
T1	0,427	0,427	0,685	0,861	0,034	0,038
T2	0,525	0,525	0,597	0,700	0,044	0,051
T3	0,647	0,647	0,332	0,397	0,049	0,054
T4	0,745	0,745	0,118	0,134	0,034	0,040
T5	0,830	0,830	0,075	0,089	0,016	0,018
T6	0,928	0,928	0,087	0,117	0,005	0,006
			$\delta\zeta = 17,48\%$		$\delta\theta = 12,57\%$	

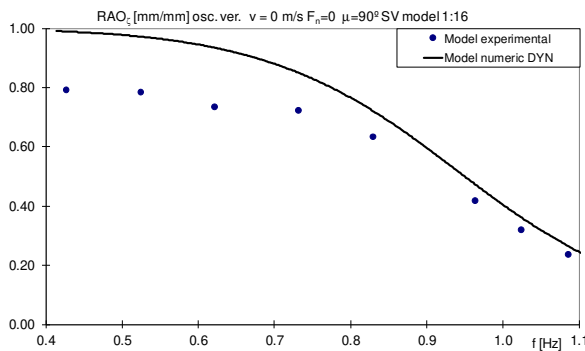


Figura 3.17.a. RAO_ζ oscilații verticale [mm/mm], SV 1:16, $\mu=90^\circ$, $v=0$ m/s.

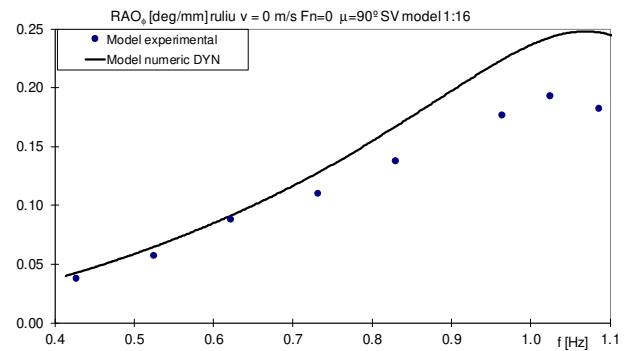


Figura 3.17.b. RAO_ϕ oscilații de ruluu [°/mm], SV 1:16, $\mu=90^\circ$, $v=0$ m/s.

Tabelul 3.6. Funcțiile operator amplitudine răspuns RAO în cazul testelor experimentale și numeric pentru $v=0\text{m/s}$, $\mu=90^\circ$

Caz	f [Hz]	f_e [Hz]	RAO_ζ [mm/mm]		RAO_ϕ [°/mm]	
			experiment	numeric	experiment	numeric
T1	0,427	0,427	0,789	0,990	0,037	0,043
T2	0,525	0,525	0,784	0,972	0,057	0,065
T3	0,623	0,623	0,732	0,934	0,088	0,091
T4	0,732	0,732	0,720	0,850	0,110	0,128
T5	0,830	0,830	0,632	0,720	0,137	0,167
T6	0,964	0,964	0,416	0,471	0,176	0,224
T7	1,025	1,025	0,319	0,359	0,193	0,243
T8	1,086	1,086	0,235	0,263	0,182	0,247
			$\delta\zeta = 15,34\%$		$\delta\phi = 16,15\%$	

3.3. Concluziile analizei pe model experimental

Rezultatele studiului din acest capitol conduc la următoarele concluzii privind validarea codului program DYN [45] și a modelului hidrodinamic aferent (*subcapitolul 2.4.*).

Comparând valorile funcțiilor operator amplitudine RAO (tabelele 3.3. – 6.) obținute pentru cele patru seturi de teste (*tabelul 3.2.*), se obțin diferențe între rezultatele numerice și cele experimentale, având următoarele cauze principale:

- modelul hidrodinamic numeric se consideră liniar în formularea curgerii liniare potențiale 2D cu fluid ideal, corespunzător teoriei fâșiiilor (*subcapitolul 2.4.*) cu neglijarea circulației

între două secțiuni transversale consecutive, în schimb la natură curgerea este vâscoasă 3D ce induce o amortizare hidrodinamică mai pronunțată;

- modelul numeric hidrodinamic liniar nu include componentele din interferență dintre valul de excitație extern și valul propriu generat de radiația la mișcările corpului navei, precum și alte neliniarități hidrodinamice, în schimb la natură componentele secundare ale răspunsului dinamic sunt înregistrate experimental (*figurile 3.10. – 13.d., f., h.*) și care conduc la un transfer de energie de la componenta principală a spectrului amplitudine la termenii secundari;
- componentele spectrale secundare (*figurile 3.10. – 13.d., f., h.*), generate de reflexia pe frontiera bazinului de carene (*figura 3.7., figura 3.8.*), nu sunt incluse în modelul numeric hidrodinamic liniar, astfel încât rezultă și din această cauză diferențe între cele două modelări, numerice și experimentale.

Diferențele maxime între modelul numeric și cel experimental înregistrate pentru funcțiile operator amplitudine răspuns *RAO* sunt: la oscilații verticale 15,34 – 18,17% cu media 16,79%, la oscilații de ruluu 16,15% și cea mai mică diferență la oscilațiile de tangaj 11,11 – 13,28% cu o medie de 12,32%.

Numai cazul valului de întâlnire, $\mu=180^\circ$, a fost testat și cu viteză de înaintare $v=1,28$ m/s ($F_n = 0,246$), atunci când se obțin și diferențele maxime între cele două modele pentru funcțiile operator amplitudine răspuns, la oscilația verticală 18,17% și la oscilația de tangaj 13,28%.

În toate cazurile testate (*figurile 3.14. – 17.a., b.*) funcțiile operator amplitudine răspuns *RAO* numerice sunt mai mari decât cele experimentale, astfel încât putem spune că modelul numeric cu formularea hidrodinamică liniară prin teoria fâșiilor conduce la o supraevaluare a răspunsului dinamic a structurii plutitoare, reprezentând o abordare conservativă pentru estimarea siguranței navei din criteriile la oscilațiile admisibile (seakeeping).

CAPITOLUL 4

DEFINIREA CARACTERISTICILOR DOCURILOR PLUTITOARE CONSIDERATE ÎN STUDIUL SOLICITĂRILOR EXTREME

Pentru studiile dezvoltate în cadrul tezei s-au considerat trei variante constructive de docuri plutitoare, pentru a analiza și compara diferitele moduri de comportare ale structurii din punct de vedere al criteriilor de rezistență structurală și bord liber minim la solicitări extreme din valuri echivalente cvasi - statice (capitolele 5 și 7), precum și din criteriile limită la oscilații în valuri aleatoare extreme și stabilitate transversală (capitolele 6 și 8), cu ajutorul modelelor teoretice prezentate în capitolul 2.

Acest capitol prezintă principalele caracteristici tehnice ale docurilor plutitoare, care constituie în capitole următoare, studiul de caz. Sunt prezentate caracteristicile structurii preliminară a două tipuri constructive de docuri cu o lungime totală de 60 m. Tot în acest capitol este prezentat și docul plutitor de mari dimensiuni, folosit de către Șantierul Naval VARD din Tulcea. Pentru toate cele trei variante constructive de docuri, se vor prezenta cazurile de operare și criteriile necesare pentru analizele docurilor plutitoare de mici dimensiuni în două variante constructive, cu tancuri laterale superioare continue Dock60_CWT și cu tancuri laterale superioare discontinue Dock60_NWT, precum și pentru docul plutitor aflat în operare la Șantierul Naval VARD din Tulcea Dock_VARD_Tulcea [9]. De asemenea, sunt prezentate și modelele structurale 3D-FEM realizate pentru cele trei variante constructive ale docurilor plutitoare.

4.1. Descrierea docului plutitor de mici dimensiuni cu două versiuni constructive, Dock60_NWT și Dock60_CWT.

Definirea cazurilor de operare și realizarea modelului structural 3D-FEM.

Conform normelor societăților de clasificare navală (capitolul 1) [1], [3], [56] există două tipuri de docuri plutitoare tip cheson, cu tancuri laterale superioare continue (CWT) și cu tancuri laterale superioare discontinue (NWT).

Am dezvoltat, conform normelor de construcție a structurii docurilor plutitoare, două structuri de doc plutitor, încadrate în categoria docurilor plutitoare de mici dimensiuni, cu o lungime de 60 m (tabelul 4.1.), în două variante constructive: doc plutitor de mici dimensiuni tip cheson cu tancuri laterale superioare continue – Dock60_CWT (figura 4.2.a., b.) și doc plutitor de mici dimensiuni tip cheson cu tancuri laterale superioare discontinue – Dock60_NWT (figura 4.1.a., b.), pe care le-am folosit pentru studiul numeric al capacității de operare, pe baza criteriilor de rezistență structurală și bord liber minim la solicitări extreme din valuri echivalente cvasi - statice (capitolul 5), precum și pe baza criteriilor limită la oscilații în valuri aleatoare extreme și stabilitate transversală (capitolul 6).

Pentru cele două variante constructive, pe baza formelor din figurile 4.1.b. și 4.2.b. se obțin cu ajutorul *modulului* D_CDB (*capitolul 2, anexa3*), curbele hidrostactice, deplasamentul Δ și aria plutirii A_w din figurile 4.6. și 4.7. Aceste diagrame pun în evidență variațiile semnificative de forme în funcție de pescaj, la trecerea de la corpul pontonului la tancurile superioare laterale. Figura 4.1.a. și 4.2.a. prezintă secțiunea transversală a docului plutitor cu elementele structurale dimensionate conform *regulilor DNV-GL RU_FD* [1]. În cazul variantei constructive Dock60_NWT (figura 4.1.a.) tancurile din zona centrală de pe puntea pontonului sunt îndepărtate.

Figurile 4.4.a., b., c. și figurile 4.5.a., b., c. prezintă diagramele momentului încovoietor vertical la rezistența ultimă (pierderea stabilității globale) USVBM, folosind metoda Smith [26], [34]. Momentul încovoietor ultim este calculat pentru ambele variante constructive de docuri plutitoare de mici dimensiuni Dock60 (NWT, CWT), folosind programul *DNV-GL Poseidon* [39], considerând distanța intercostală $a_{FR} = [a_0, 2a_0, 4a_0]$, pentru referința la o distanță regulamentară de $a_0 = 0,6m$. Momentul încovoietor ultim maxim, USVBM, se obține pentru distanța intercostală $a_{FR} = a_0$ [37], [40], fiind analizată preliminar și structura docurilor cu distanța intercostală de $a_{FR} = 2a_0$ [4], [35], [43]. În baza regulilor DNV-GL [1], în tabelul 4.3., tabelul 4.4. și tabelul 4.5. sunt prezentate limitele admisibile pentru criteriile de rezistență globală, deformația verticală globală și a bordului liber minim a celor două variante constructive ale docului plutitor de mici dimensiuni Dock60_NWT/CWT.

Pentru analiza structurală a docului plutitor de mici dimensiuni pe model de grindă echivalentă 1D, la solicitări din valuri de întâlnire (subcapitolul 5.1.), am considerat două variante constructive de blocuri de andocare, și anume blocuri de andocare scurte – SB și blocuri de andocare lungi – LB, cu caracteristicile din tabelul 4.2. Fiecare bloc de andocare este amplasat pe puntea principală a pontonului, la intersecția dintre grinzile întărite transversale și longitudinale conform planului din figura 4.3.a. pentru blocurile scurte (SB) și figura 4.3.b. pentru blocurile lungi (LB).

Tabelul 4.1. prezintă principalele caracteristici ale celor două versiuni constructive de docuri plutitoare de mici dimensiuni Dock60_CWT/NWT. Capacitatea maximă de andocare a docurilor plutitoare de mici dimensiuni, în cele două variante constructive este de $M_s = 828t$. Astfel pentru analizele realizate în cadrul tezei, conform normelor societății de clasificare *DNV-GL RU-FD* [1] masa maximă de andocare se dispune pe puntea principală în trei variante: distribuție uniformă (figura 4.8.a.), distribuție tip sagging (figura 4.8.b.) și distribuție tip hogging (figura 4.8.c.). Pe lângă aceste trei cazuri de andocare la capacitatea maximă, am mai considerat docul fără masă încărcată și nebalastat și un caz al docului fără masă andocată balastat la maxim, ce prezintă cazurile de inițiere a andocării sau după realizarea lansării masei andocate. Tabelul 4.6. și tabelul 4.7. prezintă cele cinci cazuri de încărcare: fără masă andocată și nebalastat, fără masă andocată și balastat la maxim și cele trei cazuri cu andocarea la capacitatea maximă a docului cu o masă de 828 t, în cele două variante constructive ale docurilor plutitoare de mici dimensiuni, cu blocuri de andocare scurte (SB) și lungi (LB, rezultând astfel 20 de seturi principale de analiză. De asemenea, în tabelul 4.1. sunt prezentate și principalele caracteristici ale grinzii echivalente 1D pentru modelul celor două versiuni constructive de docuri plutitoare de mici dimensiuni.

Tabelul 4.1. Caracteristicile principale ale docului plutitor de dimensiuni mici Dock60_CWT/NWT [4], [35], [41], [37]

Tipul docului plutitor (tipul tancurilor superioare)		CWT	NWT	Calitatea materialului		Oțel standard tip A	
Lungimea totală		LOA [m]	60	Lungimea tancurilor la pupa și prova în cazul variantei constructive Dock60_NWT		$L(1)$ [m] $L(3)$ [m]	0-15 45-60
Lățimea		B [m]	20	Lungimea părții centrale, fără tancuri superioare, pentru varianta constructive Dock60_NWT		$L(2)$ [m]	15 – 45
Înălțimea la puntea principală		D_{PP} [m]	2	Aria secțiunii transversale a docului pentru cazul constructiv $a_{tr}=a_0$	(1)	A [m ²]	0,80700
Înălțimea tancurilor de pe punte		D_{WT} [m]	8		(2)		
Deplasamentul	Fără masa andocată	Δ [t]	1152	960	Aria secțiunii transversale a docului pentru cazul constructiv $a_{tr}=2a_0$	A [m ²]	0,54700
	$M_{lin}[t]=828t$		1980	1788			
Bordul liber admis		f_s [mm]	300	75	(2)		0,34000
Pescajul la mijloc, pupa și prova	Fără masa andocată	T_M [m], T_P [m], T_R [m]	0,960	0,800	Aria de forfecare a secțiunii transversale a docului pentru cazul constructiv $a_{tr}=a_0$	A_f [m ²]	0,36800
	$M_{lin}[t]=828t$		1,650	1,490			
Poziția longitudinală a centrului de greutate		LCG [m]	30		Aria de forfecare a secțiunii transversale a docului pentru cazul constructiv $a_{tr}=2a_0$	A_f [m ²]	0,23200
Poziția transversală a centrului de greutate		YCG [m]	0				
Numărul de elemente model 3D-FEM	Solicitări din valuri de întâlnire/urmărire	N_{EL}	237928	162065	Momentul de inerție la încovoiere a secțiunii transversale a docului pentru cazul constructiv $a_{tr}=a_0$	I_y [m ⁴]	5,23698
	Solicitări din valuri oblice		472830	378210			
Tipul elementelor 3D-FEM		Elemente finite de placă groasă (Mandrin) și membrane / elemente de masă concentrate		Momentul de inerție la încovoiere a secțiunii transversale a docului pentru cazul constructiv $a_{tr}=2a_0$	(1)	I_y [m ⁴]	3,75842
					(2)		
Numărul de noduri model 3D-FEM	Solicitări din valuri de întâlnire/urmărire	N_{ND}	201153	190618	Poziția verticală a axei neutre	z_M [m]	2,72761
	Solicitări din valuri oblice		398995	320771			
Dimensiunea de discretizare a modelului 3D-FEM		200		Modul de rezistență la planșeul de fund în cazul $a_{tr}=a_0$	(1)	WB [m ³]	1,94078
					(2)		
Distanța între coastele simple		a_0 [mm]	600		Modul de rezistență la planșeul de fund în cazul $a_{tr}=2a_0$	WB [m ³]	1,35274
		$2a_0$ [mm]	1200				
Numărul de elemente pentru modelul de grindă echivalentă 1D		N_{EL}	300		(2)		0,27333
Tipul elementelor modelului grindă echivalentă 1D		Elemente tip grindă elastică echivalentă model Timoshenko		Modul de rezistență la planșeul de punții principale / superioare în cazul constructiv $a_{tr}=a_0$	(1)	WD [m ³]	0,98781
Numărul de noduri pentru modelul de grindă echivalentă 1D		N_{ND}	301		(2)		
Limita de curgere a materialului		R_{eH} [MPa]	235		Modul de rezistență la planșeul de punții principale / superioare în cazul constructiv $a_{tr}=2a_0$	WD [m ³]	0,69982
Modulul de elasticitate Young		E [MPa]	$2,1 \cdot 10^5$				
Coeficientul Poisson		ν	0,3		Coeficientul tensiunilor tangențiale din axa neutră	K_{nn} [m ⁻²]	6,86436
Densitatea materialului		ρ_{mat} [t/m ³]	7,8				
Lungimea elementului pentru modelul de grindă echivalentă 1D		dx [m]	0,200		Condițiile extreme din valuri echivalente cvasi-stactice de proiectare	Întâlnire - urmărire $\mu=0^\circ(180^\circ)$ Oblice $\mu=0^\circ-360^\circ$	
Accelerația gravitațională		g [m/s ²]	9,81				

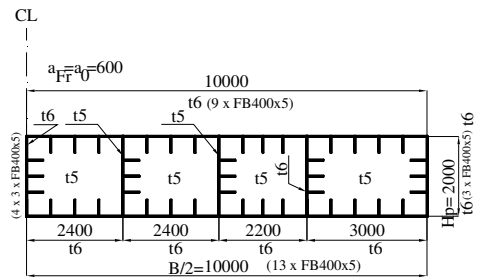


Figura 4.1.a. Secțiunea transversală maestră a docului plutitor de mici dimensiuni Dock60_NWT

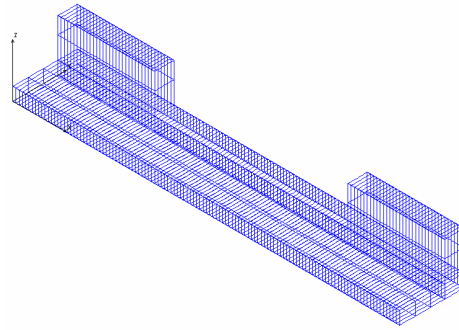


Figura 4.1.b. Modelul 3D-CAD al planului de forme al docului plutitor de mici dimensiuni Dock60_NWT

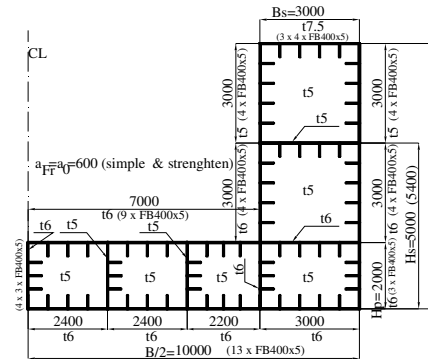


Figura 4.2.a. Secțiunea transversală maestră a docului plutitor de mici dimensiuni Dock60_CWT

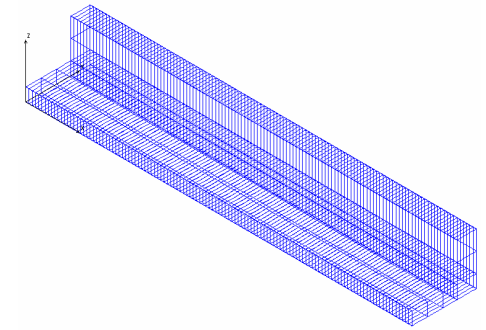


Figura 4.2.b. Modelul 3D-CAD al planului de forme al docului plutitor de mici dimensiuni Dock60_CWT

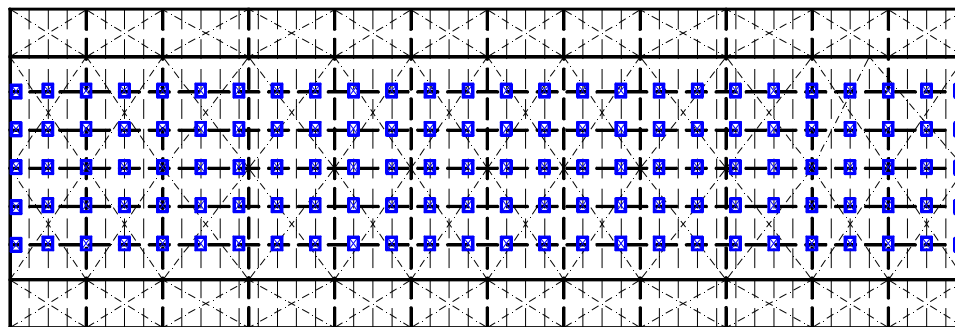


Figura 4.3.a. Andocare cu blocuri scurte SB (0,6 x 0,8 x 1,25, 1,212 t), 26 coloane și 5 rânduri

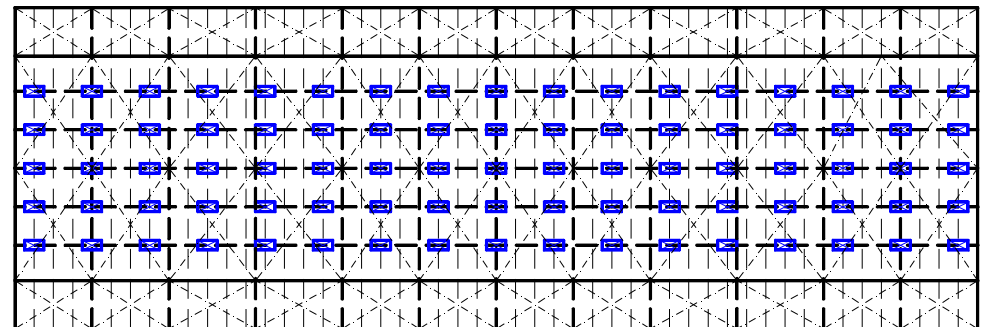


Figura 4.3.b. Andocare cu blocuri lungi LB (1,2 x 0,6 x 1,25, 1,818 t), 17 coloane și 5 rânduri

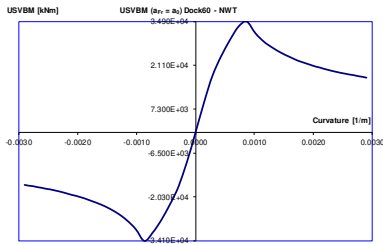


Figura 4.4.a. Diagrama momentului încovoietor ultim în plan vertical, USVBM [kNm], pentru Dock60_NWT $a_{FR} = a_0$

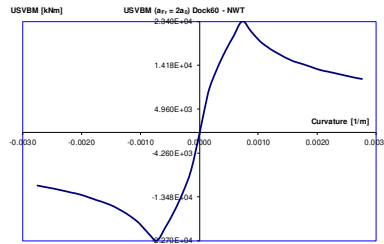


Figura 4.4.b. Diagrama momentului încovoietor ultim în plan vertical, USVBM [kNm], pentru Dock60_NWT $a_{FR} = 2a_0$

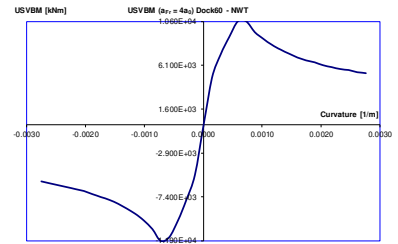


Figura 4.4.c. Diagrama momentului încovoietor ultim în plan vertical, USVBM [kNm], pentru Dock60_NWT $a_{FR} = 4a_0$

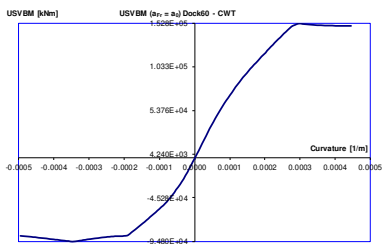


Figura 4.5.a. Diagrama momentului încovoietor ultim în plan vertical, USVBM [kNm], pentru Dock60_CWT $a_{FR} = a_0$

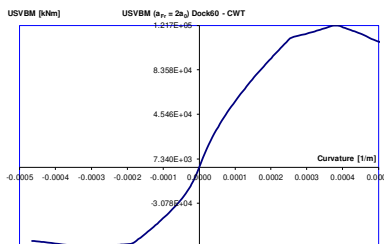


Figura 4.5.b. Diagrama momentului încovoietor ultim în plan vertical, USVBM [kNm], pentru Dock60_CWT $a_{FR} = 2a_0$

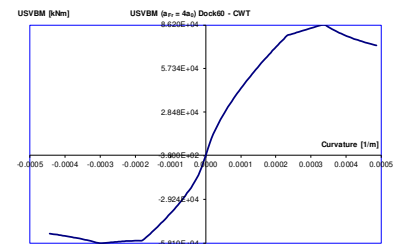


Figura 4.5.c. Diagrama momentului încovoietor ultim în plan vertical, USVBM [kNm], pentru Dock60_CWT $a_{FR} = 4a_0$

Tabelul 4.2. Caracteristicile blocurilor de andocare (SB – blocuri scurte, LB – blocuri lungi)

Tip bloc de andocare	SB	LB	Tip bloc de andocare	SB	LB
$L_{bloc} [m]$	0,6	1,2	$\rho_{stejar} [t/m^3]$	0,9	
$B_{bloc} [m]$	0,8	0,6	$M_{bloc} [t]$	1,212	1,818
$H_{bloc} [m]$	1,25		nr_L	26	17
$H_{bloc_ciment} [m]$	1		nr_B	5	
$\rho_{concret} [t/m^3]$	2,3		$M_{bloc-total} [t]$	157,56	154,53
$H_{bloc_stejar} [m]$	0,25				

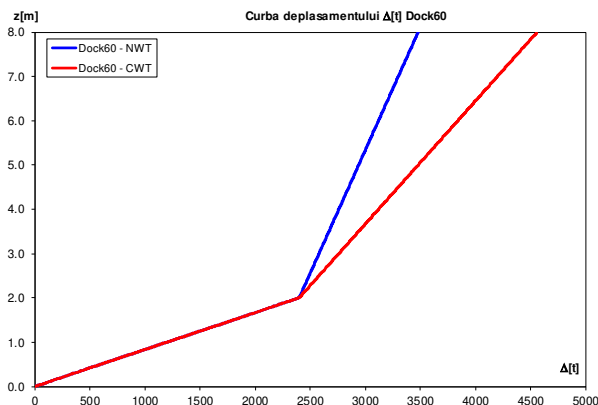


Figura 4.6. Curba deplasamentului $\Delta[t]$, Dock60_NWT / CWT

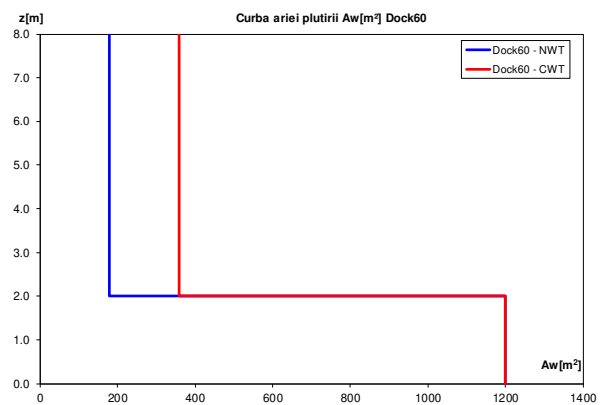


Figura 4.7. Curba ariei plutirii $A_w[m^2]$, Dock60_NWT / CWT

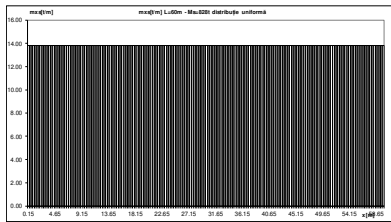


Figura 4.8.a Diagrama de mase $m_x [t/m]$, pentru andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuție uniformă a masei ($M_s = 828t$, $x_s = 30m$)

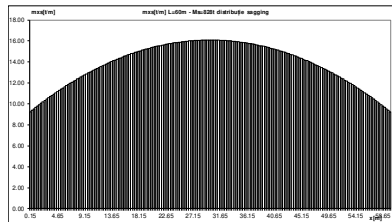


Figura 4.8.b. Diagrama de mase $m_x [t/m]$, pentru andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuție tip sagging a masei ($M_s = 828t$, $x_s = 30m$)

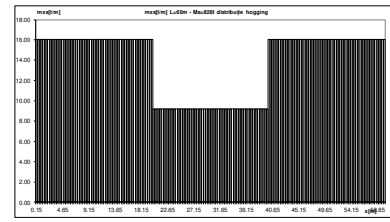


Figura 4.8.c. Diagrama de mase $m_x [t/m]$, pentru andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuție tip hogging a masei ($M_s = 828t$, $x_s = 30m$)

Tabelul 4.3. Limitele admisibile pentru deformațiile verticale $w_{adm} [m]$, tensiuni, factor de voalare și bord liber minim $D_{adm} [m]$, pentru cele două versiuni constructive ale docurilor plutoare de mici dimensiuni Dock60_NWT/CWT, conform normelor societăților de clasificare navale [1]

Criteriul bordului liber minim	$D_{PD_adm} = D_p - FB_{PD_adm} [m]$ în cazurile 1, 3, 4 și 5		$D_{UD_adm} = D - FB_{UD_adm} [m]$ în cazul 2	
	Dock60_CWT	Dock60_NWT	Dock60_CWT	Dock60_NWT
	1,925	1,700	7,000	
Criterii de rezistență	$w_{adm} = 0,150$ m	$B_{adm} = 1,5$	$\sigma_{adm} = 175$ MPa	$\tau_{adm} = 110$ MPa

Tabelul 4.4. Valorile admisibile din criteriile momentului încovoietor ultim (coeficient de siguranță $c_s=1,2$) și rezistență globală pentru verificarea structurii preliminară ($a_{Fr}=2a_0$) a celor două versiuni constructive ale docurilor plutoare de mici dimensiuni Dock60_NWT/CWT, cu solicitări din valori de întâlnire - urmărire, pentru modele de grindă echivalentă 1D, conform normelor [1]

Dock60	a_{Fr}	Hogging		Sagging		AVBM [kNm] adm. reguli	AVSF [kN] adm. reguli
		USVBM [kNm]	AUSVBM [kNm] ($c_s=1,2$)	USVBM [kNm]	AUSVBM [kNm] ($c_s=1,2$)		
NWT	a_0	3,490E+04	2,908E+04	-3,410E+04	-2,842E+04	5,56E+04	3,14E+03
	$2a_0$	2,340E+04	1,950E+04	-2,270E+04	-1,892E+04		
	$4a_0$	1,060E+04	0,883E+04	-1,190E+04	-0,992E+04		
CWT	a_0	1,528E+05	1,273E+05	-9,480E+04	-7,900E+04	5,56E+04	3,14E+03
	$2a_0$	1,217E+05	1,014E+05	-6,890E+04	-5,742E+04		
	$4a_0$	8,620E+04	7,183E+04	-5,810E+04	-4,842E+04		

Tabelul 4.5. Valorile admisibile din criteriile momentului încovoietor ultim (coeficient de siguranță $c_s=1,5$) și rezistență globală pentru verificarea structurii finale ($a_{Fr}=a_0$) a celor două versiuni constructive ale docurilor plutoare de mici dimensiuni Dock60_NWT/CWT, cu solicitări din valori oblice, pentru modele de grindă echivalentă 1D, conform normelor [1]

Versiune constructivă	USVBM [kNm] ultim	AUSVBM [kNm] ($c_s=1,5$)	VBM-adm [kNm] reguli	AVBM [kNm] combinat	AVSF [kN] reguli	AHBM [kNm] reguli	AHSF [kN] reguli	AMT [kNm] reguli	Fs [m] reguli
Dock60_NWT	3,41E+04	2,27E+04	5,56E+04	2,27E+04	3,14E+03	4,26E+03	2,11E+02	2,44E+04	0,300
Dock60_CWT	9,48E+04	6,32E+04	5,56E+04	5,56E+04	3,14E+03	5,11E+03	2,54E+02	2,44E+04	0,075

Tabelul 4.6. Cazurile de deplasament pentru docul plutitor Dock60_NWT cu tancuri laterale superioare discontinue

Caz	Bloc	$M_{long}[t]$	$M_{Fr}[t]$	$M_{Eg+rezball}[t]$	$M_{bil}[t]$	$M_{ballast}[t]$	$M_{ship}[t]$	$\Delta [t]$	$d_m[m]$	$x_G[m]$	$y_G[m]$	$z_G[m]$
(1) Fără masă andocată	SB	207,93	121,99	472,52	157,56	-	-	960	0,800	30	0	1,777
	LB			475,55	154,53							
(2) Fără masă andocată balastat la maxim	SB	207,93	121,99	472,52	157,56	2292	-	3252	6,733	30	0	1,738
	LB			475,55	154,53							
(3) Cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t cu masa distribuită uniform	SB	207,93	121,99	472,52	157,56	-	828	1788	1,49	30	0	2,691-6,395
	LB			475,55	154,53							
(4) Cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t cu masa distribuită tip sagging	SB	207,93	121,99	472,52	157,56	-	828	1788	1,49	30	0	2,691-6,395
	LB			475,55	154,53							
(5) Cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t cu masa distribuită tip hogging	SB	207,93	121,99	472,52	157,56	-	828	1788	1,49	30	0	2,691-6,395
	LB			475,55	154,53							

Tabelul 4.7. Cazurile de deplasament pentru docul plutitor Dock60_CWT cu tancuri laterale superioare continue

Caz	Bloc	$M_{long}[t]$	$M_{Fr}[t]$	$M_{Egrezball}[t]$	$M_{bil}[t]$	$M_{ballast}[t]$	$M_{ship}[t]$	$\Delta [t]$	$d_m[m]$	$x_G[m]$	$y_G[m]$	$z_G[m]$
(1) Fără masă andocată	SB	256,00	151,16	587,28	157,56	-	-	1152	0,960	30	0	3,891
	LB			590,31	154,53							
(2) Fără masă andocată balastat la maxim	SB	256,00	151,16	587,28	157,56	2940	-	4092	6,700	30	0	2,144
	LB			590,31	154,53							
(3) Cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t cu masa distribuită uniform	SB	256,00	151,16	587,28	157,56	-	828	1980	1,650	30	0	3,832- 7,177
	LB			590,31	154,53							
(4) Cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t cu masa distribuită tip sagging	SB	256,00	151,16	587,28	157,56	-	828	1980	1,650	30	0	3,832- 7,177
	LB			590,31	154,53							
(5) Cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t cu masa distribuită tip hogging	SB	256,00	151,16	587,28	157,56	-	828	1980	1,650	30	0	3,832- 7,177
	LB			590,31	154,53							

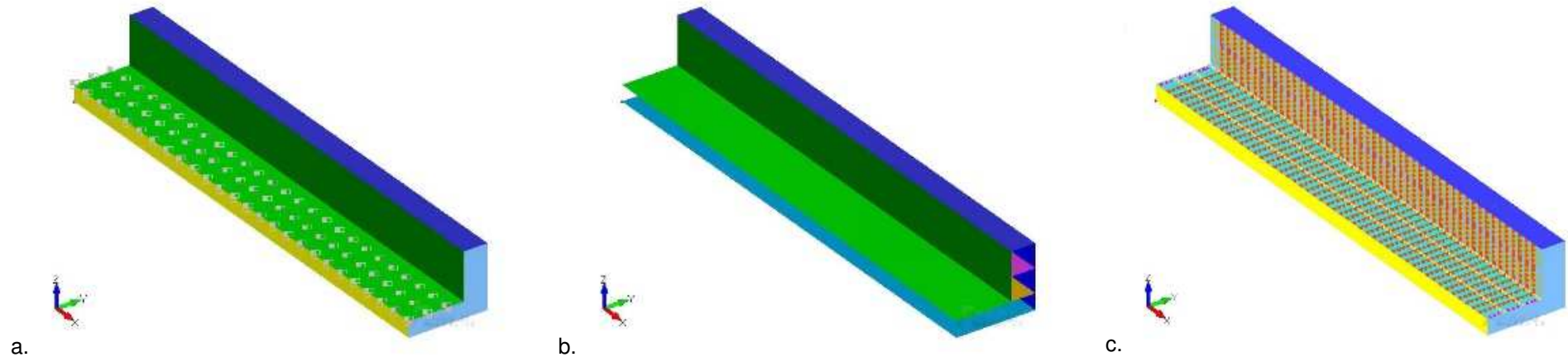


Figura 4.9.a., b., c. Modelul 3D-CAD/FEM al docului plutitor de mici dimensiuni Dock60_CWT

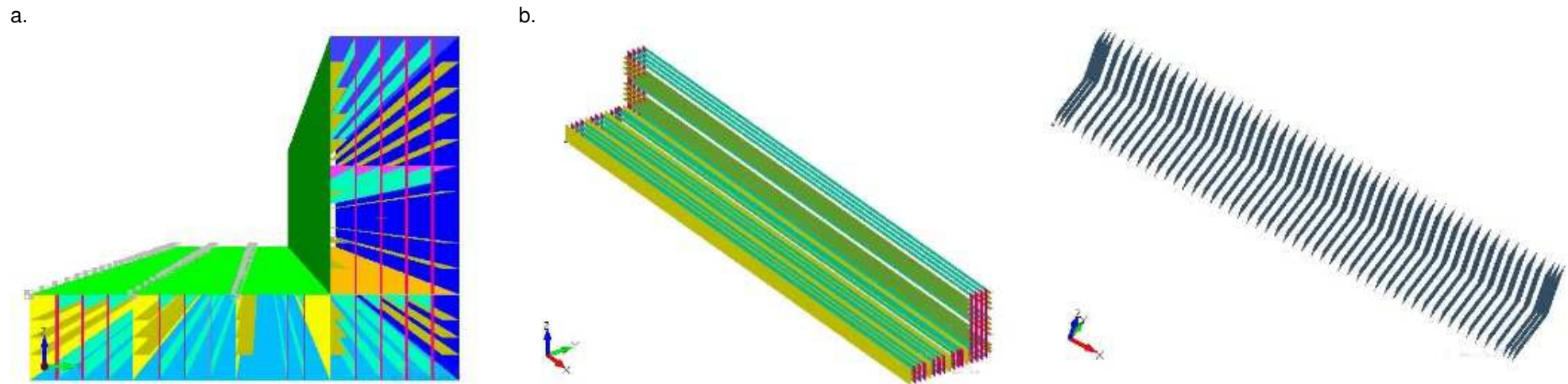


Figura 4.10.a., b. Modelul 3D-CAD/FEM al docului plutitor de mici dimensiuni Dock60_CWT, elemente longitudinale principale

Figura 4.11. Model 3D-CAD/FEM, al docului plutitor de mici dimensiuni Dock60_CWT, cadrele transversale principale

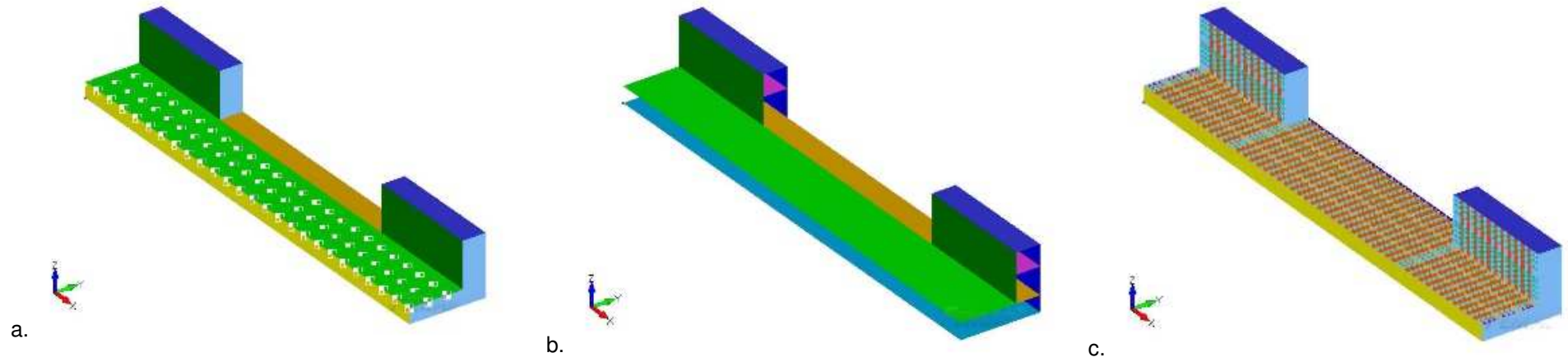


Figura 4.12.a., b., c. Modelul 3D-CAD/FEM al docului plutitor de mici dimensiuni Dock60_NWT

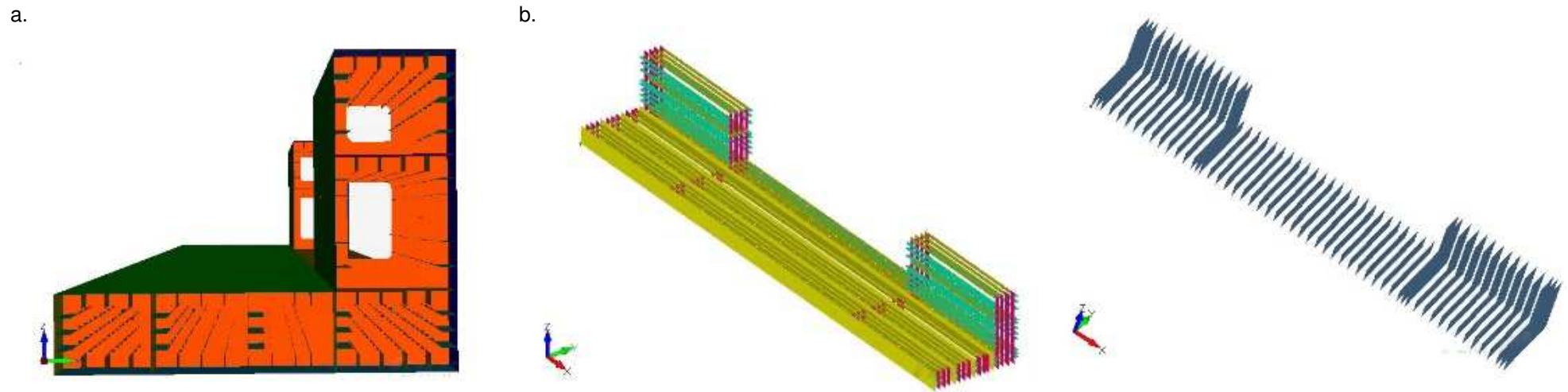


Figura 4.13.a., b. Modelul 3D-CAD/FEM al docului plutitor de mici dimensiuni Dock60_NWT, elemente longitudinale principale

Figura 4.14. Model 3D-CAD/FEM, al docului plutitor de mici dimensiuni Dock60_NWT, cadrele transversale principale

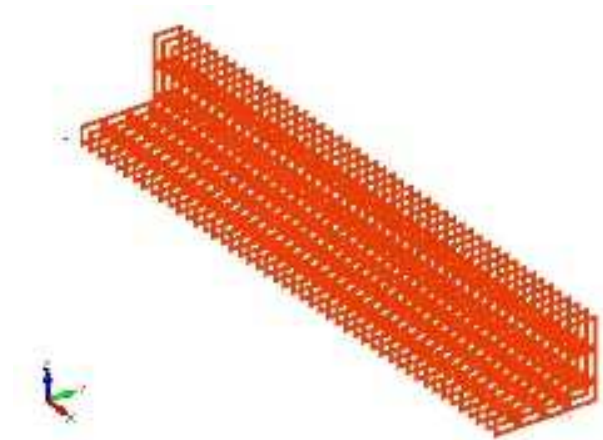


Figura 4.15. Model 3D-CAD/FEM, al docului plutitor de mici dimensiuni Dock60_CWT, elemente longitudinale și transversale secundare

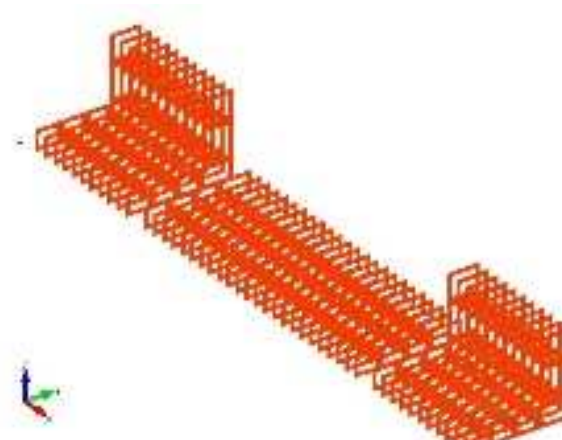


Figura 4.16. Model 3D-CAD/FEM, al docului plutitor de mici dimensiuni Dock60_NWT, elemente longitudinale și transversale secundare

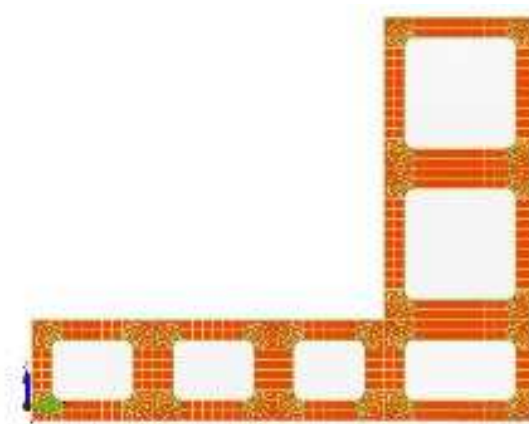


Figura 4.17. Detaliu model 3D-FEM elemente transversale secundare

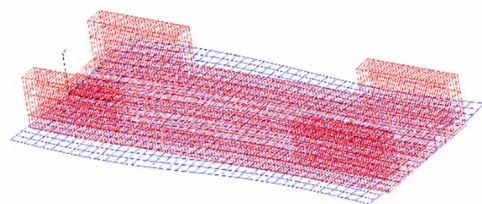


Figura 4.18.a Model 3D-CAD, sistemul doc plutitor Doc60_NWT și valul echivalent cvasi-static oblic, $\mu=45^\circ$ hogging, $h_w=1,278m$, cazul fără masă andocată

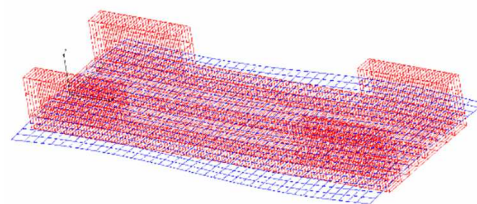


Figura 4.18.b Model 3D-CAD, sistemul doc plutitor Doc60_NWT și valul echivalent cvasi-static oblic, $\mu=45^\circ$ sagging, $h_w=1,278m$, cazul fără masă andocată

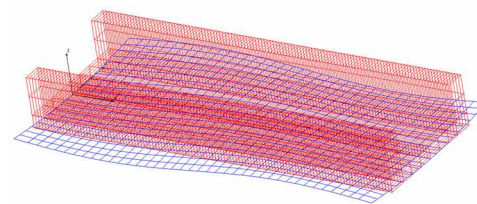


Figura 4.19.a Model 3D-CAD, sistemul doc plutitor Doc60_CWT și valul echivalent cvasi-static oblic, $\mu=45^\circ$ hogging, $h_w=1,930m$, cazul fără masă andocată

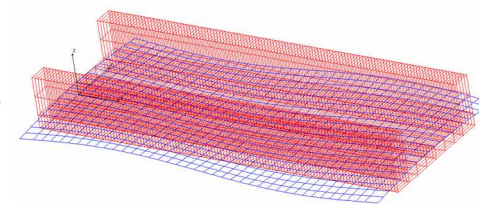


Figura 4.19.b Model 3D-CAD, sistemul doc plutitor Doc60_CWT și valul echivalent cvasi-static oblic, $\mu=45^\circ$ sagging, $h_w=1,930m$, cazul fără masă andocată

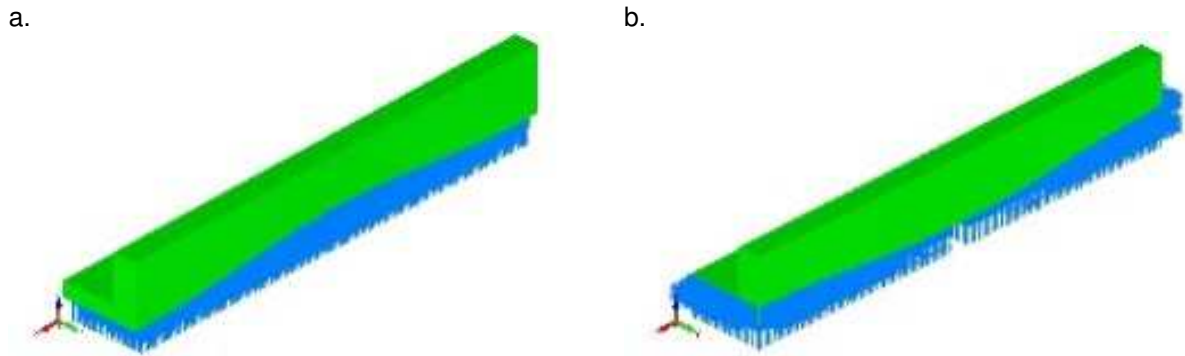


Figura 4.20.a., b. Presiunea aplicată pe învelișul exterior al docului Dock60_CWT, din val echivalent cvasi-static de întâlnire/urmărire, $\mu=0^{\circ}(180^{\circ})$, în cazurile hogging și sagging, $h_w=1,930m$, fără masă andocată

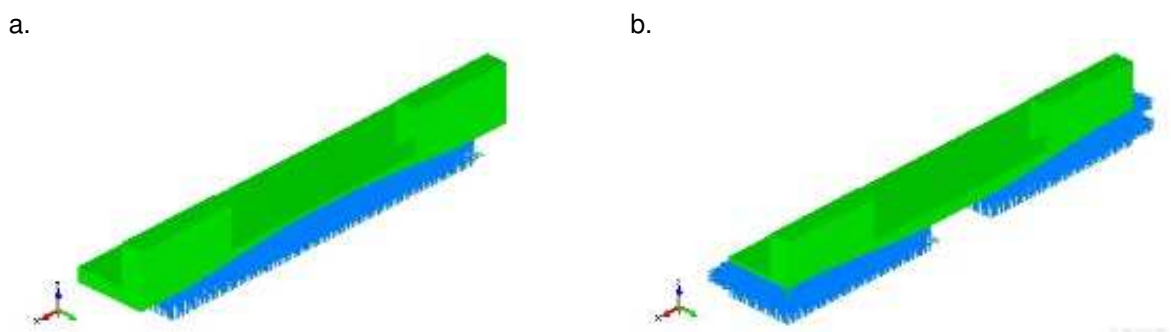


Figura 4.21.a., b. Presiunea aplicată pe învelișul exterior al docului Dock60_NWT, din val echivalent cvasi-static de întâlnire/urmărire, $\mu=0^{\circ}(180^{\circ})$, în cazurile hogging și sagging, $h_w=1,930m$, fără masă andocată

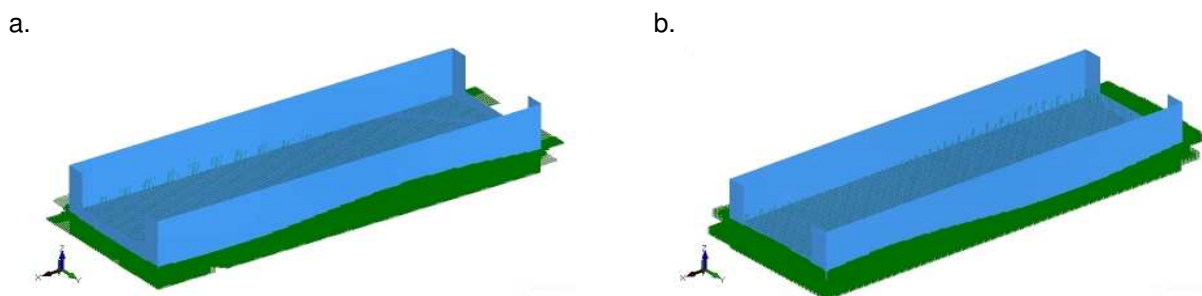


Figura 4.22.a., b. Presiunea aplicată pe învelișul exterior al docului Dock60_CWT, din val echivalent cvasi-static de oblic, $\mu=45^{\circ}$, în cazurile hogging și sagging, $h_w=1,930m$, fără masă andocată

Figurile 4.18.a., b. prezintă sistemul doc plutitor Dock60_NWT și valurile echivalente cvasi - statice oblice $\mu=45^{\circ}$, de tip sagging și hogging, cu o înălțime a valului de $h_w=1,278 m$, în cazul fără masa andocată. Figurile 4.19.a., b. prezintă sistemul doc plutitor Dock60_CWT, și valurile echivalente cvasi - statice oblice $\mu=45^{\circ}$, de tip sagging și hogging, cu o înălțime a valului de $h_w=1,930 m$, în cazul fără masă andocată.

În varianta structurii finale a docurilor plutitoare de mici dimensiuni Dock60_NWT/CWT, analizată la solicitări în valuri echivalente cvasi - statice oblice, (capitolul 5.2.), am reconsiderat distanța intercostală la $a_{FR} = a_0 = 600mm$ față de $a_{FR} = 2a_0 = 1200mm$. De asemenea, pentru a crește rezistența la stabilitatea structurală locală au fost adăugate suplimentar și

elemente de rigidizare longitudinală secundare (FB400*5), asigurând astfel în final o creștere semnificativă a rezistenței globale și locale a structurii docurilor de mici dimensiuni Dock60_NWT/CWT față de versiunea preliminară.

Tabelul 4.5. prezintă valorile admisibile, calculate conform regulilor [1], [3] pentru momentul încovoietor în plan vertical VBM / AVBM [kNm], forța tăietoare verticală VSF / AVSF [kN], momentul încovoietor în plan orizontal HBM / AHBM [kNm], forța tăietoare orizontală HSF / AHSF [kN], momentul de torsiune MT / AMT [kNm], momentul ultim încovoietor USVBM/ ASVBM [kNm] și valoarea bordului liber minim $F_s [m]$ pentru cazul celor două modele constructive de docuri plutitoare de mici dimensiuni, având distanța intercostală $a_{FR} = a_0 = 600mm$ (varianta constructivă finală) [70], [71], [72].

Valurile echivalente cvasi - statice de întâlnire / urmărire și oblice, la care docurile mici, Dock60_CWT/NWT, sunt analizate structural, au înălțimea selectată conform normelor DNV-GL [1] ce reprezintă clasa de navigație fluvială IN(2.0) ($h_{wmax}=2 m$) și clasa de navigație costieră RE(50%) ($h_{wmax}=2,568 m$).

Analiza structurală pe modele 3D-FEM la solicitări din valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire și oblice (subcapitolul 5.3.), a necesitat dezvoltarea unor modele structurale 3D a celor două tipuri constructive de docuri plutitoare de mici dimensiuni, Dock60_CWT / NWT. Cele două modele 3D-CAD/FEM pentru cele două tipuri constructive, sunt dezvoltate pe întreaga lungime a docurilor, fiind folosite în cazul valurilor de întâlnire - urmărire, precum și pe întreaga lățime a acestora, pentru studiul de analiză structurală în cazul valurilor oblice.

Principalele caracteristici ale celor două modele 3D-FEM sunt prezentate în *tabelul 4.1*.

Modelele 3D-CAD/FEM sunt dezvoltate cu programul Femap / NX Nastran [42] și include învelișurile interioare și exterioare, grinzile longitudinale și cadrele transversale, principale și secundare, cu găuri corespunzătoare de ușurare, precum și guseele locale.

Modelele 3D-FEM ale docului Dock60_CWT/NWT, sunt construite din elemente finite de membrană și placă tip Mindlin [42], [41], [73], [51], [43], [40], [44], cu o dimensiuni medie a elementului de 200 mm, potrivită pentru investigarea rezistenței globale și locale, conform normelor [1], [3] plus elemente de masă concentrate, pentru modelarea echipamentelor de la bord, a balastului și a maselor andocate. Prin ajustarea balastului și adăugarea masei de andocare se asigură cazurile de deplasament prezentate în tabelul 4.5. Figurile 4.9. – 4.17. prezintă detalii ale modelului structural 3D-CAD/FEM pentru cele două versiuni constructive ale docului plutitor de mici dimensiuni Dock60 cu tancuri laterale superioare continue (CWT) și discontinue (NWT).

Figurile 4.20. – 22. prezintă exemple a încărcării modelelor 3D-FEM cu presiune din val echivalent cvasi - static de întâlnire / urmărire sau oblic pe învelișul exterior al docului de mici dimensiuni Dock60, în cele două variante constructive (NWT/CWT).

4.2. Descrierea docului plutitor de mari dimensiuni Dock_VARD_Tulcea. Definierea cazurilor de operare și realizarea modelului structural 3D-FEM

Pentru realizarea modelului numeric a docului plutitor de mari dimensiuni, obținut prin conversia unei barje off-shore, Șantierul Naval VARD din Tulcea mi-a pus la dispoziție, pentru realizarea cercetării, datele docului plutitor aflat în exploatare, (figura 4.24., figura 1.3., figura 4.23., figura 1.4.). Principalele modificări realizate între barja off-shore și docul plutitor actual sunt menționate în tabelul 4.8. și se referă la înlocuirea unei porțiuni de ponton între coasta 0 și 60,5, mărirea lățimii de la 40,23 m la 55,13 m – 61,09 m și extinderea celor două tancuri superioare de balast, până la lungimea de aproximativ 39 m în zona din prova. Docul plutitor Dock_VARD_Tulcea este destinat să poată andoca și lansa la apă nave cu o lățime maximă de 50 m și o lungime maximă de 195 m. Puntea principală a docului este prevăzută cu un sistem de căi de rulare, în număr de 14 unități (figura 1.3., figura 1.4.a., b.), compatibile cu cele ale *Filei de montaj Nr.2 de la Șantierul Naval VARD din Tulcea, figura 1.4.*, putându-se astfel efectua transferul navelor de pe această zonă de montaj pe docul plutitor, figura 1.4. (tabelul 4.10) [4], [9], [11].

Tabelul 4.8. Principalele modificări efectuate la barja off-shore pentru realizarea docul plutitor Dock_VARD_Tulcea [11]

Tipul navei	Barja offshore Figura 4.23.	Docul plutitor Dock_VARD_Tulea Figura 4.24.
Clasa		RINA
Lungimea totală (LOA):	168,20 m	209,20 m
Lungimea utilă a punții principale	151,00 m	189,00 m
Lățimea (B):	40,23 m	55,13 m
Lățimea maximă între turnurile pupa	34,27 m	50,66 m
Lățimea maximă (Bmax):	43,21 m	61,09 m
Înălțimea la puntea principală:	10,10 m	10,10 m
Distanța intercostală:	0,750 m	0,750 m
Distanța între longitudinale:	0,745 m	0,745 m
Distanța între coastele întărite	3,00 m	3,00 m
Pescaj maxim la transfer	7,58 m	6,20 m
Pescaj maxim la lansare	21,10 m	20,00 m
Masa docului fără încărcătură	12967 t	19855 t
Masa părți care se elimina	3498 t	-
Masa părți care se adaugă		10396 t
Masa maximă care poate fi andocată		27000 t
Poziția extremă a centului de greutate a navei		25.25m
Poziția centrului de greutate pe verticală		13,20m
Pescajul în timpul operațiunilor de andocare/ lansare		5,6 – 20 m
Capacitatea totală de balastare		116138 t

Structura corpului docului plutitor este în principal în sistem de osatură longitudinală, asemănător figurii 4.25. și figurii 4.26. Structura din prova docului este mixtă, atât longitudinală cât și transversală. Întregul corp este realizat din oțel, în conformitate cu cerințele RINA - Registro Italiano Navale [9], [11].

Docul este dotat cu două rezervoare de serviciu pentru motorină, cu o capacitate care asigură o autonomie a generatoarelor diesel la putere maximă timp de cel puțin 48 de ore. Rezervoarele de apă tehnică, au o capacitate de circa 10 t, acestea având ieșiri către camera pompelor, compartimentele diesel generatoarelor aflate la nivelul punții 2, compartimentul atelierului de la nivelul punții 3, compartimentul „Zonă de adăpost” a echipajului din babord precum și la nivelul coridoarelor [9], [11].

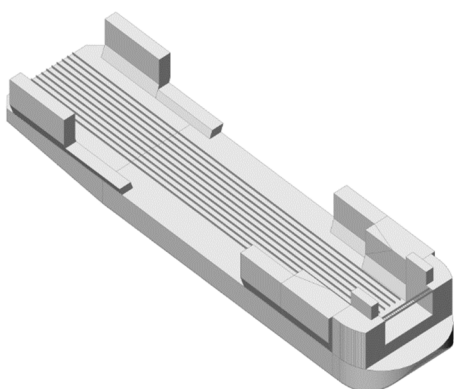


Figura 4.23. Barja off-shore
(model 3D-CAD).[9]

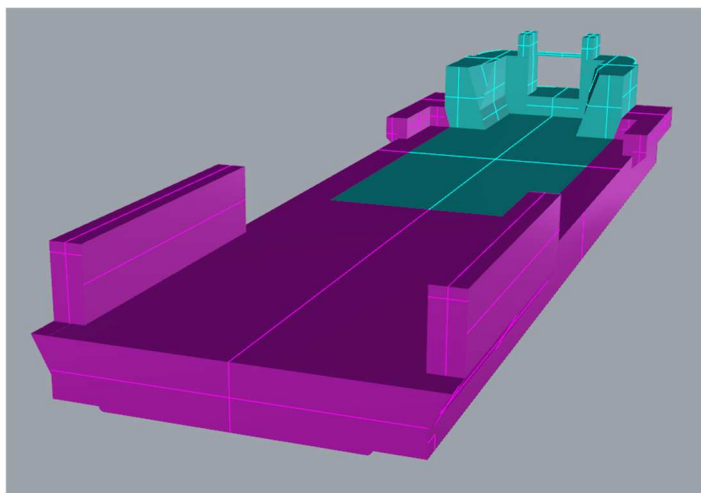


Figura 4.24. Docul plutitor Dock_VARD_Tulcea
(model 3D-CAD) [9], [11]

Docul plutitor este echipat cu un sistem de încărcare, descărcare și transferare a balastului, deservit de șase pompe cu un debit de 2400 m³/h, amplasate în camera pompelor și două pompe cu un debit de 1600 m³/h amplasate în afara camerei pompelor. Camerele de pompare și camere de generare a energiei electrice sunt echipate cu mijloace de extracție / ventilație forțată [9], [11].

Materialul de construcție al corpului este din oțel de înaltă rezistență cu limita de curgere $R_{eh}=355$ N/mm², AH36 și DH36, conform standardelor RINA [9], [11].

În interior, docul plutitor este împărțit prin zece pereți etanși transversali, care se extind pe întreaga lățime a corpului și doi pereți etanși longitudinali dispuși simetric față de planul diametral. De asemenea, un perete longitudinal neetanș este amplasat în planul diametral. Rezistența structurii este asigurată la nivel local, prin elemente suplimentare de rigidizare, în corespondență cu echipamentele de ancorare și remorcare [9], [11].

Puntea de andocare are o lungime de 189 m. În momentul andocării, la poziția longitudinală a încărcăturii pe punte, cea mai mare porțiune a navei andocate trebuie să fie așezată între coasta 15+500 mm și coasta 161+250 mm, o parte rămânând în consolă. Distanța dintre puntea principală a docului și fundul navei andocate este de aproximativ 2 m, existând un sistem de cărucioare pe puntea docului [9], [11].

Pescajul și stabilitatea în timpul lansărilor sunt controlate prin balastarea tancurilor inferioare și superioare din pupa și din prova. Turnurile superioare sunt construite cu destinația de tancuri de balast pentru a se putea realiza o imersare cât mai rapidă până la pescajul maxim de 20 m, rămânând o rezervă de 2,765 m până la care se poate face operațiunea de imersie.

Sistemul de balast este dimensionat astfel încât să realizeze imersare de la pescajul de 5,6 m la 20 m în decursul a 4 ore, urmărind o succesiune de secvențe bine determinate pentru respectarea siguranței operațiunilor la bordul docului plutitor, cât și pentru asigurarea integrității construcției andocată la bordul docului [9], [11].

Docul plutitor este echipat cu un sistem de control al asietei pentru a verifica transferul și manipularea balastului. Controlul este asistat de un calculator de bord ce gestionează automat operațiunile de andocare și lansare, asigurând tot timpul poziția pe carenă dreaptă a docului [9], [11].

În figura 4.27., este reprezentat planul de forme al docului plutitor pus la dispoziție de către Șantierul Naval VARD din Tulcea [9], [11].

Figurile 4.30.a., b., c. prezintă modul de lansare al unei comenzi interne a șantierului. Docul plutitor este adus la pescajul de 6,2m, necesar pentru cuplarea șinelor aflate pe puntea de andocare, cu șinele aflate pe fila de lucru a cheului (figura 1.4.). Nava care trebuie andocată este tractată în mai multe etape, pentru realizarea debalastării fără diferențe semnificative ale pescajului la pupa, centru și prova față de referința de 6,2 m, figura 4.30.a. După andocarea completă și poziționarea în zona de siguranță – figura 4.30.b., docul plutitor este balastat până la asigurarea pescajului de 20 m pentru realizarea lansării navei, 4.30.c.

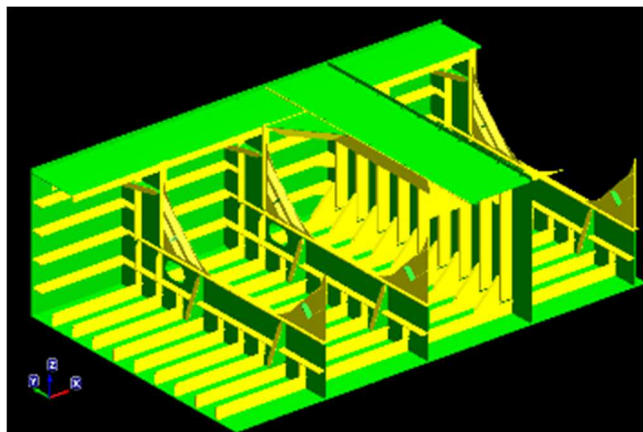


Figura 4.25. Model 3D-CAD al unei secții cu sistem de osatură longitudinală și transversală din structura docului plutitor Dock_VARD_Tulcea – Vedere din AVEVA Marine [9]

Pentru un astfel de caz, al unei mase andocate de 19747 t (figura 4.29.a., b.), cu 7 pași de de andocare, șantierul a pus la dispoziție nivelul de balastare al tancurilor pe fiecare etapă și distribuția masei navei andocate. De asemenea, am analizat docul plutitor Dock_VARD_Tulcea, și în cazurile limită: fără masă andocată dar balastat pentru asigurarea pescajului de 6,2 m și andocat la capacitatea maximă de 27000 t, cu distribuția masei uniform, tip sagging și tip hogging, conform normelor societăților de clasificare navale [1], [3].

O selecție a datelor caracteristice a acestui model constructiv se regăsesc în tabelul 4.9. Figura 4.31.a., b., prezintă docul în valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire, tip sagging și hogging, cu o înălțime maximă de $h_w = 4,492$ m. Distanța intercostală este de $a_{Fr} = 4a_0 = 3000$ mm [9]. Figura 4.28. prezintă diagrama momentului încovoietor ultim conform metodei Smith [38], [34], pentru structura de la mijlocul pontonului docului din figura 4.26.

Tabelul 4.10. prezintă valorile admisibile, conform regulilor [1], pentru momentul încovoietor vertical VBM [kNm], forța de forfecare VSF [kN], precum și momentul ultim încovoietor, folosite la evaluarea rezistenței generale a docului pe model de grindă echivalentă 1D la solicitări din valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire / urmărire.

Modelul 3D-FEM al structurii docului plutitor Dock_VARD_Tulcea este dezvoltat într-un singur bord (pentru solicitări din valuri de întâlnire - urmărire), extins pe întreaga lungime, folosind programul Femap/NX Nastran [42] (figura 4.33. – 38.). Modelul 3D-FEM include elemente finite în mare parte patrulatere, dar și triunghiulare, de membrană și placă groasă (Mindlin) pentru structura corpului, precum și elemente finite de masă concentrată, pentru modelarea echipamentelor, a masei balastului și a masei andocate. Dimensiunea medie a elementelor este de aproximativ 187,5 mm, (vezi detaliile din figura 4.34.), astfel încât modelul corespunde analizei structurale locale și globale. Principalii pași de realizare ai modelului 3D-FEM sunt :

- Importarea din modelul CAD AVEVA Marine a suprafeței exterioare a docului plutitor cu ajutorul unui fișier tip .iges în programul Femap/NX Nastran ca layer separat [9].
- Generarea listei cu layere conform planului de clasă [9] (bordaj, punți, stringheri, longitudinale, coaste, osatura compusă, profile, alte elemente de rigidizare), 190 layere
- Generarea listei de materiale conform planurilor de clasă A, A36, B36 și D36
- Generarea listei de proprietăți conform tipurilor de dimensiuni existente în planurile de clasă (16 proprietăți) [9]
- Generarea modelului 3D-CAD și apoi realizarea modelului 3D-FEM a modelului structural al navei [9], utilizând programul Femap/NX Nastran, cu 399922 puncte (PT), 394138 curbe (CR), 99341 suprafețe (SF), 1834221 noduri (ND), 1353139 elemente (EL), peste 11 milioane de grade de libertate (DOF).
- Aplicarea condițiilor de margine pentru modelul 3D-FEM (vezi tabelul 2.1)

- Modelarea maselor de la bordul navei [9], echipamente, balast, navă andocată, folosind elemente finite tip masă concentrată.
- Se aplică pe învelișul exterior al docului presiunea din val echivalent cvasi - static folosind funcții utilizator, cu parametrii de echilibrare doc - val calculați pe baza modelului de grindă echivalentă 1D. Docul poate opera atât în zone fluviale cât și costiere, astfel încât înălțimea maximă a valului variază între 2 m și 4,942 m, conform regulilor societăților de clasificare navale [1].
- Se analizează structural modelul docului supus la solicitări din valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire - urmărire, folosind solverul NX/NASTRAN [105], folosind criterii de rezistență locală și globală, precum și criteriul bordului liber minim (studiul din capitolul 7)

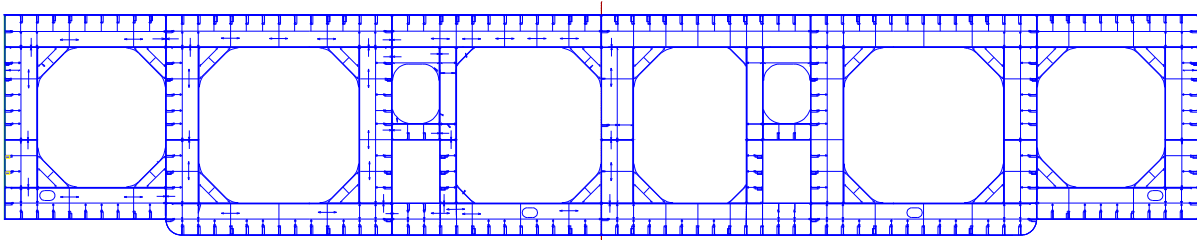


Figura 4.26. Structura secțiunii transversale maestre a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea (pontorul docului) [9]

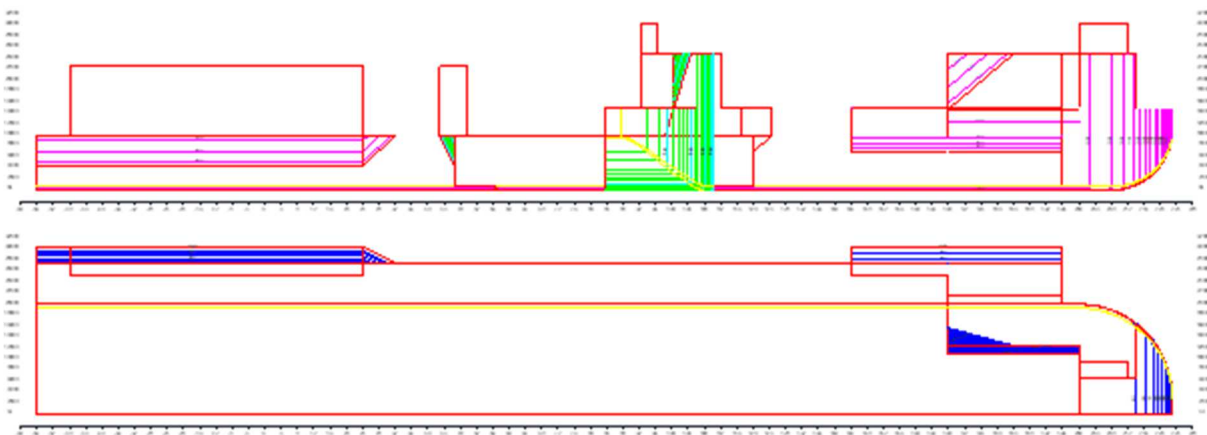


Figura 4.27. Planul de forme al docului plutitor Dock_VARD_Tulcea [9]

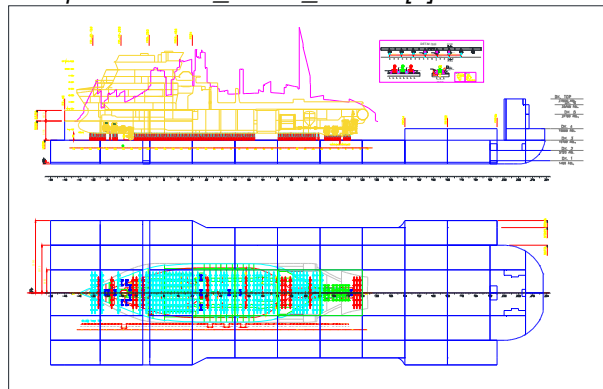
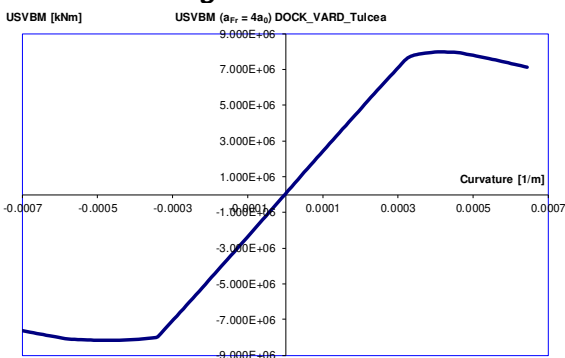


Figura 4.28. Diagrama momentului ultim încovoietor în plan vertical USVBM [kNm], pentru docul plutitor Dock_VARD_Tulcea cu distanța între coastele cadru $a_{F1}=4a_0=3000$ mm (secțiunea maestră a pontonului din figura 4.26.)

Figura 4.29.a. Schema de andocare a navei tip OSV de 19747 t, pe întreaga lungime a șinelor (122,79 m) de pe puntea principală a docului plutitor în bazinul Șantierului Naval VARD din Tulcea [9]

Tabelul. 4.9. Principalele caracteristici ale docului plutitor Dock_VARD_Tulcea [9], [73], [60].

Lungime totală	LOA [m]	209,20			Numărul elementelor modelului 1D grindă echivalentă	N_{EL}	280
Lățime	B [m]	61			Tipul elementelor modelului 1D grindă echivalentă	Elemente tip grindă elastică tip Timoshenko	
Înălțimea la puntea principală	D_P [m]	10,10			Numărul de noduri al modelului 1D grindă echivalentă	N_{ND}	281
Înălțimea tancurilor laterale	D_{WT} [m]	Tanc lateral superior pupa 4,90, tanc lateral superior prova 12,66			Media dimensiunii elementului modelului 1D grindă echivalentă	dx [mm]	750
Pescaj mediu	T_m [m]	7,2	6,2	5,2	Limita de curgere a materialului	R_{eH} [MPa]	355
Depasament	Δ [t]	77587	66324	55162	Țensiunile echivalente von Mises admisibile	σ_{adm} [MPa]	292
Poziția longitudinală a centrului de greutate	LCG [m]	100,103	100,139	100,120	Modulul de elasticitate Young	E [MPa]	2,1 10^5
Lungimea plutirii	LC_{WL} [m]	100,103	100,139	100,120			
Poziția verticală a centrului de greutate	KG [m] (z_G)	6; 8; 10; 12; 14; 16			Coeficientul Poisson	ν	0,3
Aria plutirii	Ac_{WL} [m ²]	11287	11211	11132	Densitatea materialului	ρ_{mat} [t/m ³]	7,8
Număr de elemente al modelului 3D-FEM	N_{EL}	1353139			Deformația vertical admisibilă	w_{adm} [mm]	418
Numărul de noduri al modelului 3D-FEM	N_{ND}	1834221			Valoarea bordului liber minim admisibil	F_{min} [mm]	300
Media dimensiunii elementelor finite	ds [mm]	187,5			Poziția longitudinală și transversală a centrului de greutate și de carenă	$x_G = x_B$ [m]	100,148
Distanța între coastele cadru	a_{Fr} [mm]	3000				$y_G = y_B$ [m]	0
Distanța intercostală	a_o [mm]	750			Accelerația gravitațională	g [m/s ²]	9,81
Tipul elementelor finite ale modelului 3D-FEM	Elemente tip membrană + placă groasă (Mindlin), masă concentrată				Condiții extreme din valuri echivalente cvasi-stactice	Întâlnire / urmărire $\mu=0^0(180^0)$ cu înălțimea maximă $h_w=4,492$ m	
Material	Oțel de înaltă calitate AH36						

Tabelul. 4.10. Valorile admisibile din criteriile momentului încovoietor ultim (coeficient de siguranță $c_s=1,5$) și rezistență globală pentru verificarea structurii docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, cu solicitări din valuri de întâlnire - urmărire, pentru modele de grindă echivalentă 1D, conform normelor [1], [3]

$USVBM$ [kNm] ultim	$AUSVBM$ [kNm] ($c_s=1,5$)	$VBM-adm$ [kNm] reguli	$AVBM$ [kNm] combinat	$AVSF$ [kN] reguli	F_s [m] reguli
7,97E+06	5,32E+06	3,44E+06	3,44E+06	5,70E+04	0,300



Figura 4.30.a., b., c.. Andocarea de pe cheu pe puntea docului a unei nave și lansarea acesteia în acvatoriul portului [74], [75], [76]

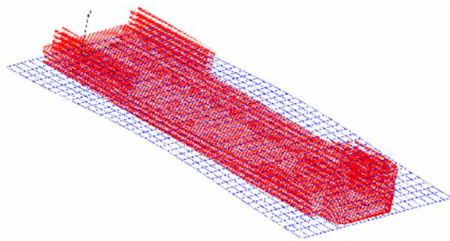


Figura 4.31.a Model 3D-CAD, sistemul doc plutitor Dock_VARD_Tulcea și valul echivalent cvasi - static de întâlnire - urmărire, tip hogging, $h_w=4,492m$, pescaj $T_m=6,2m$, cazul fără masă andocată [37]

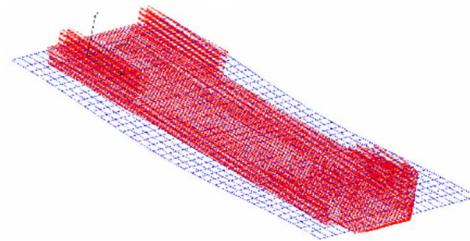


Figura 4.31.b Model 3D-CAD, sistemul doc plutitor Dock_VARD_Tulcea și valul echivalent cvasi - static de întâlnire - urmărire, tip sagging, $h_w=4,492m$, pescaj $T_m=6,2m$, cazul fără masă andocată [37]

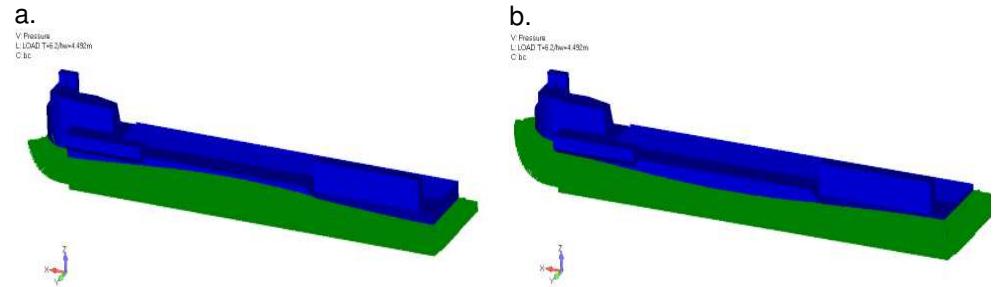


Figura 4.32.a., b. Presiunea aplicată pe învelișul exterior al docului Dock_VARD_Tulcea, din val echivalent cvasi - static de întâlnire – urmărire în cazurile a. hogging și b. sagging, $h_w=4,492m$, pescaj $T_m=6,2m$, fără masă andocată

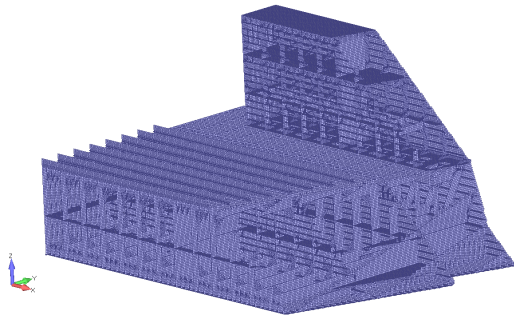


Figura 4.33. Detaliu al modelului 3D-FEM pentru turnul pupa, Dock_VARD_Tulcea

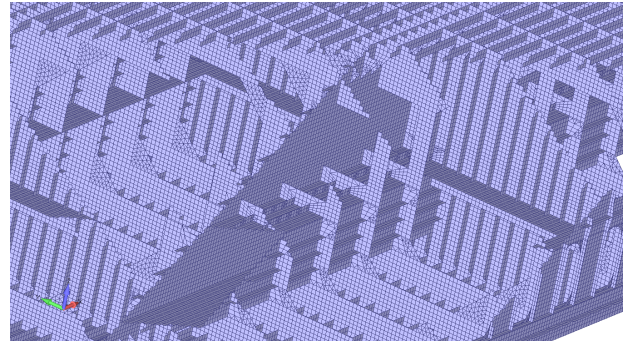


Figura 4.34. Detaliu al modelului 3D-FEM pentru coaste și longitudinale, Dock_VARD_Tulcea

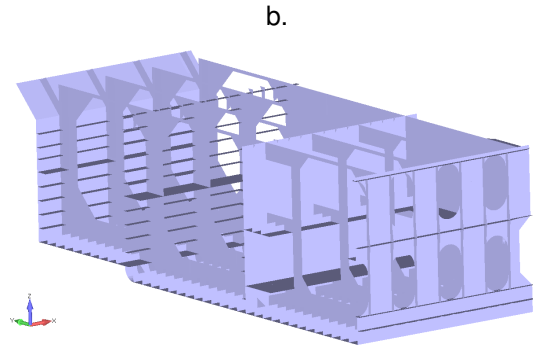
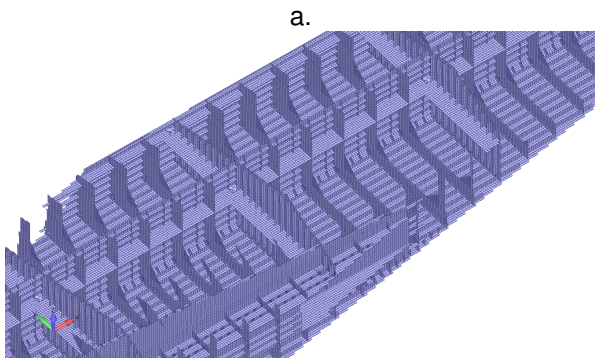


Figura 4.35.a., b. Model 3D-FEM al zonei de mijloc, Dock_VARD_Tulcea

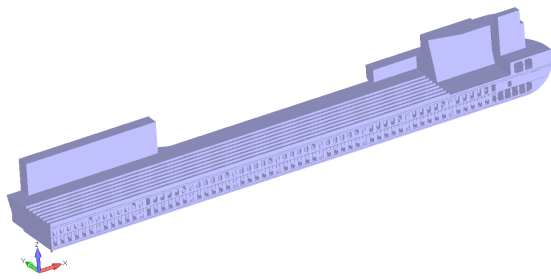


Figura 4.36. Modelul 3D-FEM al docului plutitor Dock_VARD_Tulcea

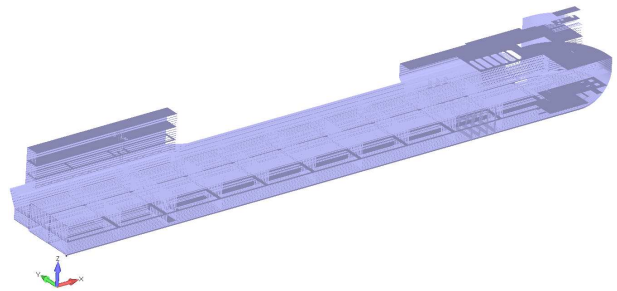


Figura 4.37. Modelul 3D-FEM al docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, planșee orizontale și longitudinale

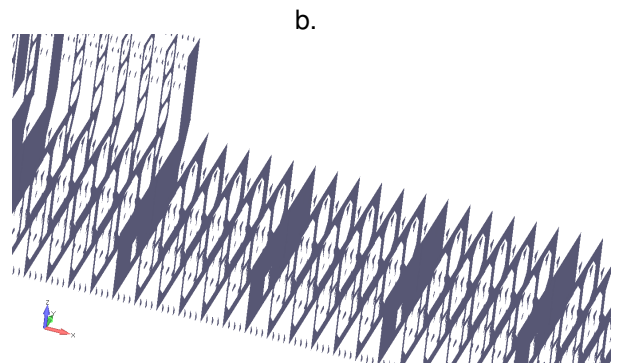
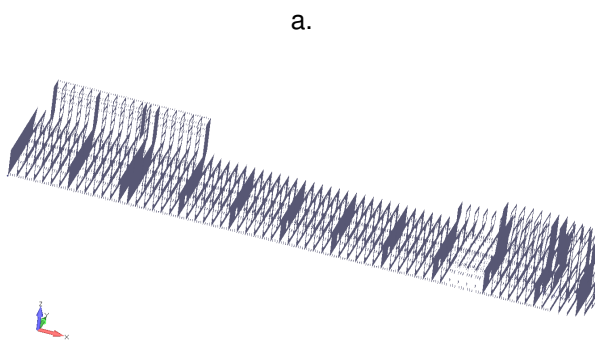


Figura 4.38.a., b. Modelul 3D-FEM al docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, cadre transversale

CAPITOLUL 5

ANALIZA COMPARATIVĂ A CAPACITĂȚII DE OPERARE A DOCURILOR PLUTITOARE DOCK60_CWT, DOCK60_NWT, CU TANCURI LATERALE SUPERIOARE CONTINUE ȘI DISCONTINUE, PE BAZA CRITERIILOR DE REZISTENȚĂ STRUCTURALĂ ȘI BORD LIBER MINIM, LA SOLICITĂRI EXTREME DIN VALURI ECHIVALENTE CVASI - STATICE

Studiul din acest capitol prezintă analiza structurală și a restricțiilor de bord liber minim, a docurilor plutitoare de mici dimensiuni, cu două variante constructive, având tancuri laterale superioare continue (Dock60_CWT) și discontinue (Dock60_NWT), folosind modele 3D-FEM extinse pe întreaga lungime, într-un singur bord pentru cazul valurilor de întâlnire și urmărire, respectiv pe întreaga lățime a docului pentru cazul valurilor oblice, conform procedurilor prezentate în capitolul 2. Cu ajutorul modelelor de grindă echivalentă 1D, se determină parametrii de echilibrare ai sistemului doc – val echivalent cvasi - static. Înălțimea valului echivalent este considerat maxim $h_{wmax} \leq 2$ m, SW, IN(0.6), IN(1.2), IN(2.0), pentru cazul navigației fluviale, și în cazul navigației costiere $h_{wmax} \leq 2,568$ m, conform normelor societăților de clasificare navale [1]. Pentru cazurile de încărcare descrise în capitolul 4.1., în continuare se vor prezenta rezultatele numerice obținute în urma analizei rezistenței generale pe model grindă echivalentă 1D, precum și pe modele 3D-FEM, în cazul valurilor echivalente cvasi - statice de întâlnire – urmărire și oblice. Pentru consistența prezentării, fiecare din cele trei subcapitole au incluse concluziile aferente.

Rezultatele pe model de grindă echivalentă 1D, val echivalent cvasi - static de întâlnire, sunt publicate și prezentate în articolul din referința [35]. Rezultatele pe model de grindă echivalentă 1D, val echivalent cvasi - static oblic, sunt publicate și prezentate în articolul din referința [37]. Rezultatele pe modelele 3D-FEM în cazul valurilor echivalente cvasi - statice de întâlnire sunt prezentate și publicate în articolul din referința [41]. Rezultatele pe modelele 3D-FEM, în cazul valurilor echivalente cvasi - statice oblice, sunt prezentate și publicate în articolul din referința [51].

5.1. Analiza structurală preliminară a docurilor plutitoare Dock60_CWT, Dock60_NWT, pe baza modelului de grindă echivalentă 1D, la solicitări din valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire - urmărire

Pentru analiza structurală preliminară a docurilor plutitoare Dock60, cu cele două variantele constructive NWT și CWT (capitolul 4.1.), am considerat criteriile de rezistență globală (structură inițială $a_{Fr}=2a_0$) bazate pe valorile admisibile ale momentului încovoietor și forței tăietoare în plan vertical AVBM, AVSF, momentul încovoietor maxim la rezistența ultimă în plan vertical AUSVBM, precum și săgeata verticală maximă admisibilă w_{adm} (tabelul 4.3., tabelul 4.4. și tabelul 4.5.). Încărcările docului corespund condiției de apă calmă SW $h_w = 0$ m în port protejat, IN(2.0) $h_w = 2$ m și RE(50%) $h_w = 2,568$ m, condiții de navigație pe rute fluviale respectiv costiere, pentru cazurile de relocare a docului plutitor, fără sau cu masă andocată, cu pasul înălțimii valului de $\delta h_w = 0,1 \div 0,25$ m, conform regulilor societăților de clasificare navale [1].

Pe baza modulului D_ACVAD, capitolul 2.1.4., anexa 3, se obțin următoarele rezultate numerice:

- diagramele săgeții verticale ale grinzii docului plutitor $w[m]$ în condiții de apă calmă și valuri echivalente cvasi - statice sagging și hogging, precum și săgeata admisibilă $w_{adm}[m]$ (tabelul 4.3., figura 5.1.1.a. – Dock60_NWT_SB, figura 5.1.1.b. – Dock60_NWT_LB, figura 5.1.2.a. – Dock60_CWT_SB, figura 5.1.2.b. – Dock60_CWT_LB);
- diagramele momentelor în plan vertical $VBM[kNm]$ ale docurilor plutitoare în condiții de apă calmă și valuri echivalente cvasi - statice sagging și hogging, precum și limitele admisibile AVBM și AVSUVBM (tabelul 4.4., figura 5.2.1.a. – Dock60_NWT_SB, figura 5.2.1.b. – Dock60_NWT_LB, figura 5.2.2.a. – Dock60_CWT_SB, figura 5.2.2.b. – Dock60_CWT_LB);
- diagramele forțelor tăietoare în plan vertical ale docului plutitor $VSF[kN]$ în condiții de apă calmă și valuri echivalente cvasi - statice sagging și hogging, precum și limitele admisibile AVSF (tabelul 4.4., figura 5.3.1.a. – Dock60_NWT_SB, figura 5.3.1.b. – Dock60_NWT_LB, figura 5.3.2.a. – Dock60_CWT_SB, figurile 5.3.2.b. – Dock60_CWT_LB).

Tabelele 5.1. a., b. – Dock60_NWT_SB/LB și tabelele 5.2. a., b. – Dock60_CWT_SB/LB, prezintă capabilitatea structurală a docurilor plutitoare Dock60_CWT/NWT formulată prin condițiile de mediu, înălțimea limită a valului echivalent cvasi - static de întâlnire h_w , pentru îndeplinirea criteriilor de rezistență și deformații globale (tabelul 4.3., tabelul 4.4.). Nu apar diferențe majore între cazurile blocurilor de andocare (SB) scurte și (LB) lungi, fapt pentru care calculele pe model de grindă echivalentă 1D și pe modele 3D-FEM se vor face doar pentru cazul blocurilor de andocare scurte.

Tabelul 5.1.a. Valorile limită în funcție de criteriile de rezistență și deformații globale, bord liber minim

Dock60 NWT SB		Hogging				Sagging			
Caz/Criteriu	Limita	$T_m[m]$	$w[m]$	$VBM[kNm]$	$VSF[kN]$	$T_m[m]$	$w[m]$	$VBM[kNm]$	$VSF[kN]$
1	IN(0.38)	0,776	-0,150	1,95E+04	2,86E+03	0,776	0,128	-1,89E+04	1,347E+03
$hw[m]$	0,378	1,848	0,922	0,378	2,568	1,848	2,568	1,844	2,568
2	IN(0.33)	6,837	-0,029	5,41E+03	3,38E+02	6,266	-0,012	2,45E+03	2,55E+02
$hw[m]$	0,326	0,326	2,568	2,568	2,568	1,468	2,568	2,568	2,568
3	IN(0.25)	1,490	-0,150	1,95E+04	2,52E+03	1,490	0,095	-1,89E+04	1,28E+03
$hw[m]$	0,252	0,420	0,781	0,252	2,568	0,420	2,568	2,476	2,568
4	IN(0.42)	1,490	-0,150	1,95E+04	2,19E+03	1,490	0,135	-1,89E+04	1,57E+03
$hw[m]$	0,420	0,420	1,309	0,664	2,568	0,420	2,568	1,724	2,568
5	SW	1,490	-0,150	1,95E+04	2,79E+03	1,490	0,076	-1,54E+04	9,41E+02
$hw[m]$	0,000	0,420	0,569	0,000	2,568	0,420	2,568	2,568	2,568
$hw[m]$	0,000	Clasa SW							

Table 5.1.b. Valorile limită în funcție de criteriile de rezistență și deformații globale, bord liber minim

Dock60 NWT LB		Hogging				Sagging			
Caz/Criteriu	Limita	$T_m[m]$	$w[m]$	$VBM[kNm]$	$VSF[kN]$	$T_m[m]$	$w[m]$	$VBM[kNm]$	$VSF[kN]$
1	IN(0.39)	0,776	-0,150	1,95E+04	2,84E+03	0,776	0,129	-1,89E+04	1,350E+03
$hw[m]$	0,388	1,848	0,933	0,388	2,568	1,848	2,568	1,824	2,568
2	IN(0.33)	6,837	-0,028	5,23E+03	3,26E+02	6,266	-0,011	2,28E+03	2,61E+02
$hw[m]$	0,326	0,326	2,568	2,568	2,568	1,468	2,568	2,568	2,568
3	IN(0.34)	1,490	-0,150	1,95E+04	2,47E+03	1,490	0,103	-1,89E+04	1,35E+03
$hw[m]$	0,335	0,420	0,871	0,335	2,568	0,420	2,568	2,329	2,568
4	IN(0.42)	1,490	-0,150	1,95E+04	2,17E+03	1,490	0,135	-1,89E+04	1,62E+03
$hw[m]$	0,420	0,420	1,325	0,679	2,568	0,420	2,568	1,702	2,568
5	SW	1,490	-0,150	1,95E+04	2,73E+03	1,490	0,077	-1,57E+04	1,00E+03
$hw[m]$	0,015	0,420	0,584	0,015	2,568	0,420	2,568	2,568	2,568
$hw[m]$	0,015	Clasa SW							

Table 5.2.a. Valorile limită în funcție de criteriile de rezistență și deformații globale, bord liber minim

Dock60 CWT SB		Hogging				Sagging			
Caz/Criteriu	Limită	$T_m[m]$	$w[m]$	$VBM[kNm]$	$VSF[kN]$	$T_m[m]$	$w[m]$	$VBM[kNm]$	$VSF[kN]$
1	IN(1.93)	0,958	-0,025	5,40E+04	3,08E+03	0,958	0,012	-2,67E+04	1,394E+03
$hw[m]$	1,934	1,934	2,568	2,568	2,568	1,934	2,568	2,568	2,568
2	IN(0.60)	6,700	-0,004	7,54E+03	3,77E+02	6,700	0,009	-2,00E+04	1,16E+03
$hw[m]$	0,600	0,600	2,568	2,568	2,568	0,600	2,568	2,568	2,568
3	IN(0.55)	1,650	-0,023	4,73E+04	2,77E+03	1,650	-0,023	-1,54E+04	1,09E+03
$hw[m]$	0,549	0,549	2,568	2,568	2,568	0,549	2,568	2,568	2,568
4	IN(0.55)	1,650	-0,019	4,00E+04	2,45E+03	1,650	0,010	-2,28E+04	1,38E+03
$hw[m]$	0,549	0,549	2,568	2,568	2,568	0,549	2,568	2,568	2,568
5	IN(0.55)	1,650	-0,024	5,17E+04	3,04E+03	1,650	0,005	-1,10E+04	7,53E+02
$hw[m]$	0,549	0,549	2,568	2,568	2,568	0,549	2,568	2,568	2,568
$hw[m]$	0,549	Clasa IN(0.55)							

Tabelul 5.2.b. Valorile limită în funcție de criteriile de rezistență și deformații globale, bord liber minim

Dock60 CWT LB		Hogging				Sagging			
Caz/Criteriu	Limită	$T_m[m]$	$w[m]$	$VBM[kNm]$	$VSF[kN]$	$T_m[m]$	$w[m]$	$VBM[kNm]$	$VSF[kN]$
1	IN(1.93)	0,958	-0,025	5,38E+04	3,03E+03	0,958	0,013	-2,69E+04	1,393E+03
$hw[m]$	1,934	1,934	2,568	2,568	2,568	1,934	2,568	2,568	2,568
2	IN(0.60)	6,700	-0,003	7,37E+03	3,63E+02	6,700	0,009	-2,02E+04	1,19E+03
$hw[m]$	0,600	0,600	2,568	2,568	2,568	0,600	2,568	2,568	2,568
3	IN(0.55)	1,650	-0,022	4,59E+04	2,69E+03	1,650	0,007	-1,68E+04	1,16E+03
$hw[m]$	0,549	0,549	2,568	2,568	2,568	0,549	2,568	2,568	2,568
4	IN(0.55)	1,650	-0,019	3,98E+04	2,38E+03	1,650	0,010	-2,30E+04	1,43E+03
$hw[m]$	0,549	0,549	2,568	2,568	2,568	0,549	2,568	2,568	2,568
5	IN(0.55)	1,650	-0,024	5,15E+04	2,98E+03	1,650	0,005	-1,13E+04	8,05E+02
$hw[m]$	0,549	0,549	2,568	2,568	2,568	0,549	2,568	2,568	2,568
$hw[m]$	0,549	Clasa IN(0.55)							

În cazul Dock60_CWT, criteriile de rezistență și deformații globale nu impun restricții în ceea ce privește condițiile de mediu, $h_{w_{lim\ it}} = 2,568m$. În cazul docului Dock60_NWT, criteriile de rezistență și deformațiile globale conduc la următoarele restricții pentru fiecare caz de deplasament (tabelul 4.3., tabelul 4.4.):

- Criteriul forței tăietoare admisibile VSF nu impune restricții în nici un caz;
- Pentru cazurile 1, 3 și 4 (tabelul 4.6.), conform criteriului momentului încovoietor ultim USBVM rezultă înălțimea limită a valului echivalent cvasi - static la hogging $h_{w_{lim\ it}} = 0,25 \div 0,68m$ și la sagging $h_{w_{lim\ it}} = 1,70 \div 2,48m$;
- Pentru cazul 5 (tabelul 4.6.) conform criteriului momentului încovoietor ultim USBVM rezultă înălțimea limită a valului echivalent cvasi - static la hogging $h_{w_{lim\ it}} = 0 \div 0,015m$ și la sagging fără restricții $h_{w_{lim\ it}} = 2,568m$;
- Criteriul săgeții maxime admisibile $w[m]$ nu impune restricții în cazul de val echivalent cvasi - static sagging;
- Pentru cazurile 1, 3 și 4 (tabelul 4.7.) conform criteriului săgeții maxime admisibile rezultă înălțimea limită a valului echivalent cvasi - static hogging $h_{w_{lim\ it}} = 0,78 \div 1,32m$;
- Pentru cazul 5 (tabelul 4.7.) conform criteriului săgeții maxime admisibile rezultă înălțimea limită a valului echivalent cvasi - static hogging $h_{w_{lim\ it}} = 0,57 \div 0,58m$;
- Pentru cazul 2 (tabelul 4.7.) nu există restricții conform criteriilor de rezistență și deformații globale, $h_{w_{lim\ it}} = 2,568m$;

Concluzionând cele prezentate mai sus putem afirma că din criteriile de rezistență și deformații globale, în cazul docului plutitor cu tancuri discontinue NWT (tabelul 4.6.), scenariul extrem este reprezentat de cazul 5 $h_{w_{lim\ it}} = 0m$ (SW – apă calmă), fără restricții în cazul 2 $h_{w_{lim\ it}} = 2,568m$ și cu restricții pentru cazurile 1, 3 și 4, $h_{w_{lim\ it}} = 0,25 \div 2,48m$, fiind necesară în aceste trei cazuri operarea într-un port protejat.

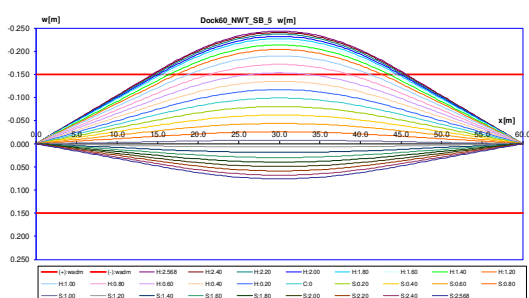


Figura 5.1.1.a. Diagrama deformațiilor verticale $w[m]$ ale grinzii docului plutitor Dock60_NWT, cu blocuri de andocare scurte (SB), cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t, cu distribuția hogging a masei andocate, structură inițială $a_{F1}=2a_0$

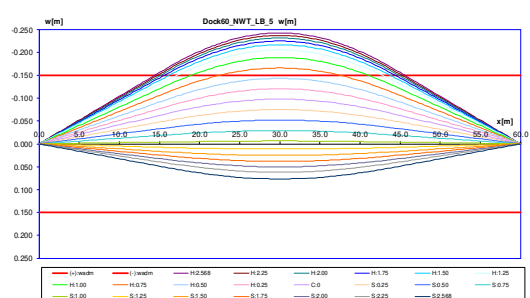


Figura 5.1.1.b. Diagrama deformațiilor verticale $w[m]$ ale grinzii docului plutitor Dock60_NWT, cu blocuri de andocare lungi (LB), cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t, cu distribuția hogging a masei andocate, structură inițială $a_{F1}=2a_0$

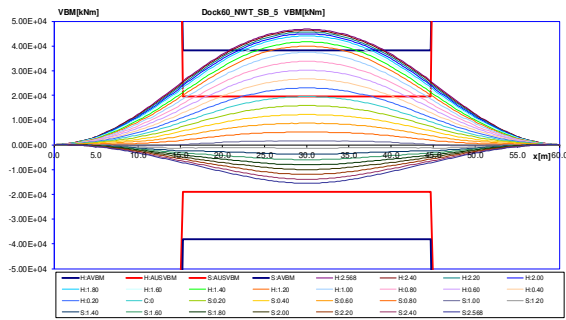


Figura 5.2.1.a. Diagrama momentului încovoietor în plan vertical VBM[kNm] al grinzii docului plutitor Dock60_NWT, cu blocuri de andocare scurte (SB), cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t, cu distribuția hogging a masei andocate, structură inițială $a_F=2a_0$

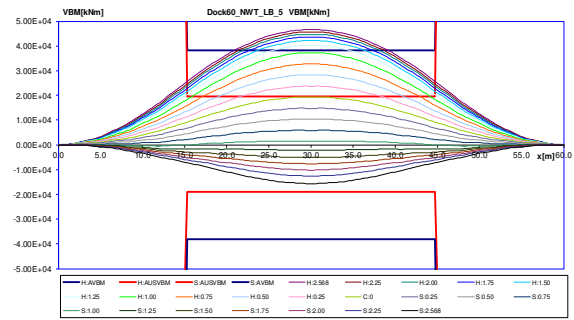


Figura 5.2.1.b. Diagrama momentului încovoietor în plan vertical VBM[kNm] al grinzii docului plutitor Dock60_NWT, cu blocuri de andocare lungi (LB), cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t, cu distribuția hogging a masei andocate, structură inițială $a_F=2a_0$

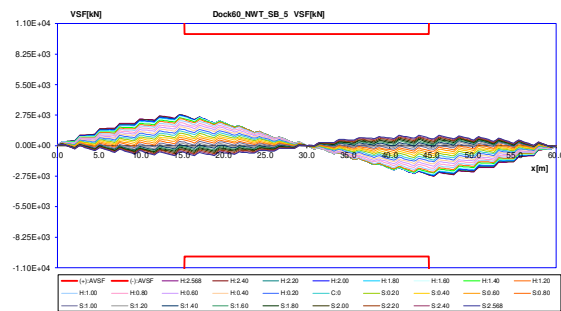


Figura 5.3.1.a. Diagrama forței tăietoare verticale VF[kN] a grinzii docului plutitor Dock60_NWT, cu blocuri de andocare scurte (SB), cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t, cu distribuția hogging a masei andocate, structură inițială $a_F=2a_0$

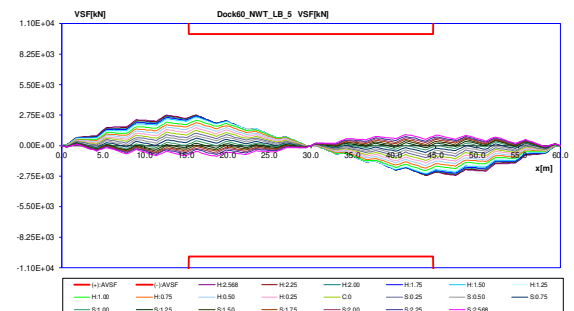


Figura 5.3.1.b. Diagrama forței tăietoare verticale VF[kN] a grinzii docului plutitor Dock60_NWT, cu blocuri de andocare lungi (LB), cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t, cu distribuția hogging a masei andocate, structură inițială $a_F=2a_0$

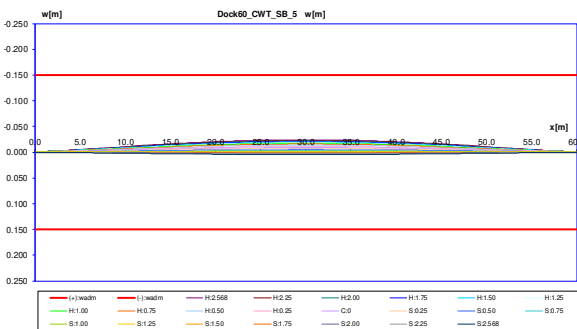


Figura 5.1.2.a. Diagrama deformațiilor verticale w[m] ale grinzii docului plutitor Dock60_CWT, cu blocuri de andocare scurte (SB), cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t, cu distribuția hogging a masei andocate, structură inițială $a_F=2a_0$

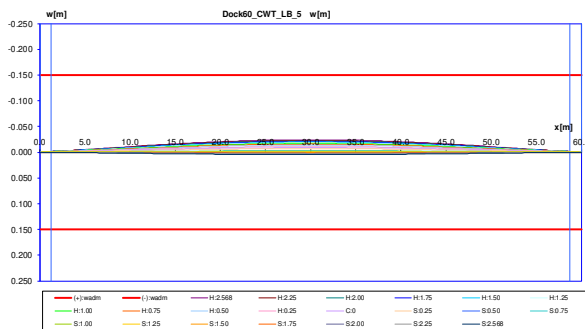


Figura 5.1.2.b. Diagrama deformațiilor verticale w[m] ale grinzii docului plutitor Dock60_CWT, cu blocuri de andocare lungi (LB), cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t, cu distribuția hogging a masei andocate, structură inițială $a_F=2a_0$

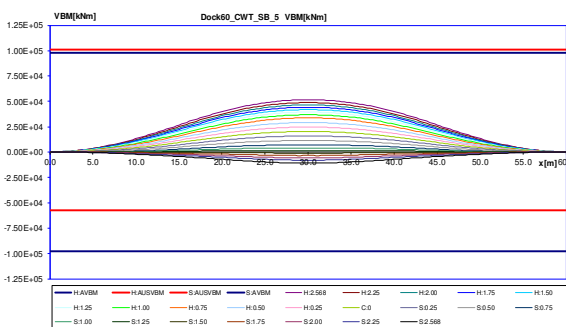


Figura 5.2.2.a. Diagrama momentului încovoietor în plan vertical VBM[kNm] al grinzii docului plutitor Dock60_CWT, cu blocuri de andocare scurte (SB), cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t, cu distribuția hogging a masei andocate, structură inițială $a_F=2a_0$

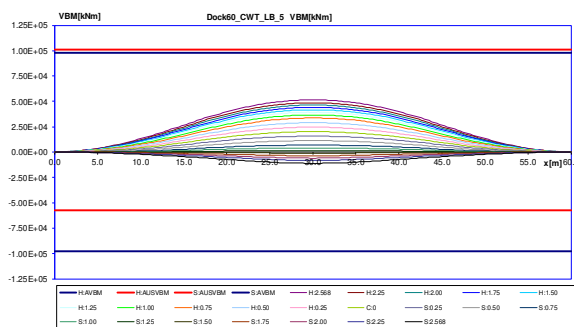


Figura 5.2.2.b. Diagrama momentului încovoietor în plan vertical VBM[kNm] al grinzii docului plutitor Dock60_CWT, cu blocuri de andocare lungi (LB), cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t, cu distribuția hogging a masei andocate, structură inițială $a_F=2a_0$

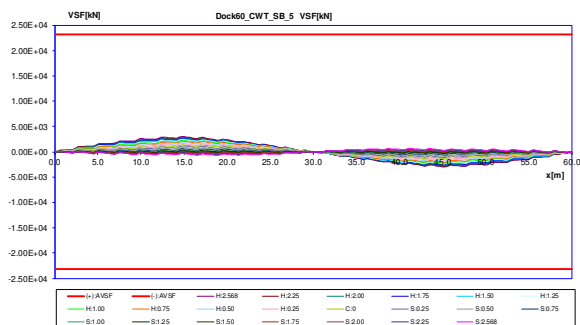


Figura 5.3.2.a. Diagrama forței tăietoare verticale VSF[kN] a grinzii docului plutitor Dock60_CWT, cu blocuri de andocare scurte (SB), cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t, cu distribuția hogging a masei andocate, structură inițială $a_{Fr}=2a_0$

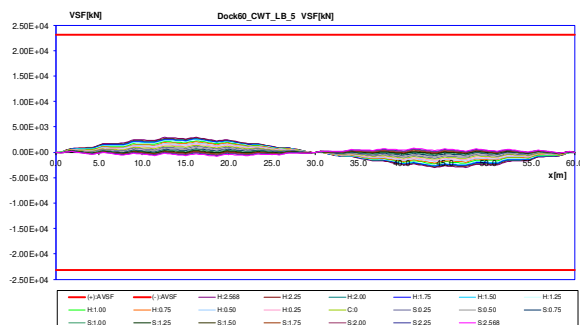


Figura 5.3.2.b. Diagrama forței tăietoare verticale VSF[kN] a grinzii docului plutitor Dock60_CWT, cu blocuri de andocare lungi (LB), cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t, cu distribuția hogging a masei andocate, structură inițială $a_{Fr}=2a_0$

Considerând doar criteriul bordului liber minim, se obțin următoarele restricții (înălțimea limită a valului):

- Dock60_NWT: cazul 1 $h_{w_{lim\ it}} = 1,85m$, cazurile 2 – 5 $h_{w_{lim\ it}} = 0,33 \div 0,42m$ - tabelul 5.7.a., b.;
- Dock60_CWT: cazul 1 $h_{w_{lim\ it}} = 1,93m$, cazurile 2 – 5 $h_{w_{lim\ it}} = 0,55 \div 0,60m$ - tabelul 5.8.a., b.

Din rezultatele numerice din acest subcapitol (tabelul 5.2.a., b., tabelul 5.3.a., b.) rezultă că restricțiile de operare ale docurilor plutitoare Dock60_CWT/NWT cu privire la condițiile de mediu (înălțimea limită a valului) sunt impuse de criteriile momentului încovoietor ultim USVBM și al bordului liber minim.

În sinteză, pentru cele 20 de cazuri de deplasament (tabelul 4.6., tabelul 4.7. – capitolul 4.1.), în tabelul 5.3. se prezintă capacitatea de operare a docurilor plutitoare Dock60_CWT/NWT din criteriile de rezistență, deformații globale și bord liber minim. Situația extremă este cazul 5, având masa andocată la capacitatea maximă de 828t, cu o distribuție tip hogging, pentru versiunea constructivă cu tancuri laterale superioare discontinue Dock60_NWT, unde au fost atinse valori extreme pentru criteriul rezistenței globale ultime în cazul structurii inițiale $a_{Fr}=2a_0$.

Tabelul 5.3. Capacitatea de operare în condiții de siguranță a docurilor plutitoare Dock60_CWT/NWT, pe baza criteriilor de rezistență, deformații globale și bord liber minim

Caz	Dock60_NWT $h_{w_{lim\ it}} [m]$		Dock60_CWT $h_{w_{lim\ it}} [m]$	
	SB blocuri	LB blocuri	SB blocuri	LB blocuri
Fără masă andocată și nebalastat	0,38	0,39	1,93	1,93
Fără masă andocată, balastat la capacitatea maximă	0,33	0,33	0,60	0,60
Cu masă andocată la capacitatea maximă de 828 t, cu distribuția uniformă a masei	0,25	0,34	0,55	0,55
Cu masă andocată la capacitatea maximă de 828 t, cu distribuția tip sagging a masei	0,42	0,42	0,55	0,55
Cu masă andocată la capacitatea maximă de 828 t, cu distribuția tip hogging a masei	0	0,015	0,55	0,55
Cazurile 2 - 5 Operațiunea de andocare și balastare	În cazul unui port protejat condiție de apă calmă		Port neprotejat/protejat $\approx IN(0.6)$ înălțimea valului de 0,6m	
Cazul 1 Operațiunea de relocare	Numai în apele interioare, cu aprobarea specială a autorităților de navigație ($h_w < 0,38 m$)		$\approx IN(2.0)$ navigație interioară pe întreg domeniul de navigație Navigație costieră doar cu aprobări speciale ($h_w < 1,93m$)	

Pe baza analizelor din acest subcapitol rezultă următoarele concluzii, sintetizate în tabelul 5.4.:

- Din evaluarea docurilor plutitoare Dock60_CWT/NWT conform criteriului de rezistență globală, pentru înălțimea valului echivalent cvasi - static extrem $h_{w\lim} \leq 2,568m$, rezultă că pentru versiunea constructivă CWT nu sunt restricții. Pentru versiunea constructivă NWT, exceptând cazul 2 balastat la capacitatea maximă, în celelalte cazuri rezultă restricții (cazurile 1, 3 și 4 $h_{w\lim} \geq 0,25m$) cu condiția extremă pentru cazul 5, cu masă andocată la capacitatea maximă de 828 t cu distribuție tip hogging, unde $h_{w\lim} \approx 0$ (SW apă calmă). Restricțiile sunt induse de criteriul momentului încovoietor în plan vertical la rezistența ultimă. În varianta Dock60_NWT, la centrul pontonului, deoarece tancurile superioare laterale sunt discontinue, rezistența globală este redusă semnificativ, în comparație cu varianta CWT, care are tancurile superioare laterale continue pe toată lungimea docului plutitor.
- Din evaluarea docului plutitor Dock60 conform criteriului de bord liber minim, în cazul 1 fără masă andocată există o rezervă semnificativă de bord liber. În cazul 1 se poate realiza relocarea docului, corespunzând condițiilor de navigație interioară fără restricții IN (2.0). Pentru celelalte cazuri de deplasament 2 - 5 restricțiile sunt $h_{w\lim} \leq 0,42m$ (NWT) și $h_{w\lim} \geq 0,55m \approx 0,6m$ (CWT) corespunzând aproximativ condițiilor de navigație fluvială IN(0.6).
- Docul plutitor Dock60_CWT – tip cheson cu tancuri superioare laterale continue are capacitatea de operare mai mare (fără restricții din criteriul de rezistență globală) comparativ cu varianta constructivă Dock60_NWT – cu tancuri superioare laterale discontinue.

Tabelul 5.4. Capacitatea de operare în condiții de siguranță ale docului plutitor Dock60, analiză pe model de grindă echivalentă 1D la solicitări din valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire - urmărire

Cazul de încărcare	Dock60_NWT versiunea cu tancuri superioare laterale discontinue (blocuri SB/LB)	Dock60_CWT versiunea cu tancuri superioare laterale continue (blocuri SB/LB)
1. Fără masă andocată	- operațiuni în porturi protejate (SW), ($h_{w\lim} < 0,38m$) - relocarea este posibilă doar, cu aprobarea specială a autorităților portuare	- operare în port neprotejat \approx IN(2.0) / port protejat (SW) ($h_{w\lim} < 1,93m$) - relocarea pe căile navigabile fluviale sau în zona costieră se poate face doar cu aprobarea specială a autorităților de navigație
2. Fără masă andocată, balastat la capacitatea maximă	- port protejat (SW) (operare doar în apă calmă) - nu este permisă relocarea	- port protejat (SW) (operare doar în apă calmă) - nu este permisă relocarea
3. Andocare la capacitatea maximă de 828 t, cu distribuția uniformă a masei andocată	- operare doar în porturi protejate (SW), ($h_{w\lim} < 0,25m$) - nu sunt concepute pentru operațiunea de relocare cu nava andocată la bord	- operare în porturi neprotejate \approx IN(0.6) / protejate (SW), ($h_{w\lim} < 0,55m$) - nu sunt concepute pentru operațiunea de relocare cu nava andocată la bord
4. Andocare la capacitatea maximă de 828 t, cu distribuția tip sagging a masei andocată	- operare în porturi protejate (SW), ($h_{w\lim} < 0,42m$) - nu sunt concepute pentru operațiunea de relocare cu nava andocată la bord	- operare în porturi neprotejate \approx IN(0.6) / protejate (SW), ($h_{w\lim} < 0,55m$) - nu sunt concepute pentru operațiunea de relocare cu nava andocată la bord
5. Andocare la capacitatea maximă de 828 t, cu distribuția tip hogging a masei andocată	- operare în porturi protejate (SW), ($h_{w\lim} \approx 0$ m), cazul extrem de solicitări - nu sunt concepute pentru operațiunea de relocare cu nava andocată la bord	- operare în porturi neprotejate \approx IN(0.6) / protejate (SW), ($h_{w\lim} < 0,55m$) - nu sunt concepute pentru operațiunea de relocare cu nava andocată la bord

5.2. Evaluarea docurilor plutitoare Dock60_CWT/NWT, cu structura întărită ($a_F=a_0$), la solicitări din valuri oblice, pe baza modelului de grindă echivalentă 1D

Acest subcapitol prezintă analiza rezistenței generale pe modele de grindă echivalentă 1D, pentru docurile plutitoare de mici dimensiuni, Dock60_CWT/NWT, având structura întărită $a_F=a_0$, pentru patru din cazurile de operare prezentate în subcapitolul anterior. Nu se analizează cazul fără masă andocată balastat maxim, datorită restricțiilor evidențiate în subcapitolul anterior, operarea în acest caz fiind permisă doar în condiții de apă calmă. Pentru cazul valurilor oblice, am ținut cont de faptul că docurile plutitoare de mici dimensiuni, Dock60_NWT/CWT, au o dublă simetrie (figurile 4.1. – 4.2.b., figurile 4.9. – 4.12. - capitolul 4.1.), astfel încât, unghiul de incidență al valului poate fi considerat pentru valorile $\mu = 0 \div 90^\circ$, pentru un pas de $\delta\mu = 15^\circ$. Analiza rezistenței generale pe modele de grindă echivalentă 1D, în valuri oblice, pentru cele două versiuni constructive ale docurilor plutitoare Dock60_NWT/CWT, se realizează cu ajutorul programului P_QSWD (capitolul 2) [44]. În tabelele 5.5. – 5.6. a. – d și figurile 5.4. – 5.8. se prezintă rezultatele analizei rezistenței generale pe baza modelelor de grindă echivalentă 1D a docurilor plutitoare Dock60_NWT/CWT, precum și verificarea criteriului bordului liber minim. Pentru fiecare caz de andocare au rezultat 52 de subcazuri analizate.

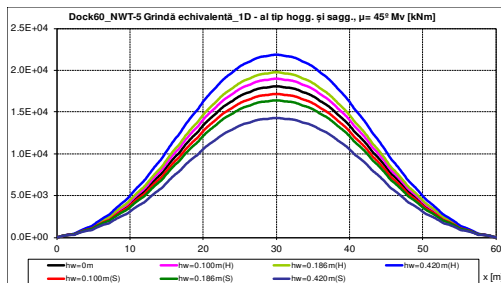


Figura 5.4.1. Momentul încovoietor în plan vertical [kNm], model 1D, cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t, cu distribuția hogging a masei, docul plutitor Dock60_NWT, val echivalent cvasi-static oblic $\mu=45^\circ$ tip sagging (S) și hogging (H), structură întărită $a_F=a_0$

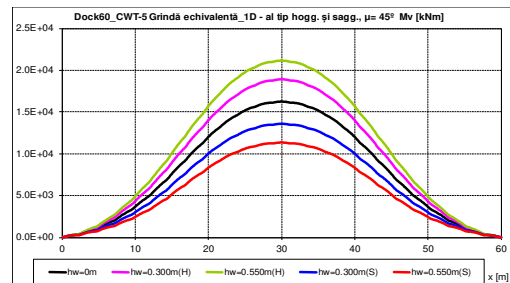


Figura 5.4.2. Momentul încovoietor în plan vertical [kNm], model 1D, cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t, cu distribuția hogging a masei, docul plutitor Dock60_CWT, val echivalent cvasi-static oblic $\mu=45^\circ$ tip sagging (S) și hogging (H), structură întărită $a_F=a_0$

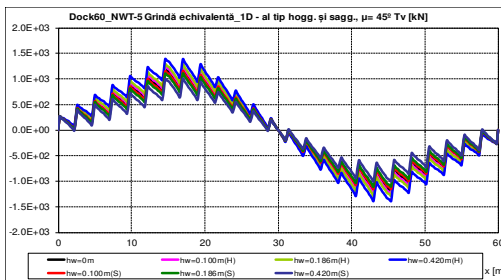


Figura 5.5.1. Forța tăietoare verticală [kN], model 1D, cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t, cu distribuția hogging a masei, docul plutitor Dock60_NWT, val echivalent cvasi-static oblic $\mu=45^\circ$ tip sagging (S) și hogging (H), structură întărită $a_F=a_0$

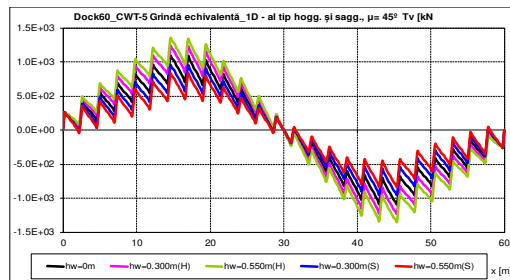


Figura 5.5.2. Forța tăietoare verticală [kN], model 1D, cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t, cu distribuția hogging a masei, docul plutitor Dock60_CWT, val echivalent cvasi-static oblic $\mu=45^\circ$ tip sagging (S) și hogging (H), structură întărită $a_F=a_0$

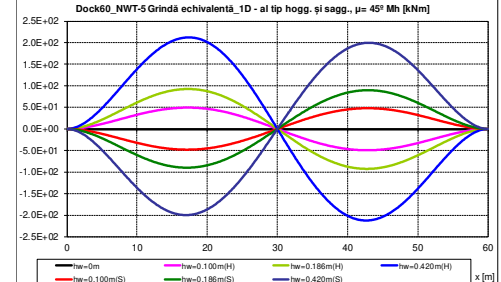


Figura 5.6.1. Momentul încovoietor în plan orizontal [kNm], model 1D, cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t, cu distribuția hogging a masei, docul plutitor Dock60_NWT, val echivalent cvasi-static oblic $\mu=45^\circ$ tip sagging (S) și hogging (H), structură întărită $a_F=a_0$

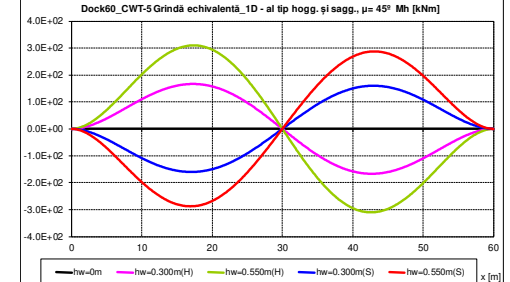


Figura 5.6.2. Momentul încovoietor în plan orizontal [kNm], model 1D, cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t, cu distribuția hogging a masei, docul plutitor Dock60_CWT, val echivalent cvasi-static oblic $\mu=45^\circ$ tip sagging (S) și hogging (H), structură întărită $a_F=a_0$

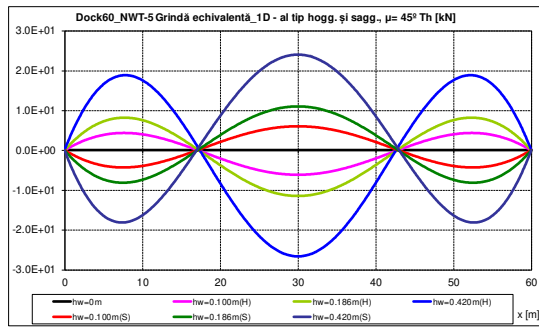


Figura 5.7.1. Forța tăietoare orizontală [kN], model 1D, cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t, cu distribuția hogging a masei, docul plutitor Dock60_NWT, val echivalent cvasi-static oblic $\mu=45^\circ$ tip sagging (S) și hogging (H), structură întărită $a_F=a_0$

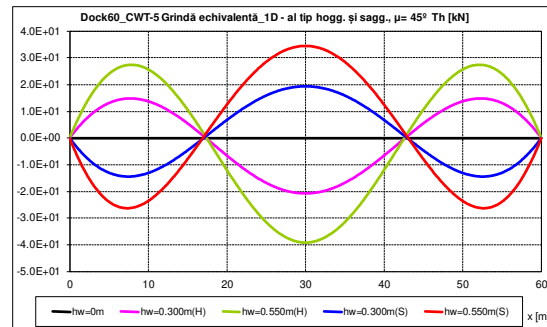


Figura 5.7.2. Forța tăietoare orizontală [kN], model 1D, cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t, cu distribuția hogging a masei, docul plutitor Dock60_CWT, val echivalent cvasi-static oblic $\mu=45^\circ$ tip sagging (S) și hogging (H), structură întărită $a_F=a_0$

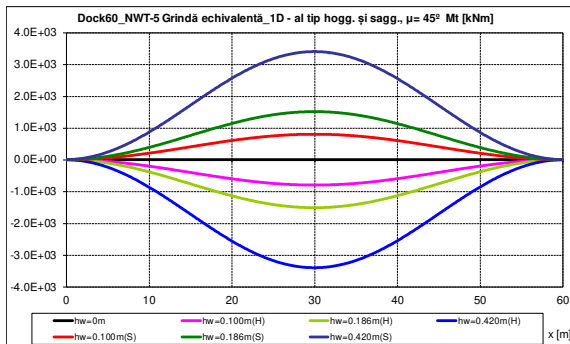


Figura 5.8.1. Momentul de torsiune [kNm], model 1D, cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t, cu distribuția hogging a masei, docul plutitor Dock60_NWT, val echivalent cvasi-static oblic $\mu=45^\circ$ tip sagging (S) și hogging (H), structură întărită $a_F=a_0$

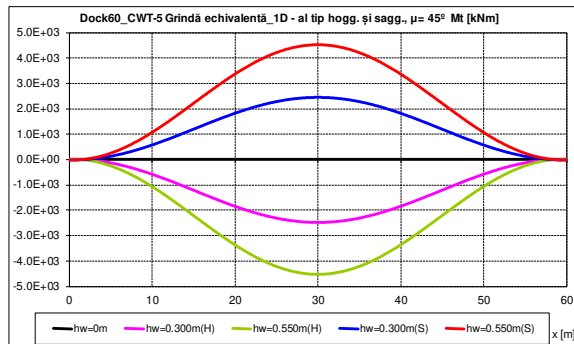


Figura 5.8.2. Momentul de torsiune [kNm], model 1D, cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t, cu distribuția hogging a masei, docul plutitor Dock60_CWT, val echivalent cvasi-static oblic $\mu=45^\circ$ tip sagging (S) și hogging (H), structură întărită $a_F=a_0$

Tabelele 5.5.a. – d. și 5.6. a. – d. prezintă valorile maxime ale momentelor încovoietoare, a forțelor tăietoare și a momentului de torsiune pentru cele două variante constructive de docuri plutitoare de mici dimensiuni, pentru gama de unghiuri de întâlnire doc - val de la 0° la 90° . De asemenea, conform datelor din tabele, în figurile 5.4. – 8. sunt selectate diagramele valorilor eforturilor secționale pentru modelele de grindă echivalentă 1D a celor două versiuni constructive a docurilor plutitoare de mici dimensiuni Dock60_CWT/NWT, în cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t, cu distribuția hogging a masei.

Figurile 5.9. – 5.13. a., b. prezintă diagramele valorilor maxime ale forțelor tăietoare, momentelor încovoietoare și de torsiune pentru cele două variante constructive ale docurilor plutitoare de mici dimensiuni Dock60_CWT/NWT.

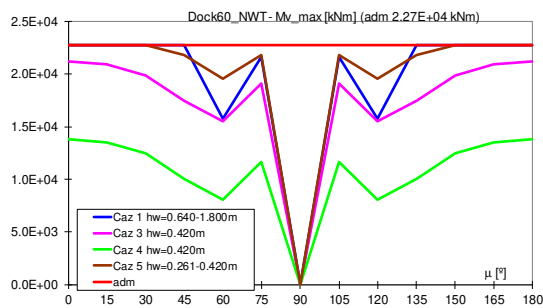


Figura 5.9.a. Valorile maxime ale momentului încovoietor în plan vertical în cazul docului plutitor Dock60_NWT, model 1D, structură întărită $a_F=a_0$

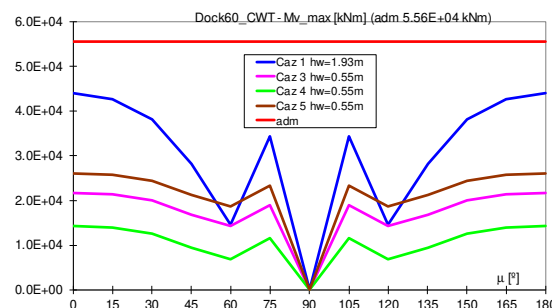


Figura 5.9.b. Valorile maxime ale momentului încovoietor în plan vertical în cazul docului plutitor Dock60_CWT, model 1D, structură întărită $a_F=a_0$

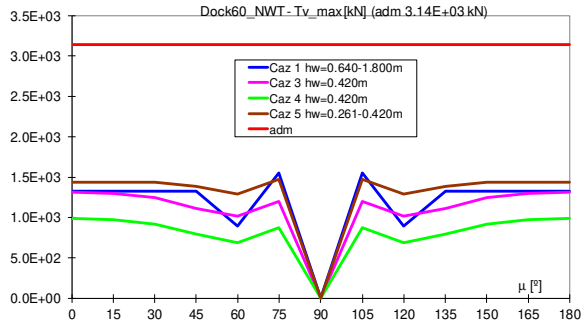


Figura 5.10.a. Valorile maxime ale forțelor tăietoare verticale în cazul docului plutitor Dock60_NWT, model 1D, structură întărită $a_{Fr}=a_0$

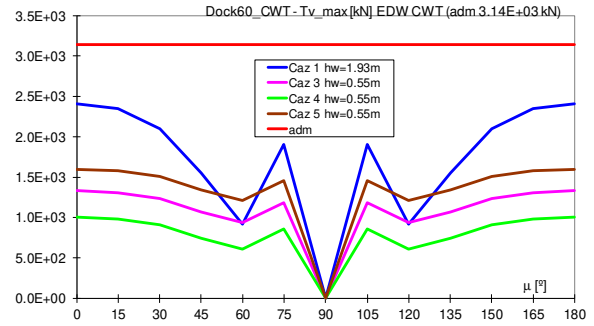


Figura 5.10.b. Valorile maxime ale forțelor tăietoare verticale în cazul docului plutitor Dock60_CWT, model 1D, structură întărită $a_{Fr}=a_0$

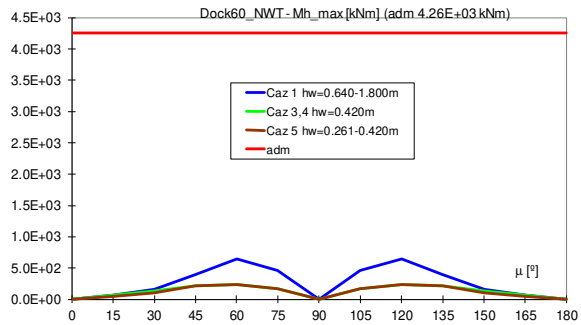


Figura 5.11.a. Valorile maxime ale momentului încovoietor în plan orizontal în cazul docului plutitor Dock60_NWT, model 1D, structură întărită $a_{Fr}=a_0$

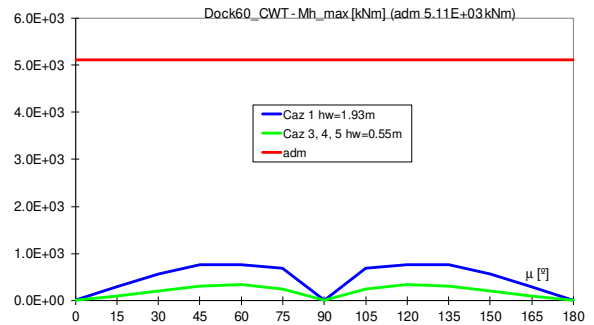


Figura 5.11.b. Valorile maxime ale momentului încovoietor în plan orizontal în cazul docului plutitor Dock60_CWT, model 1D, structură întărită $a_{Fr}=a_0$

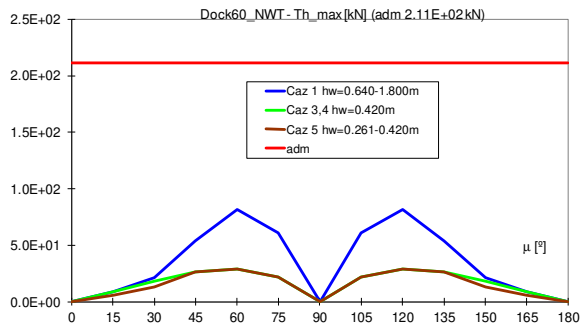


Figura 5.12.a. Valorile maxime ale forțelor tăietoare orizontale în cazul docului plutitor Dock60_NWT, model 1D, structură întărită $a_{Fr}=a_0$

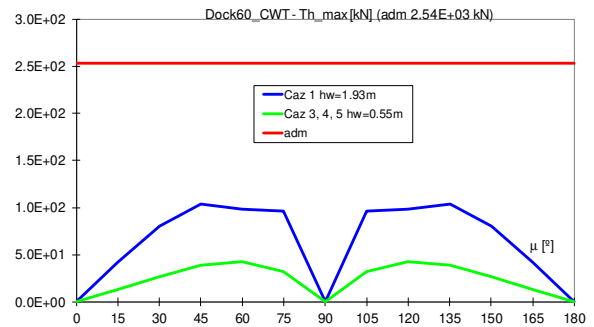


Figura 5.12.b. Valorile maxime ale forțelor tăietoare orizontale în cazul docului plutitor Dock60_CWT, model 1D, structură întărită $a_{Fr}=a_0$

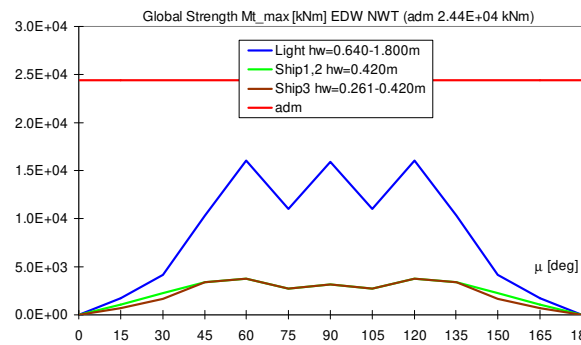


Figura 5.13.a. Valorile maxime ale momentului de torsiune în cazul docului plutitor Dock60_NWT, model 1D, structură întărită $a_{Fr}=a_0$

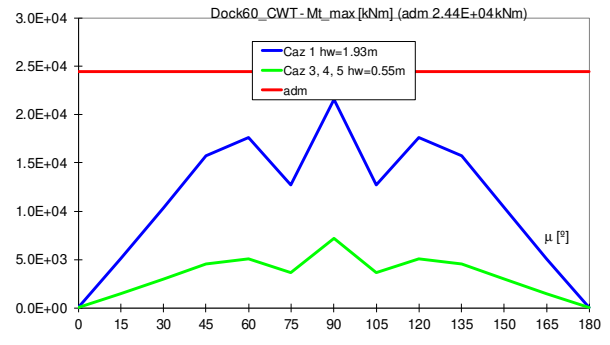


Figura 5.13.b. Valorile maxime ale momentului de torsiune în cazul docului plutitor Dock60_CWT, model 1D, structură întărită $a_{Fr}=a_0$

Tabelul 5.5.a. Valorile maxime ale eforturilor secționale, model 1D, și verificarea criteriului de bord liber minim pentru Dock60_NWT, în cazul fără masa andocată

NWT fără masă andocată $\Delta[t] = 960$; $x_G = x_f [m] = 30$; $y_G = y_f [m] = 0$; $T_m [m] = 0,800$; $\theta [rad] = 0$; $\varphi [rad] = 0$															
1D	$\mu [deg]$	0	max/ adm	15	max/ adm	30	max/ adm	45	max/ adm	60	max/ adm	75	max/ adm	90	max/ adm
$h_{wlim} [m]$	wave	0,640		0,666		0,778		1,278		1,800		1,800		1,800	
Fs [m]	sw	1,200	>1	$F_s [m] = 0,300$											
	hogg	0,880	>1	0,867	>1	0,811	>1	0,561	>1	0,300	1,00	0,300	1,00	0,300	1,00
	sagg	0,880	>1	0,867	>1	0,811	>1	0,561	>1	0,300	1,00	0,300	1,00	0,300	1,00
VBM [kNm] max.	sw	1,13E+4	0,50	$AVBM [kNm] = 2,27E+04$											
	hogg	2,27E+4	1,00	2,27E+4	1,00	2,27E+4	1,00	2,27E+4	1,00	1,01E+4	0,45	6,43E+3	0,28	0	0
	sagg	2,99E+2	0,01	2,99E+2	0,01	2,96E+2	0,01	3,03E+2	0,01	1,58E+4	0,69	2,16E+4	0,95	0	0

Tabelul 5.5.b. Valorile maxime ale eforturilor secționale, model 1D, și verificarea criteriului de bord liber minim pentru Dock60_NWT, în cazul cu masa andocată la capacitatea maximă cu distribuție uniformă

NWT distribuție uniformă $\Delta[t] = 1788$; $x_G = x_f [m] = 30$; $y_G = y_f [m] = 0$; $T_m [m] = 1,490$; $\theta [rad] = 0$; $\varphi [rad] = 0$															
1D	$\mu [deg]$	0	max/ adm	15	max/ adm	30	max/ adm	45	max/ adm	60	max/ adm	75	max/ adm	90	max/ adm
$h_{wlim} [m]$	wave	0,420		0,420		0,420		0,420		0,420		0,420		0,420	
Fs [m]	sw	0,510	1,70	$F_s [m] = 0,300$											
	hogg	0,300	1,00	0,300	1,00	0,300	1,00	0,300	1,00	0,300	1,00	0,300	1,00	0,300	1,00
	sagg	0,300	1,00	0,300	1,00	0,300	1,00	0,300	1,00	0,300	1,00	0,300	1,00	0,300	1,00

Tabelul 5.5.c. Valorile maxime ale eforturilor secționale, model 1D, și verificarea criteriului de bord liber minim pentru Dock60_NWT, în cazul cu masa andocată la capacitatea maximă cu distribuție sagging

NWT distribuție sagging $\Delta[t] = 1788$; $x_G = x_f [m] = 30$; $y_G = y_f [m] = 0$; $T_m [m] = 1,490$; $\theta [rad] = 0$; $\varphi [rad] = 0$															
1D	$\mu [deg]$	0	max/ adm	15	max/ adm	30	max/ adm	45	max/ adm	60	max/ adm	75	max/ adm	90	max/ adm
$h_{wlim} [m]$	wave	0,420		0,420		0,420		0,420		0,420		0,420		0,420	
Fs [m]	sw	0,510	1,70	$F_s [m] = 0,300$											
	hogg	0,300	1,00	0,300	1,00	0,300	1,00	0,300	0,300	1,00	0,300	1,00	0,300	1,00	0,300
	sagg	0,300	1,00	0,300	1,00	0,300	1,00	0,300	0,300	1,00	0,300	1,00	0,300	1,00	0,300

Tabelul 5.5.d. Valorile maxime ale eforturilor secționale, model 1D, și verificarea criteriului de bord liber minim pentru Dock60_NWT, în cazul cu masa andocată la capacitatea maximă cu distribuție hogging

NWT distribuție hogging $\Delta[t] = 1788$; $x_G = x_f [m] = 30$; $y_G = y_f [m] = 0$; $T_m [m] = 1,490$; $\theta [rad] = 0$; $\varphi [rad] = 0$															
1D	$\mu [deg]$	0	max/ adm	15	max/ adm	30	max/ adm	45	max/ adm	60	max/ adm	75	max/ adm	90	max/ adm
$h_{wlim} [m]$	wave	0,261		0,272		0,318		0,420		0,420		0,420		0,420	
Fs [m]	sw	0,510	1,70	$F_s [m] = 0,300$											
	hogg	0,379	1,26	0,374	1,24	0,351	1,17	0,300	1,00	0,300	1,00	0,300	1,00	0,300	1,00
	sagg	0,379	1,26	0,374	1,24	0,351	1,17	0,300	1,00	0,300	1,00	0,300	1,00	0,300	1,00

Din analiza pe modele 1D la solicitări în valuri echivalente cvasi - statice oblice a celor două variante constructive pentru docurile plutitoare de mici dimensiuni Dock60_NWT/CWT cu structura întărită $a_{Fr}=a_0$ rezultă următoarele concluzii:

- Pentru docul de mici dimensiuni Dock60_NWT, funcție de unghiul de incidență al valului $\mu = 0 \div 90^\circ (360^\circ)$, s-au stabilit următoarele limite ale înălțimii maxime a valului, pentru cazul fără masă andocată (tabelul 5.5.a.) $h_{w \text{ lim}} = 0,640 \div 1,278 \text{ m}$ - cu restricții din criteriul momentului încovoietor admisibil în plan vertical pentru $\mu = 0 \div 60^\circ (120 \div 180^\circ, 180 \div 240^\circ, 300 \div 360^\circ)$ în cazul valurilor tip hogging, și $h_{w \text{ lim}} = 1,800 \text{ m}$ - cu restricții din criteriul bordului liber minim pentru $\mu = 60 \div 90^\circ (90 \div 120^\circ, 240 \div 300^\circ)$; cazul de andocare la capacitatea maximă de 828t cu masa distribuită uniform și sagging (tabelele 5.5.b. și c.) $h_{w \text{ lim}} = 0,42 \text{ m}$ - cu restricții din criteriul bordului liber minim pentru toată gama de unghiuri de întâlnire doc – val; cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu masa distribuită hogging (tabelul 5.5.d.) $h_{w \text{ lim}} = 0,261 \div 0,318 \text{ m}$ - cu restricții din criteriul momentului încovoietor în plan vertical pentru $\mu = 0 \div 30^\circ (150 \div 210^\circ, 330 \div 360^\circ)$ în cazul valurilor tip hogging și $h_{w \text{ lim}} = 0,420 \text{ m}$ - cu restricții din criteriul bordului liber minim pentru $\mu = 45 \div 90^\circ (90 \div 135^\circ, 225 \div 315^\circ)$. Sinteza rezultatelor analizei cu model 1D pentru docul Dock60_NWT se prezintă în diagrama polară din figura 5.14.a. și în tabelul 5.7.
- Pentru docul plutitor Dock60_CWT, limitele maxime pentru cazul fără masă andocată este de $h_{w \text{ lim}} = 1,930 \text{ m}$ (tabelul 5.6.a.) și pentru cazul cu masă de andocare la capacitatea maximă este de $h_{w \text{ lim}} = 0,550 \text{ m}$ (tabelele 5.6.b. – d.), pentru toată gama de unghiuri de incidență $\mu = 0 \div 90^\circ (360^\circ)$, restricțiile fiind datorate criteriului bordului liber minim. Sinteza rezultatelor analizei cu model 1D pentru docul Dock60_NWT se prezintă în diagrama polară din figura 5.14.b. și în tabelul 5.7.
- Pentru ambele cazuri de docuri plutitoare de mici dimensiuni, cel mai restrictiv caz rămâne valul de întâlnire - urmărire, $\mu = 0^\circ (180^\circ)$. Docul plutitor Dock60_NWT are restricții semnificative de navigație fluvială, apă calmă (SW) – IN(0.64) iar în cazul costier acesta trebuie operat numai în porturi protejate. Docul plutitor Dock60_CWT, are mai puține restricții în cazul rutelor pe șenalele navigabile fluviale, IN(0.55) – IN(1.93), iar pentru zona costieră, relocarea este permisă doar în cazul fără masa andocată cu aprobări speciale RE(37%). Cazul constructiv cu tancuri laterale superioare continue, permite operarea cu capacitatea maximă de andocare de 828 t în cele trei moduri de distribuție (uniform, tip sagging și tip hogging) numai în porturi protejate.

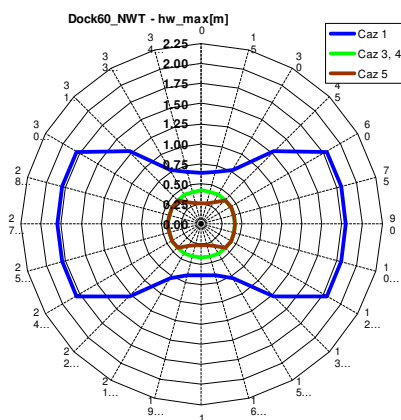


Figura 5.14.a. Diagrama polară a înălțimii limită a valului echivalent cvasi-static oblic pentru docul plutitor Dock60_NWT, model de grindă echivalentă 1D, pentru toate cazurile de andocare analizate, structură întărită $a_{Fr}=a_0$

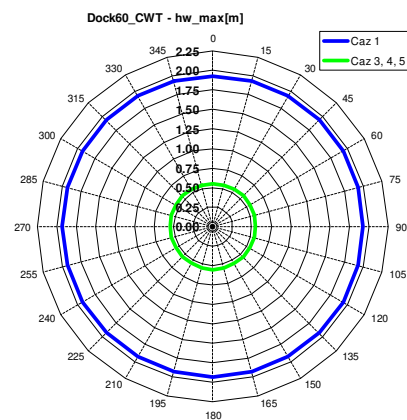


Figura 5.14.b. Diagrama polară a înălțimii limită a valului echivalent cvasi-static oblic pentru docul plutitor Dock60_CWT, model de grindă echivalentă 1D, pentru toate cazurile de andocare analizate, structură întărită $a_{Fr}=a_0$

Astfel, concluzia principală a acestui subcapitol, este că docurile plutitoare cu tancuri laterale discontinue au mult mai multe restricții în cazurile de operare, fiind recomandat pentru operațiuni doar în porturi protejate.

Tabelul 5.7. Rezultatele obținute pentru cazurile de andocare a docurilor plutitoare de mici dimensiuni Dock60_CWT/NWT, model 1D grindă echivalentă, în valuri echivalente cvasi-stactice oblice, structură întărită $a_F=a_0$

Caz	Dock60_NWT				Dock60_CWT			
	fără masa andocată, nebalastat	andocat la capacitatea maximă de 828t cu masa distribuită uniform	andocat la capacitatea maximă de 828t cu distribuția sagging a masei	andocat la capacitatea maximă de 828t cu distribuția hogging a masei	fără masa andocată, nebalastat	andocat la capacitatea maximă de 828t cu masa distribuită uniform	andocat la capacitatea maximă de 828t cu distribuția sagging a masei	andocat la capacitatea maximă de 828t cu distribuția hogging a masei
h_w limit [m]	0,640	0,420	0,420	0,261	1,930	0,550	0,550	0,550
criteriu	Restricții din criteriul de rezistență	Restricții din criteriul de bord liber minim		Restricții din criteriul de rezistență	Restricții din criteriul de bord liber minim la nivelul punții principale de andocare a docului plutitor			
fluvial	IN(0.64)	IN(0.42)	IN(0.42)	SW	IN(1.93)	IN(0.55)	IN(0.55)	IN(0.55)
costier	Operațiuni doar în port protejat				RE(37%)	Operațiuni doar în port protejat		

5.3. Analiza structurală pe modele 3D-FEM a docurilor plutitoare Dock60_CWT, Dock60_NWT, la solicitări din valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire - urmărire și oblice

Acest subcapitol prezintă evaluarea criteriilor bordului liber minim, tensiunilor și deformațiilor admisibile pentru cele două versiuni constructive ale docurilor plutitoare de mici dimensiuni Dock60_CWT/NWT, pe modele 3D-FEM complet extinse pe structură:

- Pentru analiza în valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire - urmărire se vor folosi cazurile de operare folosite în subcapitolul 5.1.
- Pentru analiza în valuri echivalente cvasi - statice oblice se vor analiza cazurile de operare folosite în subcapitolul 5.2.

Modelul 3D-FEM este dezvoltat pentru ambele tipuri de solicitări din valuri cu programul FEMAP NX/Nastran [42] (figura 4.9. - 4.17.), folosindu-se elemente finite de placă groasă (Mindlin) și membrană, patrulateră și triunghiulară, pentru structura corpului de oțel, precum și elemente finite de masă concentrate pentru modelarea echipamentelor, a masei de balast și a masei navei andocate. *Analiza include din start varianta cu structură întărită $a_F=a_0$, a celor două variante constructive de docuri plutitoare Dock60_CWT/NWT.* În tabelul 5.8. se prezintă cazurile de încărcare pentru docurile plutitoare de mici dimensiuni.

Tabelul 5.8. Cazurile de încărcare pentru docurile plutitoare de mici dimensiuni Dock60_CWT/NWT

Tip		Fără masa andocată, nebalastat	Fără masă andocată, balastat la capacitatea maximă	Andocat la capacitatea maximă de 828t cu masa distribuită uniform	Andocat la capacitatea maximă de 828t cu distribuția sagging a masei	Andocat la capacitatea maximă de 828t cu distribuția hogging a masei
CWT	Δ [t]	1152	4092		1980	
	d_m [m]	0,960	6,700		1,650	
	LCG [m]	30	30		30	
NWT	Δ [t]	960	3252		1788	
	d_m [m]	0,80	6,733		1,490	
	LCG [m]	30	30		30	

5.3.1. Cazul valurilor de întâlnire - urmărire

În prima parte a acestui subcapitol am analizat răspunsul structural la solicitări din valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire - urmărire, cu model structural 3D-FEM extins într-un singur bord (figura 4.9. – 4.12.a., b., c.)

Figurile 5.15.1., 2., a. și b. prezintă cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t, cu distribuția hogging a masei, dintr-un total de 66 cazuri analizate, pentru valorile tensiunilor echivalente von Mises ($vonM$ [MPa]) pentru starea de sagging și hogging a valurilor de întâlnire, în toate cazurile de andocare, pentru cele două variante constructive ale docurilor plutitoare Dock60_CWT/NWT cu model 3D-FEM.

Figurile 5.15.1., 2., c., d. și e. prezintă distribuțiile tensiunilor normale (σ_x [MPa]) și a săgeții verticale (w [mm]) în cazul condițiilor de apă calmă, val tip sagging și tip hogging de întâlnire, pentru versiunile constructive ale docurilor plutitoare Dock60_CWT/NWT, în cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t, cu distribuția hogging a masei, pentru modele 3D-FEM și grindă echivalentă 1D.

Figurile 5.16.a. – b., prezintă modul de pierdere a stabilității structurale și valorile factorului asociat ($B_{buckling}$) pentru condiția de val tip sagging și tip hogging de întâlnire - urmărire, în cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t, cu distribuția hogging a masei pentru modelele 3D-FEM, cu cedări în cadrul transversal pentru cazul constructiv cu tancuri laterale continue (CWT), și cu cedări în partea varangelor pentru cazul constructiv cu tancuri laterale discontinue (NWT).

Tabelele 5.9. și 5.11. prezintă tensiunea maximă și săgeata verticală evaluate prin criteriile din tabelul 4.3., în ambele versiuni constructive, pentru toate cele cinci cazuri de operare din tabelul 4.6. și tabelul 4.7. pentru modelele 3D-FEM și grindă echivalentă 1D, la valuri de întâlnire - urmărire.

În urma verificărilor pentru ambele variante constructive a docurilor plutitoare de mici dimensiuni, Dock60_NWT/CWT, supuse la solicitări din apă calmă și valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire - urmărire, până la înălțimile limită ale valurilor impuse de criteriul bordului liber minim (tabelul 4.3.), cele mai restrictive operațiuni sunt pentru andocarea la capacitatea maximă a 828 t, în cele trei cazuri de distribuție a masei și în cazul de balastare completă (tabelul 5.6., tabelul 5.7.), rezultând valori limită ale înălțimii valului de $h_{w\lim} = 0,550 \div 0,600$ m pentru Dock60_CWT și $h_{w\lim} = 0,326 \div 0,420$ m pentru Dock60_NWT, necesitând condiții de operare în port protejat IN(0.6). În cazul fără masă andocată, din criteriul bordului liber minim, rezultă valorile limită ale înălțimii valului de $h_{w\lim} = 1,930$ m pentru Dock60_CWT și $h_{w\lim} = 1,829$ m pentru Dock60_NWT, deci se admite operare într-o zonă de navigație fluvială maximă de IN(1.8).

În cazul docului plutitor Dock60_CWT, criteriul de stabilitate structurală nu adaugă restricții suplimentare, limitările fiind impuse doar de criteriul de bord liber minim pentru val tip hogging cu înălțimea de $h_{w\lim} = 1,930$ m. Criteriile tensiunilor echivalente von Mises și ale deformațiilor verticale admisibile nu impun restricții pentru acest caz constructiv.

În cazul docului plutitor de mici dimensiuni cu tancuri laterale superioare discontinue, Dock60_NWT, criteriul de pierdere a stabilității structurale induce restricții semnificative pentru cazul fără masă andocată, $h_{w\lim} = 0,582$ m, și pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția tip hogging a masei $h_{w\lim} = 0,186$ m. Criteriul de voalare nu impune restricții pentru cazul de andocare la capacitatea maximă cu distribuția masei tip sagging, iar pentru distribuția uniformă, avem restricții doar din criteriul bordului liber minim. Pentru condițiile de val echivalent de întâlnire - urmărire cu înălțimea valului deja redusă prin criteriile de bord liber minim și stabilitate structurală, criteriile tensiunilor echivalente von Mises și ale deformațiilor verticale admisibile nu induc restricții suplimentare.

Sintetizând rezultatele din acest subcapitol, tabelul 5.12. prezintă condițiile limită de operare rezultate din analiza structurală pe model 3D-FEM, cu solicitări din valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire - urmărire, pentru cele două variante constructive ale docurilor

plutoare de mici dimensiuni Dock60_NWT/CWT. Compararea dintre modelele 3D-FEM și de grindă echivalentă 1D pune în evidență zonele cu concentratori de tensiune.

Tabelul 5.9. Tensiunile echivalente von-Mises și factorul de stabilitate structurală de la modelul 3D-FEM Dock60_CWT

Nr	Caz	Val	h_w [m]	d_m [m]	Z [m]	$Z/adm \leq 1$	σ_{vM} [MPa]	$\sigma_{vM}/adm \leq 1$	$B_{buckling}$	$B/adm \geq 1$
	adm	-	-	-	1,925(7.0) m	-	175 MPa	-	1,50	-
1	Fără masă andocată	hogg.	1,00	0,96	1,460	0,758	32,16	0,184	2,347	1,565
			1,93		1,925	1	48,30	0,276	1,518	1,012
2	Fără masă andocată balastat la maxim	hogg.	0,30	6,70	6,850	0,979	43,82	0,250	3,037	2,025
			0,60		7,000	1	44,98	0,257	2,953	1,969
3	Andocare cu masă uniformă	hogg.	0,30	1,65	1,800	0,935	31,26	0,178	3,464	2,309
			0,55		1,925	1	31,26	0,179	2,849	1,899
4	Andocare cu masă tip sagg	hogg.	0,30	1,65	1,800	0,935	30,85	0,176	4,702	3,135
			0,55		1,925	1	31,47	0,180	3,995	2,663
5	Andocare cu masă tip hogg	hogg.	0,30	1,65	1,800	0,935	30,95	0,177	2,838	1,892
			0,55		1,925	1	31,08	0,178	2,411	1,607

Tabelul 5.10. Tensiunile echivalente von-Mises și factorul de stabilitate structurală de la modelul 3D-FEM Dock60_NWT

Nr	Caz	Val	h_w [m]	d_m [m]	Z [m]	$Z/adm \leq 1$	σ_{vM} [MPa]	$\sigma_{vM}/adm \leq 1$	$B_{buckling}$	$B/adm \geq 1$
	adm	-	-	-	1,700(7.0) m	-	175 MPa	-	1,50	-
1	Fără masă andocată	hogg.	0,378	0,80	0,989	0,582	74,35	0,425	1,801	1,201
			0,582		1,091	0,642	89,30	0,510	1,503	1,001
			1,829	0,7853	1,700	1	173,10	0,99	0,765	0,510
2	Fără masă andocată balastat la maxim	hogg.	0,150	6,7811	6,8561	0,979	106,9	0,611	2,356	1,571
			0,326	6,8370	7,000	1	106,4	0,608	2,303	1,535
3	Andocare cu masă uniformă	hogg.	0,252		1,616	0,951	86,63	0,495	1,740	1,160
			0,420		1,700	1	98,97	0,566	1,503	1,001
4	Andocare cu masă tip sagg	hogg.	0,250		1,615	0,950	62,94	0,360	2,856	1,904
			0,420		1,700	1	66,82	0,382	2,264	1,509
5	Andocare cu masă tip hogg	hogg.	0,186		1,583	0,931	84,36	0,482	1,501	1
			0,420		1,700	1	101,50	0,580	1,263	0,842

Tabelul 5.11. Comparare între tensiunile echivalente maxime și deformată verticală pe modele 3D-FEM și grindă echivalentă 1D pentru Dock60_NWT

Nr	Caz	Val	h_w [m]	σ_{xD} [MPa] (3D)	σ_{xD} [MPa] (1D)	$3D/1D$ (σ_{xD})	$\sigma_{xD(3D)}/adm \leq 1$	w [mm] (3D)	w [mm] (1D)	$3D/1D$ (w)	$w_{(3D)}/adm \leq 1$
	adm	-	-	175 MPa		-	-	150 mm		-	-
1	Fără masă andocată	sw.	0	36,092	32,461	1,112	0,206	48,55	45,88	1,058	0,324
			sagg.	0,378	16,103	13,010	1,238	0,092	19,33	18,94	1,021
		0,582		6,016	3,031	1,985	0,034	3,866	3,52	1,098	0,026
		1,829		68,255	58,407	1,169	0,390	89,02	80,71	1,103	0,593
		hogg.		0,378	56,068	51,912	1,080	0,320	77,76	72,81	1,068
			0,582	66,846	62,410	1,071	0,382	93,54	87,34	1,071	0,535
			1,829	129,38	123,329	1,049	0,739	184,6	171,3	1,078	1,231

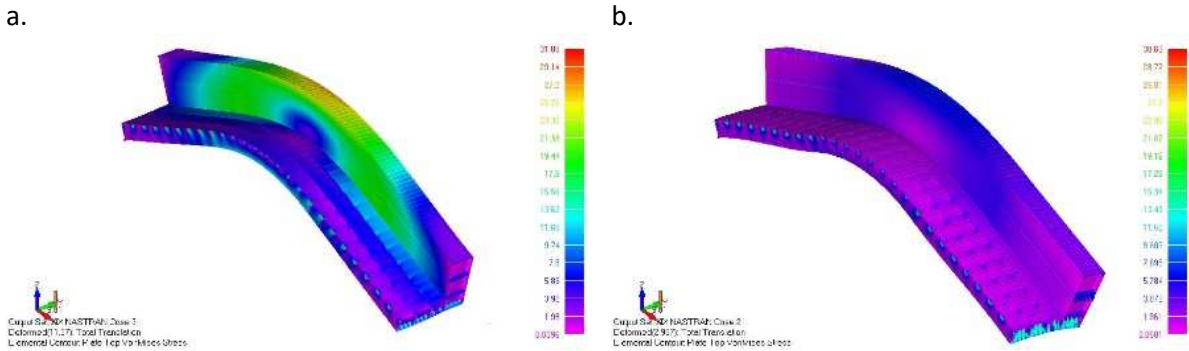


Figura 5.15.1.a,b. Model 3D-FEM , tensiuni echivalente von Mises, cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția tip hogging a masei, a. val tip hogging $\mu=0(180^\circ)$ $h_w= 0,550m$, Dock60_CWT, b. val tip sagging $\mu=0(180^\circ)$ $h_w=0,550m$, Dock60_CWT

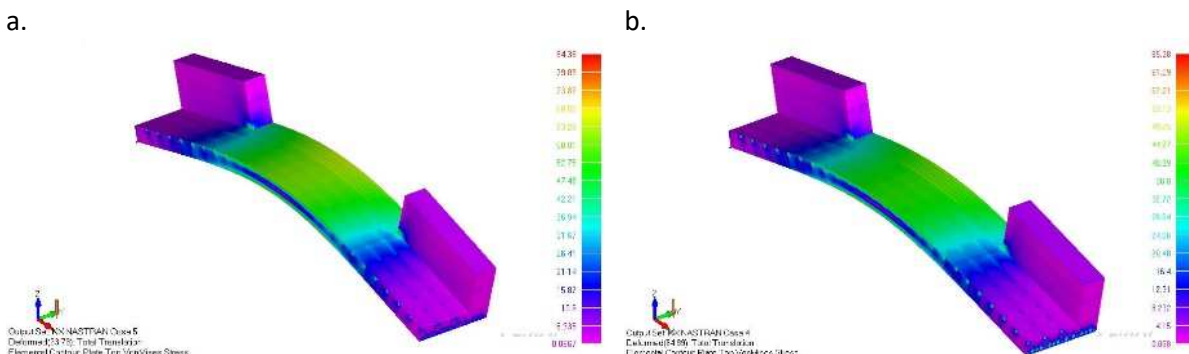


Figura 5.15.2.a,b. Model 3D-FEM , tensiuni echivalente von Mises, cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția tip hogging a masei, a. val tip hogging $\mu=0(180^\circ)$ $h_w= 0,186m$, Dock60_NWT, b. val tip sagging $\mu=0(180^\circ)$ $h_w= 0,186m$, Dock60_NWT

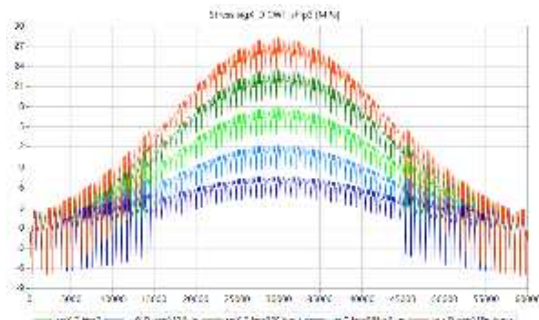


Figura 5.15.1.c. Diagrama de tensiuni normale σ_x în cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția tip hogging a masei, pe modelul 3D-FEM al Dock60_CWT, toate cazurile de înălțimi de val $\mu=0(180^\circ)$

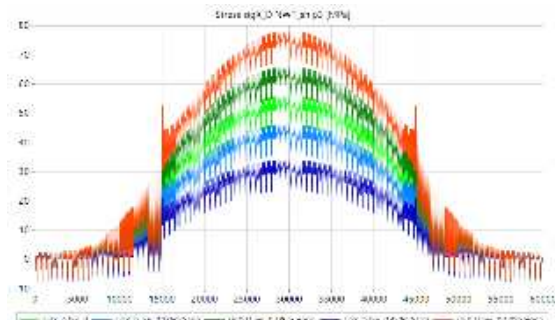


Figura 5.15.2.c. Diagrama de tensiuni normale σ_x în cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția tip hogging a masei, pe modelul 3D-FEM al Dock60_NWT, toate cazurile de înălțimi de val $\mu=0(180^\circ)$

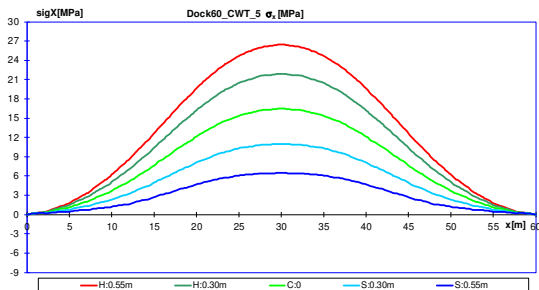


Figura 5.15.1.d. Diagrama de tensiuni normale σ_x în cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția tip hogging a masei, pe modelul de grindă echivalentă 1D al Dock60_CWT, toate cazurile de înălțimi de val $\mu=0(180^\circ)$

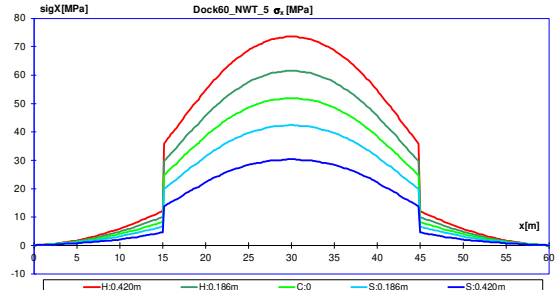


Figura 5.15.2.d. Diagrama de tensiuni normale σ_x în cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția tip hogging a masei, pe modelul de grindă echivalentă 1D al Dock60_NWT, toate cazurile de înălțimi de val $\mu=0(180^\circ)$

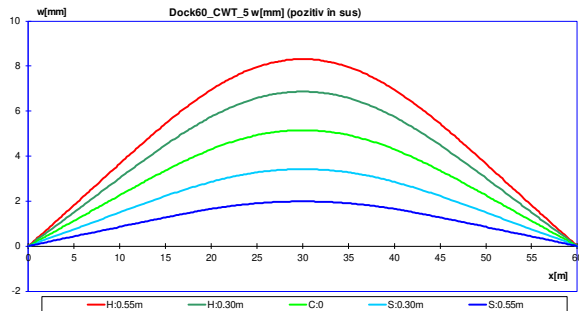


Figura 5.15.1.e. Diagrama deformației verticale în cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția tip hogging a masei, pe modelul de grindă echivalentă 1D al Dock60_CWT, toate cazurile de înălțimi de val $\mu=0(180^\circ)$

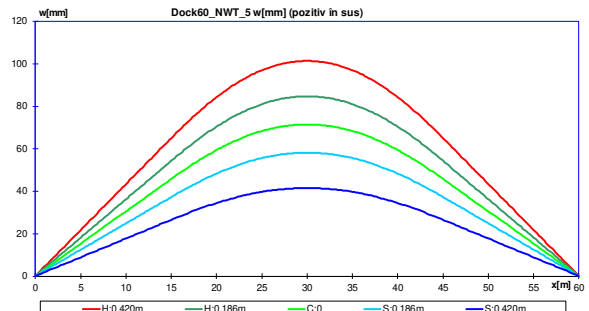


Figura 5.15.2.e. Diagrama deformației verticale în cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția tip hogging a masei, pe modelul de grindă echivalentă 1D al Dock60_NWT, toate cazurile de înălțimi de val $\mu=0(180^\circ)$

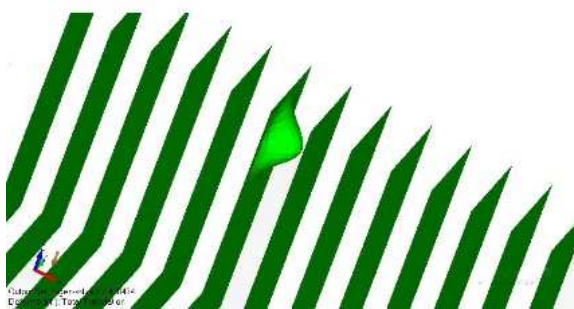


Figura 5.16.a. Verificarea criteriului de stabilitate structurală ($B=2,411$), cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția tip hogging a masei, în cazul de val tip hogging $\mu=0(180^\circ)$ $h_w= 0,550m$, Dock60_CWT

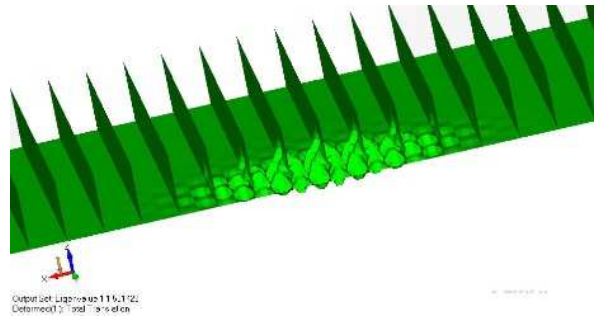


Figura 5.16.b. Verificarea criteriului de stabilitate structurală ($B=1,501$), cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția tip hogging a masei, în cazul de val tip hogging $\mu=0(180^\circ)$ $h_w= 0,186m$, Dock60_NWT

Tabelul 5.12. Condițiile limită de operare rezultate din analiza structurală pe modele 3D-FEM, cu solicitări din valuri echivalente cvasi-stactice de întâlnire - urmărire $\mu=0(180^\circ)$, pentru cele două variante constructive ale docurilor plutitoare de mici dimensiuni Dock60 NWT/CWT

Tip		Fără masa andocată, nebalastat	Fără masă andocată, balastat la capacitatea maximă	Andocat la capacitatea maximă de 828t cu masa distribuită uniform	Andocat la capacitatea maximă de 828t cu distribuția sagging a masei	Andocat la capacitatea maximă de 828t cu distribuția hogging a masei
CWT	$h_{w \text{ lim}} [m]$	1,930	0,600	0,550	0,550	0,550
	Criteriul	Criteriul de bord liber minim și voalare structurală	Criteriul de bord liber minim	Criteriul de bord liber minim	Criteriul de bord liber minim	Criteriul de bord liber minim
	Operare fluvial	$\approx IN(2.0)$	$IN(0.6)$	$\approx IN(0.6)$	$\approx IN(0.6)$	$\approx IN(0.6)$
	Operare costier	Aprobare speciala	Port protejat			
NWT	$h_{w \text{ lim}} [m]$	0,582	0,326	0,420	0,420	0,186
	Criteriul	Criteriul de voalare structurală	Criteriul de bord liber minim	Criteriul de bord liber minim și voalare structurală	Criteriul de bord liber minim	Criteriul de voalare structurală
	Operare fluvial	$\approx IN(0.6)$	SW	SW	SW	SW
	Operare costier	Aprobare speciala	Port protejat			

5.3.2. Cazul valurilor oblice

Pentru studiul numeric în cazul valurilor echivalente cvasi - statice oblice, cele două modele 3D-FEM (figurile 4.9. – 4.12., 4.20. – 4.21.), pentru cele două tipuri constructive de docuri plutitoare de mici dimensiuni Dock60_CWT/NWT, sunt realizate pe întreaga lungime a docurilor plutitoare, precum și pe întreaga lățime a acestora. Pentru analiza structurală am folosit cazurile prezentate în subcapitolul 5.2., cazul docurilor fără masă andocată și fără balast, și trei cazuri de andocare la capacitatea maximă a docului de 828 t, în trei variante de distribuție a masei și anume, distribuție uniformă, tip sagging și tip hogging. În toate cazurile de operare docurile plutitoare Dock60_CWT/NWT au același centru de carenă transversal și longitudinal.

În continuare sunt prezentate în sinteză rezultatele pentru cele 112 cazuri studiate, pentru analiza globală și locală a structurii celor două variante constructive a docurilor plutitoare de mici dimensiuni Dock60_CWT/NWT, la solicitări în valuri echivalente cvasi - statice oblice, folosind modele structurale 3D-FEM.

Tabelele 5.13. – 5.14. prezintă valorile tensiunilor echivalente von Mises maxime, ale factorului de stabilitate structurală și ale bordului liber pentru cazurile analizate ale celor două variante constructive pentru docurile plutitoare de mici dimensiuni Dock60. Cele mai multe restricții apar în cazul docului cu tancuri superioare discontinue (tabelul 5.15) Dock60_NWT, din criteriul bordului liber minim în cazul fără masă andocată și în cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t, cu distribuția hogging a masei, și din criteriul de stabilitate structurală pentru cazul fără masă andocată.

Figurile 5.17. și 5.20. prezintă o selecție a tensiunilor echivalente von Mises în valuri oblice obținute pe modele 3D-FEM pentru cele două versiuni constructive Dock60. Figurile 5.18. și 5.21. prezintă diagramele tensiunilor echivalente von Mises pentru cazurile cu cele mai mari restricții, conform tabelelor 5.13. și 5.14. Criteriul de stabilitate structurală (tabelul 5.13., tabelul 5.14.), impune restricții semnificative doar în cazul docului plutitor de mici dimensiuni cu tancuri laterale discontinue Dock60_NWT. Pierderea stabilității structurale se produce în marea majoritate a cazurilor în elementele cadrelor transversale.

Tabelul 5.13. Bordul liber minim, tensiunile echivalente von Mises maxime, deformațiile verticale maxime și valoarea factorului de stabilitate structurală pentru modelul 3D-FEM al docului plutitor Dock60_CWT

Caz	h_w [m]	t_m [m]	θ [rad]	φ [rad]	F_{min} [m]	σ_{vonM} / B	hogg/sagg	0	15	30	45	60	75	90	sw	
Cazul fără masă andocată, nebalasat	1,930 (0)	0,960	0	0	0,075 (1,040)	$\sigma_{vonM max}$ [N/mm ²]	hogg.	56,95	56,98	56,93	56,20	54,46	42,92	35,30	23,99	
							sagg.	46,17	47,53	50,49	53,50	51,38	44,04	47,42		
							B_{min} [-]	hogg.	1,518	1,530	1,571	1,714	2,169	2,874	4,234	5,550
								sagg.	2,828	2,636	2,365	2,149	1,982	2,947	3,667	
Cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția uniformă a masei	0,550 (0)	1,650	0	0	0,075 (0,350)	$\sigma_{vonM max}$ [N/mm ²]	hogg.	47,76	47,79	47,79	47,74	47,54	46,80	46,26	46,68	
							sagg.	46,93	46,93	46,95	47,00	47,10	47,20	47,25		
							B_{min} [-]	hogg.	2,849	2,864	2,914	3,045	3,443	3,785	4,162	4,511
								sagg.	3,844	3,742	3,653	3,592	3,672	4,153	4,703	
Cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția tip sagging a masei	0,550 (0)	1,650	0	0	0,075 (0,350)	$\sigma_{vonM max}$ [N/mm ²]	hogg.	53,92	53,97	54,02	54,09	54,17	53,96	53,91	53,73	
							sagg.	54,40	54,40	54,39	54,37	54,28	53,99	54,01		
							B_{min} [-]	hogg.	3,995	4,024	4,120	4,121	3,768	3,734	4,031	4,377
								sagg.	3,738	3,650	3,575	3,527	3,599	4,495	4,739	
Cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția tip hogging a masei	0,550 (0)	1,650	0	0	0,075 (0,350)	$\sigma_{vonM max}$ [N/mm ²]	hogg.	56,63	56,64	56,61	56,52	56,29	55,66	55,06	55,37	
							sagg.	54,21	54,25	54,32	54,45	54,75	55,59	55,82		
							B_{min} [-]	hogg.	2,410	2,421	2,459	2,552	2,835	3,867	3,586	3,606
								sagg.	3,909	3,812	3,726	3,667	3,755	3,303	3,627	

Tabelul 5.14. Bordul liber minim, tensiunile echivalente von Mises maxime, deformațiile verticale maxime și valoarea factorului de stabilitate structurală pentru modelul 3D-FEM al docului plutitor Dock60_NWT

Caz	h_w [m]	t_m [m]	θ [rad]	φ [rad]	F_{min} [m]	σ_{vonM} / B	hogg/sagg	0	15	30	45	60	75	90	sw
Cazul fără masă andocată, nebalansat	0,582 + 1,800	0,800	0	0	0,300 + 0,909	$h_w \text{ limit}$ [m]		0,582	0,587	0,615	0,696	1,041	1,800	1,800	0
						F_{min} [m]		0,909	0,907	0,893	0,852	0,680	0,300	0,300	1,200
						$\sigma_{vonM max}$ [N/mm ²]	hogg.	73,58	73,46	73,42	73,44	77,33	55,33	53,73	41,10
							sagg.	23,68	23,89	24,46	31,71	54,17	89,65	54,84	
						B_{min} [-]	hogg.	1,503	1,506	1,505	1,503	1,502	2,317	2,746	2,833
							sagg.	5,391	5,327	5,104	4,514	3,412	1,502	2,346	
Cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția uniformă a masei	0,420 (0)	1,490	0	0	0,300 (0,510)	$\sigma_{vonM max}$ [N/mm ²]	hogg.	80,59	80,29	79,14	76,38	69,36	54,44	60,53	57,52
							sagg.	35,36	36,75	38,96	42,67	50,16	63,79	57,56	
						B_{min} [-]	hogg.	1,503	1,510	1,534	1,596	1,782	2,408	2,263	2,278
							sagg.	3,398	3,254	3,068	2,816	2,466	2,070	2,292	
Cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția tip sagging a masei	0,420 (0)	1,490	0	0	0,300 (0,510)	$\sigma_{vonM max}$ [N/mm ²]	hogg.	60,81	60,52	59,47	56,90	50,82	35,76	41,90	38,59
							sagg.	31,69	31,75	31,92	32,29	34,73	44,94	38,65	
						B_{min} [-]	hogg.	2,264	2,279	2,333	2,460	2,594	3,910	3,666	3,799
							sagg.	4,452	4,387	4,346	4,354	4,071	3,372	3,933	
Cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția tip hogging a masei	0,186 + 0,420	1,490	0	0	0,300 + 0,417	$h_w \text{ limit}$ [m]		0,186	0,186	0,192	0,220	0,350	0,420	0,420	0
						F_{min} [m]		0,417	0,417	0,414	0,400	0,335	0,300	0,300	0,510
						$\sigma_{vonM max}$ [N/mm ²]	hogg.	79,46	79,31	79,08	78,94	78,51	66,09	72,05	69,17
							sagg.	58,94	59,13	59,46	59,87	61,66	75,39	69,25	
						B_{min} [-]	hogg.	1,501	1,504	1,508	1,507	1,501	1,915	1,759	1,767
							sagg.	2,147	2,141	2,132	2,133	2,131	1,640	1,776	

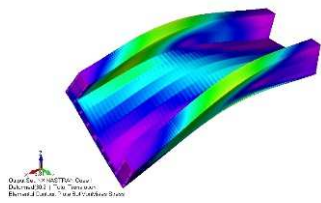


Figura 5.17.a. Model 3D-FEM, tensiuni echivalente von Mises, cazul fără masă andocată, nebalastat, val tip hogging $h_w=1,930m$, Dock60_CWT, $\mu = 45^\circ$

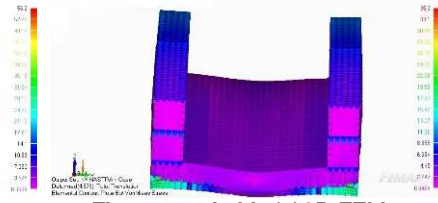


Figura 5.17.b. Model 3D-FEM, tensiuni echivalente von Mises, cazul fără masă andocată, nebalastat, val tip hogging $h_w= 1,930m$, Dock60_CWT, $\mu = 90^\circ$

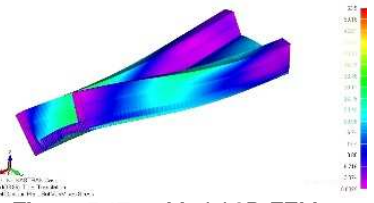
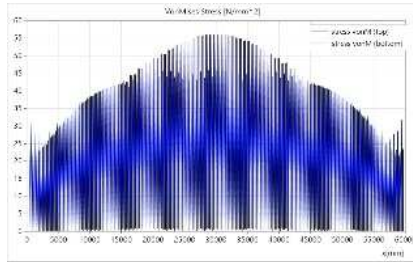
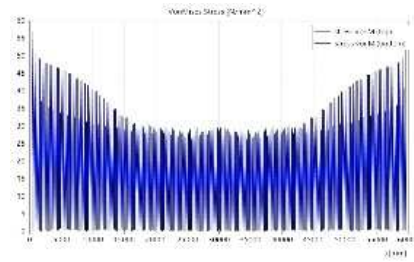


Figura 5.17.c. Model 3D-FEM, tensiuni echivalente von Mises, cazul fără masă andocată, nebalastat, val tip sagging $h_w= 1,930m$, Dock60_CWT, $\mu = 45^\circ$

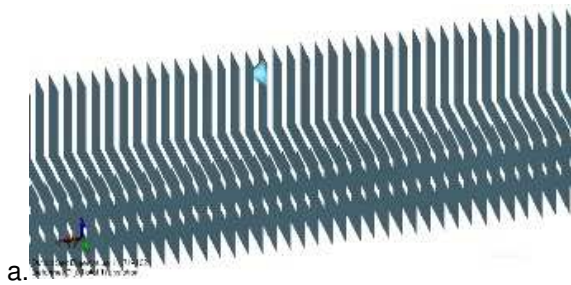


a.

Figura 5.18.a., b. Diagrama tensiunilor echivalente von Mises, cazul fără masă andocată, nebalastat, Dock60_CWT, $\mu = 45^\circ$, val cu înălțimea de $h_w= 1,930m$ a. val tip hogging, b. val tip sagging



b.

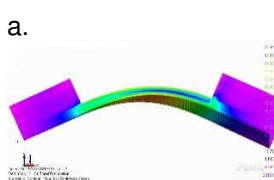


a.

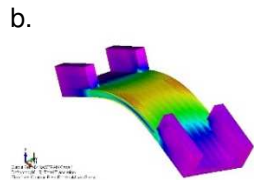


b.

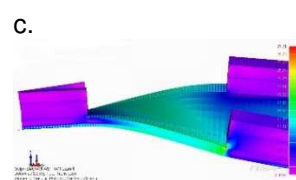
Figura 5.19.a., b., Verificarea criteriului de stabilitate structurală, cazul de andocare fără masă andocată, nebalastat, Dock60_CWT, $\mu = 45^\circ$, val cu înălțimea de $h_w= 1,930m$ a. val tip hogging, b. val tip sagging



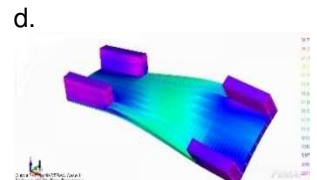
a.



b.

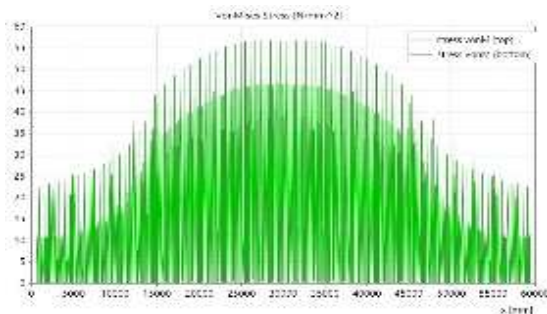


c.

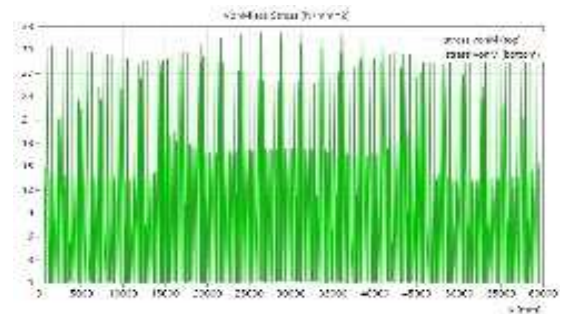


d.

Figura 5.20.a., b., c., d. Model 3D-FEM, tensiuni echivalente von Mises, cazul fără masă andocată, nebalastat, înălțimea valului $h_w= 0,696m$, Dock60_NWT, $\mu = 45^\circ$, a., b., val tip hogging, c., d. val tip sagging



e.



f.

Figura 5.21.e., f. Model 3D-FEM, diagrama tensiunilor echivalente von Mises, cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția tip sagging a masei, Dock60_NWT, $\mu = 45^\circ$, val cu înălțimea $h_w= 0,420 m$ e. val tip hogging, f. val tip sagging

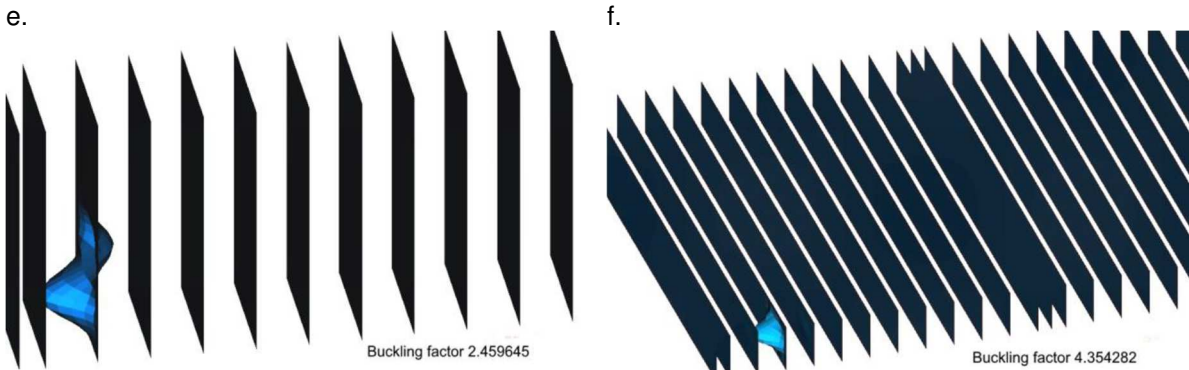


Figura 5.22.e, f., Model 3D-FEM, verificarea criteriului de stabilitate structurală, cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția tip sagging a masei, Dock60_NWT, $\mu = 45^\circ$, val cu înălțimea de $h_w = 0,420$ m e. val tip hogging, f. val tip sagging

Figurile 5.23. – 5.36 prezintă valorile maxime ale tensiunilor echivalente von Mises și ale factorului de pierdere a stabilității structurale versus valorile admisibile, pentru cele două versiuni constructive ale docurilor plutitoare de mici dimensiuni Dock60_CWT, Dock60_NWT.

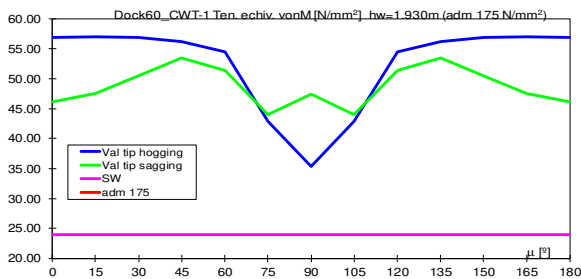


Figura 5.23.1.a. Model 3D-FEM, valorile maxime ale tensiunilor echivalente von Mises pentru cazul fără masă andocată, nebalastat, Dock60_CWT, valuri oblice $\mu = 0-180^\circ$

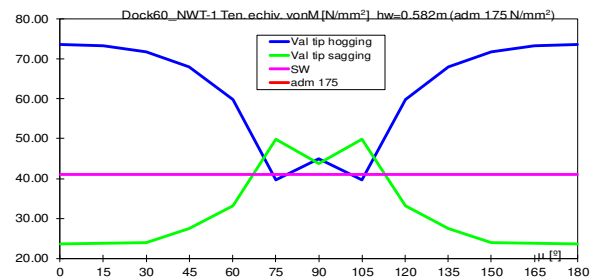


Figura 5.23.2.a. Model 3D-FEM, valorile maxime ale tensiunilor echivalente von Mises pentru cazul fără masă andocată, nebalastat, Dock60_NWT, valuri oblice $\mu = 0-180^\circ$

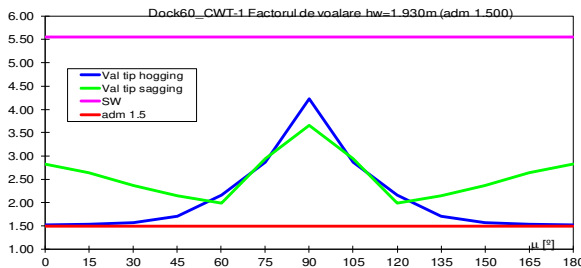


Figura 5.23.1.b. Model 3D-FEM, valorile maxime ale factorului de pierdere a stabilității structurale pentru cazul fără masă andocată, nebalastat, Dock60_CWT, valuri oblice $\mu = 0-180^\circ$

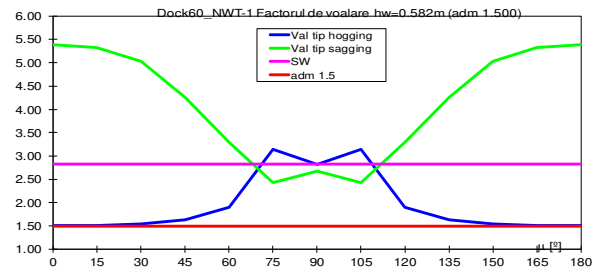


Figura 5.23.2.b. Model 3D-FEM, valorile maxime ale factorului de pierdere a stabilității structurale pentru cazul fără masă andocată, nebalastat, Dock60_NWT, valuri oblice $\mu = 0-180^\circ$

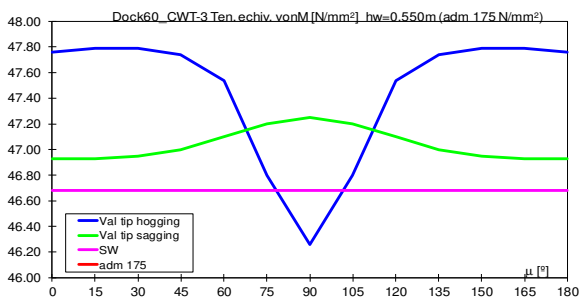


Figura 5.24.1.a. Model 3D-FEM, valorile maxime ale tensiunilor echivalente von Mises pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția uniformă a masei, Dock60_CWT, valuri oblice $\mu = 0-180^\circ$

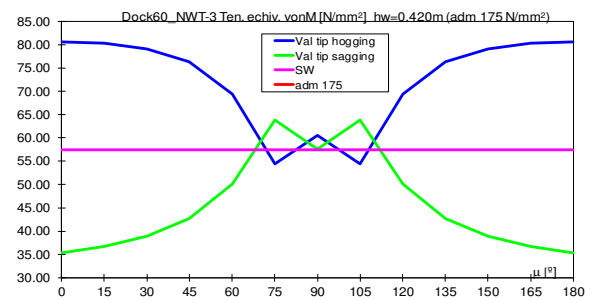


Figura 5.24.2.a. Model 3D-FEM, valorile maxime ale tensiunilor echivalente von Mises pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția uniformă a masei, Dock60_NWT, valuri oblice $\mu = 0-180^\circ$

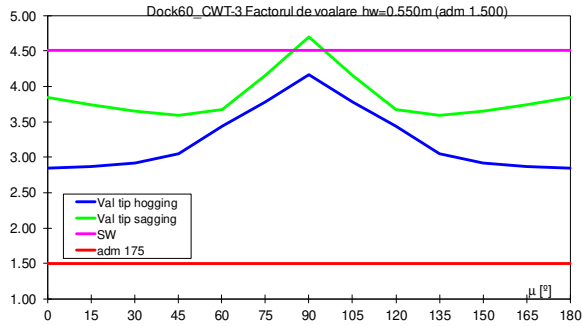


Figura 5.24.1.b. Model 3D-FEM, valorile maxime ale factorului de pierdere a stabilității structurale pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția uniformă a masei, Dock60_CWT, valori oblice $\mu=0-180^\circ$

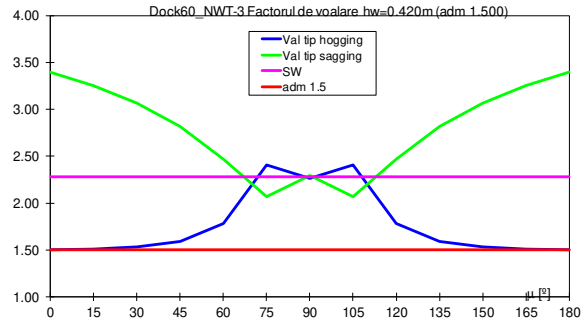


Figura 5.24.2.b. Model 3D-FEM, valorile maxime ale factorului de pierdere a stabilității structurale pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția uniformă a masei, Dock60_NWT, valori oblice $\mu=0-180^\circ$

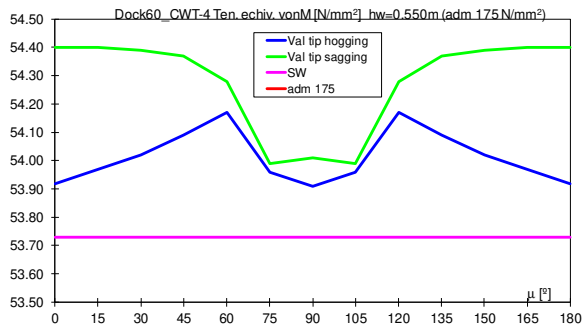


Figura 5.25.1.a. Model 3D-FEM, valorile maxime ale tensiunilor echivalente von Mises pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția tip sagging a masei, Dock60_CWT, valori oblice $\mu=0-180^\circ$

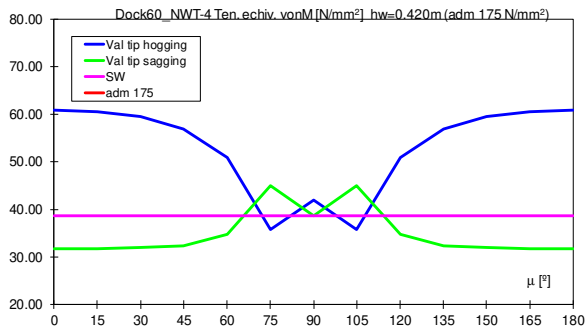


Figura 5.25.2.a. Model 3D-FEM, valorile maxime ale tensiunilor echivalente von Mises pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția tip sagging a masei, Dock60_NWT, valori oblice $\mu=0-180^\circ$

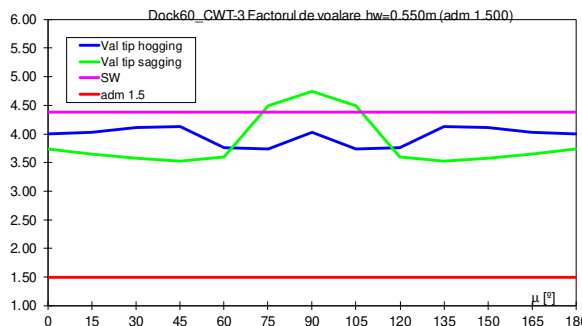


Figura 5.25.1.b. Model 3D-FEM, valorile maxime ale factorului de pierdere a stabilității structurale pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția tip sagging a masei, Dock60_CWT, valori oblice $\mu=0-180^\circ$

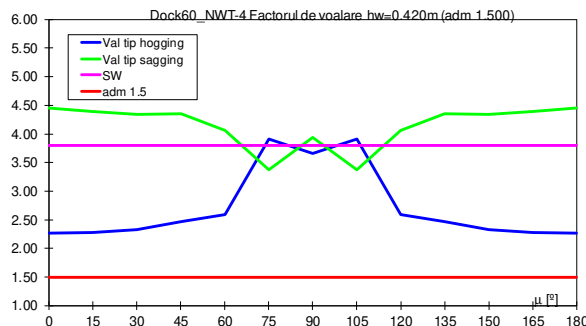


Figura 5.25.2.b. Model 3D-FEM, valorile maxime ale factorului de pierdere a stabilității structurale pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția tip sagging a masei, Dock60_NWT, valori oblice $\mu=0-180^\circ$

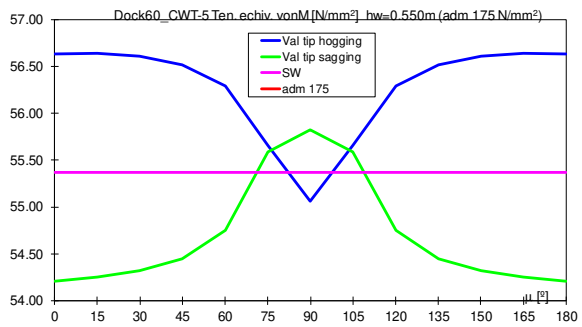


Figura 5.26.1.a. Model 3D-FEM, valorile maxime ale tensiunilor echivalente von Mises pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția tip hogging a masei, Dock60_CWT, valori oblice $\mu=0-180^\circ$

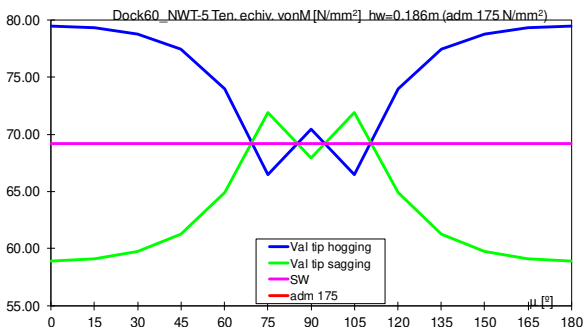


Figura 5.26.2.a. Model 3D-FEM, valorile maxime ale tensiunilor echivalente von Mises pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția tip hogging a masei, Dock60_NWT, valori oblice $\mu=0-180^\circ$

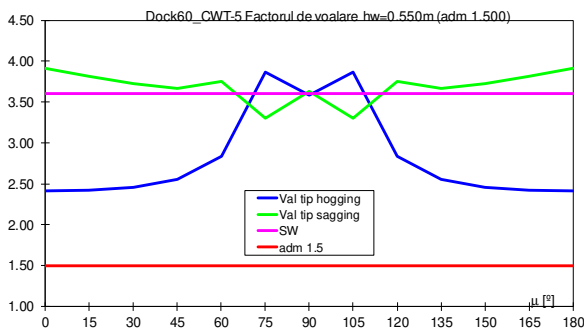


Figura 5.26.1.b. Model 3D-FEM, valorile maxime ale factorului de pierdere a stabilității structurale pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția tip hogging a masei, Dock60_CWT, valori oblice $\mu=0-180^\circ$

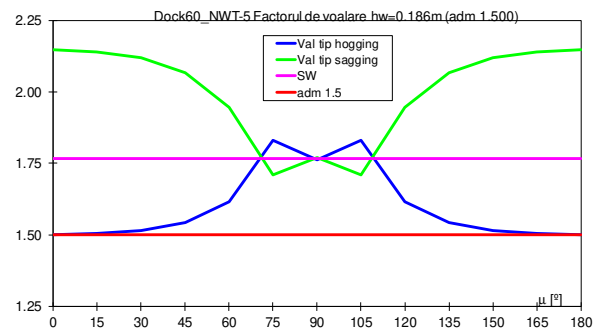


Figura 5.26.2.b. Model 3D-FEM, valorile maxime ale factorului de pierdere a stabilității structurale pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția tip hogging a masei, Dock60_NWT, valori oblice $\mu=0-180^\circ$

Combinând criteriile de rezistență și bord liber minim (tabelul 5.13., tabelul 5.14.), pentru cele două versiuni constructive ale docurilor plutitoare de mici dimensiuni, cu tancuri laterale superioare continue Dock60_CWT și cu tancuri laterale superioare discontinue Dock60_NWT, se obțin diagramele polare funcție de înălțimea semnificativă a valului $h_{w_{limir}}$, prezentate în figurile 5.27.a, b.

Pentru cazul docului plutitor Dock60_CWT, pentru toate cele trei cazuri de andocare, singurele restricții care apar sunt din criteriul bordului liber minim (tabelul 5.13). Unghiul de întâlnire doc – val nu influențează limita înălțimii valului de $h_{w_{limir}} = 1,93m$ în cazul navei fără masă andocată și nebalastată și de $h_{w_{limir}} = 0,55m$ pentru cazurile cu masa maximă de 828 t andocată.

În cazul docului plutitor Dock60_NWT (tabelul 5.14.), criteriul tensiunilor admisibile nu impune restricții pentru nici un caz de andocare. Criteriile de pierdere a stabilității structurale și de bord liber minim impun restricții, rezultând înălțimea limită a valului $h_{w_{limir}} = 0,582 \div 1,800m$ pentru cazul fără masă andocată și $h_{w_{limir}} = 0,186 \div 0,420m$ în cazul cu masa de 828 t având distribuție tip hogging. Pentru cazurile de andocare la capacitatea maximă de 828 t cu distribuția masei uniformă și tip sagging, restricțiile sunt din criteriul bordului liber minim, rezultând înălțimea limită a valului $h_{w_{limir}} = 0,420m$.

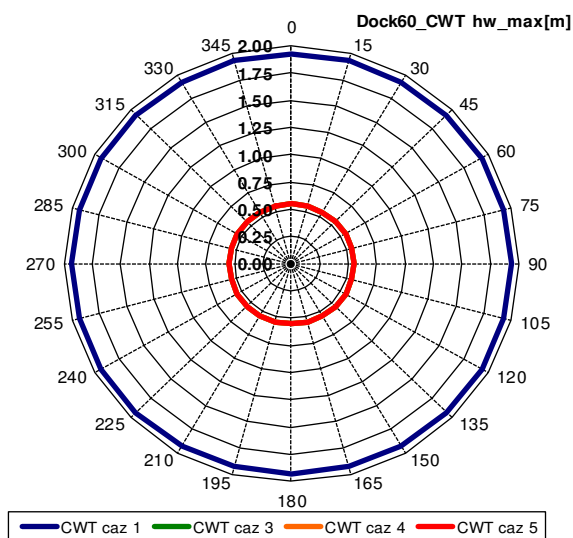


Figura 5.27.a. Model 3D-FEM, diagrama polară pentru Dock60_CWT, valori echivalente cvasi-stactice oblice, înălțimea limită a valului, în toate cazurile de andocare analizate

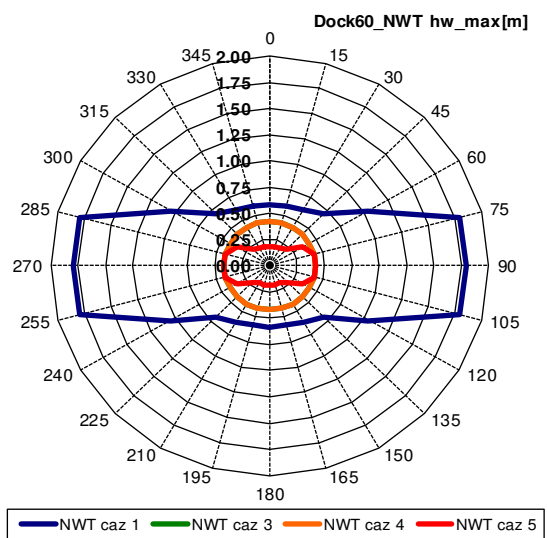


Figura 5.27.b. Model 3D-FEM, diagrama polară pentru Dock60_NWT, valori echivalente cvasi-stactice oblice, înălțimea limită a valului, în toate cazurile de andocare analizate

CAPITOLUL 6

ANALIZA COMPARATIVĂ A CAPACITĂȚII DE OPERARE A DOCURILOR PLUITOARE DOCK60, CU DOUĂ VERSIUNI CONSTRUCTIVE, PE BAZA CRITERIILOR LIMITĂ LA OSCILAȚII ÎN VALURI ALEATOARE EXTREME ȘI STABILITATE TRANSVERSALĂ

Acest capitolul studiază în prima parte condiția de tranzit, pentru navigația fluvială și maritimă a celor două docuri plutitoare de mici dimensiuni, cu tancuri laterale superioare continue – Dock60_CWT și cu tancuri laterale superioare discontinue – Dock60_NWT, prin criteriile de dinamică a navei în mare reală – seakeeping. Valurile aleatoare, din scenariul de navigație, sunt modelate pe termen scurt, folosind funcția densitate spectrală de putere cu un parametru, tip ITTC [58], [59], cu înălțimea maximă semnificativă a valurilor de 2 m și 2,568 m, pentru condițiile de navigație fluvială și costieră, conform normelor societăților de clasificare navală [1]. Viteza în tranzit a docurilor plutitoare, la relocarea între două porturi, este de maxim 18 km/h, analiza numerică realizându-se pentru cinci cazuri diferite de viteze, și anume 0; 5; 10; 15 și 18 km/h. Aceasta se realizează folosind programul DYN [45], pe baza modelului hidrodinamic prezentat în subcapitolul 2.4. Criteriile de seakeeping se interpretează în termeni statici de valori admisibile ale amplitudinii mișcării și accelerației. **Rezultatele numerice ale acestui studiu sunt publicate și prezentate în articolul din referința [63].**

Partea a doua a capitolului, studiază evaluarea capacității de operare în condiții de siguranță a docurilor plutitoare Dock60_CWT/NWT, pe baza criteriului de stabilitate transversală intactă, conform regulilor [1], [3], folosind programul D_LDF (Anexa 4), pe baza modelului teoretic prezentat în subcapitolul 2.1.5., pentru aceleași scenarii de la analiza structurală a conceptului preliminar a celor două docuri, capitolul 4.1. **Rezultatele numerice ale acestui subcapitol sunt publicate și prezentate în articolul din referința [35].**

6.1. Analiza pe termen scurt la oscilații a docurilor plutitoare Dock60_CWT/NWT, în zona de navigație fluvială și costieră

În acest subcapitol se analizează siguranța operațiunilor de relocare a docurilor plutitoare de mici dimensiuni, cu două variante constructive (figurile 4.1.b., 4.2.b., 4.9., 4.12., 4.20., 4.21.), fără masă andocată, pentru zonele navigabile interioare ale Dunării, cu înălțimi de val de 0,6 m; 1,2 m și 2 m (figura 2.7.), cât și pentru zonele costiere ale Mării Negre, cu o înălțime maximă de 2,568 m (figura 2.8.), înălțime corelată cu lungimea docurilor plutitoare conform normelor societăților de clasificare navală [1], [3]. Rezultatele prezintă evaluarea comportării dinamice în valuri aleatoare, pe baza criteriilor la seakeeping (navigație) [30], [57] și a modelului teoretic prezentat în subcapitolul 2.4.

Tractarea docurilor plutitoare de mici dimensiuni, Dock60_CWT și Dock60_NWT, se consideră a fi făcută cu ajutorul unui remorcher fluvial – maritim de 4000 C.P. [43], [77], [62] (capitolul 9). Rezistența la înaintare a sistemului remorcher – doc este analizată printr-un model teoretic [55], cu cablul de remorcare suficient de lung ce permite ipoteza analizei decuplate a dinamicii docului plutitor la relocare.

Figura 6.1. prezintă diagrama rezistenței la înaintare a remorcherului și a celor două versiuni constructive de docuri plutitoare Dock60_CWT/NWT în timpul operațiunilor de navigație în apă calmă. Din analiza rezistenței la înaintare a sistemului remorcher – doc, rezultă o viteză maximă de tractare de 18 km/h, în analiză fiind incluse și cazurile de 0; 5; 10 și 15 km/h. În timpul operațiunilor de relocare, docurile plutitoare de mici dimensiuni sunt considerate a fi fără masă andocată, cu valori caracteristice conform tabelului 4.6. și 4.7., pentru fiecare tip constructiv. Datorită diferenței semnificative a poziției centrului de greutate a

celor două variante constructive, rezultă diferențe considerabile și în ceea ce privește caracteristicile de stabilitate transversală, prezentate în tabelul 4.6. și tabelul 4.7., precum și în figura 6.2. Analiza numerică a celor două variante de docuri plutitoare de mici dimensiuni în timpul relocării pe rută fluvială sau costieră se realizează cu ajutorul programului DYN [45].

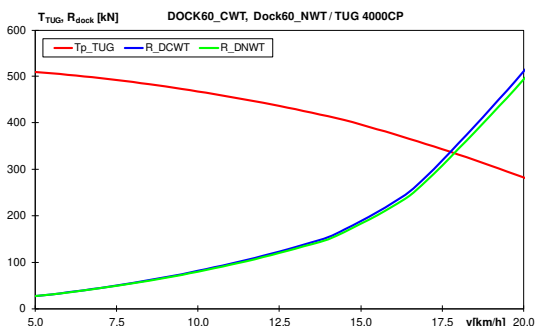


Figura 6.1. Analiza rezistenței la înaintare a sistemului remorcher – doc plutitor, pentru cele două variante constructive ale docului de mici dimensiuni Dock60_CWT/NWT

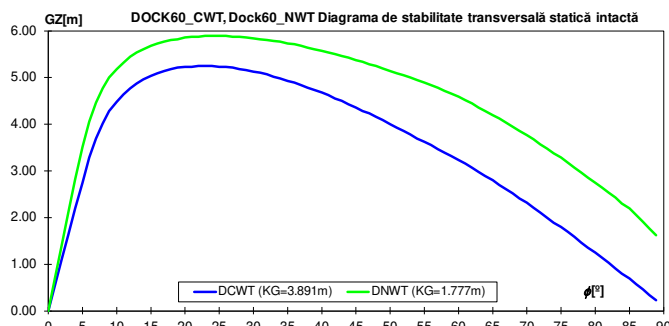


Figura 6.2. Diagrama de stabilitate transversală statică intactă pentru cele două variante constructive ale docului plutitor Dock60_CWT/NWT, în cazul fără masă andocată

Siguranța navigației pentru operațiunile de tranzit fluviale și costiere, în cazul navigației fără masă andocată, pentru cele două variante constructive Dock60_CWT / NWT, conform tabelului 4.6. și 4.7., este evaluată din punct de vedere al limitei înălțimii semnificative a valului $H_{s\lim it}$ [m] și a intensității limită a stării mării în grade Beaufort $B_{\lim it}$. Criteriile limită sunt formulate în termeni ai valorilor statistice cele mai probabile RMS admisibile pentru amplitudinile mișcărilor și accelerațiilor la oscilațiile verticale, de tangaj și rului ale docurilor plutitoare (tabelul 6.1.).

Tabelul 6.1. Criteriile limită la seakeeping pentru docurile plutitoare Dock60, formulate pentru componentele la oscilațiile verticale, de tangaj și rului

	$RMS_z\ max$ [m]	$RMS_\theta\ max$ [rad]	$RMS_\phi\ max$ [rad]	$RMS_{axz\ max}$ [m/s ²]	$RMS_{ac\theta\ max}$ [rad/s ²]	$RMS_{ac\phi\ max}$ [rad/s ²]
Dock60_CWT	0,965	0,01745	0,06981	0,49050	0,03270	0,14715
Dock60_NWT	0,900					

6.1.1. Determinarea operatorilor amplitudine răspuns RAO la oscilații pentru docurile plutitoare de mici dimensiuni în două variante constructive

Folosind programul DYN [45], pe baza modelului teoretic, ecuațiile 2.18. și a histogramei înălțimii semnificative a valurilor, figurile 2.7. - 2.8., se obțin operatorii de amplitudine răspuns RAO , pentru cele două versiuni constructive ale docurilor plutitoare Dock60_CWT/NWT (figura 4.9. 4.12, tabelul 4.1.).

Ambele versiuni constructive ale docurilor plutitoare Dock60_CWT/NWT, se află în tranzit pe un traseu fluvial – maritim, pentru cinci viteze de test, $v=0; 5; 10; 15$ și 18 km/h. Cazul cu viteză nulă reprezintă situația de avarie a remorcherului în timpul relocării docurilor plutitoare. Docurile plutitoare se consideră a fi fără masă andocată. Unghiul de întâlnire doc – val este considerat în gama $\mu = 0 - 360^\circ$, cu pasul $\delta\mu = 5^\circ$, ținând cont de dubla simetrie a celor două versiuni constructive. Funcțiile operator

amplitudine răspuns RAO la oscilațiile verticale, de tangaj și ruluu sunt calculate pentru gama de pulsații a valului de $\omega = 0 - 3 \text{ rad/s}$ și pasul $\delta\omega = 0,001 \text{ rad/s}$.

Figurile 6.3. – 6.4. a., b. prezintă funcțiile RAO la oscilațiile verticale pentru cele două variante constructive de docuri plutitoare, la vitezele de teste de 0 km/h și 18 km/h , pentru unghiul doc – val în gama $0 - 180^\circ$. Din analiza funcțiilor RAO la oscilații verticale (10 cazuri), se constată că valoarea maximă apare în cazul valului travers pentru ambele variante constructive și pentru toată gama de viteze. Datorită formelor prismatice, se observă că pentru vitezele testate nu apar diferențe semnificative în cazul funcțiilor RAO la oscilațiile verticale.

Figurile 6.5. – 6.6. a., b. prezintă asemănător oscilațiilor verticale, funcțiile operator amplitudine răspuns RAO la oscilațiile de ruluu. Din figurile 6.5. – 6.6. b., rezultă că valorile maxime la ruluu, pentru varianta constructivă a docului plutitor cu tancuri laterale discontinue este în cazul valului travers. În cazul docului plutitor de mici dimensiuni cu tancuri laterale continue, funcțiile RAO la oscilații de ruluu, au valori maxime pentru val travers la viteza de 0 km/h . Pentru vitezele de $5, 15$ și 18 km/h se înregistrează valori maxime pentru valuri oblice pupa - prova și val travers. În cazul vitezei de 10 km/h se observă valori maxime și aproximativ egale pentru cazul valurilor oblice pupa și val travers, și foarte redus în cazul valurilor oblice prova de 70° .

Figurile 6.7. -6.8.a., b. prezintă funcțiile operator amplitudine răspuns RAO pentru oscilațiile de tangaj. Din figurile 6.7. – 6.8.a., b. pentru ambele variante constructive și pentru toată gama de viteze testate, se observă valori semnificative în cazul valurilor de urmărire și întâlnire.

Diferențele dintre funcțiile operator amplitudine răspuns RAO pentru oscilațiile de ruluu și funcțiile similare pentru oscilațiile de tangaj sunt justificate și de pulsațiile proprii ale oscilațiilor docurilor plutitoare, prezentate în tabelul 6.2.

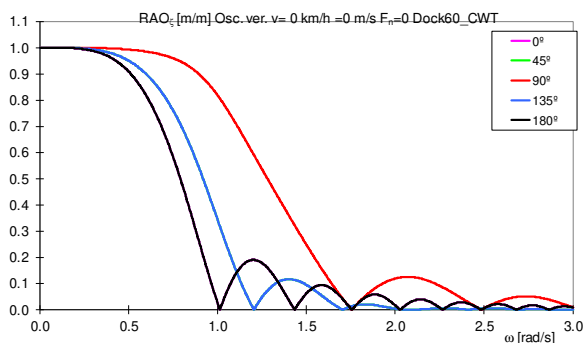


Figura 6.3.a. RAO_ζ [m/m], oscilațiile verticale, Dock60_CWT, $v=0\text{km/h}$, $\mu=0 - 180^\circ$

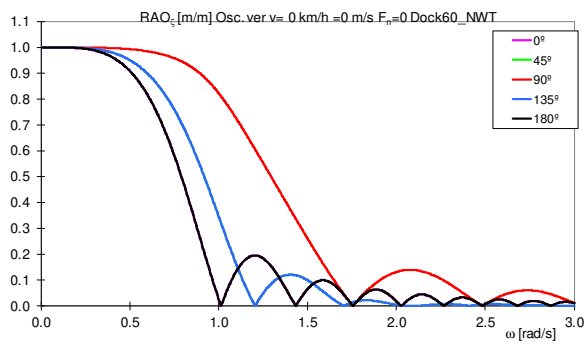


Figura 6.3.b. RAO_ζ [m/m], oscilațiile verticale, Dock60_NWT, $v=0\text{km/h}$, $\mu=0 - 180^\circ$

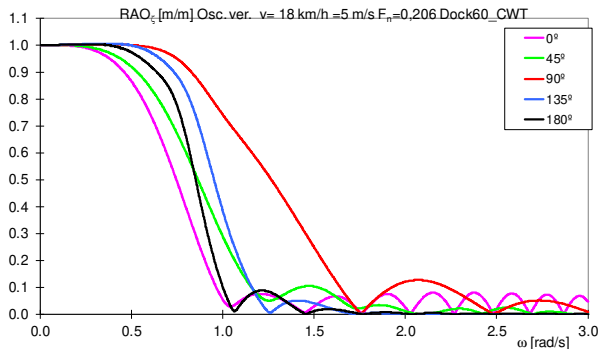


Figura 6.4.a. RAO_ζ [m/m], oscilațiile verticale, Dock60_CWT, $v=18\text{km/h}$, $\mu=0 - 180^\circ$

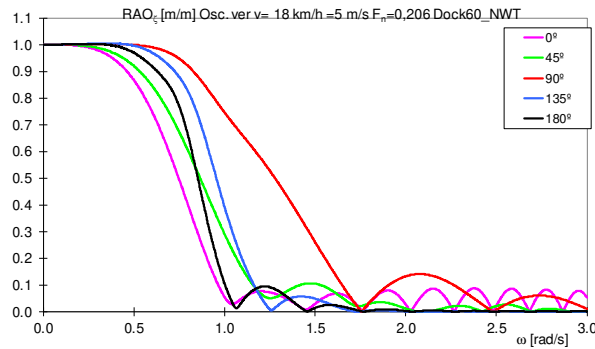


Figura 6.4.b. RAO_ζ [m/m], oscilațiile verticale, Dock60_NWT, $v=18\text{km/h}$, $\mu=0 - 180^\circ$

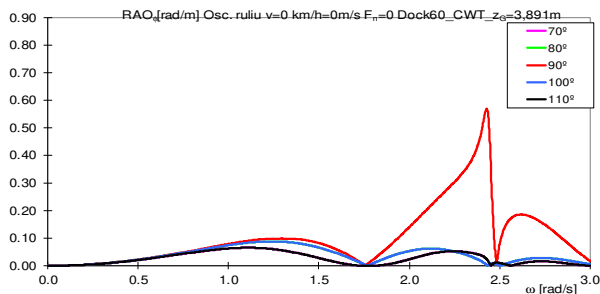


Figura 6.5.a RAO_φ [rad/m], oscilații de ruliu, Dock60_CWT, v=0km/h, μ=0 - 180°

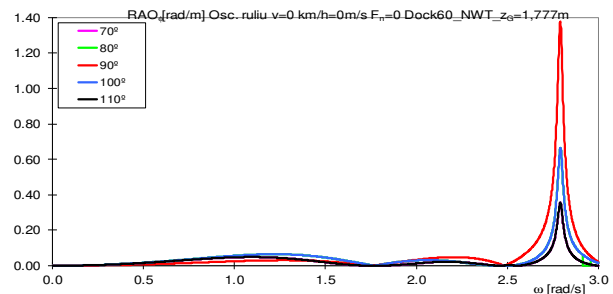


Figura 6.5.b RAO_φ [rad/m], oscilații de ruliu, Dock60_NWT, v=0km/h, μ=0 - 180°

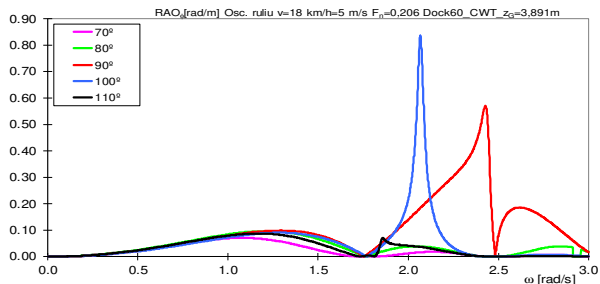


Figura 6.6.a RAO_φ [rad/m], oscilații de ruliu, Dock60_CWT, v=18km/h, μ=0 - 180°

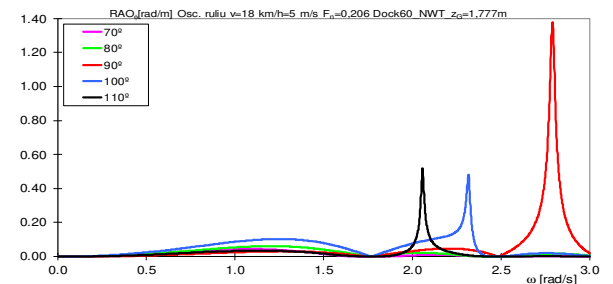


Figura 6.6.b RAO_φ [rad/m], oscilații de ruliu, Dock60_NWT, v=18km/h, μ=0 - 180°

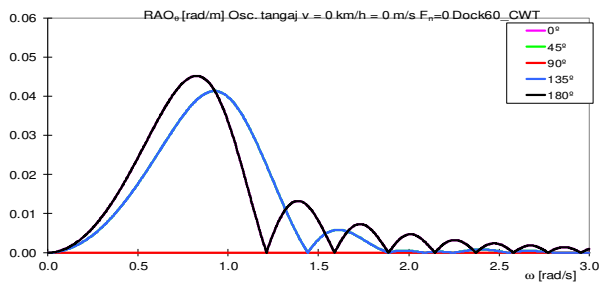


Figura 6.7.a. RAO_θ [rad/m], oscilații de tangaj, Dock60_CWT, v=0km/h, μ=0 - 180°

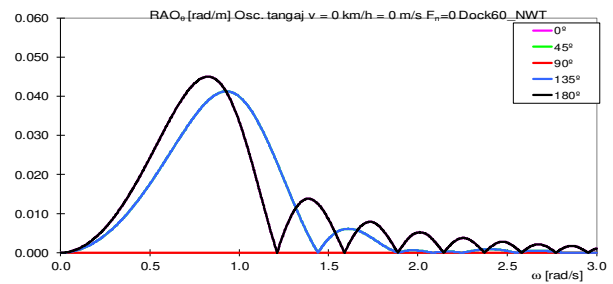


Figura 6.7.b. RAO_θ [rad/m], oscilații de tangaj, Dock60_NWT, v=0km/h, μ=0 - 180°

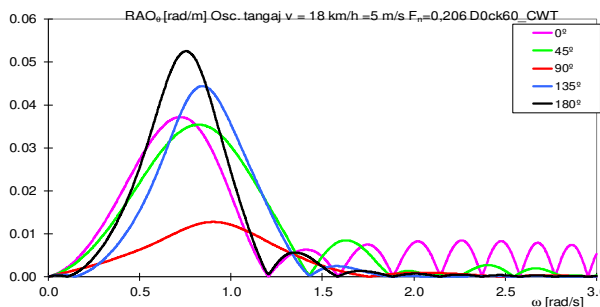


Figura 6.8.a. RAO_θ [rad/m], oscilații de tangaj, Dock60_CWT, v=18km/h, μ=0 - 180°

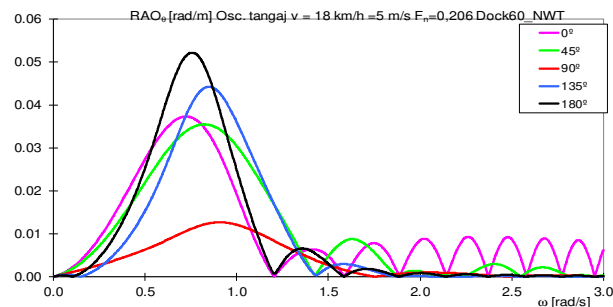


Figura 6.8.b. RAO_θ [rad/m], oscilații de tangaj, Dock60_NWT, v=18km/h, μ=0 - 180°

Tabelul 6.2. Pulsațiile și perioadele proprii de oscilație a docurilor plutoare de mici dimensiuni în cele două variante constructive

Tip doc	Oscilații	Verticale	Tangaj	Ruliu
Dock60_CWT	ω_p [rad / s]	0,860	0,825	2,428
	T_p [s]	7,306	7,616	2,588
Dock60_NWT	ω_p [rad / s]	0,862	0,825	2,790
	T_p [s]	7,289	7,616	2,252

6.1.2. Analiza răspunsului statistic pe termen scurt pentru cele două variante constructive de docuri plutitoare de mici dimensiuni.

Evaluarea dinamicii celor două variante constructive de docuri plutitoare de mici dimensiuni Dock60_CWT (figura.4.21.) și Dock60_NWT (figura 4.20.) în valuri aleatoare, conform scenariului de navigație fluvial – maritim descris în capitolul 4, necesită obținerea valorilor răspunsului statistic cel mai probabil RMS la mișcările de oscilații verticale, de tangaj și ruluu, precum și a accelerațiilor acestora, pe baza funcțiilor operator amplitudine răspuns RAO din subcapitolul anterior și a funcției densitate spectrală de putere a valului ITTC (ecuația 2.19., figurile 2.7. – 2.8.).

Considerând viteza în gama 0 -18 km/h, și condiția extremă de navigație cu o înălțime maximă de 2,568 m, sunt prezentate în tabelele 6.3. și 6.4. valorile admisibile din criteriile de seakeeping (ecuațiile 2.23. - 2.25.) și maximul răspunsului statistic cel mai probabil pentru mișcările și accelerațiile la oscilațiile celor două versiuni de docuri plutitoare de mici dimensiuni. Cea mai mare influență a vitezei se înregistrează pentru mișcările oscilațiilor verticale combinate, pentru ambele variante constructive de docuri.

Figurile 6.9. – 14. a., b. prezintă răspunsul statistic cel mai probabil pentru mișcările verticale combinate, pentru unghiurile de oscilație la tangaj și ruluu, cât și pentru accelerațiile acestora pentru cele două variante constructive ale docurilor plutitoare Dock60_CWT/NWT.

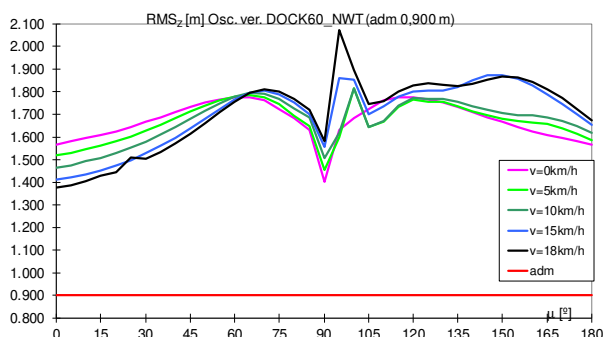


Figura 6.9.a. Răspunsul statistic cel mai probabil RMS_z [m] maxim, oscilații verticale combinate, pentru Dock60_NWT, $v=0 - 18$ km/h

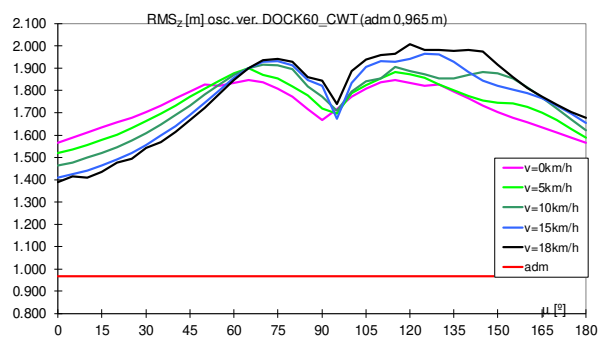


Figura 6.9.b. Răspunsul statistic cel mai probabil RMS_z [m] maxim, oscilații verticale combinate, pentru Dock60_CWT, $v=0 - 18$ km/h

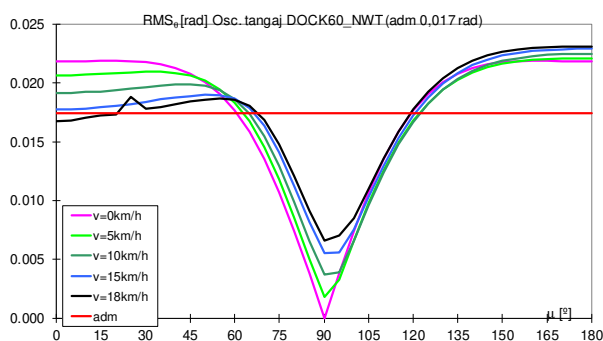


Figura 6.10.a. Răspunsul statistic cel mai probabil maxim la oscilația de tangaj RMS_θ [rad], Dock60_NWT, $v=0 - 18$ km/h

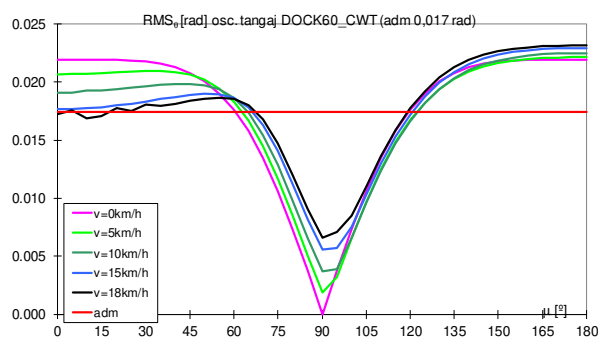


Figura 6.10.b. Răspunsul statistic cel mai probabil maxim la oscilația de tangaj RMS_θ [rad], Dock60_CWT, $v=0 - 18$ km/h

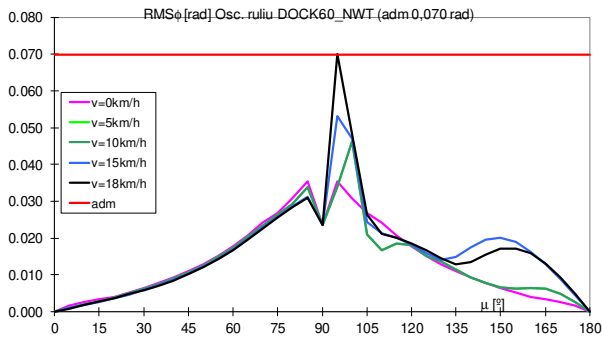


Figura 6.11.a. Răspunsul statistic cel mai probabil maxim la oscilația de ruluu $RMS\phi$ [rad], Dock60_NWT, $v=0 - 18$ km/h

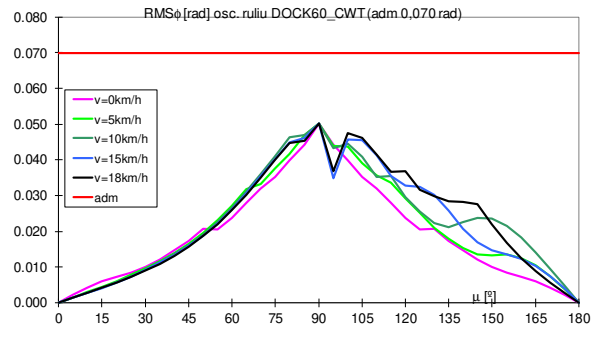


Figura 6.11.b. Răspunsul statistic cel mai probabil maxim la oscilația de ruluu $RMS\phi$ [rad], Dock60_CWT, $v=0 - 18$ km/h

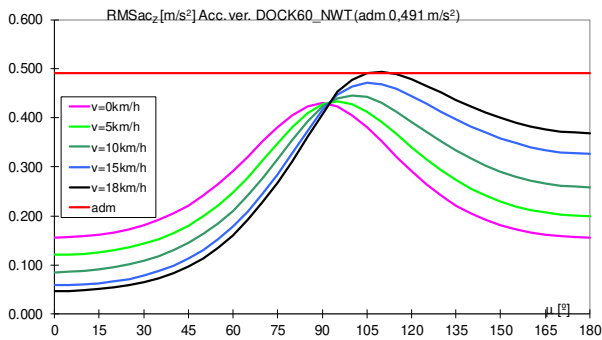


Figura 6.12.a. Răspunsul statistic cel mai probabil $RMSSac_z$ [m/s²] maxim, la accelerația verticală, pentru Dock60_NWT, $v=0 - 18$ km/h

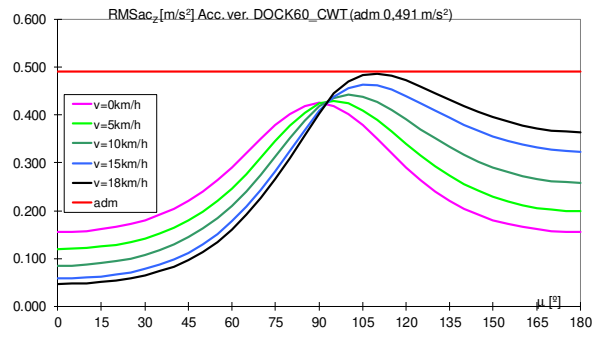


Figura 6.12.b. Răspunsul statistic cel mai probabil $RMSSac_z$ [m/s²] maxim, la accelerația verticală, pentru Dock60_CWT, $v=0 - 18$ km/h

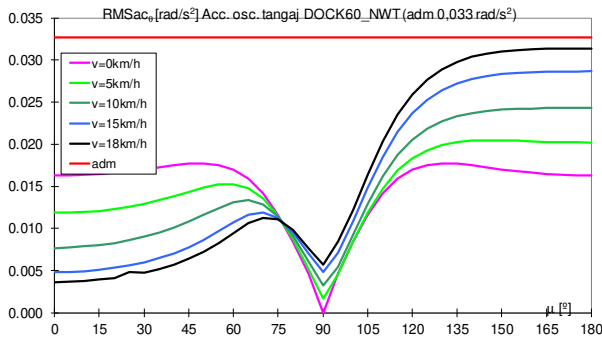


Figura 6.13.a. Răspunsul statistic cel mai probabil maxim la accelerațiile oscilației de tangaj $RMSSac_\theta$ [rad/s²], Dock60_NWT, $v=0 - 18$ km/h

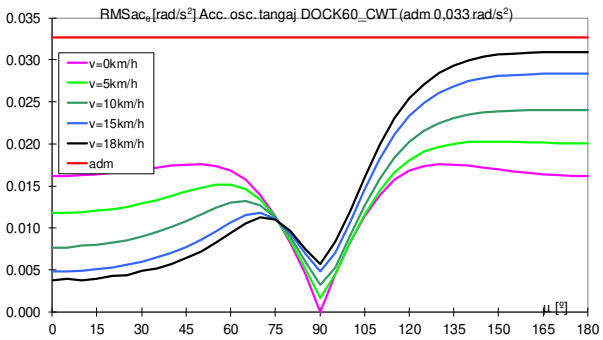


Figura 6.13.b. Răspunsul statistic cel mai probabil maxim la accelerațiile oscilației de tangaj $RMSSac_\theta$ [rad/s²], Dock60_CWT, $v=0 - 18$ km/h

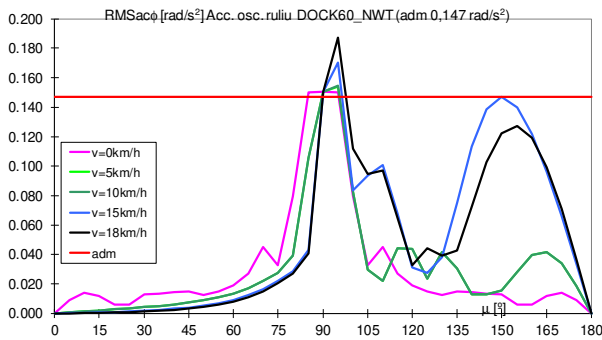


Figura 6.14.a. Răspunsul statistic cel mai probabil maxim la accelerația oscilației de ruluu $RMSSac_\phi$ [rad/s²], Dock60_NWT, $v=0 - 18$ km/h

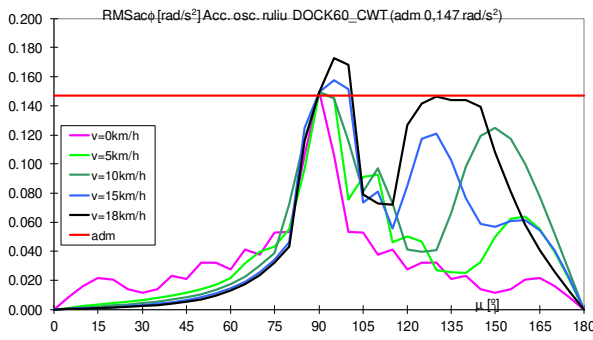


Figura 6.14.b. Răspunsul statistic cel mai probabil maxim la accelerația oscilației de ruluu $RMSSac_\phi$ [rad/s²], Dock60_CWT, $v=0 - 18$ km/h

Tabelul 6.3. Valorile maxime ale răspunsului dinamic *RMS* pentru docul plutitor Dock60_CWT

RMS	$RMS_z \max$ [m]	$RMS_\theta \max$ [rad]	$RMS_\varphi \max$ [rad]	$RMS_{axz} \max$ [m/s ²]	$RMS_{ac\theta} \max$ [rad/s ²]	$RMS_{ac\varphi} \max$ [rad/s ²]
Adm	0,965	0,017	0,070	0,491	0,033	0,147
0 km/h (max)	1,846	0,022	0,050	0,425	0,018	0,149
	91,27%	25,54%	-28,22%	-13,26%	-46,26%	1,55%
5 km/h (max)	1,898	0,022	0,050	0,429	0,020	0,149
	96,71%	26,83%	-28,22%	-12,51%	-37,92%	1,55%
10 km/h (max)	1,917	0,022	0,050	0,442	0,024	0,149
	98,68%	28,89%	-28,22%	-9,92%	-26,41%	1,55%
15 km/h (max)	1,966	0,023	0,050	0,464	0,028	0,157
	103,75%	31,34%	-28,22%	-5,40%	-13,18%	7,00%
18 km/h (max)	2,007	0,023	0,050	0,487	0,031	0,173
	108,00%	32,55%	-28,22%	-0,71%	-5,35%	17,31%

Tabelul 6.4. Valorile maxime ale răspunsului dinamic *RMS* pentru docul plutitor Dock60_NWT

RMS	$RMS_z \max$ [m]	$RMS_\theta \max$ [rad]	$RMS_\varphi \max$ [rad]	$RMS_{axz} \max$ [m/s ²]	$RMS_{ac\theta} \max$ [rad/s ²]	$RMS_{ac\varphi} \max$ [rad/s ²]
Adm	0,900	0,017	0,070	0,491	0,033	0,147
0 km/h (max)	1,775	0,022	0,035	0,430	0,018	0,151
	97,19%	25,34%	-49,28%	-12,35%	-45,84%	2,31%
5 km/h (max)	1,815	0,022	0,046	0,433	0,020	0,154
	101,68%	26,72%	-33,81%	-11,65%	-37,45%	4,58%
10 km/h (max)	1,816	0,022	0,046	0,446	0,024	0,155
	101,73%	28,84%	-33,81%	-9,11%	-25,70%	5,04%
15 km/h (max)	1,874	0,023	0,053	0,471	0,029	0,170
	108,24%	31,13%	-23,71%	-3,91%	-12,30%	15,78%
18 km/h (max)	2,073	0,023	0,070	0,494	0,031	0,187
	130,33%	32,46%	0,45%	0,75%	-3,95%	27,25%

Tabelul 6.5. Valorile limită ale înălțimii semnificative a valurilor și a stării mării în grade Beaufort pentru navigația în condiții de siguranță a celor două versiuni constructive a docurilor plutitoare de mici dimensiuni la operațiuni de relocare

v [km/h]	Dock60_CWT										Dock60_NWT									
	0		5		10		15		18		0		5		10		15		18	
	$H_s \text{ int}$	B_{int}	$H_s \text{ int}$	B_{int}	$H_s \text{ int}$	B_{int}	$H_s \text{ int}$	B_{int}	$H_s \text{ int}$	B_{int}	$H_s \text{ int}$	B_{int}	$H_s \text{ int}$	B_{int}	$H_s \text{ int}$	B_{int}	$H_s \text{ int}$	B_{int}	$H_s \text{ int}$	B_{int}
0	1,821	4,21	1,856	4,28	1,915	4,40	1,981	4,54	2,003	4,58	1,739	4,04	1,769	4,10	1,825	4,21	1,889	4,35	1,939	4,45
15	1,750	4,06	1,804	4,17	1,861	4,29	1,928	4,43	1,963	4,50	1,696	3,92	1,732	4,02	1,785	4,13	1,850	4,27	1,880	4,33
30	1,696	3,91	1,724	4,01	1,774	4,11	1,830	4,23	1,843	4,25	1,640	3,72	1,667	3,81	1,711	3,97	1,768	4,10	1,799	4,16
45	1,601	3,59	1,617	3,64	1,648	3,75	1,695	3,91	1,723	4,00	1,563	3,45	1,575	3,50	1,602	3,59	1,649	3,75	1,676	3,84
60	1,518	3,30	1,494	3,22	1,499	3,24	1,514	3,29	1,526	3,33	1,479	3,16	1,474	3,15	1,475	3,15	1,490	3,20	1,502	3,25
75	1,457	3,09	1,435	3,01	1,404	2,86	1,400	2,84	1,398	2,83	1,442	3,04	1,434	3,01	1,422	2,96	1,417	2,93	1,412	2,29
90	1,459	3,10	1,420	2,95	1,389	2,79	1,364	2,66	1,353	2,60	1,071	0,97	1,071	0,97	1,071	0,97	1,071	0,97	1,071	0,97
Limita de navigație	min	1,456	3,09	1,418	2,93	1,382	2,75	1,389	2,75	1,353	0,652	0,59	0,988	0,89	0,938	0,85	0,708	0,64	0,626	0,56
	max	1,821	4,21	1,856	4,28	1,915	4,40	1,981	4,54	2,003	4,58	1,739	4,04	1,769	4,10	1,825	4,21	1,889	4,35	1,939

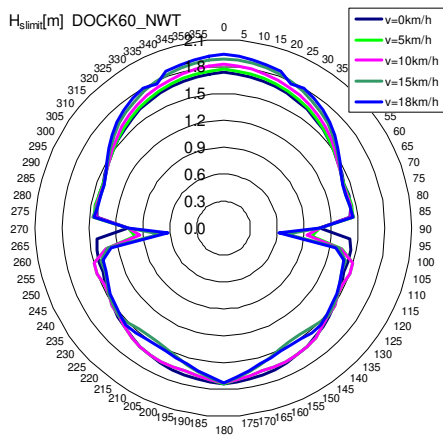


Figura 6.15.a. Diagrama polară pentru înălțimea semnificativă a valului H_{slimt} limită, pentru toată gama de viteze analizate pentru Dock60_NWT

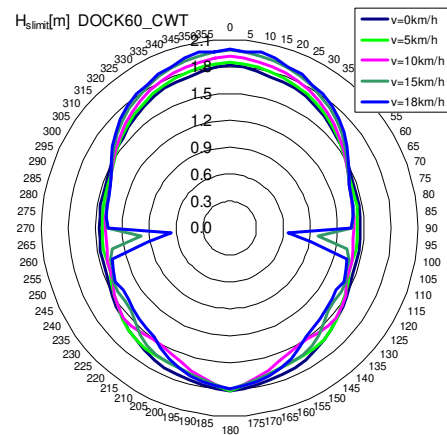


Figura 6.15.b. Diagrama polară pentru înălțimea semnificativă a valului H_{slimt} limită, pentru toată gama de viteze analizate pentru Dock60_CWT

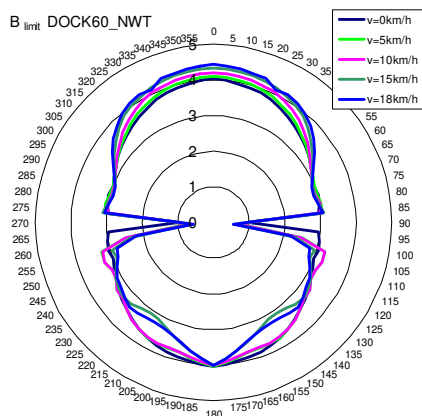


Figura 6.16.a. Diagrama în grade Beaufort B_{slimt} limită, pentru toată gama de viteze analizate pentru Dock60_NWT

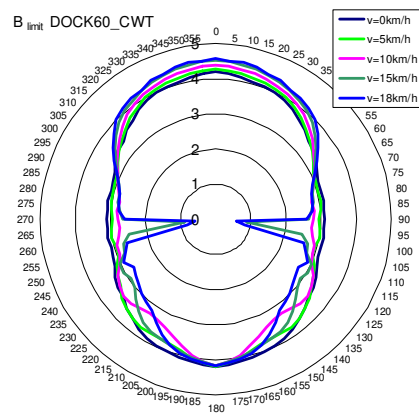


Figura 6.16.b. Diagrama în grade Beaufort B_{slimt} limită, pentru toată gama de viteze analizate pentru Dock60_CWT

Figurile 6.15. – 16. a., b. prezintă diagramele polare privind siguranța navigației conform criteriilor de seakeeping, exprimate în valori limită ale înălțimii semnificative a valurilor H_{slimt} și valoarea limită a stării mării în grade Beaufort B_{slimt} . Tabelul 6.5. prezintă valorile limită ale înălțimii semnificative a valurilor și ale stării mării în grade Beaufort pentru asigurarea siguranței navigației la relocarea docurilor plutitoare de mici dimensiuni.

6.2. Analiza stabilității transversale a docurilor plutitoare de mici dimensiuni Dock60_CWT/NWT, cu considerarea condițiilor meteorologice extreme

Pentru a putea evalua capacitatea de operare în condiții de siguranță a docului plutitor *Dock60*, cu variantele constructive NWT și CWT, pe baza criteriului de stabilitate transversală intactă conform regulilor societăților de clasificare navale [1], am folosit modulul D_LDF (Anexa 4).

Deoarece valorile deplasamentului $\Delta[t]$ și ale pescajului $T_m[t]$ sunt aceleași pentru cazurile 3, 4 și 5, pentru fiecare variantă constructivă (NWT, CWT), am considerat pentru nava test o serie de valori $z_{GS} = 0,5 - 8,5$ m pentru poziția centrului de greutate pe verticală a navei andocate. La evaluarea stabilității transversale intactă a docurilor plutitoare *Dock60_NWT/CWT* tipul blocurilor de andocare, SB și LB, nu are nici o influență.

- Tabelul 6.6. include evaluarea criteriului de stabilitate general și a criteriului de stabilitate dinamică - meteorologic (vânt și ruluiu) pentru varianta cu tancuri superioare laterale discontinue Dock60_NWT, pentru toate cele cinci cazuri de deplasament;
- Tabelul 6.7. include evaluarea criteriului de stabilitate general și a criteriului de stabilitate dinamică - meteorologic (vânt și ruluiu) pentru varianta cu tancuri superioare laterale continue Dock60_CWT, pentru toate cele cinci cazuri de deplasament.

Criteriul general de stabilitate transversală intactă este satisfăcut foarte bine în cazurile 1, 3, 4 și 5 și aproape la limită în cazul 2 de balastare completă.

Criteriul dinamic de stabilitate - meteorologic (din vânt și rului) are variație funcție de cazurile de deplasament, după cum urmează:

- cazul 1 – fără masă andocată, pentru NWT $K_{meteo} = 1,63 > 1$ și pentru CWT $K_{meteo} = 1,11 > 1$, criteriul este satisfăcut și docul plutitor *Dock60* poate opera într-un port neprotejat sau poate fi relocat;
- cazul 2 – balastat complet, pentru NWT $K_{meteo} = 0,44 < 1$ și pentru CWT $K_{meteo} = 0,39 < 1$, criteriul nu este satisfăcut, deci docul plutitor *Dock60* poate opera decât într-un port protejat și nu poate fi relocat;
- cazurile 3, 4 și 5 – test cu navă andocată la capacitatea maximă de ridicare de 828 t, $z_{GS} = 0,5 - 7,5$ m pentru NWT $K_{meteo} = 1,05 \div 1,84 > 1$ și pentru CWT $K_{meteo} = 1,02 \div 1,57 > 1$ criteriul este satisfăcut și poate opera într-un port neprotejat;
- cazurile 3, 4 și 5 – test cu navă andocată la capacitatea maximă de ridicare de 828 t, $z_{GS} = 8,5$ m pentru NWT $K_{meteo} = 0,99 < 1$ și pentru CWT $K_{meteo} = 0,98 < 1$, criteriul nu este satisfăcut și poate opera doar într-un port protejat.

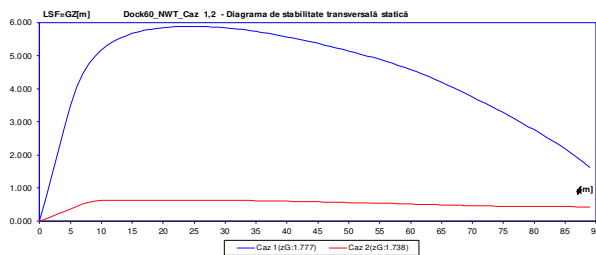


Figura 6.17.a. Diagrama de stabilitate transversală statică pentru *Dock60_NWT*, cazurile 1 și 2, fără masă andocată nebalastat și balastat complet

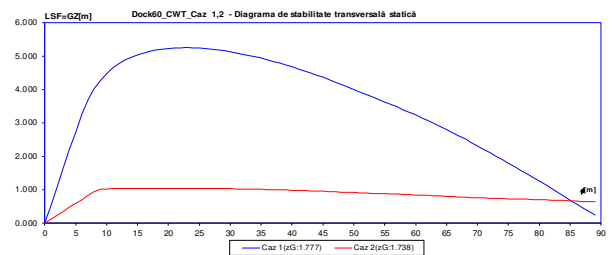


Figura 6.17.b. Diagrama de stabilitate transversală statică pentru *Dock60_CWT*, cazurile 1 și 2, fără masă andocată nebalastat și balastat complet

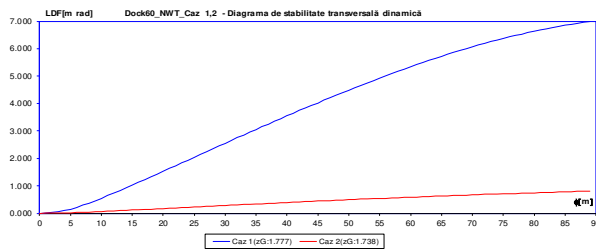


Figura 6.18.a. Diagrama de stabilitate transversală dinamică pentru *Dock60_NWT*, cazurile 1 și 2, fără masă andocată nebalastat și balastat complet

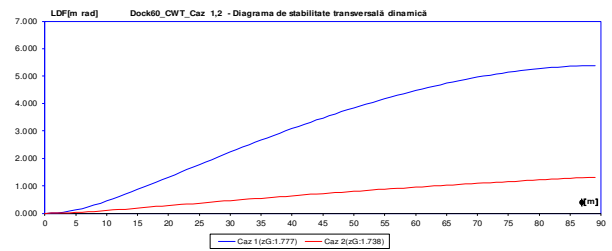


Figura 6.18.b. Diagrama de stabilitate transversală dinamică pentru *Dock60_CWT*, cazurile 1 și 2, fără masă andocată nebalastat și balastat complet

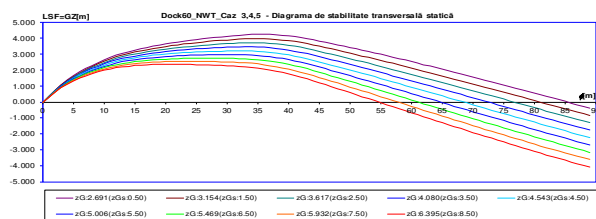


Figura 6.19.a. Diagrama de stabilitate transversală statică pentru *Dock60_NWT*, cazurile 3, 4 și 5, cu variație a poziției verticale a centrului de greutate

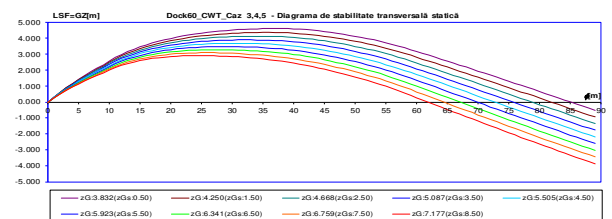


Figura 6.19.b. Diagrama de stabilitate transversală statică pentru *Dock60_CWT*, cazurile 3, 4 și 5, cu variație a poziției verticale a centrului de greutate

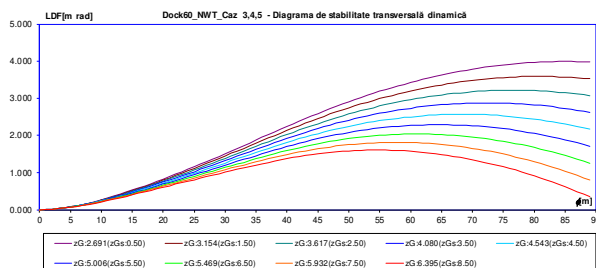


Figura 6.20.a. Diagrama de stabilitate transversală dinamică pentru *Dock60_NWT*, cazurile 3, 4 și 5, cu variație a poziției verticale a centrului de greutate

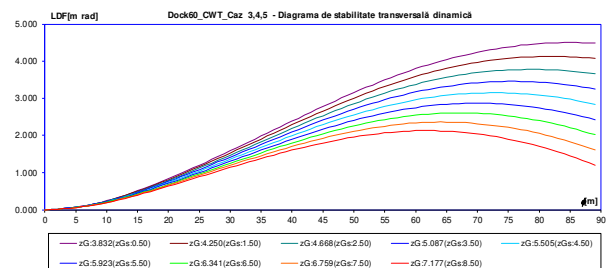


Figura 6.20.b. Diagrama de stabilitate transversală dinamică pentru *Dock60_CWT*, cazurile 3, 4 și 5, cu variație a poziției verticale a centrului de greutate

Tabelul 6.6. Verificarea criteriului stabilității transversale intacte și a criteriului de bord liber inițial, pentru docul plutitor Dock60_NWT

Caz	Dock60_NWT_1	Dock60_NWT_2	Dock60_NWT_3,4,5								
	Fără navă andocată nebalastat	Doc balastată complet, fără navă andocată	z_{GS1}	z_{GS2}	z_{GS3}	z_{GS4}	z_{GS5}	z_{GS6}	z_{GS7}	z_{GS8}	z_{GS9}
Δ [t]	960	3252	1788	1788	1788	1788	1788	1788	1788	1788	1788
V [m ³]	960	3252	1788	1788	1788	1788	1788	1788	1788	1788	1788
Densitatea apei [t/m ³]	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
z_G [m]	1,777	1,738	2,691	3,154	3,617	4,080	4,543	5,006	5,469	5,932	6,395
z_{Gs} [m] (navă test 828 t)	-	-	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
H_p [m]	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
H [m]	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
T_m [m]	0,800	6,733	1,490	1,490	1,490	1,490	1,490	1,490	1,490	1,490	1,490
Bordul liber la ponton >=0,3 m	1,200 DA	- -	0,510 DA	0,510 DA	0,510 DA	0,510 DA	0,510 DA	0,510 DA	0,510 DA	0,510 DA	0,510 DA
Bordul liber la puntea superioară >=1 m	7,200 DA	1,267 DA	6,510 DA	6,510 DA	6,510 DA	6,510 DA	6,510 DA	6,510 DA	6,510 DA	6,510 DA	6,510 DA
$h_0 = GM_0$ [m] >=1 m	40,059 DA	4,080 DA	20,282 DA	19,819 DA	19,356 DA	18,893 DA	18,430 DA	17,967 DA	17,504 DA	17,041 DA	16,578 DA
$LSF(30) = GZ(30)$ [m] >=0,20 m	5,838 DA	0,626 DA	4,122 DA	3,890 DA	3,659 DA	3,412 DA	3,196 DA	2,964 DA	2,738 DA	2,501 DA	2,270 DA
$LDF(15deg)$ [mrad] >=0,070 mrad	1,02390 DA	0,11632 DA	0,52393 DA	0,50816 DA	0,49238 DA	0,47660 DA	0,46083 DA	0,44505 DA	0,42928 DA	0,41350 DA	0,39772 DA
$LDF(30deg)$ [mrad] >=0,055 mrad	2,65327 DA	0,29246 DA	1,57821 DA	1,51208 DA	1,44595 DA	1,37982 DA	1,31369 DA	1,24756 DA	1,18143 DA	1,11530 DA	1,04917 DA
$LDF(40deg)$ [mrad] >=0,090 mrad	3,54984 DA	0,38883 DA	2,23955 DA	2,13123 DA	2,02291 DA	1,91459 DA	1,80628 DA	1,69796 DA	1,58964 DA	1,48132 DA	1,37300 DA
φ_{st_max} [°] >=15°	25 DA	22 DA	35 DA	35 DA	34 DA	33 DA	33 DA	30 DA	27 DA	24 DA	21 DA
$LSF(\varphi_{max})=GZ(\varphi_{max})$ [m] >=0,25 m	5,883 DA	0,633 DA	4,242 DA	3,977 DA	3,717 DA	3,461 DA	3,209 DA	2,964 DA	2,744 DA	2,546 DA	2,370 DA
$LDF(\varphi_{st_max})$ [mrad] dacă $\varphi_{st_max} < 30^\circ$	2,03961 0,06 DA	0,19343 0,063 DA	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	0,99035 0,058 DA	0,80682 0,061 DA	0,64292 0,064 DA
$\varphi_{staționar}$ <=2°	0,0685 DA	0,0375 DA	0,1079 DA	0,1104 DA	0,1130 DA	0,1158 DA	0,1187 DA	0,1217 DA	0,1249 DA	0,1283 DA	0,1318 DA
$K_{meteorologic}$ (vânt și rulu) (b/a) >=1	1,63156 DA	0,44099 NU	1,84285 DA	1,63909 DA	1,48158 DA	1,35624 DA	1,27186 DA	1,18614 DA	1,11450 DA	1,05427 DA	0,99187 NU

În *tabelul 6.8.* se găsește o sinteză a rezultatelor obținute pentru criteriul de stabilitate transversală intactă.

Tabelul 6.8. Capacitatea de operare în condiții de siguranță a docurilor plutitoare Dock60_CWT/NWT, cu cele două variante constructive, evaluată pe baza criteriilor de stabilitate transversală intactă

Caz	Criteriul stabilitate generală	Criteriul dinamic - meteorologic (din vânt și rulu)	Capabilitatea de operare în condiții de siguranță a docului plutitor
1	satisfăcut	$1,11 \div 1,63 > 1$	Port neprotejat, poate fi relocat
2	satisfăcut	nesatisfăcut	Port protejat, nu poate fi relocat
3, 4, 5	satisfăcut	$1,02 \div 1,84 > 1$	($z_{GS}=0,5 \div 7,5$ m) port neprotejat
3, 4, 5	satisfăcut	nesatisfăcut	($z_{GS}=8,5$ m) port protejat

6.3. Concluzii la analiza dinamică și stabilitatea transversală a celor două docuri de mici dimensiuni

Pentru evaluarea condițiilor de siguranță la relocarea docurilor plutitoare de mici dimensiuni cu tancuri superioare continue și discontinue, Dock60_CWT/NWT (figurile 4.9., 4.12., tabelele 4.1., 4.6, 4.7.), am dezvoltat un model cu 200 de secțiuni transversale (capitolul 4.1.) și folosind programul DYN [45], cu formularea hidrodinamică liniară prin metoda fâșiilor (subcapitolul 2.4.), am determinat funcțiile operator amplitudine răspuns RAO pentru principalele componente de oscilație ale docului, verticală tangaj și rulu. Pentru un scenariu de tranzit pe o rută fluvial – maritimă am modelat valuri aleatoare folosind funcția densitate spectrală de putere ITTC [58], [59]. Pe baza criteriilor de seakeeping (ecuația 2.23. – 2.25., tabelul 6.1.), formulate în termenii valorilor statistice cele mai probabile admisibile pentru amplitudinea mișcărilor și accelerațiile oscilațiilor verticale combinate, de tangaj și rulu, se obțin limitele de operare a docurilor plutitoare statistic pe termen scurt, cu o sinteză în tabelul 6.5.

Datorită formelor prismatice ale docului plutitor, funcțiile amplitudine răspuns *RAO* pentru oscilațiile pe verticală și de tangaj, sunt similare (figurile 6.3. – 6.4. a., b.). De asemenea, pulsațiile proprii la oscilațiile pe verticală și de tangaj sunt similare (tabelul 6.2.). Datorită caracteristicilor de stabilitate transversală (figura 6.2.), funcția operator amplitudine răspuns *RAO* pentru oscilația de rulu (figurile 6.8. – 6.9. a., b.) înregistrează diferențe semnificative pentru cele două versiuni constructive ale docurilor plutitoare Dock60_CWT/NWT. Deoarece pulsația proprie în cazul oscilației de rulu este mai mare de 2 rad/s (tabelul 6.2.), amortizarea hidrodinamică este foarte redusă, rezultând valori semnificative ale funcției operator amplitudine răspuns *RAO* la oscilațiile de rulu. Se observă influențe semnificative asupra funcțiilor operator amplitudine răspuns *RAO* datorită modificărilor pulsației valurilor, a unghiului dintre doc și val, precum și a vitezei de remorcare.

Răspunsul statistic cel mai probabil *RMS* este comparat cu limitele din criteriile de seakeeping, pentru referința de val cu înălțimea semnificativă maximă de 2,568 m. Valorile admisibile la seakeeping sunt depășite după cum urmează (tabelele 6.3. – 6.4.):

- Oscilații verticale combinate la pupa, mijloc și prova 91,19 – 130,3% (figurile 6.9 – 6.11.a., b.);
- Oscilația de tangaj 25,34 – 32,55% (figurile 6.12.a., b.);
- Accelerații la oscilația de rulu 1,55 – 27,25% (figurile 6.13.a., b.);
- Oscilația de rulu și accelerația mișcărilor verticale combinate au cele mai mici depășiri ale limitei admisibile, 0,45 – 0,75% pentru Dock60_NWT și fără depășiri pentru varianta Dock60_CWT

Din diagramele polare, rezultă limitele navigației în termenii înălțimii semnificative limită a valului $H_s=0,626 - 2,003$ m, în principal datorită restricțiilor generate de bordul liber redus (figurile 6.15. – 16.a., b.). Pentru siguranța relocării docurilor plutitoare trebuie avută în vedere o viteză de remorcare redusă, trebuie evitate pe cât posibil valurile traverse și este nevoie de o aprobare specială în cazul navigației pe rute costiere.

Din evaluarea docurilor plutitoare Dock60_CWT/NWT conform criteriului de stabilitate transversală generală (subcapitolul 6.2.) rezultă fără restricții pentru toate cazurile de deplasament și constructive. Criteriul de stabilitate dinamic - meteorologic (din vânt și rulu) nu este îndeplinit pentru cazul 2 – balastat complet și de asemenea pentru cazurile 3,4,5 – cu navă andocată având poziția verticală a centrului de greutate $z_{GS} > 7,5m$ (față de planul de bază al navei andocate).

CAPITOLUL 7

ANALIZA CAPACITĂȚII DE OPERARE A DOCULUI PLUTITOR DOCK_VARD_TULCEA, PE BAZA CRITERIILOR DE REZISTENȚĂ STRUTURALĂ ȘI BORD LIBER MINIM, LA SOLICITĂRI EXTREME DIN VALURI ECHIVALENTE CVASI - STATICE

Studiul din acest capitol prezintă analiza structurală și a restricțiilor de bord liber a docului plutitor de la Șantierul Naval VARD din Tulcea [9], [11], de mari dimensiuni, folosind un model 3D-FEM, extins pe întreaga lungime a docului, într-un singur bord, conform procedurii din capitolului 2.3.2., supus la solicitări din valuri echivalente cvasi – statice de întâlnire - urmărire. Cu ajutorul modelelor de grindă echivalentă 1D, sunt determinați parametrii de echilibrare ai sistemului doc - val echivalent. Înălțimea valului echivalent cvasi - static este considerat în intervalul $h_w = 0 - 4,492$ m (ecuația 2.4.), corespunzător normelor de clasificare navale [1], [3]. Conform cazurilor de încărcare descrise în capitolul 4.2., în continuare se vor prezenta rezultatele numerice obținute în urma analizei rezistenței generale pe model grindă echivalentă 1D și 3D-FEM.

Rezultatele analizei pe model grindă echivalentă 1D sunt publicate și prezentate în articolul din referința [37]. Rezultatele analizei pe model 3D-FEM sunt publicate și prezentate în articolul din referința [73].

7.1. Analiza structurală a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, pe baza modelului de grindă echivalentă 1D, la solicitări din valuri de întâlnire - urmărire

Acest subcapitol prezintă rezultatele numerice obținute în urma analizei rezistenței generale pe modele grindă echivalentă 1D, pentru docul plutitor Dock_VARD_Tulcea, pentru cinci cazuri de operare diferite, conform datelor din subcapitolul 4.2.

Analiza rezistenței generale pe baza modelului echivalent al docului Dock_VARD_Tulcea, cu ajutorul programului **D_ACVAD (capitolul 2.1.4., anexa 3)** [35], conduce la evaluarea preliminară a criteriilor rezistenței globale și bordului liber minim, ce sunt prezentate în tabelele 7.1.a. – g.

Pentru analiza rezistenței generale a docului, în toate cele cinci cazuri de operare, considerând solicitări din valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire cât și solicitări din apă calmă, rezultă un total de 103 cazuri.

Tabelul 7.1.a. prezintă parametrii de echilibrare ai sistemului doc - val, pe baza modelului 1D grindă echivalentă, la solicitări în apă calmă și din val echivalent, conform modelului din subcapitolul 2.1., precum și valorile bordului liber. Datorită faptului că, prin sistemul de balastare al docului, acesta este echilibrat la același deplasament $\Delta=66324$ t, cu un pescaj de $T_m=T_{pp}=T_{pv}=6,2$ m, parametrii de echilibrare doc - val și valorile bordului liber rezultând aceleași pentru toate cazurile.

În tabelul 7.1.b., pe baza modelului 1D grindă echivalentă, sunt prezentate valorile maxime ale eforturilor secționale la rezistența globală, în cazul fără masă andocată.

În tabelul 7.1.c. și d., pe baza modelului 1D grindă echivalentă, sunt prezentate valorile maxime ale eforturilor secționale la rezistența globală, în cazul de încărcare pus la dispoziție de către Șantierul Naval VARD din Tulcea [9], [11]. Figurile 7.1.a.-b., prezintă diagramele eforturilor pentru cazurile din tabelul 7.1.c., reprezentative tranziției navei andocate de pe cheu pe puntea docului, iar pentru tabelul 7.1.d., diagramele eforturilor pentru cazurile prezentate se regăsesc în figurile 7.2.a.-d., reprezentative pentru etapa finală de andocare, cu nava având masa totală de 19747 t. Pentru cazul de andocare la capacitatea de 19747 t, în gama de valuri de proiectare, criteriile de rezistență globală sunt satisfăcute, ceea ce permite relocarea docului pe o rută fluvială și costieră cu nava andocată.

În tabelul 7.1.e.-g., pe baza modelului 1D grindă echivalentă, sunt prezentate valorile maxime ale eforturilor secționale la rezistența globală, în cazul de andocare la capacitatea maximă de operare 27000 t, cu trei tipuri diferite a distribuției de mase, și anume distribuție uniformă, distribuție sagging și distribuție hogging, conform normelor societății de clasificare navale [1], [3]. Figurile 7.3.a.-d., prezintă diagramele eforturilor secționale pentru cazurile din tabelele 7.1.g.

Pentru cazul de andocare la capacitate maximă cu distribuție uniformă a masei, apar restricții din criteriul rezistenței globale pentru cazurile de val tip sagging, la înălțimea valului de peste 3,213 m.

Tabelul 7.1.a. Verificarea criteriul bordului liber minim pentru Dock_VARD_Tulcea la pescajul de referință $T=6,2$ m , $F_s=0,300$ m

EDW	h_w [m]	0	0,500	1,000	1,500	2,000	2,500	3,000	3,500	4,000	4,492
hogging	T_m [m]	6,200	6,191	6,182	6,174	6,165	6,156	6,147	6,138	6,128	6,118
	$trim$ [rad]	0,00000	0,00028	-0,00058	0,00089	0,00120	-0,00151	0,00182	0,00213	0,00244	0,00275
	x_F [m]	100,104	100,107	100,110	100,114	100,117	100,120	100,124	100,128	100,132	100,135
	T_{pp} [m]	6,200	6,219	6,240	6,263	6,285	6,307	6,330	6,351	6,372	6,394
	T_{pv} [m]	6,200	6,160	6,119	6,077	6,034	5,992	5,949	5,905	5,862	5,819
	F_{aft} [m]	3,900	4,131	4,360	4,587	4,815	5,043	5,270	5,499	5,728	5,952
	F_m [m]	3,900	3,661	3,420	3,180	2,940	2,700	2,461	2,222	1,983	1,748
	F_{fore} [m]	3,900	4,190	4,481	4,773	5,066	5,358	5,651	5,945	6,238	6,527
	F_{min} [m]	3,900	3,661	3,420	3,180	2,940	2,700	2,461	2,222	1,983	1,748
	F_{min}/F_s	>1	>1	>1	>1	>1	>1	>1	>1	>1	>1
sagging	T_m [m]	6,200	6,207	6,215	6,222	6,229	6,236	6,243	6,250	6,256	6,262
	$trim$ [rad]	0,00000	0,00032	0,00063	0,00095	0,00126	0,00157	0,00189	0,00220	0,00251	0,00282
	x_F [m]	100,104	100,100	100,097	100,094	100,092	100,089	100,086	100,084	100,081	100,079
	T_{pp} [m]	6,200	6,175	6,152	6,127	6,103	6,079	6,054	6,029	6,005	5,980
	T_{pv} [m]	6,200	6,242	6,284	6,326	6,367	6,407	6,449	6,490	6,530	6,570
	F_{aft} [m]	3,900	3,675	3,448	3,223	2,997	2,771	2,546	2,321	2,095	1,874
	F_m [m]	3,900	4,142	4,382	4,624	4,865	5,107	5,349	5,591	5,833	6,071
	F_{fore} [m]	3,900	3,608	3,316	3,024	2,733	2,443	2,151	1,860	1,570	1,284
	F_{min} [m]	3,900	3,608	3,316	3,024	2,733	2,443	2,151	1,860	1,570	1,284
	F_{min}/F_s	>1	>1	>1	>1	>1	>1	>1	>1	>1	>1

Tabelul 7.1.b. Valorile maxime ale eforturilor secționale, model 1D, la rezistența globală în valuri de întâlnire, pentru cazul fără masă andocată, balastat la pescajul de referință $T=6,2$ m

EDW	h_w [m]	0	0,500	1,000	1,500	2,000	2,500	3,000	3,500	4,000	4,492	
		$AVBM$ [kNm] = 3,44E+06					$AVSF$ [kN] = 5,70E+04					
hogging	VBM_{max} [kNm]	5,11E+05	3,26E+05	3,41E+05	5,96E+05	8,53E+05	1,11E+06	1,37E+06	1,63E+06	1,89E+06	2,15E+06	
	max/adm	0,15	0,09	0,10	0,17	0,25	0,32	0,40	0,47	0,55	0,63	
	VSF_{max} [kN]	2,11E+04	1,87E+04	2,27E+04	2,68E+04	3,08E+04	3,48E+04	3,89E+04	4,29E+04	4,69E+04	5,08E+04	
	max/adm	0,37	0,33	0,40	0,47	0,54	0,61	0,68	0,75	0,82	0,89	
sagging	VBM_{max} [kNm]	5,11E+05	7,70E+05	1,03E+06	1,30E+06	1,57E+06	1,84E+06	2,12E+06	2,39E+06	2,67E+06	2,94E+06	
	max/adm	0,15	0,22	0,30	0,38	0,46	0,54	0,62	0,70	0,77	0,85	
	VSF_{max} [kN]	2,11E+04	2,36E+04	2,60E+04	2,85E+04	3,11E+04	3,36E+04	3,61E+04	3,86E+04	4,11E+04	4,40E+04	
	max/adm	0,37	0,41	0,46	0,50	0,54	0,59	0,63	0,68	0,72	0,77	

Tabelul 7.1.c. Valorile maxime ale eforturilor secționale, model 1D, pentru cazul tranziției navei andocate de pe cheu pe puntea docului, $L_d=0-122,79$ m, $h_w=0$ m la pescajul de referință $T=6,2$ m

L_d [m]		SW	0	10	20	40	60	80	100	122,79	
		$AVBM$ [kNm] = 3,44E+06					$AVSF$ [kN] = 5,70E+04				
andocate	VBM_{max} [kNm]	3,37E+05	5,11E+05	4,14E+05	5,11E+05	4,13E+05	4,15E+05	4,06E+05	4,23E+05	4,29E+05	
	max/adm	0,098	0,149	0,120	0,149	0,120	0,121	0,118	0,123	0,125	
	VSF_{max} [kN]	6,13E+03	2,11E+04	1,64E+04	2,11E+04	1,64E+04	1,65E+04	1,62E+04	1,66E+04	1,68E+04	
	max/adm	0,108	0,370	0,288	0,370	0,287	0,289	0,284	0,291	0,294	

Tabelul 7.1.d. Valorile maxime ale eforturilor secționale, model 1D, pentru cazul final de andocare cu nava având masa totală de 19747t, $Ld_{max}=122,79$ m la pescajul de referință $T=6,2$ m

EDW	h_w [m]	0	0,500	1,000	1,500	2,000	2,500	3,000	3,500	4,000	4,492	
		$AVBM$ [kNm] = 3,44E+06						$AVSF$ [kN] = 5,70E+04				
hogging	VBM_{max} [kNm]	4,29E+05	3,07E+05	4,18E+05	6,82E+05	9,47E+05	1,21E+06	1,48E+06	1,75E+06	2,01E+06	2,28E+06	
	max/adm	0,12	0,09	0,12	0,20	0,28	0,35	0,43	0,51	0,58	0,66	
	VSF_{max} [kN]	1,68E+04	1,88E+04	2,29E+04	2,69E+04	3,09E+04	3,50E+04	3,90E+04	4,30E+04	4,70E+04	5,10E+04	
sagging	VBM_{max} [kNm]	4,29E+05	5,65E+05	7,95E+05	1,06E+06	1,34E+06	1,61E+06	1,89E+06	2,16E+06	2,44E+06	2,71E+06	
	max/adm	0,12	0,16	0,23	0,31	0,39	0,47	0,55	0,63	0,71	0,79	
	VSF_{max} [kN]	1,68E+04	1,92E+04	2,17E+04	2,42E+04	2,69E+04	3,10E+04	3,51E+04	3,92E+04	4,32E+04	4,73E+04	
	max/adm	0,29	0,34	0,38	0,42	0,47	0,54	0,62	0,69	0,76	0,83	

Tabelul 7.1.e. Valorile maxime ale eforturilor secționale, model 1D, pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 27000t, cu distribuție uniformă a masei, la pescajul de referință $T=6,2$ m

EDW	h_w [m]	0	0,500	1,000	1,500	2,000	2,500	3,000	3,213	3,908	4,492	
		$AVBM$ [kNm] = 3,44E+06						$AVSF$ [kN] = 5,70E+04				
hogging	VBM_{max} [kNm]	1,28E+06	1,01E+06	7,40E+05	5,72E+05	4,34E+05	3,07E+05	4,12E+05	5,24E+05	8,92E+05	1,20E+06	
	max/adm	0,37	0,29	0,22	0,17	0,13	0,09	0,12	0,15	0,26	0,35	
	VSF_{max} [kN]	3,09E+04	2,69E+04	2,29E+04	1,89E+04	1,49E+04	1,89E+04	2,29E+04	2,46E+04	3,02E+04	3,49E+04	
sagging	VBM_{max} [kNm]	1,28E+06	1,55E+06	1,83E+06	2,10E+06	2,38E+06	2,66E+06	2,93E+06	3,05E+06	3,44E+06	3,77E+06	
	max/adm	0,37	0,45	0,53	0,61	0,69	0,77	0,85	0,89	1,00	1,09	
	VSF_{max} [kN]	3,09E+04	3,49E+04	3,90E+04	4,30E+04	4,71E+04	5,12E+04	5,53E+04	5,70E+04	6,27E+04	6,75E+04	
	max/adm	0,54	0,61	0,68	0,76	0,83	0,90	0,97	1,00	1,10	1,18	

Tabelul 7.1.f Valorile maxime ale eforturilor secționale, model 1D, pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 27000t, cu distribuție hogging a masei, la pescajul de referință $T=6,2$ m

EDW	h_w [m]	0	0,500	1,000	1,500	2,000	2,500	3,000	3,769	4,000	4,492	
		$AVBM$ [kNm] = 3,44E+06						$AVSF$ [kN] = 5,70E+04				
hogging	VBM_{max} [kNm]	9,91E+05	7,67E+05	5,61E+05	3,84E+05	4,97E+05	7,55E+05	1,01E+06	1,42E+06	1,54E+06	1,79E+06	
	max/adm	0,29	0,22	0,16	0,11	0,14	0,22	0,29	0,41	0,45	0,52	
	VSF_{max} [kN]	2,71E+04	2,32E+04	1,93E+04	2,30E+04	2,70E+04	3,11E+04	3,51E+04	4,13E+04	4,32E+04	4,71E+04	
sagging	VBM_{max} [kNm]	9,91E+05	1,23E+06	1,47E+06	1,73E+06	1,99E+06	2,25E+06	2,52E+06	2,93E+06	3,06E+06	3,33E+06	
	max/adm	0,29	0,36	0,43	0,50	0,58	0,66	0,73	0,5	0,89	0,97	
	VSF_{max} [kN]	2,71E+04	3,10E+04	3,50E+04	3,89E+04	4,29E+04	4,69E+04	5,09E+04	5,70E+04	5,89E+04	6,28E+04	
	max/adm	0,48	0,54	0,61	0,68	0,75	0,82	0,89	1,00	1,03	1,10	

Tabelul 7.1.g. Valorile maxime ale eforturilor secționale, model 1D, pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 27000t, cu distribuție sagging a masei, la pescajul de referință $T=6,2$ m

EDW	h_w [m]	0	0,500	1,000	1,500	2,000	2,197	3,000	3,176	4,000	4,492	
		$AVBM$ [kNm] = 3,44E+06						$AVSF$ [kN] = 5,70E+04				
hogging	VBM_{max} [kNm]	1,68E+06	1,40E+06	1,13E+06	9,35E+05	7,80E+05	7,21E+05	5,00E+05	4,56E+05	5,11E+05	7,77E+05	
	max/adm	0,49	0,41	0,33	0,27	0,23	0,21	0,15	0,13	0,15	0,23	
	VSF_{max} [kN]	3,92E+04	3,52E+04	3,11E+04	2,71E+04	2,31E+04	2,15E+04	1,73E+04	1,87E+04	2,54E+04	2,93E+04	
sagging	VBM_{max} [kNm]	1,68E+06	1,96E+06	2,23E+06	2,51E+06	2,79E+06	2,90E+06	3,34E+06	3,44E+06	3,90E+06	4,17E+06	
	max/adm	0,49	0,57	0,65	0,73	0,81	0,4	0,97	1,00	1,13	1,21	
	VSF_{max} [kN]	3,92E+04	4,32E+04	4,73E+04	5,13E+04	5,54E+04	5,70E+04	6,35E+04	6,50E+04	7,17E+04	7,57E+04	
	max/adm	0,69	0,76	0,83	0,90	0,97	1,00	1,11	1,14	1,26	1,33	

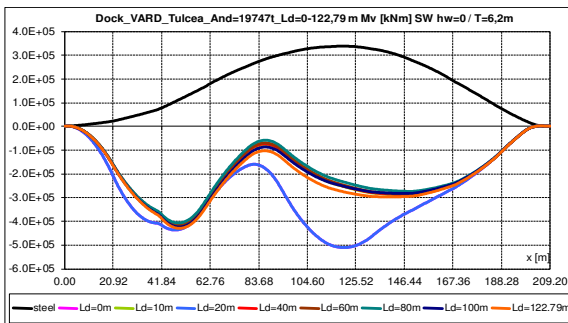


Figura 7.1.a. Diagrama momentului încovoietor în plan vertical VBM[kNm] al grinzii docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, pentru cazul de andocare a navei de 19747t, în cazurile de tranziție a navei andocate de pe cheu pe puntea docului în apă calmă

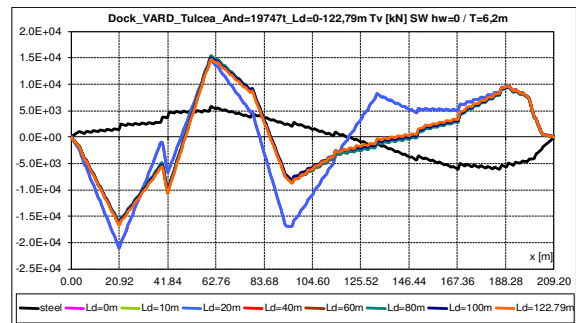


Figura 7.1.b. Diagrama forței tăietoare verticale VSF[kN] a grinzii docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, pentru cazul de andocare a navei de 19747t, în cazurile de tranziție a navei andocate de pe cheu pe puntea docului în apă calmă

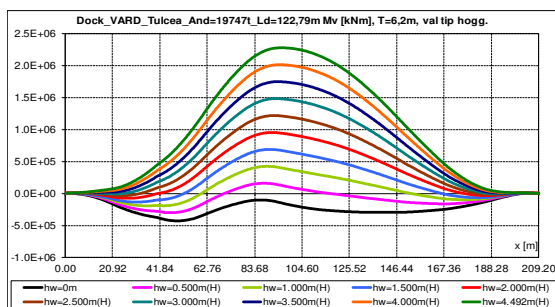


Figura 7.2.a. Diagrama momentului încovoietor în plan vertical VBM[kNm] al grinzii docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, pentru cazul final de andocare a navei, val tip hogging

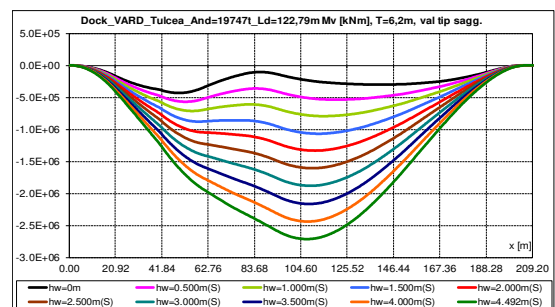


Figura 7.2.c. Diagrama momentului încovoietor în plan vertical VBM[kNm] al grinzii docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, pentru cazul final de andocare a navei, val tip sagging

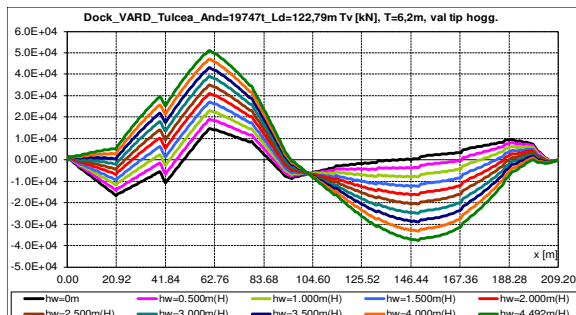


Figura 7.2.b. Diagrama forței tăietoare verticale VSF[kN] a grinzii docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, pentru cazul final de andocare a navei, val tip hogging

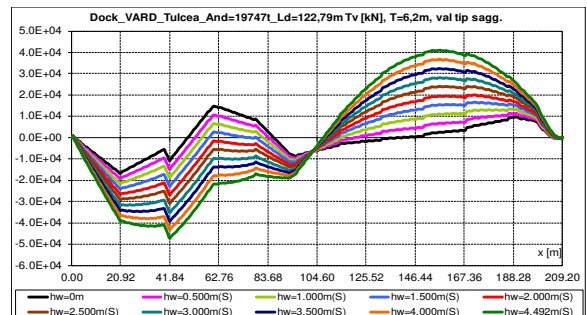


Figura 7.2.d. Diagrama forței tăietoare verticale VSF[kN] a grinzii docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, pentru cazul final de andocare a navei, val tip sagging

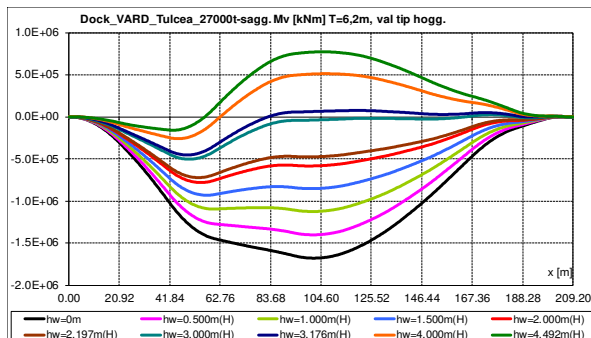


Figura 7.3.a. Diagrama momentului încovoietor în plan vertical VBM[kNm] al grinzii docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 27000t, cu distribuție sagging a masei, val tip hogging

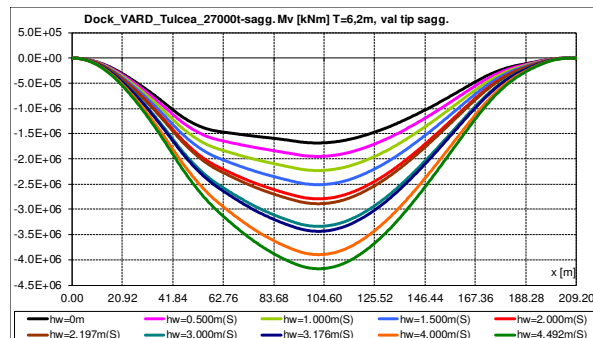


Figura 7.3.c. Diagrama momentului încovoietor în plan vertical VBM[kNm] al grinzii docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 27000t, cu distribuție sagging a masei, val tip sagging

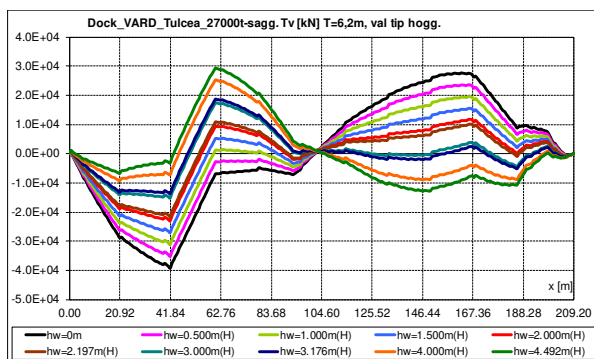


Figura 7.3.b. Diagrama forței tăietoare verticale VSF[kN] a grinzii docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 27000t, cu distribuție sagging a masei, val tip hogging

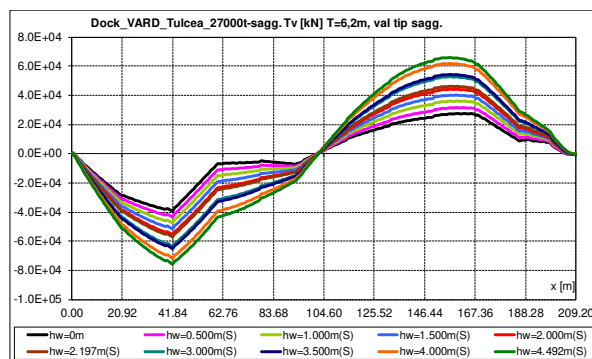


Figura 7.3.d. Diagrama forței tăietoare verticale VSF[kN] a grinzii docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 27000t, cu distribuție sagging a masei, val tip sagging

Pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 27000 t, cu distribuție hogging a masei, apar restricții din criteriul rezistenței globale pentru cazurile de val tip sagging, la înălțimi de peste 3,769 m.

Pentru cazul de andocare la capacitate maximă de 27000 t cu distribuție sagging a masei, apar restricții din criteriul rezistenței globale pentru cazurile de val tip sagging, la înălțimi de peste 2,197 m.

Din analiza pe modele 1D, rezultă că în cazul docului plutitor de mari dimensiuni, Dock_VARD_Tulcea [37], nu apar restricții din criteriu bordului liber minim (tabelul 7.1.a.). În cazul fără masă andocată (tabelul 7.1.b.) și în cazul andocării navei de 19747t de la cheu (tabelele 7.1.c.,d.), nu apar restricții din punct de vedere al rezistenței, astfel încât limita maximă a înălțimii valului este de $h_{w\text{limit}} = 4,492m$, docul putând fi operat fluvial cu clasa IN(2.0) cât și costier cu o restricție de clasa RE(50%). Pentru cazurile extreme de andocare a unei mase maxime de 27000t, restricțiile apar din valorile admisibile pentru forțele tăietoare în condiții de val tip sagging (tabelele 7.1.e. – g.), cu o înălțime admisă a valului $h_{w\text{limit}} = 2,197 \div 3,769m$, fără limitări pentru operarea fluvială IN(2.0), dar cu restricții RE(24% - 40%) pentru operarea costieră. O sinteză a tuturor rezultatelor pentru docul în valuri de întâlnire, modele 1D, sunt prezentate în tabelul 7.2. Pentru docul de dimensiuni mari nu se mai analizează cazul valurilor oblice, deoarece după cum am prezentat în cazul docului de mici dimensiuni cu tancuri laterale discontinue Dock60_NWT, capitolul 5.1., cazurile extreme se obțin pentru valuri de întâlnire, fiind identic în cazul valurilor de urmările echivalent cvasi - statice.

Tabelul 7.2. Rezultatele obținute pentru cazurile de andocare a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, model 1D grindă echivalentă, în valuri de întâlnire - urmărirea echivalent cvasi - statice

Cazul de andocare	Neîncărcat	D19747t	D27000t hogg.	D27000t unif.	D27000t sagg.
	76,2	76,2	76,2	76,2	76,2
$h_{w\text{limit}}$ [m]	4,492	4,492	3,769	3,213	2,197
Criteriu	Fără restricții		Restricții din criteriul de rezistență globală în cazul valurilor tip sagging		
Fluvial	IN(2.0)	IN(2.0)	IN(2.0)	IN(2.0)	IN(2.0)
Costier	RE(50%)	RE(50%)	≈RE(40%)	≈RE(35%)	≈RE(24%)

În cele ce urmează sunt prezentate analizele structural ale docului plutitor Dock_VARD_Tulcea pe model 3D-FEM, pentru identificarea zonelor cu concentratori de tensiune.

7.2. Analiza structurală a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, la solicitări din valuri echivalente cvasi - stactice de întâlnire - urmărire, folosind model 3D-FEM complet extins pe lungime

În acest subcapitol se analizează cazurile de andocare, prezentate în subcapitolul 7.1. (model 1D), folosind un model structural 3D-FEM, extins într-un singur bord, pe întreaga lungime a docului plutitor de mari dimensiuni Dock_Vard_Tulcea [9], [11]. Modelul 3D-FEM este dezvoltat cu programul FEMAP NX/Nastran [42] (figura 7.4.), folosindu-se elemente finite de placă groasă (Mindlin) [73], [57], și membrană, patrulatere și triunghiulare, pentru structura corpului de oțel, precum și elemente finite de masă concentrate pentru modelarea echipamentelor, a masei de balast și a masei navei andocate.

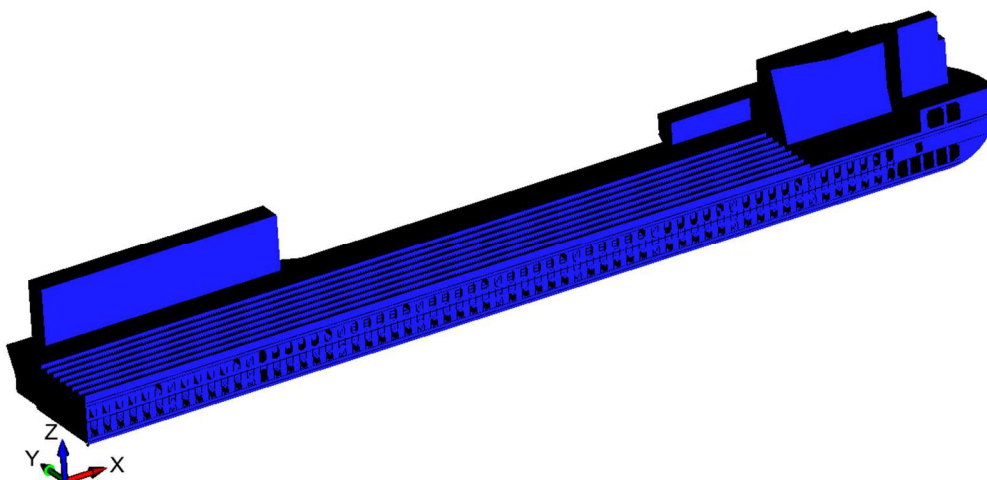


Figura 7.4. Dock_VARD_Tulcea model 3D-FEM

7.2.1. Analiza structurală 3D-FEM pentru cazul de operare fără încărcătură a docului plutitor de mari dimensiuni

Cazul neîncărcat corespunde situației în care docul nu are masă andocată, dar este balastat, pentru a asigura un pescaj de 6,2 m, cu deplasamentul de 66324 t (tabelul 4.9.). De asemenea, acest caz corespunde cazului standard de relocare al docului între șantierele navale. În următoarele figuri și în tabelul 7.3., sunt prezentate rezultatele analizei structurale 3D-FEM pentru gama de valuri de întâlnire – urmărire cu înălțimea de la 0 m la 4,492 m cu:

- distribuția de tensiuni echivalente von Mises în figurile 7.5.a., b., pe întreaga lungime a șinelor (puntea principală) și pe zona fără tancuri laterale în zona centrală a docului
- deformația verticală în figurile 7.5.c.,
- distribuția de tensiuni și deformațiile verticale a modelului 3D-FEM în cazul valului limită cu înălțimea de 3,867 m în figurile 7.6., 7.7.

Tabelul 7.3. prezintă evaluarea criteriilor de bord liber minim, deformată verticală și a tensiunilor admisibile în cazul fără masă andocată, la val tip hogging, cu înălțimea limită a valului $h_{w\text{limit}} = 4,014 \text{ m}$ (restricție din criteriul deformației verticale), dar și evaluările criteriilor limită pentru val tip sagging, cu înălțimea limită a valului $h_{w\text{limit}} = 3,867 \text{ m}$ (restricție din criteriul deformației verticale) și $h_{w\text{limit}} = 4,301 \text{ m}$ (restricție din criteriul tensiunilor admisibile). Criteriul de bord liber minim nu este depășit.

Tabelul 7.3. Valorile bordului liber minim, tensiunile maxime echivalente von Mises și deformația maximă verticală, pentru cazul fără masa andocată, la solicitări în apă calmă și din val de întâlnire - urmărirea tip hogging și sagging

Caz	h_w [m]	T_{Pp} [m]	T_{Pv} [m]	F_{Pp} [m]	$\frac{F_{Pp}}{adm}$	F_m [m]	$\frac{F_m}{adm}$	F_{Pv} [m]	$\frac{F_{Pv}}{adm}$	σ_{vM} [MPa]	$\frac{\sigma_{vM}}{adm}$	w [mm]	$\frac{w}{adm}$
Sw	0	6,200	6,200	3,900	>1	3,900	>1	3,900	>1	252,790	0,866	-41	0,098
hogging	4,014	6,373	5,861	5,734	>1	1,976	>1	6,246	>1	254,868	0,873	418	1,000
sagging	3,867	6,011	6,520	2,155	>1	5,768	>1	1,647	>1	275,825	0,944	-418	1,000
	4,301	5,990	6,554	1,960	>1	5,978	>1	1,395	>1	292,000	1,000	-464	1,110

Figurile 7.5. – 7.7., prezintă diagramele de tensiuni echivalente von Mises și a deformațiilor verticale pe modelul 3D-FEM din zona șinelor și zona centrală (fără tancuri pe punte), pentru înălțimea de val $h_{w\text{limit}} = 3,867 \text{ m}$, în cazul de val de întâlnire tip sagging și hogging pentru docul plutitor de mari dimensiuni fără masă andocată. În figurile 7.10. se prezintă verificarea criteriului stabilității structurale pentru val cu $h_{w\text{limit}} = 3,867 \text{ m}$.

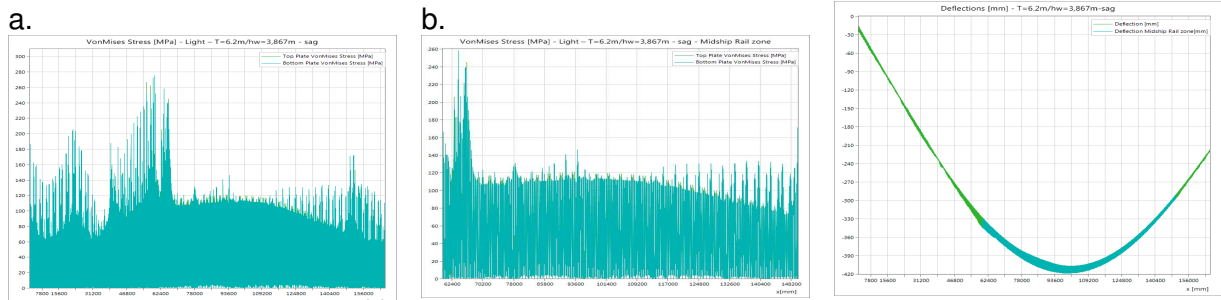


Figura 7.5.a., b. Diagrama de tensiuni echivalente von Mises, cazul fără masa andocată, $T=6,2 \text{ m}$, $hw=3,867 \text{ m}$, val tip sagging, a. pe întreaga lungime a șinelor b. pe zona centrală

Figura 7.5.c. Deformația verticală a docului în cazul fără masă andocată, $T=6,2 \text{ m}$, $hw=3,867 \text{ m}$, val tip sagging

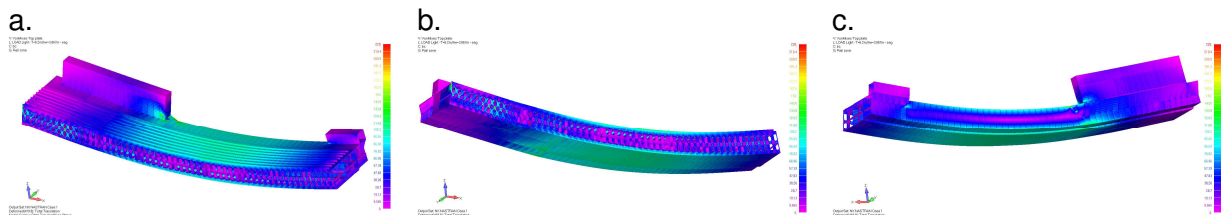


Figura 7.6.a., b., c. Model 3D-FEM, tensiuni echivalente von Mises, cazul fără masa andocată, $T=6,2 \text{ m}$, $hw=3,867 \text{ m}$, val tip sagging, a. vedere pe punte, b. vedere pe fund, c. vedere pe bordaj

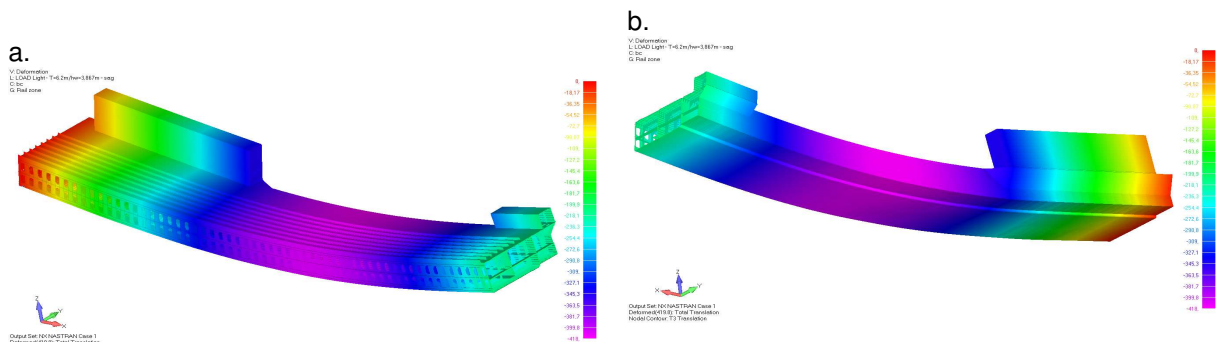


Figura 7.7.a., b. Model 3D-FEM, deformația verticală în cazul fără masa andocată, $T=6,2 \text{ m}$, $hw=3,867 \text{ m}$ val tip sagging, a. vedere pe punte, b. vedere pe bordaj

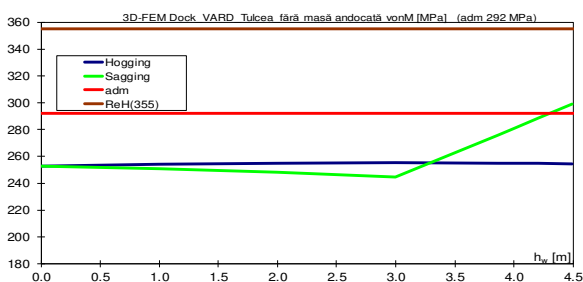


Figura 7.8. Valorile maxime a tensiunilor echivalente von Mises pentru cazul fără masa andocată, model 3D-FEM Dock-Vard Tulcea

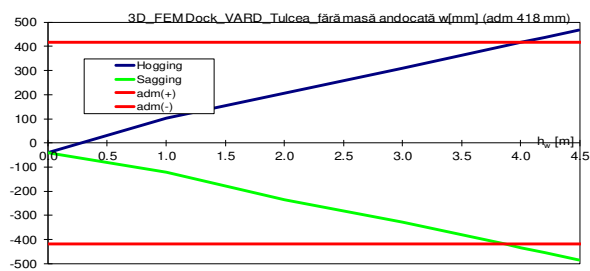


Figura 7.9. Valorile maxime ale deformației verticale în cazul fără masa andocată, model 3D-FEM Dock-Vard Tulcea

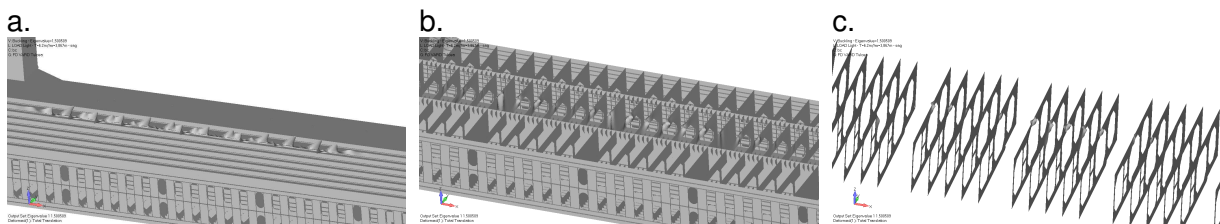


Figura 7.10.a., b., c. Verificarea criteriului de stabilitate structurală ($B=1,500509$), cazul fără masă andocată, la val tip sagging, $h_w=3,867m$, modul de cedare între coastele FR. 96 – FR. 160

7.2.2. Analiza structurală 3D-FEM pentru cazul de operare al docului plutitor cu nava andocată de 19747t

Cazul de andocare al unei mase de 19747t, a fost pus la dispoziție de către Șantierul Naval VARD din Tulcea (subcapitolul 4.2.). Transferul navei de pe cheu pe puntea de andocare a docului plutitor se realizează **doar** în condiții de apă calmă, în port protejat ($h_w = 0 m$).

Pentru cazul final de andocare al navei de 19747t, se consideră și situația extremă de relocare a docului cu încărcătură, cu solicitări din valuri. Din aceste rezultate sunt selectate:

- tensiunea echivalentă von Mises (figurile 7.8.a., b.)
- deformațiile verticale (figurile 7.8.c.) în cazul valului de înălțime limită $h_w = 3,851 m$ din criteriile de rezistență globală și locală.

Tabelul 7.5. prezintă evaluarea criteriilor bordului liber minim și a tensiunilor admisibile în cazul final de andocare cu nava având masa totală de 19747t, cu restricții la val tip hogging $h_{w\text{limit}} = 4,024 m$ (criteriul deformației verticale), dar și restricțiile la val tip sagging $h_{w\text{limit}} = 3,851 m$ (criteriul deformației verticale) și $h_{w\text{limit}} = 4,284 m$ (criteriul tensiunilor admisibile). Pentru toate cazurile, criteriul bordului liber minim este satisfăcut. Figurile 7.11. – 7.13. prezintă diagrama tensiunilor echivalente von Mises, diagrama deformațiilor verticale, distribuția tensiunilor echivalente von Mises și a deformațiilor verticale pe modelul 3D-FEM din zona șinelor, pentru înălțimea valului de $h_{w\text{limit}} = 3,851m$, în cazurile de valuri tip sagging și hogging pentru cazul final de andocare cu nava având masa totală de 19747t. În figurile 7.16. – 17. se prezintă verificarea criteriului stabilității structurale pentru val cu înălțimea $h_{w\text{limit}} = 3,851m$.

Tabelul 7.4. Bordul liber minim, tensiunile echivalente von Mises și deformațiile verticale maxime, pentru cazurile de tranziție a navei andocate de pe cheu pe puntea docului, în apă calmă

$T_{Pp} = T_{Pv} = 6,200m$ $F_{Pp} = F_{Pv} = 3,900m$	$L_{nava_andocată}$ [m]	10m	20m	40m	60m	80m	100m	122,79m
	σ_{vM} [MPa]	197,835	198,130	197,736	198,390	195,597	197,799	198,965
	$\frac{\sigma_{vM}}{adm}$	0,6775	0,6785	0,6772	0,6794	0,6698	0,6774	0,6813
	w [mm]	-38,54	-38,43	-38,32	-37,93	-37,76	-38,34	-41,85
	$\frac{w}{adm}$	0,0933	0,0909	0,0909	0,0909	0,0909	0,0909	0,1005

Tabelul 7.5. Bordul liber minim, tensiunile echivalente von Mises și deformațiile verticale maxime, pentru cazul de operare a docului plutitor cu nava andocata de 19747 t, cu solicitări din valuri echivalente cvasi-stactice tip hogging și sagging

Caz	h_w [m]	T_{Pp} [m]	T_{Pv} [m]	F_{Pp} [m]	$\frac{F_{Pp}}{adm}$	F_m [m]	$\frac{F_m}{adm}$	F_{Pv} [m]	$\frac{F_{Pv}}{adm}$	σ_{vM} [MPa]	$\frac{\sigma_{vM}}{adm}$	w [mm]	$\frac{w}{adm}$
Sw	0	6,200	6,200	3,900	>1	3,900	>1	3,900	>1	198,965	0,681	-42	0,100
hogging	4,024	6,374	5,860	5,739	>1	1,971	>1	6,252	>1	232,330	0,796	418	1,000
sagging	3,851	6,012	6,518	2,163	>1	5,760	>1	1,656	>1	275,780	0,944	-418	1,000
	4,284	5,990	6,553	1,968	>1	5,970	>1	1,405	>1	292,000	1,000	-464	1,110

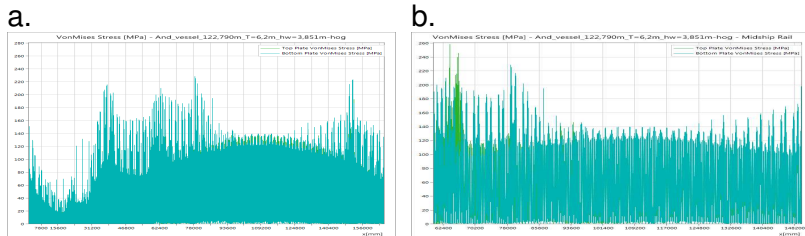


Figura 7.11.a, b. Diagrama tensiunilor echivalent von Mises, cazul final de andocare cu nava având masa totală de 19747 t, $T=6,2$ m, $hw=3,851$ m val tip hogging a.pe întreaga lungime a șinelor, b. pe zona centrală

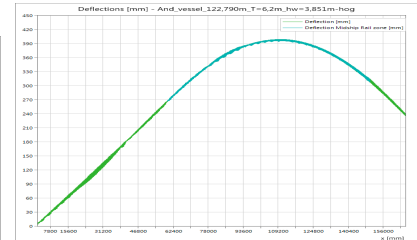


Figura 7.11.c. Defecțiunea verticală a docului în cazul final de andocare cu nava având masa totală de 19747 t, $T=6,2$ m, $hw=3,851$ m val tip hogging

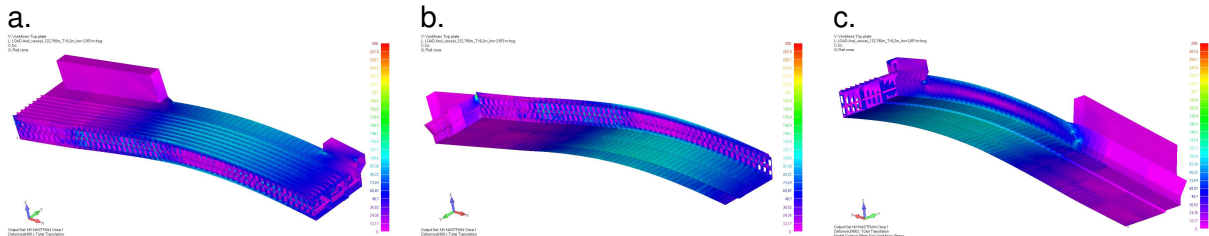


Figura 7.12.a, b, c. Model 3D-FEM, tensiuni echivalente von Mises cazul final de andocare cu nava având masa totală de 19747 t, $T=6,2$ m, $hw=3,851$ m val tip hogging a. vedere pe punte, b. vedere pe fund, c. vedere pe bordaj

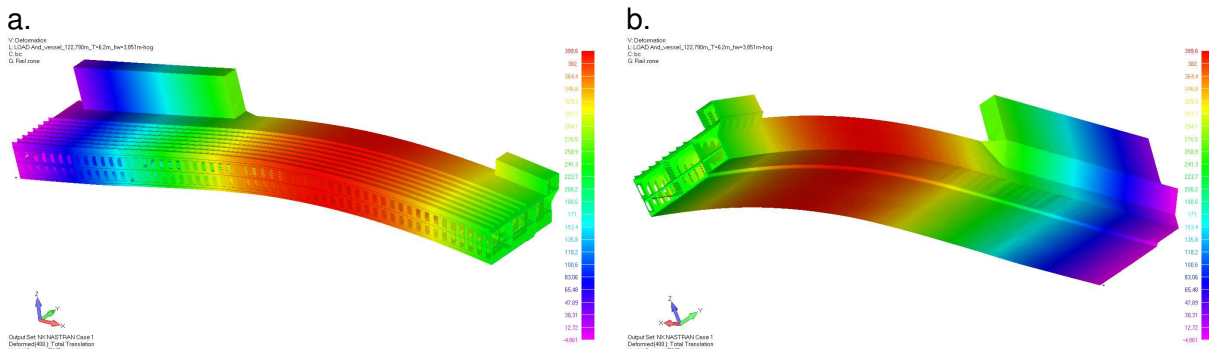


Figura 7.13.a, b. Model 3D-FEM defecțiunea verticală cazul final de andocare cu nava având masa totală de 19747 t, $T=6,2$ m, $hw=3,851$ m, val tip hogging a. vedere pe punte, b. vedere pe bordaj

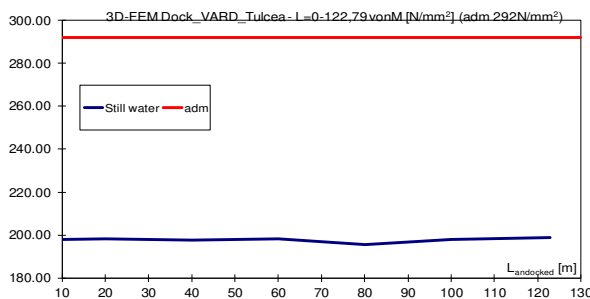


Figura 7.14.a. Valorile maxime a tensiunilor echivalente von Mises pentru cazurile de tranziție a navei andocate de pe cheu pe puntea docului, în apă calmă

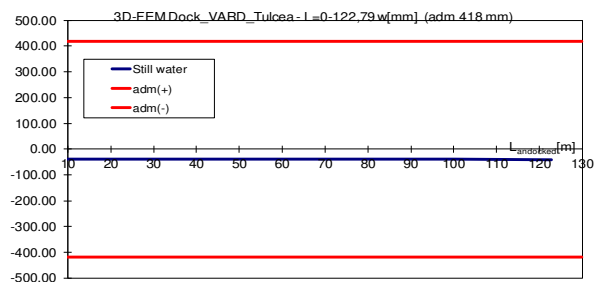


Figura 7.15.a. Valorile maxime ale defecțiunii verticale pentru cazurile de tranziție a navei andocate de pe cheu pe puntea docului, în apă calmă

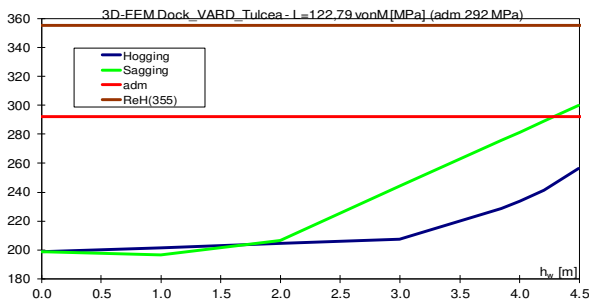


Figura 7.14.b. Valorile maxime a tensiunilor echivalente von Mises pentru cazul final de andocare cu nava având masa totală de 19747 t

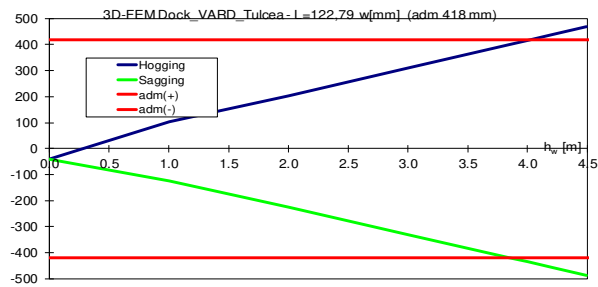


Figura 7.15.b. Valorile maxime ale deformației verticale pentru cazul final de andocare cu nava având masa totală de 19747 t

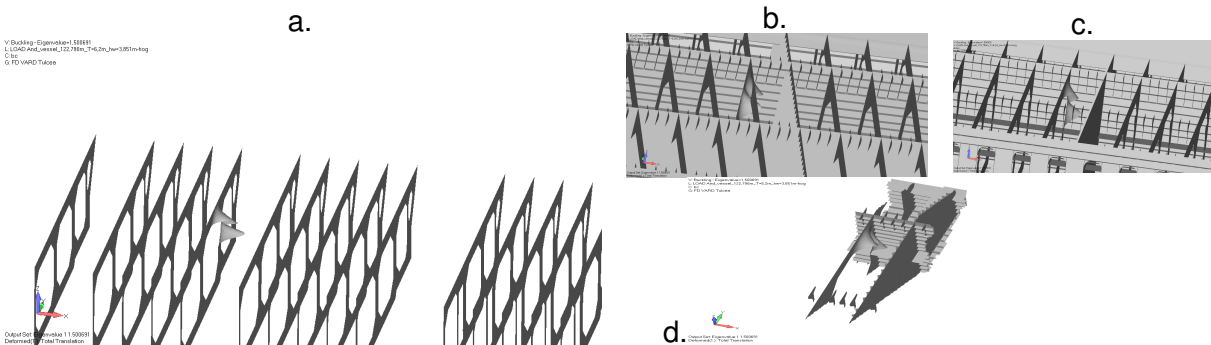


Figura 7.16.a, b, c, d. Verificarea criteriului de stabilitate structurală ($B=1,506910$), cazul final de andocare cu masa 19747 t, la val tip hogging, $h_w=3,851$ m, modul de cedare la coasta FR. 24

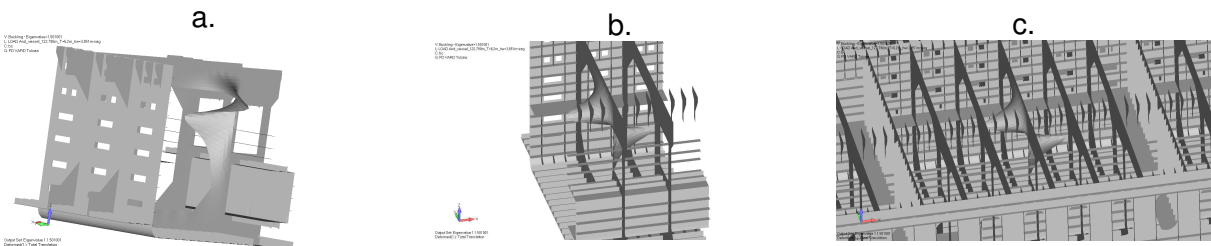


Figura 7.17.a, b, c. Verificarea criteriului de stabilitate structurală ($B=1,501001$), cazul final de andocare cu masa 19747 t, la val tip sagging, $h_w=3,851$ m, modul de cedare, la coasta FR. 92

7.2.3. Analiza structurală 3D-FEM pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 27000 t

Tabelele 7.6. – 7.8., prezintă evaluarea criteriilor bordului liber minim și a tensiunilor admisibile pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 27000 t, în următoarele variante de operare:

- Masă uniform distribuită (tabelul 7.6.): la val tip hogging nu apar restricții, iar în cazul valului tip sagging, restricțiile sunt $h_{w\text{limit}} = 2,173$ m (criteriul tensiunilor admisibile), $h_{w\text{limit}} = 2,271$ m (criteriul deformațiilor verticale), $h_{w\text{limit}} = 3,668$ m (limita de curge a materialului);
- Masă cu distribuție hogging (tabelul 7.7.): la val tip hogging nu apar restricții, iar în cazul valului tip sagging, restricțiile sunt: $h_{w\text{limit}} = 3,471$ m (criteriul tensiunilor admisibile), $h_{w\text{limit}} = 3,048$ m (criteriul deformațiilor verticale),
- Masă cu distribuție sagging (tabelul 7.8.): la val tip hogging nu apar restricții, iar în cazul valului tip sagging restricțiile sunt: $h_{w\text{limit}} = 1,008$ m (criteriul tensiunilor admisibile), $h_{w\text{limit}} = 1,606$ m (criteriul deformațiilor admisibile), $h_{w\text{limit}} = 2,501$ m (limita de curge a materialului).

Figurile 7.18. – 7.23, prezintă diagramele de tensiuni echivalente von Mises și diagrama deformațiilor verticale pe lungimea navei, distribuția tensiunilor echivalente von Mises și a deformațiilor verticale pe modelul 3D-FEM din zona șinelor, pentru înălțimea de val corespunzătoare notațiilor din tabelele 7.6 – 7.8., în cazurile de val tip sagging și hogging, pentru fiecare din cele trei scenarii de andocare la capacitatea maximă de 27000 t.

Tabelul 7.6. Bordul liber minim, tensiunile echivalente von Mises și deformațiile verticale maxime, pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 27000 t, cu o distribuție uniformă a masei, cu solicitări din valuri echivalente cvasi - statice tip hogging și sagging

Caz	$h_w [m]$	$T_{Pp} [m]$	$T_{Pv} [m]$	$F_{Pp} [m]$	$\frac{F_{Pp}}{adm}$	$F_m [m]$	$\frac{F_m}{adm}$	$F_{Pv} [m]$	$\frac{F_{Pv}}{adm}$	$\sigma_{vM} [MPa]$	$\frac{\sigma_{vM}}{adm}$	$w [mm]$	$\frac{w}{adm}$
SW	0	6,200	6,200	3,900	>1	3,900	>1	3,900	>1	223,285	0,534	-185	0,442
hogging	3,668	6,358	5,891	5,576	>1	2,141	>1	6,043	>1	232,337	0,795	221	0,529
sagging	2,173	6,095	6,381	2,919	>1	4,949	>1	2,632	>1	292,000	1,000	-408	0,976
	3,668	6,021	6,503	2,245	>1	5,672	>1	1,173	>1	355,000	1,215	-564	1,49

Tabelul 7.7. Bordul liber minim, tensiunile echivalente von Mises și deformațiile verticale maxime, pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 27000 t, cu o distribuție hogging a masei, cu solicitări din valuri echivalente cvasi - statice tip hogging și sagging

Caz	$h_w [m]$	$T_{Pp} [m]$	$T_{Pv} [m]$	$F_{Pp} [m]$	$\frac{F_{Pp}}{adm}$	$F_m [m]$	$\frac{F_m}{adm}$	$F_{Pv} [m]$	$\frac{F_{Pv}}{adm}$	$\sigma_{vM} [MPa]$	$\frac{\sigma_{vM}}{adm}$	$w [mm]$	$\frac{w}{adm}$
SW	0	6,200	6,200	3,900	>1	3,900	>1	3,900	>1	227,372	0,534	-105	0,442
hogging	4,492	6,394	5,819	5,952	>1	1,748	>1	6,527	>1	229,206	0,784	383	0,916
sagging	3,048	6,051	6,453	2,525	>1	5,372	>1	2,123	>1	274,177	0,939	-418	1,000
	3,471	6,031	6,487	2,334	>1	5,577	>1	1,877	>1	292,000	1,000	-463	1,108

Tabelul 7.8. Bordul liber minim, tensiunile echivalente von Mises și deformațiile verticale maxime, pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 27000 t, cu o distribuție sagging a masei, cu solicitări din valuri echivalente cvasi - statice tip hogging și sagging

Caz	$h_w [m]$	$T_{Pp} [m]$	$T_{Pv} [m]$	$F_{Pp} [m]$	$\frac{F_{Pp}}{adm}$	$F_m [m]$	$\frac{F_m}{adm}$	$F_{Pv} [m]$	$\frac{F_{Pv}}{adm}$	$\sigma_{vM} [MPa]$	$\frac{\sigma_{vM}}{adm}$	$w [mm]$	$\frac{w}{adm}$
Sw	0	6,200	6,200	3,900	>1	3,900	>1	3,900	>1	255,514	0,534	-225	0,442
hogging	4,492	6,394	5,819	5,952	>1	1,748	>1	6,527	>1	253,706	0,869	245	0,586
sagging	1,008	6,152	6,284	3,444	>1	4,386	>1	3,312	>1	292,000	1,000	-357	0,854
	1,606	6,122	6,334	3,175	>1	4,675	>1	2,963	>1	317,237	1,086	-418	1,000
	2,501	6,078	6,408	2,771	>1	5,107	>1	2,441	>1	355,000	1,215	-511	1,222

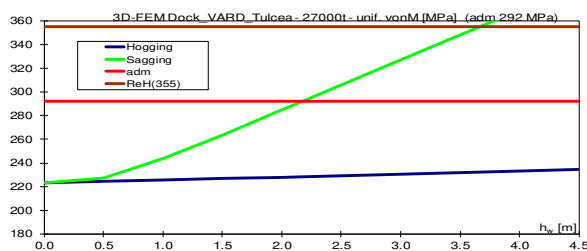


Figura 7.18. Valorile maxime ale tensiunilor echivalente von Mises pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 27000 t, cu masa distribuită uniform

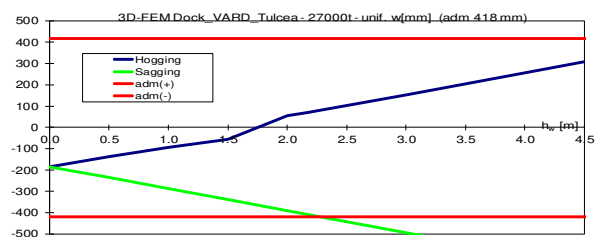


Figura 7.19. Valorile maxime ale deformației verticale pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 27000 t, cu masa distribuită uniform

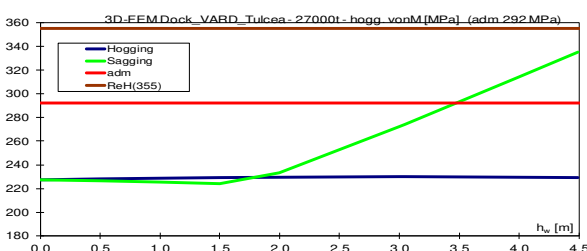


Figura 7.20. Valorile maxime ale tensiunilor echivalente von Mises pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 27000 t, cu masa distribuită hogging

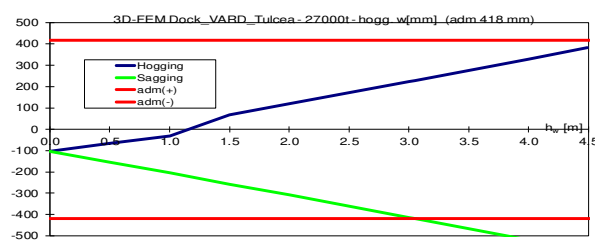


Figura 7.21 Valorile maxime ale deformației pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 27000 t, cu masa distribuită hogging

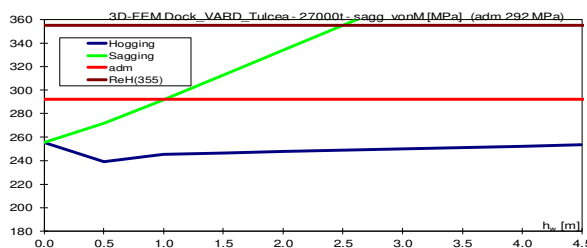


Figura 7.22. Valorile maxime ale tensiunilor echivalente von Mises pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 27000 t, cu masa distribuită sagging

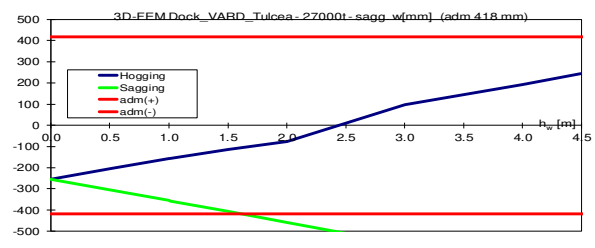


Figura 7.23. Valorile maxime ale deformației verticale pentru cazul de andocare la capacitatea maximă de 27000 t, cu masa distribuită sagging

Pentru toate cele trei cazuri analizate, în acest subcapitol, criteriul bordului liber minim este satisfăcut. *Cazul de andocare la capacitatea maximă de 27000 t, cu o distribuție sagging a masei, reprezintă situația extremă de operare a docului plutitor Dock_Vard_Tulcea.*

7.2.4. Concluzii la analiza structurală a docului de mari dimensiuni Dock_VARD_Tulcea

Rezultatele analizei docului plutitor Dock_VARD_Tulcea [9], (subcapitolul 4.2.), în diferite cazuri de operare (subcapitolele 7.2.1., 7.2.2., 7.2.3.) în valuri echivalente cvasi - statice [1], sunt sintetizate în *tabelul 7.9.*, precum și în următoarele concluzii:

- Am realizat un model structural 3D-FEM, al docului plutitor de mari dimensiuni [9], extins pe întreaga sa lungime, într-un singur bord folosind programul FEMAP NX / Nastran [42], cu un număr de aproximativ 11 milioane de grade de libertate. Pentru aflarea parametrilor de echilibrare doc - val, s-a realizat un model 1D grindă echivalentă (*tabelul 4.9.*), utilizând coduri și proceduri proprii de transfer a datelor din modelul 1D în cel 3D și invers [28], folosind modelul teoretic din capitolul 2.2 (Anexele 6 – 9).
- Pentru cazul fără încărcătură, subcapitolul 3.2., corespunzător cazului fără navă andocată, docul este doar balastat pentru realizarea situației de pescaj de 6,2 m, pentru orice condiție de operare în apă calmă sau val. În acest caz criteriul deformației verticale nu este

satisfăcut, rezultând înălțimea limită a valului de 3,867 m, caracteristic unui caz de operare fără restricții pentru navigația fluvială, și o navigație cu restricție de 40% pe o rută costieră.

- Pentru cazurile de operare, puse la dispoziție de către Șantierul Naval VARD din Tulcea [9], masa navei andocată este de 19747 t, cu 7 pași diferiți de andocare, în cazul de apă calmă, rezultând fără restricții de operare. În cazul analizei în condiții de val, la relocarea docului cu nava ambarcată la bord, în principal nu este satisfăcut criteriul deformației verticale, rezultând înălțimea limită a valului de 3,851 m, caracteristic unui caz de operare fără restricții pentru navigația fluvială, și cu restricție de 40% pe o rută costieră.
- Pentru cazul extrem de operare, corespunzător capacității maxime de andocare de 27000t, distribuită conform regulilor societății de clasificare [1], restricționări semnificative apar în cazul valurilor tip sagging, din criteriile de tensiuni admisibile sau deformații verticale. În cazul masei andocate distribuite uniform sau tip hogging, înălțimea limită a valului este de 2,173 – 3,048 m, în cazul navigației costiere rezultând o restricție de 20-30%. În cazul distribuției masei andocate tip sagging înălțimea limită a valului este de 1,008 m mai mare de 0,6 m, deci fără restricții în cazul folosirii de către șantierul naval doar în acvatoriul acestuia.
- Pentru toate cazurile se identifică concentratori mari de tensiune la nivelul punții de andocare, la coastele de etanșare a turnurilor de balast aflate deasupra nivelului punții principale, locuri unde s-au adăugat elemente suplimentare de rigidizare.

Tabelul 7.9. Condițiile limită de operare a docului Dock-Vard Tulcea rezultate din analiza structurală pe modele 3D-FEM, cu solicitări din valuri echivalente cvasi-stactice de întâlnire - urmărire

Caz de andocare	Fără masă andocată 76,2m	D19747t 76,2m	D27000t hogg. 76,2m	D27000t unif. 76,2m	D27000t sagg. 76,2m
h_w limit [m]	3,867	3,851	3,048	2,173	1,008
Criteriu	Deformații verticale w_{adm} , în cazul valurilor echivalente de proiectare tip sagging			Rezistență admisibilă von Mises σ_{adm} , în cazul valurilor echivalente de proiectare tip sagging	
Fluvial	IN(2.0)	IN(2.0)	IN(2.0)	IN(2.0)	IN(1.0)
Costier	≈RE(40%)	≈RE(40%)	≈RE(30%)	≈RE(20%)	Operațiuni în port protejat

CAPITOLUL 8

EVALUAREA CAPACITĂȚII DE OPERARE A DOCULUI PLUTITOR DOCK_VARD_TULCEA, PE BAZA CRITERIILOR LIMITĂ LA OSCILAȚII ÎN VALURI ALEATOARE EXTREME ȘI STABILITATE TRANSVERSALĂ

Acest capitol studiază în prima parte condiția de tranzit, la navigația fluvială și costieră a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, evaluată prin criterii de dinamica navei în mare reală - seakeeping. Conform scenariului de navigație în valuri aleatoare, acestea sunt modelate pe termen scurt folosind funcția densitate spectrală de putere cu un parametru ITTC [58], [59], cu înălțimea semnificativă maximă a valurilor de 2 m pentru fluviu și 4,942 m pentru condițiile costiere, conform normelor societăților de clasificare navale la lungimea de 209,2 m a docului [1], [3]. Viteza maximă în tranzit a docului, la relocarea între două porturi, este de 12 km/h. Starea de tranzit a docului plutitor este evaluată pentru mai multe cazuri de balastare, cu pescajul de 5,2 m; 6,2 m și 7,2 m, având poziția verticală a centrului de greutate între 6 m și 16 m. Analiza numerică se realizează folosind programul DYN [45], pe baza modelului hidrodinamic prezentat în subcapitolul 2.4. Criteriile de seakeeping se interpretează în termeni statistici de valori admisibile ale amplitudinii mișcării și ale accelerației. **Rezultatele numerice ale acestui studiu evaluează criteriile de seakeeping în diferite stări de tranzit ale docului plutitor și sunt publicate și prezentate în articolul din referința [60].**

În partea a doua a capitolului se realizează evaluarea capacității de operare în condiții de siguranță a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, pe baza criteriului de stabilitate transversală intactă, conform regulilor [1], folosind programul *D_LDF (Anexa 4)*, pe baza modelului teoretic prezentat în subcapitolul 2.1.5., pentru aceleași scenarii de la analiza la seakeeping.

8.1. Analiza pe termen scurt la oscilații a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, în zona de navigație fluvială și costieră

În acest subcapitol am analizat siguranța operațiunii de relocare a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, fără masă andocată, pe rute fluviale sau costiere, din punct de vedere al comportării dinamice în valuri aleatoare, pe baza criteriilor la seakeeping (navigație) și a modelului teoretic prezentat în subcapitolul 2.4.

Tractarea docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, se consideră a fi făcută cu ajutorul unui remorcher fluvial – maritim de 4000 C.P. [77]. Rezistența sistemului remorcher - doc este analizată printr-un model teoretic, cu cablul de remorcare suficient de lung ce permite ipoteza analizei decuplate a dinamicii docului și a remorcherului.

Figura 8.1. prezintă diagrama de rezistență la înaintare a remorcherului și a docului plutitor în timpul operațiunilor de navigație, în condiții de apă calmă. Din analiza rezistenței

sistemului remorcher – doc, rezultă o viteză maximă de tractare de 12 km/h, în analiză fiind incluse și cazurile de 0 și 6 km/h. În timpul operațiunii de relocare, docul plutitor este considerat balastat, în trei cazuri, cu valorile pescajului de 5,2 m; 6,2 m; 7,2 m, conform tabelului 8.1. Conform schemei de balastare a docului plutitor, centrul de greutate își schimbă poziția verticală între 6 m și 16 m, rezultând diferențe semnificative în ceea ce privește caracteristicile de stabilitate transversală, prezentate în tabelul 8.2. și figurile 8.9. – 8.11.a., care pot fi considerate liniare în orice caz de încărcare pentru unghiul de ruluu maxim 6°. Analiza numerică a docului plutitor în timpul relocării pe ruta fluvială și costieră se realizează cu programul DYN [45].

Tabelul 8.1. Caracteristicile docului plutitor Dock_VARD Tulcea, la operațiunea de relocare

	Cazul 1	Cazul 2	Cazul 3
L_{max} [m]	209,200		
L_{CWL} [m]	208,850	28,125	207,375
T_m [m]	7,2	6,2	5,2
∇ [m ³]	7587	66338	55162
LCG [m]	100,103	100,139	100,120
z_G [m]	6; 8; 10; 12; 14; 16		

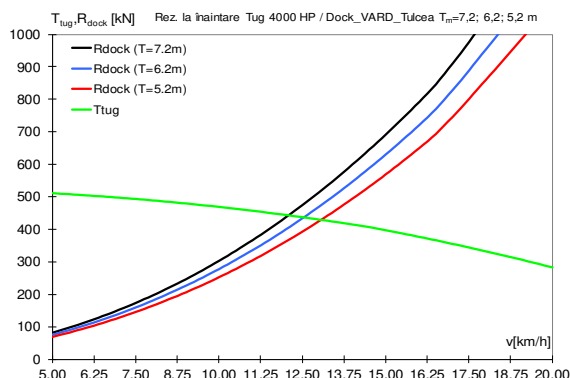


Figura 8.1. Diagrama rezistenței la înaintare pentru sistemul remorcher – doc plutitor, pentru cele trei condiții de relocare

Tabelul 8.2. Înălțimea metacentrică transversală inițială și unghiul de ruluu corespunzător maximului curbei brațului stabilității statice transversale a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea

z_G [m]	GM_{T_0} [m]			$\phi_{max,GZ}$ [°]		
	Cazul 1	Cazul 2	Cazul 3	Cazul 1	Cazul 2	Cazul 3
	Figura 8.9.a.	Figura 8.10.a.	Figura 8.11.a.	Figura 8.9.a.	Figura 8.10.a.	Figura 8.11.a.
6	34,531	39,453	46,579	27,50	30,25	31,50
8	32,531	37,453	44,579	26,75	29,25	27,25
10	30,531	35,453	42,579	25,75	27,25	24,50
12	28,531	33,453	40,579	25,00	23,50	22,50
14	26,531	31,453	38,579	24,00	21,00	21,00
16	24,531	29,453	36,579	18,75	19,75	20,00

Valurile aleatoare sunt modelate folosind funcția densitate spectrală de putere ITTC [58], [59], pentru o înălțime semnificativă maximă a valului de 4,942 m, conform normelor societăților de clasificare navale [1], [3].

Siguranța navigației pentru operațiunile de tranzit fluvial și costier, la diferitele cazuri de relocare din tabelele 8.1. și 8.2., este evaluată în ceea ce privește limita înălțimii semnificative a valului H_{slimit} [m] sau a intensității limită a mării în grade Beaufort B_{limit} . Criteriile limită sunt formulate în termeni ai valorilor statistice cele mai probabile RMS admisibile pentru amplitudinile mișcărilor și accelerațiilor la oscilațiile verticale, de tangaj și ruluu ale docului plutitor (tabelul 8.3.).

Tabelul 8.3. Criteriile limită la seakeeping pentru docul plutitor Dock_VARD_Tulcea, formulate pentru componentele de oscilații verticale, de tangaj și ruluu

Caz	$RMS_{z\ max}$ [m]	$RMS_{\theta\ max}$ [rad]	$RMS_{\phi\ max}$ [rad]	$RMS_{axz\ max}$ [m/s ²]	$RMS_{ac\theta\ max}$ [rad/s ²]	$RMS_{ac\phi\ max}$ [rad/s ²]
1	2,6	0,03491	0,06981	0,981	0,00938	0,03212
2	3,6					
3	4,6					

8.1.1. Determinarea operatorilor amplitudine răspuns *RAO* la oscilații pentru docul plutitor Dock_VARD_Tulcea

Pentru docul plutitor Dock_VARD_Tulcea, (figurile 4.31. – 32., tabelul 4.9.), pe baza modelului teoretic, ecuațiile 2.18., folosind codul DYN [45], pe baza histogramei înălțimii semnificative a valurilor, figurile 2.7. – 8., se obțin operatorii de amplitudine răspuns *RAO*.

Docul plutitor se află în tranzit pe un traseu fluvial - maritim, pentru trei viteze de test, $v=0, 6, 12$ km/h. Cazul cu viteză nulă reprezintă situația de avarie a remorcherului în timpul remorcării docului. Se consideră trei condiții de balastare cu șase poziții verticale ale centrului de greutate (tabelele 8.1.,8.2.). Unghiul de întâlnire doc - val este considerat în gama $\mu = 0 - 180^\circ$ cu pasul $\delta\mu = 5^\circ$. Pentru răspunsul dinamic în domeniul $\mu = 180 - 360^\circ$ se ține cont de simetria la planul median al docului plutitor (figura 7.4.). Funcțiile operator amplitudine răspuns *RAO* la oscilații verticale, de tangaj și ruluu sunt calculate pentru gama de pulsații a valului de $\omega = 0-3$ rad / s și pasul $\delta\omega = 0.001$ rad / s.

Figura 8.2.a., b., c. prezintă funcțiile *RAO* la oscilații verticale, pentru unghiul doc – val în gama de la 0 la 180° , iar figura 8.5.b. prezintă pentru aceeași funcție *RAO* la oscilații verticale pentru unghiul transvers de 90° o comparație pentru cele trei pescaje. Din analiza funcțiilor *RAO* la oscilații verticale (9 cazuri), se constată că valoarea maximă apare în cazul valului transvers, figura 8.2.a. Din figura 8.5.a. rezultă că datorită formei prismatice a docului plutitor, variația pescajului nu aduce diferențe semnificative pentru cazul funcțiilor *RAO* la oscilații verticale.

Figurile 8.3.a., b., c. prezintă, asemănător oscilațiilor verticale, funcțiile de amplitudine răspuns *RAO* la oscilațiile de tangaj. Din figura 8.5.b., rezultă că valorile maxime la tangaj sunt în cazul valului de întâlnire, dar se pot observa valori semnificative și în cazul valurilor de urmărire și oblice. De asemenea, se observă valori foarte reduse pentru cazul valului transvers. În figura 8.5.b. se pot observa valori aproximativ identice pentru cele trei pescaje diferite, datorită formelor prismatice ale docului.

Figurile 8.4.a., b., c. prezintă funcțiile operator amplitudine răspuns *RAO* pentru oscilațiile de ruluu, la cele trei pescaje de 7,2 m, 6,2 m și 5,2 m, la o viteză de 12 km/h, pentru întreaga gamă de unghiuri doc – val cu poziția verticală a centrului de greutate z_G de 16 m. Pentru toate cele trei pescaje, valorile semnificative ale oscilației de ruluu sunt înregistrate în cazul valului transvers. Figura 8.4.1. prezintă funcțiile *RAO* la oscilațiile de ruluu pentru întreaga gamă de valori a poziției verticale a centrului de greutate z_G de la 6 la 16 m. Valorile maxime la oscilațiile de ruluu se regăsesc în cazul docului încărcat corespunzător pescajului de 5,2 m, iar valorile minime în cazul încărcării pentru pescajul de 7,2 m.

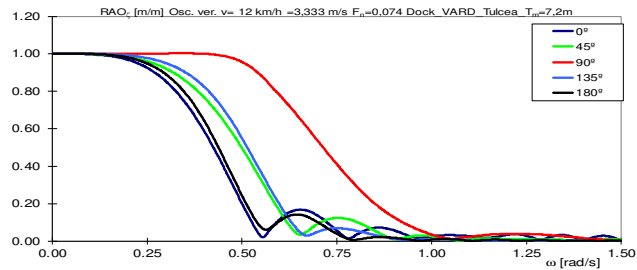


Figura 8.2.a RAO_{ζ} [m/m], oscilații verticale,
 $T_m=7,2m$, $v=12km/h$, $\mu=0 - 180^\circ$

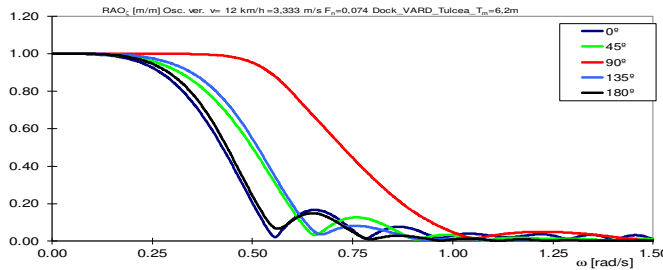


Figura 8.2.b. RAO_{ζ} [m/m], oscilații verticale,
 $T_m=6,2m$, $v=12km/h$, $\mu=0 - 180^\circ$

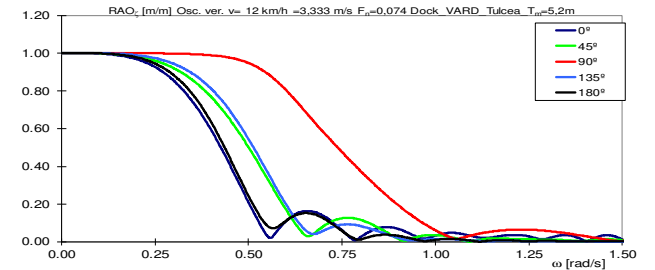


Figura 8.2.c. RAO_{ζ} [m/m], oscilații verticale,
 $T_m=5,2m$, $v=12km/h$, $\mu=0 - 180^\circ$

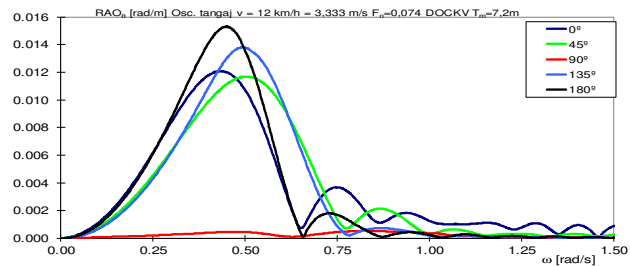


Figura 8.3.a. RAO_{θ} [rad/m], oscilații de tangaj,
 $T_m=7,2m$, $v=12km/h$, $\mu=0 - 180^\circ$

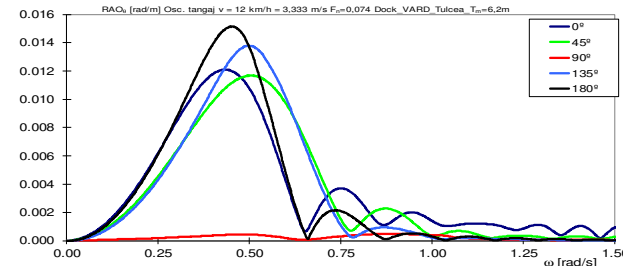


Figura 8.3.b. RAO_{θ} [rad/m], oscilații de tangaj,
 $T_m=6,2m$, $v=12km/h$, $\mu=0 - 180^\circ$

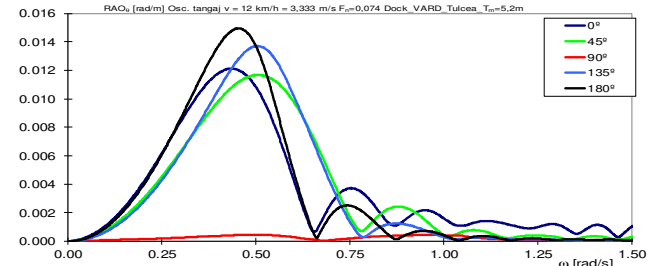


Figura 8.3.c. RAO_{θ} [rad/m], oscilații de tangaj,
 $T_m=5,2m$, $v=12km/h$, $\mu=0 - 180^\circ$

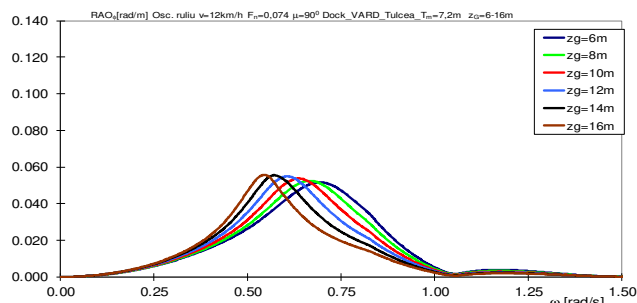


Figura 8.4.1.a. RAO_{ϕ} [rad/m], oscilații de ruluu,
 $T_m=7,2m$, $v=12km/h$, $z_g=6 - 16m$

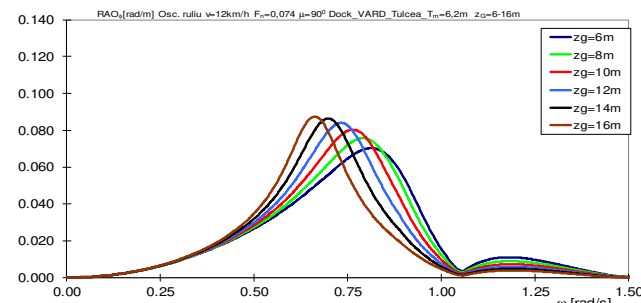


Figura 8.4.1.b RAO_{ϕ} [rad/m], oscilații de ruluu,
 $T_m=6,2m$, $v=12km/h$, $z_g=6 - 16m$

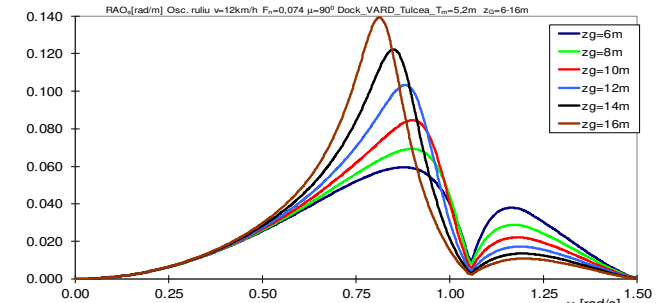


Figura 8.4.1.c. RAO_{ϕ} [rad/m], oscilații de ruluu,
 $T_m=5,2m$, $v=12km/h$, $z_g=6 - 16m$

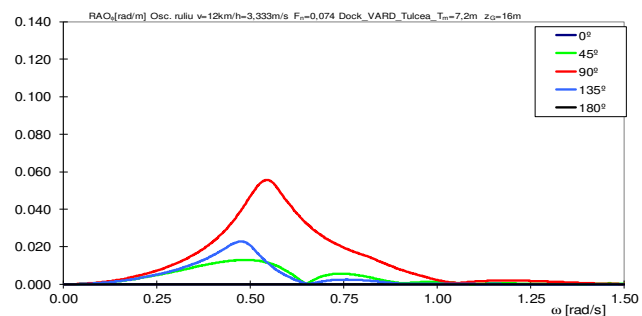


Figura 8.4.2.a. RAO_{φ} [rad/m], oscilații de ruluu, $T_m=7,2m$, $v=12km/h$, $z_G=16m$

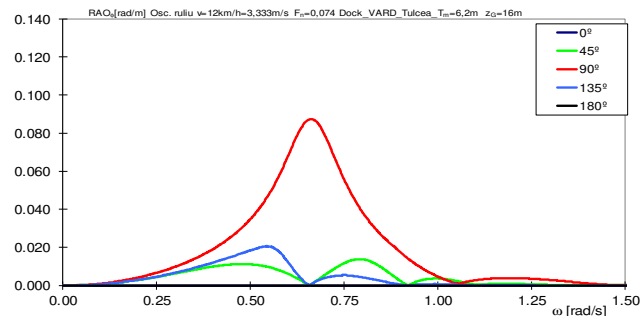


Figura 8.4.2.b. RAO_{φ} [rad/m], oscilații de ruluu, $T_m=6,2m$, $v=12km/h$, $z_G=16m$

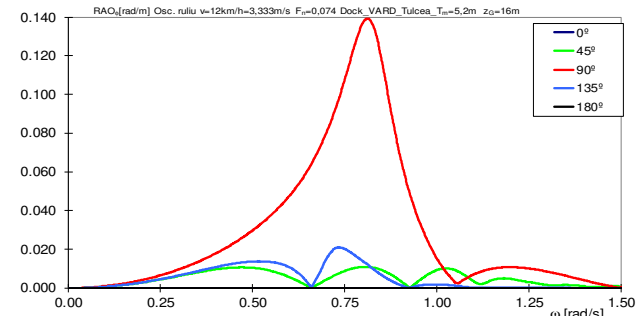


Figura 8.4.2.c. RAO_{φ} [rad/m], oscilații de ruluu, $T_m=5,2m$, $v=12km/h$, $z_G=16m$

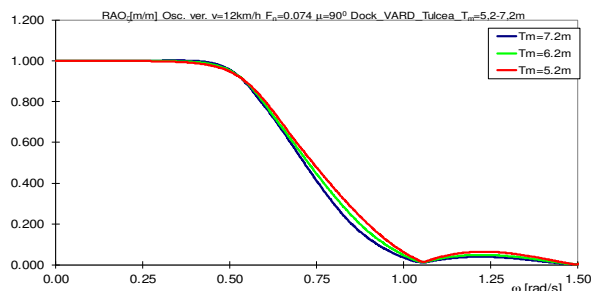


Figura 8.5.a RAO_{ζ} [m/m], oscilații verticale, $T_m=5,2 - 7,2m$, $v=12km/h$, $\mu=90^0$

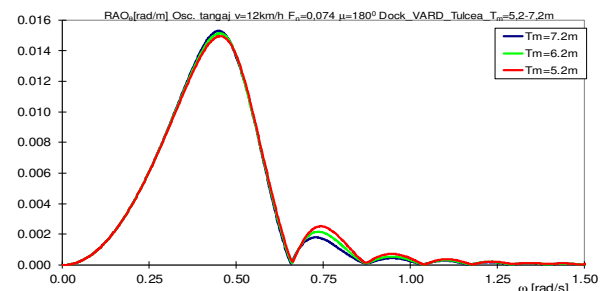


Figura 8.5.b. RAO_{θ} [rad/m], oscilații de tangaj, $T_m=5,2 - 7,2m$, $v=12km/h$, $\mu=90^0$

8.1.2. Analiza răspunsului statistic pe termen scurt pentru docul plutitor Dock_VARD_Tulcea

Pentru evaluarea dinamicii docului plutitor (figura 7.4.) în valuri aleatoare în cazul scenariului navigației fluvial - maritime, pe baza funcțiilor de amplitudine răspuns RAO din subcapitolul anterior și a funcției densitate spectrală de putere a valului ITTC (ecuația 2.19., figurile 2.7. - 8.), sunt obținute valorile răspunsului cel mai probabil RMS la mișcările de oscilații verticale, de tangaj și ruluu, precum și a accelerațiilor acestora (ecuațiile 2.20. - 22.). Impunând criteriile limită la dinamica navei în mare reală - seakeeping (tabelul 2.3., tabelul 8.3., ecuațiile 2.23. - 25.), rezultă restricțiile de operare a docului plutitor exprimate prin valoarea limită a înălțimii semnificative a valului $H_{slimit} [m]$ și valoarea limită a intensității mării în grade Beaufort B_{limit} , pentru toate cazurile de încărcare și viteză (tabelul 8.1.).

Tabelele 8.4., 8.5. și 8.6. prezintă valorile statistice cele mai probabile ale amplitudinilor oscilațiilor și accelerațiilor de ruluu RMS , pentru cele trei cazuri de încărcare. Pentru toate cazurile de încărcare și valorile poziției verticale a centrului de greutate Z_G , rezultă că viteza de la 0 la 12 km/h are o influență hidrodinamică la oscilațiile de ruluu redusă. Considerând referința la criteriile limită pentru oscilațiile de ruluu se poate concluziona că ruliul este maxim în cazul 3 de încărcare (-29,26% - +47,83%), mediu pentru cazul 2 de încărcare (-22,77% - -2,32%), și minim pentru cazul 1 de încărcare (-58,04% - -31,53%).

Figurile 8.6.a., b. și tabelele 8.4., 8.7. prezintă limitele la seakeeping pentru primul caz de balastare asociat pescajului de 7,2 m, la toate cele trei valori ale vitezei de remorcare a docului. În cazul răspunsului statistic cel mai probabil a mișcărilor și accelerațiilor de tangaj și ruluu sunt satisfăcute criteriile limită.

Deși criteriul accelerației verticale este satisfăcut, deoarece bordul liber este redus ($RMS_{z\ max}=2.6$ m), la pupa și la prova docului criteriul mișcării verticale devine o restricție în cazul valului travers și oblic, $\mu=30-150^0$.

Influența poziției verticale a centrului de greutate asupra restricțiilor de navigație, sunt medii în cazul valului travers, mici în cazul valurilor oblice și fără influență în cazul valurilor de întâlnire și urmărire, la unghiuri doc - val de $\mu=155 - 180^0$ și $0 - 25^0$, când mișcarea de ruluu devine redusă sau aproape inexistentă (figurile 8.7.a., b.).

Figurile 8.7.a., b. și tabelele 8.5., 8.8. prezintă rezultatele celui de-al doilea caz de balastare, la cele trei viteze. Asemănător cazului anterior de balastare, criteriile la mișcările de tangaj și ruluu, precum și toate criteriile la accelerații, sunt satisfăcute pe toată gama de unghiuri doc - val.

Valoarea bordului liber este una intermediară ($RMS_{z\ max}=3,6$ m), astfel încât, singurele restricții sunt generate de criteriul oscilațiilor verticale, în gama de unghiuri doc - val de la 60 la 120 de grade, valuri traverse și oblice. Comparativ cu primul caz de balastare înălțimea semnificativă a valului limită este mai mare, $H_{slimit}[m]=4,204 > 3,620$ m (tabelele 8.5, 8.8.), deoarece bordul liber este mai mare cu 1 m (tabelul 8.3.), deși valorile oscilațiilor verticale și de ruluu sunt mult mai mari în acest caz (tabelul 8.8.). Din punct de vedere al influenței poziției verticale a centrului de greutate Z_G , aceasta este medie în cazurile valului travers și oblic, fără influențe în cazul valurilor de întâlnire, urmărire și oblice pentru unghiul de întâlnire $\mu=125 - 180^0$ și $0 - 55^0$.

Figurile 8.8.a., b., și tabelele 8.6., 8.9. prezintă limitele din criterii de seakeeping pentru cel de-al treilea caz de balastare. În acest caz, bordului liber este cel mai mare, $RMS_{z\ max}= 4,6$ m, astfel încât criteriile oscilațiilor și accelerațiilor verticale sunt satisfăcute în toate condițiile. De asemenea, se poate observa același rezultat și în cazul oscilațiilor și accelerațiilor de tangaj.

Singurele restricții apar în cazul oscilațiilor și accelerațiilor de ruluu (tabelele 8.8., 8.9.), la val oblic și travers 75 - 105°. Influența poziției verticale a centrului de greutate z_G apare pentru cazurile de val travers, fără influență în cazul valurilor de întâlnire, urmărire sau oblice $\mu=110 - 180^\circ$ sau $0 - 70^\circ$, cu o limitare a înălțimii semnificative a valului de $H_{slimit}=2,713$ m.

Tabelul 8.4. Valorile statistice amplitudinile cele mai probabile *RMS* maxime pentru mișcările și accelerațiile oscilațiilor de ruluu, la pescajul de $T_m=7,2$ m

v [km/h]	z_G [m]	ϕ_{RMS} [rad]	%	ϕ_{acRMS} [rad/s ²]	%
adm	-	0,06981	-	0,03212	-
0 ($F_n=0$)	6	0,039018	-44,11	0,013475	-58,04
	8	0,042231	-39,51	0,015616	-51,38
	10	0,044683	-36,00	0,017628	-45,11
	12	0,046299	-33,68	0,019383	-39,65
	14	0,047132	-32,49	0,020838	-35,12
	16	0,047321	-32,22	0,021977	-31,57
6 ($F_n=0.037$)	6	0,039213	-43,83	0,013517	-57,91
	8	0,042431	-39,22	0,015670	-51,21
	10	0,044883	-35,71	0,017692	-44,91
	12	0,046489	-33,41	0,019453	-39,43
	14	0,047306	-32,24	0,020871	-35,01
	16	0,047475	-32,00	0,021916	-31,76
12 ($F_n=0.074$)	6	0,039412	-43,55	0,013561	-57,78
	8	0,042636	-38,93	0,015726	-51,04
	10	0,045086	-35,42	0,017758	-44,71
	12	0,046682	-33,13	0,019525	-39,21
	14	0,047482	-31,99	0,020945	-34,78
	16	0,047631	-31,77	0,021989	-31,53

Tabelul 8.5. Valorile statistice amplitudinile cele mai probabile *RMS* maxime pentru mișcările și accelerațiile oscilațiilor de ruluu, la pescajul de $T_m=6,2$ m

v [km/h]	z_G [m]	ϕ_{RMS} [rad]	%	ϕ_{acRMS} [rad/s ²]	%
adm	-	0,06981	-	0,03212	-
0 ($F_n=0$)	6	0,053920	-22,77	0,028110	-12,48
	8	0,056936	-18,45	0,029900	-6,90
	10	0,059886	-14,22	0,030023	-6,52
	12	0,062410	-10,60	0,030829	-4,01
	14	0,064140	-8,13	0,031030	-3,38
	16	0,064711	-7,31	0,031267	-2,65
6 ($F_n=0.037$)	6	0,054013	-22,63	0,028235	-12,09
	8	0,057062	-18,26	0,029926	-6,82
	10	0,060051	-13,98	0,030147	-6,13
	12	0,062617	-10,31	0,030916	-3,74
	14	0,064389	-7,77	0,031047	-3,33
	16	0,064996	-6,90	0,031290	-2,57
12 ($F_n=0.074$)	6	0,054108	-22,50	0,028362	-11,69
	8	0,057190	-18,08	0,029995	-6,60
	10	0,060218	-13,74	0,030304	-5,64
	12	0,062826	-10,01	0,030915	-3,74
	14	0,064640	-7,41	0,031147	-3,02
	16	0,065286	-6,48	0,031370	-2,32

Tabelul 8.6. Valorile statistice amplitudinile cele mai probabile RMS maxime pentru mișcările și accelerațiile oscilațiilor de rulu, la pescajul de $T_m=5,2m$

$v[km/h]$	$z_G[m]$	$\phi_{RMS}[rad]$	%	$\phi_{acRMS}[rad/s^2]$	%
adm	-	0,06981	-	0,03212	-
0 ($F_n=0$)	6	0,049386	-29,26	0,031108	-3,14
	8	0,053044	-24,02	0,033109	3,09
	10	0,058344	-16,43	0,036480	13,59
	12	0,065212	-6,59	0,040557	26,28
	14	0,072999	4,56	0,044416	38,30
	16	0,081248	16,38	0,047316	47,33
6 ($F_n=0.037$)	6	0,049402	-29,24	0,031129	-3,08
	8	0,053074	-23,98	0,033141	3,19
	10	0,058401	-16,35	0,036536	13,76
	12	0,065312	-6,45	0,040648	26,56
	14	0,073155	4,79	0,044544	38,69
	16	0,081472	16,70	0,047398	47,58
12 ($F_n=0.074$)	6	0,049419	-29,21	0,031149	-3,01
	8	0,053110	-23,93	0,033798	5,23
	10	0,058597	-16,07	0,037525	16,84
	12	0,065367	-6,37	0,041504	29,23
	14	0,073312	5,01	0,044982	40,06
	16	0,081698	17,02	0,047479	47,83

Tabelul 8.7. Valorile limite ale înălțimii semnificative a valului $H_{s\ limit}[m]$ și a stării mării în grade Beaufort B_{limit} pentru asigurarea siguranței la navigație din criteriile de seakeeping a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, la pescajul de $T=7,2m$

$z_G[m]$		6		8		10		12		14		16	
$v[km/h]$	$\mu[^\circ]$	$H_{s\ limit}$	B_{limit}	$H_{s\ limit}$	B_{limit}	$H_{s\ limit}$	B_{limit}	$H_{s\ limit}$	B_{limit}	$H_{s\ limit}$	B_{limit}	$H_{s\ limit}$	B_{limit}
0	0	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55
	45	4,624	7,33	4,634	7,34	4,640	7,34	4,646	7,35	4,768	7,43	4,660	7,36
	70	3,920	6,80	3,896	6,78	3,890	6,78	3,900	6,79	3,921	6,81	3,946	6,83
	90	4,152	7,01	4,034	6,91	3,935	6,82	3,859	6,75	3,808	6,71	3,779	6,68
	110	3,947	6,83	3,877	6,77	3,821	6,72	3,782	6,68	3,759	6,66	3,750	6,65
	135	4,467	7,22	4,452	7,21	4,447	7,21	4,451	7,21	4,459	7,22	4,467	7,22
	180	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55
6	0	4,942	7,55	4,492	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,492	7,55	4,492	7,55
	45	4,601	7,32	4,618	7,33	4,629	7,34	4,634	7,34	4,637	7,34	4,641	7,34
	70	3,914	6,80	3,874	6,76	3,853	6,75	3,850	6,74	3,861	6,75	3,880	6,77
	90	4,165	7,02	4,064	6,92	3,946	6,83	3,870	6,76	3,819	6,72	3,790	6,69
	110	3,923	6,81	3,860	6,75	3,813	6,71	3,784	6,68	3,772	6,67	3,773	6,67
	135	4,461	7,22	4,459	7,22	4,466	7,22	4,476	7,23	4,485	7,24	4,490	7,24
	180	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55
12	0	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,492	7,55
	45	4,606	7,32	4,618	7,33	4,633	7,34	4,644	7,35	4,650	7,35	4,652	7,35
	70	3,914	6,80	3,862	6,75	3,827	6,72	3,811	6,71	3,810	6,71	3,821	6,72
	90	4,161	7,01	4,041	6,91	3,942	6,82	3,866	6,76	3,815	6,71	3,787	6,69
	110	3,900	6,79	3,846	6,74	3,811	6,71	3,794	6,69	3,794	6,69	3,806	6,70
	135	4,478	7,23	4,489	7,24	4,503	7,25	4,513	7,26	4,518	7,26	4,519	7,26
	180	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55

Tabelul 8.8. Valorile limite ale înălțimii semnificative a valului $H_{s\ limit}[m]$ și a stării mării în grade Beaufort B_{limit} pentru asigurarea siguranței la navigație din criteriile de seakeeping a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, la pescajul de $T=6,2m$, tractat de remorcherul fluvial – maritime

$z_G[m]$		6		8		10		12		14		16	
$v[km/h]$	$\mu[^\circ]$	$H_{s\ limit}$	B_{limit}	$H_{s\ limit}$	B_{limit}	$H_{s\ limit}$	B_{limit}	$H_{s\ limit}$	B_{limit}	$H_{s\ limit}$	B_{limit}	$H_{s\ limit}$	B_{limit}
0	0	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55
	45	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55
	70	4,942	7,55	4,942	7,55	4,910	7,53	4,829	7,47	4,730	7,41	4,627	7,33
	90	4,722	7,40	4,609	7,32	4,508	7,25	4,431	7,20	4,392	7,17	4,397	7,18
	110	4,673	7,37	4,602	7,32	4,530	7,27	4,466	7,22	4,421	7,19	4,404	7,18
	135	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55
	180	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55

6	0	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55
	45	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55
	70	4,932	7,54	4,874	7,51	4,574	7,30	4,711	7,39	4,614	7,33	4,527	7,27
	90	4,740	7,41	4,625	7,33	4,521	7,26	4,442	7,21	4,401	7,18	4,405	7,18
	110	4,757	7,43	4,686	7,38	4,606	7,32	4,528	7,27	4,463	7,22	4,422	7,19
	135	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55
	180	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55
12	0	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55
	45	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55
	70	4,838	7,48	4,771	7,43	4,690	7,38	4,601	7,32	4,516	7,26	4,451	7,21
	90	4,730	7,41	4,615	7,33	4,510	7,25	4,431	7,20	4,390	7,17	4,393	7,17
	110	4,843	7,48	4,776	7,44	4,695	7,38	4,607	7,32	4,523	7,26	4,458	7,22
	135	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55
	180	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55	4,942	7,55

Tabelul 8.9. Valorile limite ale înălțimii semnificative a valului H_s limit [m] și a stării mării în grade Beaufort B limit pentru asigurarea siguranței la navigație din criteriile de seakeeping a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, la pescajul de $T=5,2m$, tractat de remorcherul fluvial – maritim

$z_G[m]$		6		8		10		12		14		16													
$v[km/h]$	$\mu [^\circ]$	H_s limit	B limit	H_s limit	B limit	H_s limit	B limit	H_s limit	B limit	H_s limit	B limit	H_s limit	B limit												
		0	0	4,492	7,55	4,492	7,55	4,492	7,55	4,492	7,55	4,492	7,55	4,492	7,55										
45																									
70																									
75																									
80																								4,150	7,01
85																				3,817	6,71	3,226	6,19	2,992	5,98
90																4,528	7,27	3,632	6,55	3,069	6,05	2,798	5,74	2,723	5,64
95																		3,850	6,74	3,215	6,18	2,920	5,89	2,835	5,78
100																				4,341	7,14	3,637	6,55	3,354	6,30
105																4,492	7,55	4,492	7,55					4,904	7,53
110																		4,492	7,55	4,492	7,55	4,492	7,55	4,492	7,55
135																									
180																									
6	0	4,492	7,55	4,492	7,55	4,492	7,55	4,492	7,55	4,492	7,55	4,492	7,55												
	45																								
	70																								
	80																								
	85									4,190	7,03														
	90					4,324	7,13	3,449	6,39	3,036	6,02	3,125	6,10												
	95			4,516	7,26	3,620	6,54	3,057	6,04	2,788	5,72	2,733	5,66												
	100			4,492	7,55	4,346	7,14	3,463	6,40	3,044	6,03	2,787	5,72												
	105					4,492	7,55	4,492	7,55	4,227	7,06	3,176	6,15												
	110									4,492	7,55	4,166	7,02												
	135											4,492	7,55												
	180																								
	12	0	4,492	7,55	4,492	7,55	4,492	7,55	4,492	7,55	4,492	7,55	4,492	7,55											
45																									
70																									
80																									
85												3,618	6,54												
90									4,332	7,13	3,478	6,41	2,889	5,85											
95				4,540	7,28	3,644	6,56	3,080	6,06	2,808	5,75	2,713	5,63												
100				4,320	7,12	3,491	6,42	3,028	6,01	2,823	5,77	2,895	5,86												
105				4,492	7,55	4,445	7,21	3,657	6,57	3,295	6,25	3,640	6,56												
110						4,492	7,55	4,492	7,55	4,746	7,42	4,492	7,55												
135										4,492	7,55														
180																									

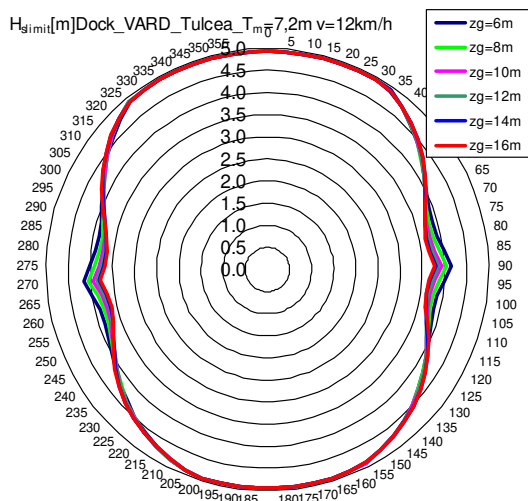


Figura 8.6.a. Diagrama polară pentru înălțimea semnificativă a valului H_s [m] limită, $T_m=7,2$ m, $v=12$ km/h, $Z_G=6-16$ m

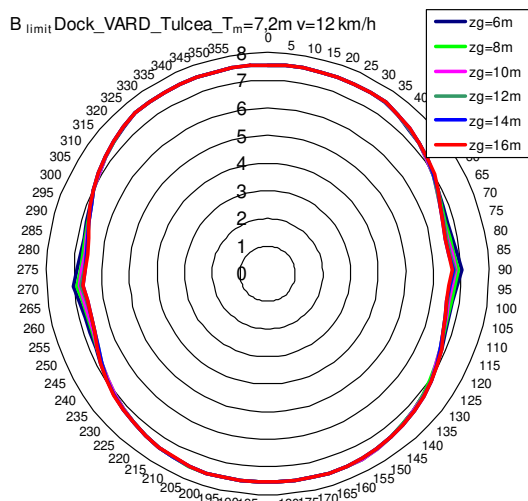


Figura 8.6.b. Diagrama polară în grade Beaufort B limită, $T_m=7,2$ m, $v=12$ km/h, $Z_G=6-16$ m

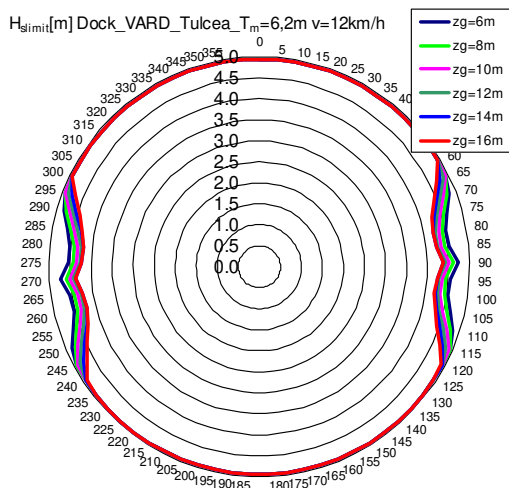


Figura 8.7.a. Diagrama polară pentru înălțimea semnificativă a valului H_s [m] limită, $T_m=6,2$ m, $v=12$ km/h, $Z_G=6-16$ m

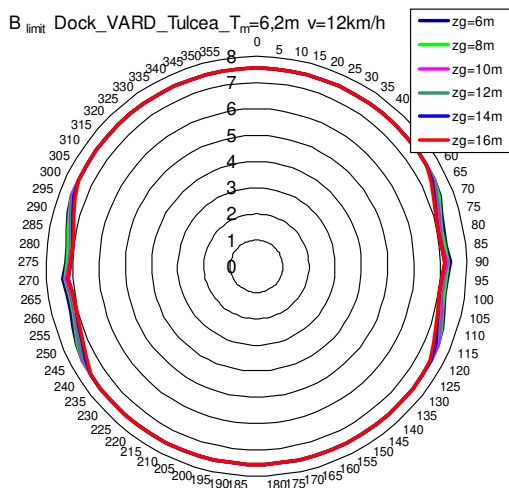


Figura 8.7.b. Diagrama polară în grade Beaufort B limită, $T_m=6,2$ m, $v=12$ km/h, $Z_G=6-16$ m

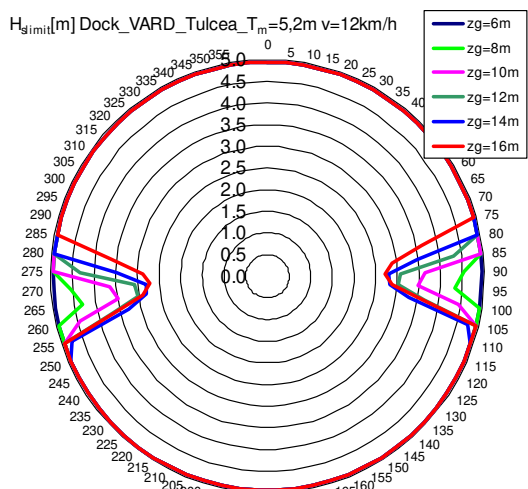


Figura 8.8.a. Diagrama polară pentru înălțimea semnificativă a valului H_s [m] limită, $T_m=5,2$ m, $v=12$ km/h, $Z_G=6-16$ m

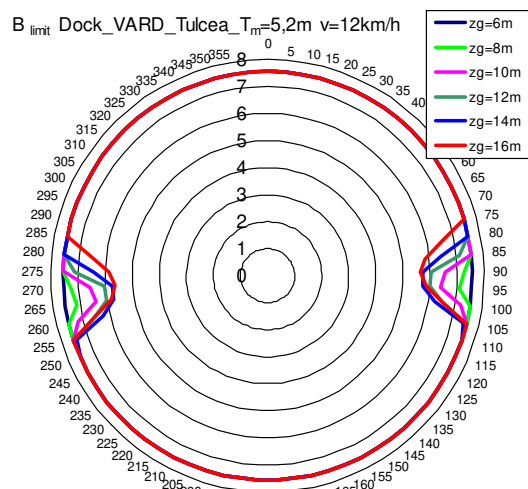


Figura 8.8.b. Diagrama polară în grade Beaufort B limită, $T_m=5,2$ m, $v=12$ km/h, $Z_G=6-16$ m

8.2. Analiza stabilității transversale a docului plutitor Dock-VARD_Tulcea, cu considerarea condițiilor meteorologice extreme

Pentru a putea evalua capacitatea de operare în condiții de siguranță a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, cu tancuri laterale discontinue, pe baza criteriului stabilității transversale intacte conform regulilor societăților de clasificare navală [1], [3], am analizat diagramele de stabilitate, din figurile:

- *Figurile 8.9.a,b* - curbele brațului stabilității statice și dinamice, pentru cazul 1 de balastare / andocare corespunzător pescajului de 7,2 m, cu variația poziției verticale a centrului de greutate $z_G = 6 - 16$ m;
- *Figurile 8.10.a,b* - curbele brațului stabilității statice și dinamice, pentru cazul 2 de balastare / andocare corespunzător pescajului de 6,2 m, cu variația poziției verticale a centrului de greutate $z_G = 6 - 16$ m;
- *Figurile 8.11.a,b* - curbele brațului stabilității statice și dinamice, pentru cazul 3 de balastare / andocare corespunzător pescajului de 5,2 m, cu variația poziției verticale a centrului de greutate $z_G = 6 - 16$ m.

Rezultatele numerice la evaluarea criteriului de stabilitate transversală intactă sunt:

- *Tabelul 8.10.* - include evaluarea criteriului de stabilitate generală și a criteriului de stabilitate dinamică - meteorologic (din vânt și rulu), pentru cazul pescajului de 7,2 m, cu variația poziției centrului de greutate $z_G = 6 - 16$ m ;
- *Tabelul 8.11.* - include evaluarea criteriului de stabilitate generală și a criteriului de stabilitate dinamică - meteorologic (din vânt și rulu), pentru cazul pescajului de 6,2 m, cu variația poziției centrului de greutate $z_G = 6 - 16$ m ;
- *Tabelul 8.12.* - include evaluarea criteriului de stabilitate generală și a criteriului de stabilitate dinamică - meteorologic (din vânt și rulu), pentru cazul pescajului de 5,2 m, cu variația poziției centrului de greutate $z_G = 6 - 16$ m ;

Criteriul general de stabilitate este satisfăcut foarte bine în toate cazurile de variație a pescajului, pentru poziția verticală a centrului de greutate z_G de la 6 la 16 m.

Criteriul dinamic de stabilitate – meteorologic (din vânt și rulu) conduce la următoarele situații:

- Pentru toate cazurile de pescaj, pentru variația poziției verticale a centrului de greutate de la 6 la 12 metri criteriul este satisfăcut, deci docul poate fi operat într-un port neprotejat sau poate fi relocat;
- Pentru toate cazurile de pescaj, pentru variația poziției verticale a centrului de greutate între 14 – 16 m, criteriul meteorologic nu este satisfăcut, astfel încât docul poate opera doar în porturi protejate, nepermițându-se relocarea acestuia.

În *tabelul 8.13.* se găsește o sinteză a rezultatelor obținute pentru criteriul de stabilitate transversală statică și dinamică.

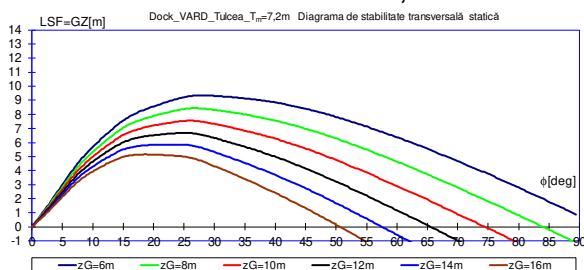


Figura 8.9.a. Diagrama de stabilitate transversală statică pentru cazul 1 al docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, la pescajul de $T_m=7,2$ m

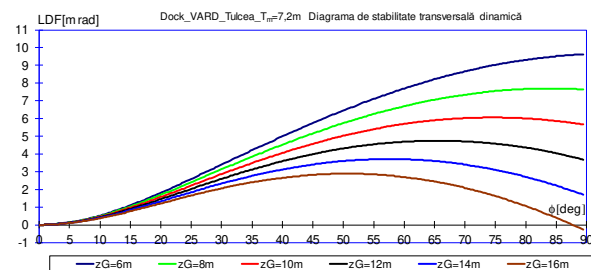


Figura 8.9.b. Diagrama de stabilitate transversală dinamică pentru cazul 1 al docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, la pescajul de $T_m=7,2$ m

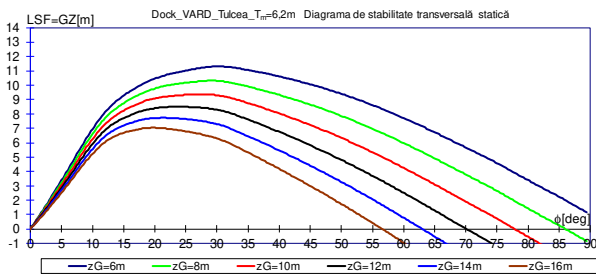


Figura 8.10.a. Diagrama de stabilitate transversală statică pentru cazul 2 al docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, la pescajul de $T_m=6,2m$

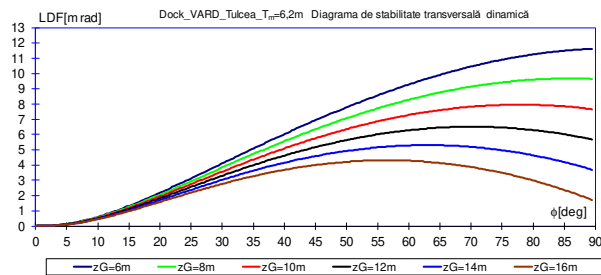


Figura 8.10.b. Diagrama de stabilitate transversală dinamică pentru cazul 2 al docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, la pescajul de $T_m=6,2m$

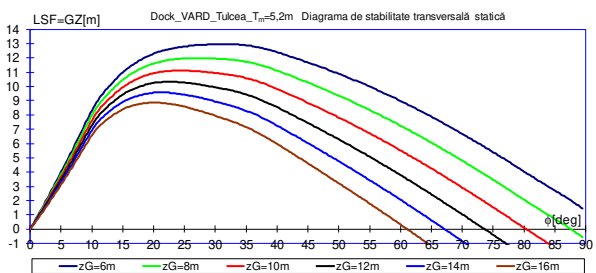


Figura 8.11.a. Diagrama de stabilitate transversală statică pentru cazul 3 al docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, la pescajul de $T_m=5,2m$

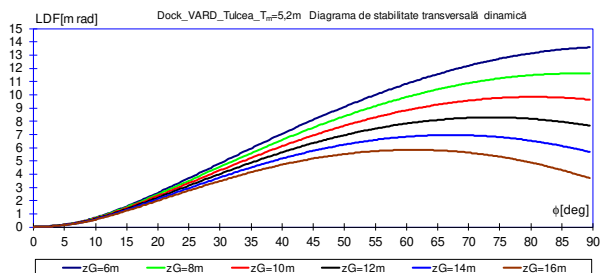


Figura 8.11.b. Diagrama de stabilitate transversală dinamică pentru cazul 3 al docului plutitor Dock_VARD_Tulcea, la pescajul de $T_m=5,2m$

Tabelul 8.10. Verificarea criteriului stabilității transversal intacte, pentru docul plutitor Dock_VARD_Tulcea, pentru cazul 1 la pescajul de $T_m=7,2m$

∇ [m ³]	77587	77587	77587	77587	77587	77587
zG[m]	6	8	10	12	14	16
$h_0=GM_0$ [m]	34,531	32,531	30,531	28,531	26,531	24,531
≥ 1 m	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$LSF(30)=GZ(30)$ [m]	9,31716	8,31716	7,31716	6,31716	5,31716	4,31716
≥ 0.20 m	DA	DA	DA	DA	DA	DA
$LDF(15deg)$ [mrad]	1,09760	1,02945	0,96130	0,89315	0,82500	0,75685
≥ 0.070 mrad	DA	DA	DA	DA	DA	DA
$LDF(30deg)$ [mrad]	3,39827	3,13033	2,86238	2,59443	2,32648	2,05853
≥ 0.055 mrad	DA	DA	DA	DA	DA	DA
$LDF(40deg)$ [mrad]	4,98943	4,52152	4,05361	3,58570	3,11779	2,64988
≥ 0.090 mrad	DA	DA	DA	DA	DA	DA
φ_{st_max} [°]	27,50	26,75	25,75	25,00	24,00	18,75
$\geq 15^\circ$	DA	DA	DA	DA	DA	DA
$LSF(\varphi_{st_max})=GZ(\varphi_{st_max})$ [m]	9,356	8,442	7,554	6,693	5,859	5,162
≥ 0.25 m	DA	DA	DA	DA	DA	DA
$LDF(\varphi_{st_max})$ [mrad]	2,99069	2,65424	2,30842	2,02224	1,73267	1,09114
dacă $\varphi_{st_max} < 30$	0,0575	0,05825	0,05925	0,06	0,061	0,06625
	DA	DA	DA	DA	DA	DA
$\varphi_{sta\tilde{t}ionar}$	0,025105	0,026731	0,028585	0,030715	0,033185	0,036091
$\leq 2^\circ$	DA	DA	DA	DA	DA	DA
$K_{meteorologic}$ (vânt și ruluiu) (b/a)	1,28896	1,36525	1,18255	1,06089	0,97813	0,92272
≥ 1	DA	DA	DA	DA	NU	NU

Tabelul 8.11. Verificarea criteriului stabilității transversal intacte, pentru docul plutitor Dock_VARD_Tulcea, pentru cazul 2 la pescajul de $T_m=6,2$ m

∇ [m ³]	66338	66338	66338	66338	66338	66338
z_G [m]	6	8	10	12	14	16
$h_0=GM_0$ [m] >=1 m	39,453 DA	37,453 DA	35,453 DA	33,453 DA	31,453 DA	29,453 DA
$LSF(30)=GZ(30)$ [m] >=0.20 m	11,30065 DA	10,30065 DA	9,30065 DA	8,30065 DA	7,30065 DA	6,30065 DA
$LDF(15deg)$ [mrad] >=0.070 mrad	1,32139 DA	1,25324 DA	1,18509 DA	1,11694 DA	1,04879 DA	0,98065 DA
$LDF(30deg)$ [mrad] >=0.055 mrad	4,10432 DA	3,83637 DA	3,56842 DA	3,30047 DA	3,03252 DA	2,76457 DA
$LDF(40deg)$ [mrad] >=0.090 mrad	6,02899 DA	5,56108 DA	5,09317 DA	4,62526 DA	4,15734 DA	3,68943 DA
φ_{st_max} [°] >=15 °	30,25 DA	29,25 DA	27,25 DA	24,00 DA	21,25 DA	20,00 DA
$LSF(\varphi_{max})=GZ(\varphi_{max})$ [m] >=0.25 m	11,302 DA	10,312 DA	9,358 DA	8,496 DA	7,735 DA	7,034 DA
$LDF(\varphi_{st_max})$ [mrad] dacă $\varphi_{st_max} < 30$ °	4,15363 0,055 DA	3,70144 0,05575 DA	3,11999 0,05775 DA	2,41727 0,061 DA	1,87399 0,06375 DA	1,58474 0,065 DA
$\varphi_{staționar}$ <=2 °	0,027821 DA	0,029389 DA	0,031146 DA	0,033126 DA	0,035373 DA	0,037950 DA
$K_{meteorologic}$ (vânt și rului) (b/a) >=1	1,58785 DA	1,36341 DA	1,17380 DA	1,04706 DA	0,95937 NU	0,89827 NU

Tabelul 8.12. Verificarea criteriului stabilității transversal intacte, pentru docul plutitor Dock_VARD_Tulcea, pentru cazul 3 la pescajul de $T_m=5,2$ m

∇ [m ³]	55162	55162	55162	55162	55162	55162
z_G [m]	6	8	10	12	14	16
$h_0=GM_0$ [m] >=1 m	46,579 DA	44,579 DA	42,579 DA	40,579 DA	38,579 DA	36,579 DA
$LSF(30)=GZ(30)$ [m] >=0.20 m	12,94381 Yes	11,94381 Yes	10,94381 Yes	9,94381 Yes	8,94381 Yes	7,94381 Yes
$LDF(15deg)$ [mrad] >=0.070 mrad	1,56374 DA	1,49559 DA	1,42744 DA	1,35929 DA	1,29114 DA	1,22299 DA
$LDF(30deg)$ [mrad] >=0.055 mrad	4,81086 DA	4,54291 DA	4,27496 DA	4,00702 DA	3,73907 DA	3,47112 DA
$LDF(40deg)$ [mrad] >=0.090 mrad	7,04541 DA	6,57750 DA	6,10959 DA	5,64168 DA	5,17377 DA	4,70586 DA
φ_{st_max} [°] >=15 °	31,50 DA	27,25 DA	24,50 DA	22,50 DA	21,00 DA	20,00 DA
$LSF(\varphi_{max})=GZ(\varphi_{max})$ [m] >=0.25 m	12,950 DA	11,980 DA	11,116 DA	10,323 DA	9,580 DA	8,875 DA
$LDF(\varphi_{st_max})$ [mrad] dacă $\varphi_{st_max} < 30$ °	5,14983 0,055 DA	3,96858 0,05775 DA	3,21400 0,0605 DA	2,67406 0,0625 DA	2,27121 0,064 DA	1,98354 0,065 DA
$\varphi_{staționar}$ <=2 °	0,030484 DA	0,031930 DA	0,033518 DA	0,035274 DA	0,037224 DA	0,039400 DA
$K_{meteorologic}$ (vânt și rului) (b/a) >=1	1,61169 DA	1,31257 DA	1,12711 DA	1,00314 DA	0,91669 NU	0,85531 NU

Tabelul 8.13 Capacitatea de operare în condiții de siguranță a docului plutitor Dock_VARD_Tulcea evaluate în baza criteriului de stabilitate transversal intactă

Caz	T_m [m]	Criteriul general de stabilitate transversală	Criteriul meteorologic	Capabilități operaționale
1	7,2	îndeplinit	$1,061 \div 1,365 > 1$	($Z_G = 6 \div 12$ m) poate fi relocat
		îndeplinit	neîndeplinit	($Z_G = 14 \div 16$ m) Port protejat, Nu poate fi relocat
2	6,2	îndeplinit	$1,047 \div 1,588 > 1$	($Z_G = 6 \div 12$ m) poate fi relocat
		îndeplinit	neîndeplinit	($Z_G = 14 \div 16$ m) Port protejat, Nu poate fi relocat
3	5,2	îndeplinit	$1,003 \div 1,612 > 1$	($Z_G = 6 \div 12$ m) poate fi relocat
		îndeplinit	neîndeplinit	($Z_G = 14 \div 16$ m) Port protejat, Nu poate fi relocat

8.3. Concluziile analizei dinamice și stabilității transversale a docului plutitor de mari dimensiuni

Pentru evaluarea condițiilor de siguranță la relocarea docului plutitor Dock_VARD_Tulcea am dezvoltat un model numeric cu 280 de secțiuni și folosind programul DYN [45], cu formulare hidrodinamică liniară prin metoda fâșiilor (subcapitolul 2.4.) am determinat funcțiile operator amplitudine răspuns *RAO* pentru principalele componente de oscilație a docului, verticale, tangaj și rului. Pentru un scenariu de tranzit pe o rută fluvial - costieră am modelat valurile neregulate folosind funcția densitate spectrală de putere ITTC. Pe baza criteriilor la seakeeping (tabelul 8.3.), formulate în termenii valorilor statistice cele mai probabile admisibile pentru amplitudinile mișcărilor și accelerațiilor verticale, de tangaj și rului, se obțin limitele de operare a docului plutitor statistic pe termen scurt, $H_{s\ limit}$ și $B_{\ limit}$, cu o sinteză a rezultatelor în tabelele 8.14. – 16.

Rezultatele analizei statistice pe termen scurt a docului Dock_VARD_Tulcea la operațiunea de relocare, pun în evidență că viteza de remorcare în intervalul 0 - 12 km/h are o influență redusă asupra răspunsului dinamic în valori aleatoare (tabelele 8.14. – 16.). Influența poziției verticale a centrului de greutate a docului, $z_G = 6 - 16$ m, asupra răspunsului dinamic, este semnificativă la valori travers, cu o scădere la valori oblice și fără efect la valori de întâlnire sau urmărire.

Datorită bordului liber mai redus, în cazurile de balastare 1 și 2 restricțiile de relocare ale docului sunt din criteriul mișcărilor verticale. În cazul 3 de balastare mișcările și accelerațiile la rului devin maxime (tabelele 8.14. – 16.), astfel încât restricțiile de relocare ale docului sunt din criteriile la rului. Limitările din criteriile la seakeeping se înregistrează întotdeauna în cazul valurilor traverse, precum și la valori oblice atunci când bordul liber scade (figurile 8.6. – 8.). La relocare pe o rută fluvială nu apar restricții ($H_{s\ limit} > 2$ m). Pe ruta costieră valurile traverse trebuie evitate. Dacă cu acordul societăților de clasificare navală s-ar relaxa cerințele impuse prin criteriile la rului ($RMS_{\varphi} \geq 5^\circ$, $RMS_{acc} \geq 0,15g/(B/2)$), atunci în cazul 3 de balastare nu s-ar mai obține restricții de navigație pe ruta costieră.

Din evaluarea docului plutitor conform criteriului de stabilitate generală, subcapitolul 8.2., rezultă că acesta poate fi operat pentru toate cazurile de deplasament / pescaj calculate și pentru toată gama de variații ale centrului de greutate. Criteriul stabilității transversale dinamice nu este îndeplinit în cazurile în care poziția verticală a centrului de greutate a docului depășește 14 m, fiind posibilă o operare a docului doar într-un port protejat.

Tabelul 8.14. Valorile limită ale înălțimii semnificative a valului H_s limit [m] și a stării mării în grade Beaufort B limit, pentru cazul balastării docului la pescajul de $T_{rr}=7,2$ m

v [km/h]	z_G [m]	H_s limit[m]	B limit	Criteriu seakeeping
0 ($F_r=0$)	6	3,872÷4,942	6,76÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	8	3,810÷4,942	6,71÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	10	3,750÷4,942	6,65÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	12	3,697÷4,942	6,61÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	14	3,650÷4,942	6,57÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	16	3,622÷4,942	6,54÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
6 ($F_n=0.037$)	6	3,869÷4,942	6,76÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	8	3,809÷4,942	6,71÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	10	3,743÷4,942	6,65÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	12	3,683÷4,942	6,59÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	14	3,642÷4,942	6,56÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	16	3,621÷4,942	6,54÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
12 ($F_r=0.074$)	6	3,865÷4,942	6,76÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	8	3,791÷4,942	6,69÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	10	3,723÷4,942	6,63÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	12	3,669÷4,942	6,58÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	14	3,636÷4,942	6,55÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	16	3,620÷4,942	6,54÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
limite	-	3,620	6,54	Oscilații verticale – val oblic și travers

Tabelul 8.15. Valorile limită ale înălțimii semnificative a valului H_s [m] și a stării mării în grade Beaufort B limit, pentru cazul balastării docului la pescajul de $T_{rr}=6,2$ m

v [km/h]	z_G [m]	H_s limit[m]	B limit	Criteriu seakeeping
0 ($F_r=0$)	6	4,529÷4,942	7,27÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	8	4,435÷4,942	7,20÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	10	4,344÷4,942	7,14÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	12	4,267÷4,942	7,09÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	14	4,232÷4,942	7,06÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	16	4,219÷4,942	7,05÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
6 ($F_n=0.037$)	6	4,486÷4,942	7,24÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	8	4,398÷4,942	7,18÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	10	4,316÷4,942	7,12÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	12	4,253÷4,942	7,08÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	14	4,222÷4,942	7,06÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	16	4,215÷4,942	7,05÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
12 ($F_r=0.074$)	6	4,434÷4,942	7,20÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	8	4,354÷4,942	7,15÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	10	4,284÷4,942	7,10÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	12	4,235÷4,942	7,06÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	14	4,218÷4,942	7,05÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
	16	4,204÷4,942	7,04÷7,55	Oscilații verticale – val oblic și travers
limite	-	4,204	7,04	Oscilații verticale – val oblic și travers

Tabelul 8.16. Valorile limită ale înălțimii semnificative a valului H_s [m] și a stării mării în grade Beaufort B limit, pentru cazul balastării docului la pescajul de $T_{rr}=5,2$ m

v [km/h]	z_G [m]	H_s limit[m]	B limit	Criteriu seakeeping
0 ($F_r=0$)	6	4,942	7,55	Fără restricții
	8	4,528÷4,942	7,27÷7,55	acelerație de ruluu – val travers
	10	3,632÷4,942	6,55÷7,55	acelerație de ruluu – val travers
	12	3,069÷4,942	6,05÷7,55	acelerație de ruluu – val travers
	14	2,808÷4,942	5,75÷7,55	criteriul de ruluu – val travers
	16	2,733 ÷4,942	5,65 ÷7,55	criteriul de ruluu – val travers
6 ($F_n=0.037$)	6	4,942	7,55	Fără restricții
	8	4,516÷4,942	7,26÷7,55	acelerație de ruluu – val travers
	10	3,620÷4,942	6,54÷7,55	acelerație de ruluu – val travers
	12	3,057÷4,942	6,04÷7,55	acelerație de ruluu – val travers
	14	2,798÷4,942	5,74÷7,55	criteriul de ruluu – val travers
	16	2,723÷4,942	5,64÷7,55	criteriul de ruluu – val travers
12 ($F_r=0.074$)	6	4,942	7,55	Fără restricții
	8	4,320÷4,942	7,12÷7,55	acelerație de ruluu – val travers
	10	3,491÷4,942	6,42÷7,55	acelerație de ruluu – val travers
	12	3,028÷4,942	6,01÷7,55	acelerație de ruluu – val travers
	14	2,788÷4,942	5,72÷7,55	criteriul de ruluu – val travers
	16	2,713÷4,942	5,63÷7,55	criteriul de ruluu – val travers
limite	-	2,713	5,63	criteriul de ruluu – val travers

CAPITOLUL 9

STUDIUL OSCILAȚIILOR NAVEI REMORCHER FLUVIAL - MARITIM FOLOSIT LA OPERAȚIILE DE TRANZIT ALE DOCURILOR PLUTITOARE

Pentru transportul de mărfuri și în cazul operațiunilor speciale între porturile și șantierele navale din zona fluvială și costieră, a fost conceput un tip special de navă remorcher. Unul din criteriile de proiectare pentru evaluarea siguranței exploatarei unei astfel de nave este analiza dinamică a acesteia în mare reală - seakeeping. În studiu am analizat comportamentul unui remorcher în cazul navigației fluviale și costiere, remorcher cu o lungime totală de 48 m, în cazul de încărcare corespunzător clasei de operare. Scenariul de operare care se studiază, include navigația între porturile și șantierele aflate în România pe malurile Dunării fluviale și pe coasta Mării Negre (figura 2.7.). Conform scenariului de navigație în valuri aleatoare, nivelurile maxime ale înălțimii semnificative a valurilor sunt de 2 m în cazul navigației fluviale și de 4 m în cazul navigației costiere. Pentru cazurile prezentate se ia în considerare și starea extremă cu 5 m înălțimea semnificativă a valului aleator. Analiza numerică se realizează folosind programul *DYN* [45], pe baza modelului hidrodinamic prezentat în subcapitolul 2.4., și validat prin testul experimental prezentat în capitolul 3. Analiza este structurată pe intervalul de viteze de la 0 la 20 km/h, pentru gama de la 0 la 5 m a înălțimii semnificative a valurilor, la unghiurile de întâlnire remorcher - val de la 0 la 360 grade.

Rezultatele din acest capitol sunt publicate și prezentate în articolul din referința [62].

9.1. Modelul numeric al remorcherului pentru navigația fluvial - maritimă

Pentru transportul pe căile navigabile din România, una dintre cele mai utilizate rute este cea între porturile sau șantierele aflate pe Dunărea fluvială și șantierele sau porturile aflate pe coasta Mării Negre. Pe lângă transportul cu ajutorul convoaielor, sunt necesare și efectuarea operațiunilor speciale de relocare a docurilor plutitoare sau a navelor în diferite stadii de fabricație dintr-un șantier în altul. În acest scop, au fost proiectate mai multe remorchere fluvial - maritime, care pot să navigheze și în condiții de val neregulat. Dintre numeroasele criterii de proiectare elaborate de societățile de clasificare navală [1], siguranța navigației remorcherele trebuie evaluată pe criterii de seakeeping. Acest studiu este axat pe analiza în mare reală a unui remorcher pe rută fluvială și costieră din sectorul românesc, în mai multe condiții de valuri aleatoare. [80]

Pentru analiza numerică la comportarea în valuri aleatoare, oscilații (seakeeping), am utilizat programul DYN [45], ultima versiune a acestuia fiind validată prin teste experimentale de la bazinul de carene, capitolul 3, pentru cazurile de întâlnire, urmărire și travers ale valurilor [78].

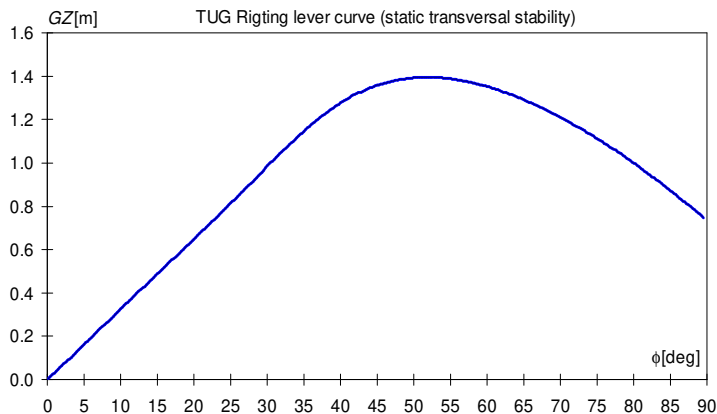


Figura 9.1. GZ[m] diagrama de stabilitate transversală a remorcherului fluvial – maritime

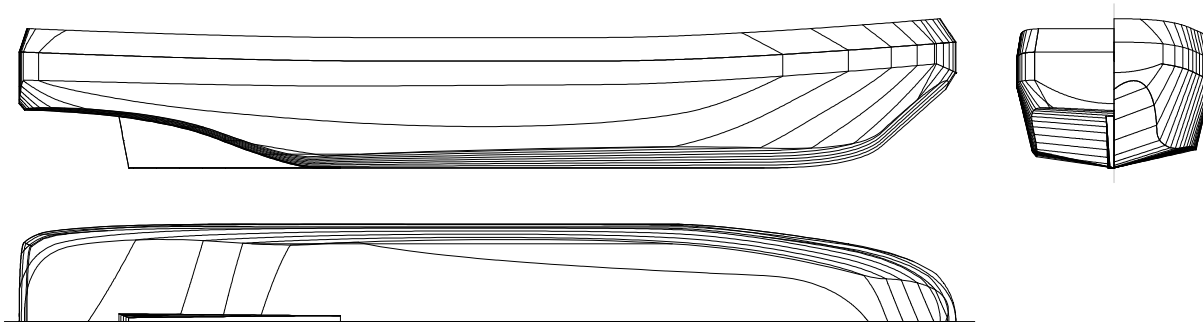


Figura 9.2. Planul de forme al remorcherului fluvial – maritim de 4000 CP [77], [79]

Analiza numerică a oscilațiilor navei în mare reală este dezvoltată pentru un remorcher românesc, cu puterea instalată de 4000 CP., pe o rută de navigație fluvială și maritimă, având caracteristicile principale prezentate în tabelul 9.1. și planul de forme prezentat în figura 9.2. Modelul numeric al corpului remorcherului are 83 de secțiuni transversale, cu o diviziune mai fină la ambele extremități. Remorcherul are o stabilitate transversală semnificativă, figura 9.1., făcând posibilă liniarizarea termenului de redresare la ruluu pentru unghiuri mai mari de 15 grade. Pentru evaluarea capacităților de navigație a remorcherului fluvial - maritim sunt luate în considerare următoarele limite pentru înălțimea semnificativă a valurilor: pe ruta fluvială IN (0.6); IN(1.2); IN(2.0) și pe ruta costieră C (2.5); C(3.0); C(4.0).

Tabelul 9.1. Principalele caracteristici ale modelului pentru remorcherul de 4000 CP. [79]

Simbolul și unitatea de măsură	Valoarea	Simbolul și unitatea de măsură	Valoarea	Simbolul și unitatea de măsură	Valoarea
$L_{max}[m]$	48	$MP[CP]$	4000	$J_x[tm^2]$	11102
$L_{CWL}[m]$	47	$BP[kN]$	539	$GMT_o[m]$	1,8385
$B_{max\ wz}[m]$	10	$v[km/h]$	20	$\phi_{GZ_{max}}[^\circ]$	51
$B_{WL}[m]$	9,604	$\nabla[m^3]$	919,45	$T_\zeta[s]$	4,525
$H_{Pupa}[m]$	7,15	$x_G[m]$	1,1079	$T_\theta[s]$	4,657
$H_{mijloc}[m]$	6,35	$z_{GS}[m]$	3,35	$T_\phi[s]$	6,032
$H_{Prova}[m]$	7,75	$LCF[m]$	-1,447	$\rho[kg/m^3]$	1,000 - 1,025
$F_s[m]$	0,3	$KB[m]$	2,1371	N_s	83
$T[m], T_{pp}[m], T_{pv}[m]$	3,5	C_B	0,582	$d_x[m]$	0,5875

9.2. Determinarea operatorilor amplitudine răspuns RAO la oscilațiile remorcherului fluvial – maritim de 4000 CP

Pentru remorcherul fluvial - maritim (figura 9.2., tabelul 9.1.), funcțiile operatorilor amplitudine răspuns la oscilații RAO pentru deplasările verticale, unghiurile de tangaj și de ruluu, se obțin folosind programul DYN [45]. Figurile 9.3.a, b. și figurile 9.4.a, b. prezintă funcțiile RAO la oscilațiile verticale și de tangaj, pentru viteze de 0 și 20 km / h, pentru unghiul navă – val de 0, 45, 90, 135, 180°. Figurile 9.3.c., d. și figurile 9.4.c., d. prezintă funcțiile RAO la oscilațiile verticale și de tangaj pentru unghiul nava - val de 90 și 180 grade, considerând întreaga gamă de viteze de remorcarea de la 0 la 20 km / h.

Pentru val travers (90 grade), influența vitezei remorcherului pentru funcțiile RAO la oscilațiile verticale și de tangaj este foarte redusă. Pentru valuri de întâlnire (180 grade), influența vitezei remorcherului pentru funcțiile RAO la oscilațiile verticale și de tangaj este semnificativă.

Figurile 9.5.a., b. prezintă funcțiile RAO la oscilațiile de ruluu, pentru vitezele de 0 și 20 km/h, pentru gama de unghiuri navă – val de 70, 80, 90, 100 și 110 grade. Figurile 9.5. c., d. prezintă funcțiile RAO la oscilațiile de ruluu pentru unghiurile navă - val de 80 și 100 grade, pentru toate vitezele de operare a remorcherului. Deși pentru valul travers (90 grade), viteza nu are nici o influență asupra funcției RAO la oscilația de ruluu, în intervalul de 70 - 110 grade se înregistrează influența vitezei.

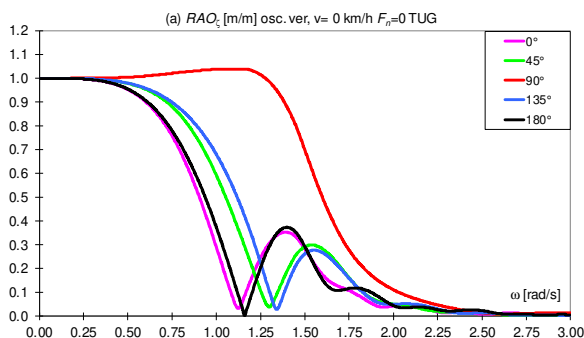


Figura 9.3.a. RAO_{ζ} [m/m] oscilații verticale, $v=0$ km/h, $\mu=0^{\circ} - 180^{\circ}$

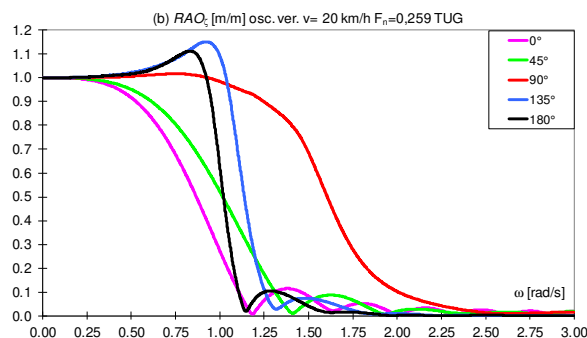


Figura 9.3.b. RAO_{ζ} [m/m] oscilații verticale, $v=20$ km/h, $\mu=0^{\circ} - 180^{\circ}$

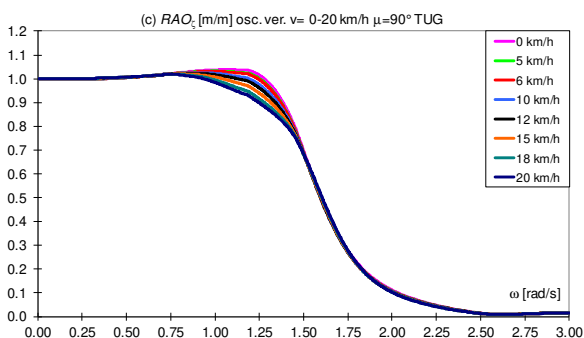


Figura 9.3.c. RAO_{ζ} [m/m] oscilații verticale, $v=0-20$ km/h $\mu=90^{\circ}$

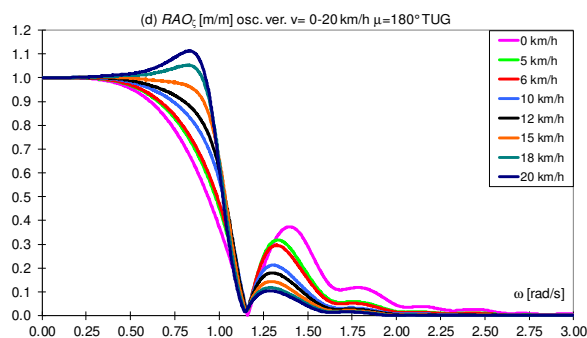


Figura 9.3.d. RAO_{ζ} [m/m] oscilații verticale, $v=0-20$ km/h $\mu=180^{\circ}$

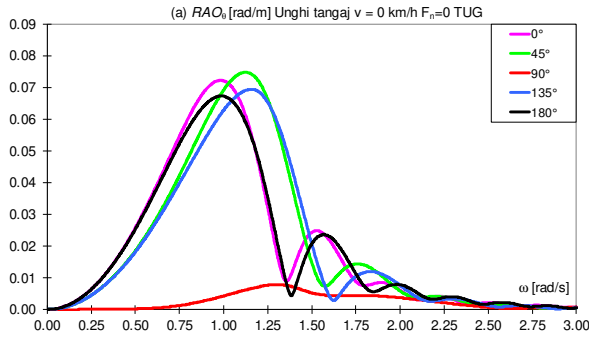


Figura 9.4.a. RAO_{θ} [rad/m] oscilații de tangaj, $v=0$ km/h, $\mu=0^{\circ} - 180^{\circ}$

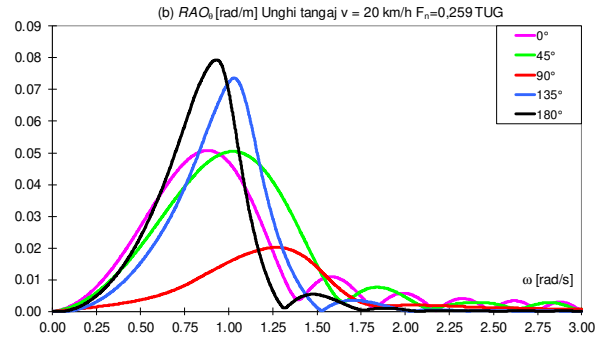


Figura 9.4.b. RAO_{θ} [rad/m] oscilații de tangaj, $v=20$ km/h, $\mu=0^{\circ} - 180^{\circ}$

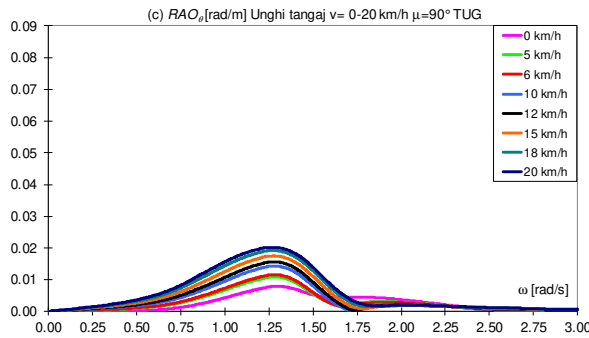


Figura 9.4.c. RAO_{θ} [rad/m] oscilații de tangaj, $v=0-20$ km/h $\mu=90^{\circ}$

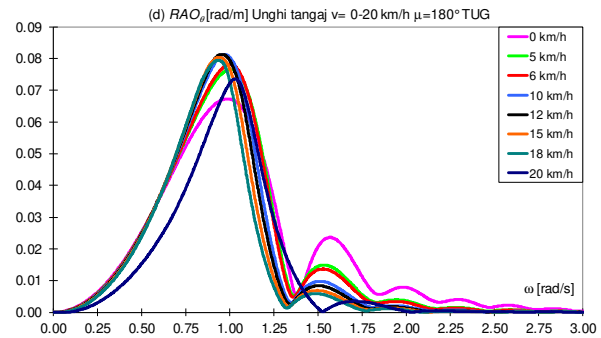


Figura 9.4.d. RAO_{θ} [rad/m] oscilații de tangaj, $v=0-20$ km/h $\mu=180^{\circ}$

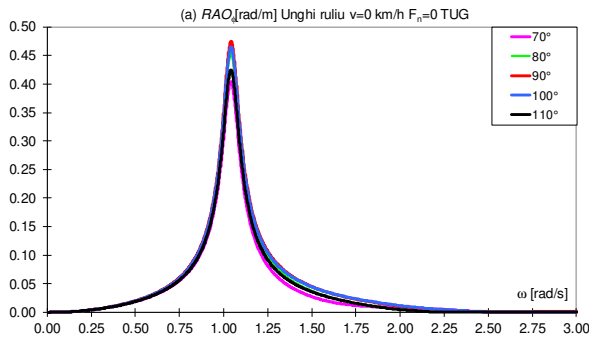


Figura 9.5.a. RAO_{ϕ} [rad/m] oscilații de ruliu, $v=0$ km/h, $\mu=70^{\circ} - 110^{\circ}$

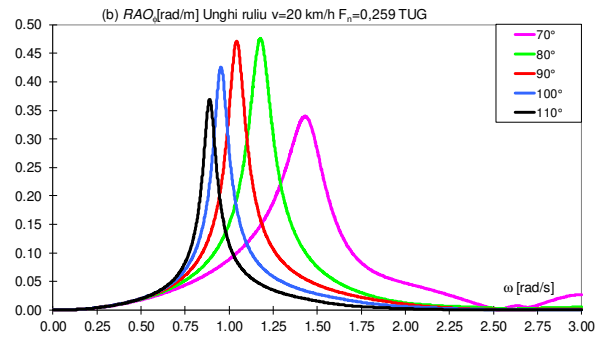


Figura 9.5.b. RAO_{ϕ} [rad/m] oscilații de ruliu, $v=20$ km/h, $\mu=70^{\circ} - 110^{\circ}$

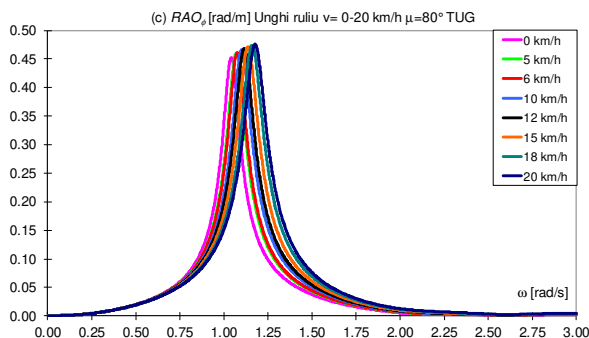


Figura 9.5.c. RAO_{ϕ} [rad/m] oscilații de ruliu, $v=0 - 20$ km/h, $\mu=80^{\circ}$

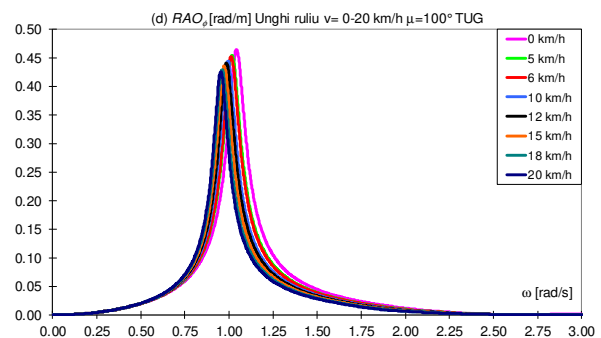


Figura 9.5.d. RAO_{ϕ} [rad/m] oscilații de ruliu, $v=0 - 20$ km/h, $\mu=100^{\circ}$

9.3. Analiza răspunsul statistic pe termen scurt pentru remorcherul fluvial - maritim

Pentru remorcherul fluvial - maritim (*figura 9.2., tabelul 4.1.*), răspunsul statistic cele mai probabil (*RMS*) la mișcări de oscilații verticale, tangaj și ruluiu, precum și a accelerațiilor asociate, se obțin folosind programul DYN [45], pentru funcția destinate spectrală de putere a valurilor aleatoare din *figurile 2.8. – 9.* Pe baza histogramei semnificative a înălțimii valurilor (*figura 2.10.*), probabilitatea de apariție și de depășire a valurilor este estimată. Pentru mișcarea pe direcție verticală sunt considerate trei puncte de referință, poziționate la pupa, mijloc și prova, unde se aplică un criteriu combinat din oscilații verticale, ruluiu și tangaj (ecuațiile 2.51. – 53.). Deoarece nava nu este simetrică în raport cu cuplul maestru, am luat în considerare maximul dintre accelerațiile induse de tangaj la pupa și prova remorcherului.

Figurile 9.6.a., b., c. prezintă răspunsul static cel mai probabil maxim pentru mișcărilor verticale combinate.

Figura 9.7.a. și *figura 9.8.a.* prezintă răspunsul statistic cel mai probabil pentru unghiurile de oscilație la tangaj și ruluiu.

Figura 9.6.d., figura 9.7.b. și *figura 9.8.b.* prezintă răspunsul statistic cel mai probabil pentru accelerațiile oscilațiilor verticale, de tangaj și ruluiu.

Considerând viteza în gama 0 la 20 km/h și condiția extremă de navigație $H_s=5$ m, cu probabilitate de apariție de 0,1% (*figura 2.10.*), *tabelul 9.2.* prezintă maximul răspunsului statistic cel mai probabil pentru mișcărilor și accelerațiile la oscilațiile remorcherului. De asemenea, în *tabelul 9.2.* sunt prezentate și valorile admisibile pentru criteriile de seakeeping ale remorcherului fluvial - maritim. Cea mai mare influență a vitezei se înregistrează pentru accelerațiile la oscilațiile verticale și de tangaj, medii pentru mișcărilor verticale și de tangaj și foarte reduse pentru mișcărilor și accelerațiile de ruluiu. Mișcărilor verticale combinate din pupa și prova, accelerații verticale, mișcarea și accelerația de tangaj au valorile maxime în cazul valurilor de întâlnire. Mișcărilor verticale combinate din zona centrală, precum și mișcărilor, accelerațiile de ruluiu, au valori maxime în valori traverse. Cea mai mare depășire este înregistrată pentru criteriul accelerației la tangaj, cu 39,49%.

Figurile 9.9.a., b. și *figurile 9.10.a., b.* prezintă diagramele polare privind siguranța navigației conform criteriilor la seakeeping, exprimate în termeni ca valoarea limită a înălțimii semnificative a valurilor $H_{\text{limit}}(v, \mu)$ și valoarea limită a stării mării în grade Beaufort $B_{\text{limit}}(v, \mu)$ pentru remorcherul fluvial - maritim. Considerând referința la principalele unghiuri navă – val, de urmărire și oblic - pupa (0-45 grade), travers și oblic (70-110 grade), de întâlnire și oblic - prova (135-180 grade), *tabelul 9.3.* prezintă limitele stării mării pentru a asigura siguranța navigației remorcherului, iar în *tabelul 9.4.* sunt prezentate criteriile la seakeeping care induc restricții. Pentru rutele fluviale, nu apar restricții, IN (2.0). Pentru rutele costiere, pentru gama de viteze 0 - 6 km / h, principalele restricții apar la valori traverse C (3.80), iar în gama de viteze 10 - 20 km / h principalele restricții apar la valori de întâlnire și oblic - prova C (3,67) - C (2,41).

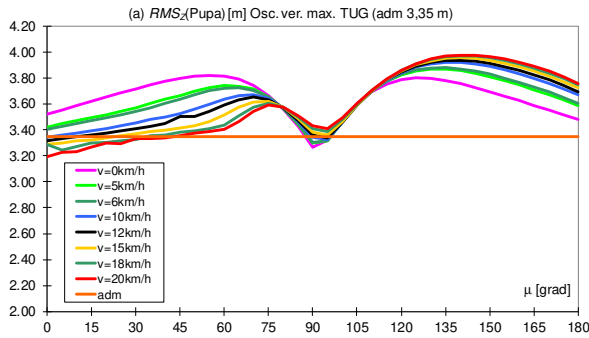


Figura 9.6.a. Răspunsul statistic cel mai probabil RMS_z [m] maxim, oscilații combinate la pupa

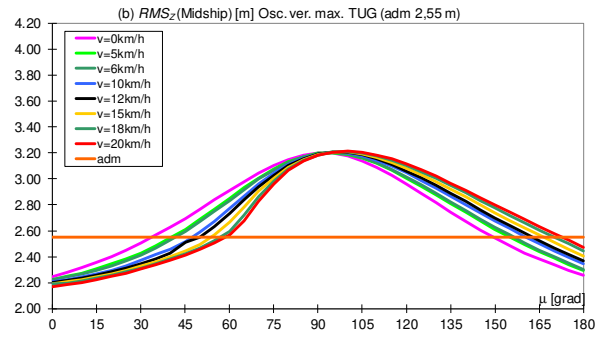


Figura 9.6.b. Răspunsul statistic cel mai probabil RMS_z [m] maxim oscilații combinate la mijloc

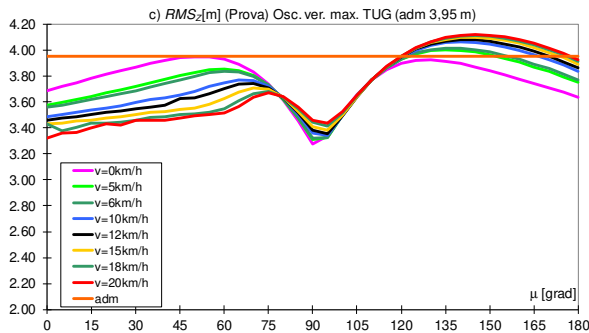


Figura 9.6.c Răspunsul statistic cel mai probabil RMS_z [m] maxim oscilații combinate la prova

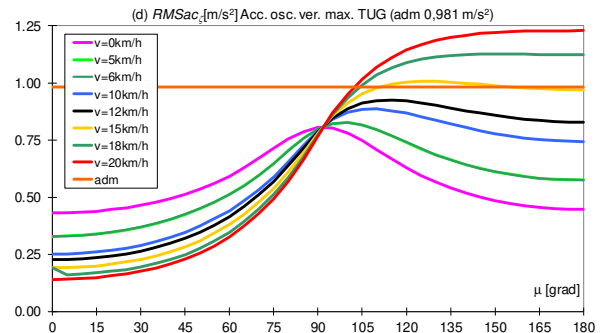


Figura 9.6.d Răspunsul statistic cel mai probabil RMS_{a_z} [m/s²] maxim, accelerații verticale.

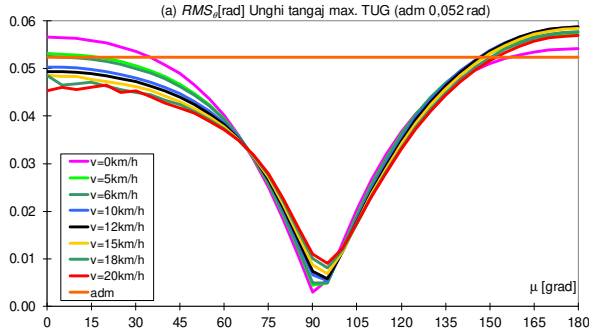


Figura 9.7.a. Răspunsul statistic cel mai probabil maxim la oscilația de tangaj RMS_{θ} [rad]

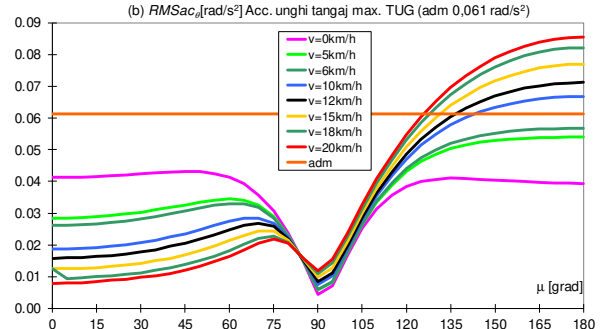


Figura 9.7.b. Răspunsul statistic cel mai probabil maxim la accelerația de tangaj $RMS_{a_{\theta}}$ [rad/s²]

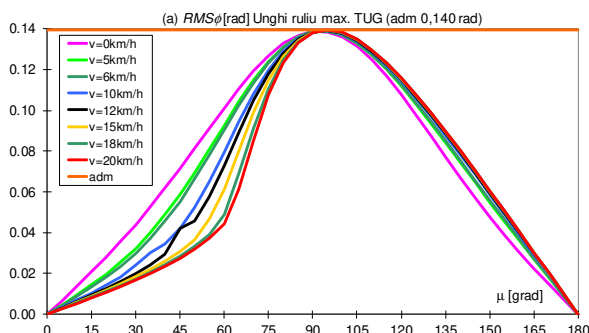


Figura 9.8.a. Răspunsul statistic cel mai probabil maxim la oscilația de ruluu RMS_{ϕ} [rad]

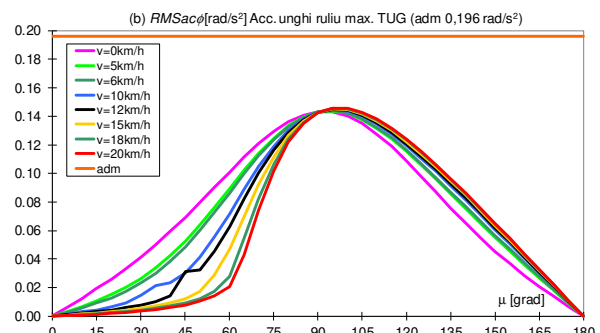


Figura 9.8.b. Răspunsul statistic cel mai probabil maxim la accelerația de ruluu $RMS_{a_{\phi}}$ [rad/s²]

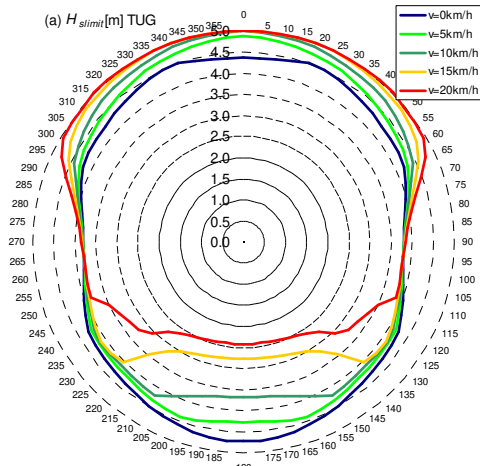


Figura 9.9.a. Diagrama polară pentru înălțimea semnificativă a valului $H_s \text{ limit}(v, \mu)$ [m], $\mu=0-360^\circ$, $v=0,5,10,15,20$ km/h

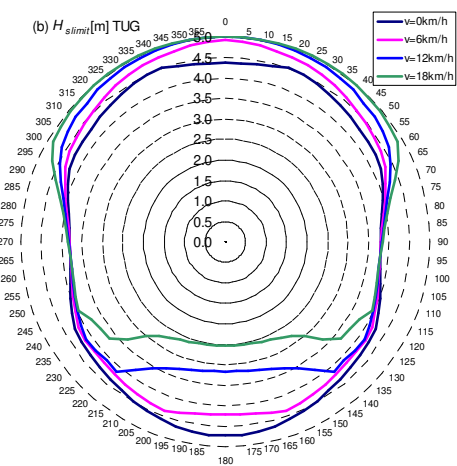


Figura 9.9.b. Diagrama polară pentru înălțimea semnificativă a valului $H_s \text{ limit}(v, \mu)$ [m], $\mu=0-360^\circ$, $v=0,6,12,18$ km/h

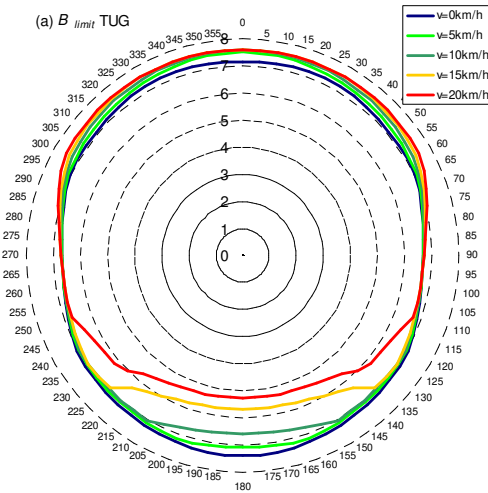


Figura 9.10.a. Diagrama polară în grade Beaufort $B \text{ limit}(v, \mu)$, $\mu=0-360^\circ$, $v=0,5,10,15,20$ km/h

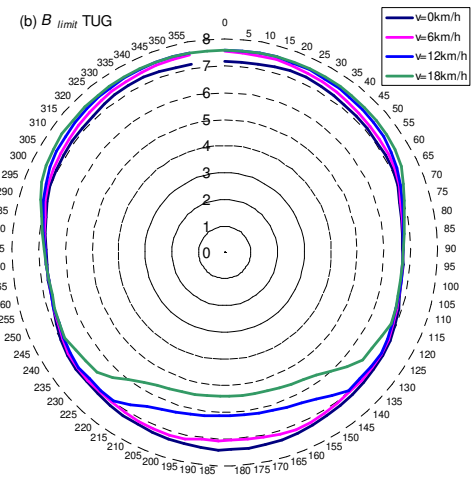


Figura 9.10.b. Diagrama polară în grade Beaufort $B \text{ limit}(v, \mu)$, $\mu=0-360^\circ$, $v=0,6,12,18$ km/h

Tabelul 9.2 Valorile statistice cele mai probabile maxime pentru mișcările și accelerațiile la oscilațiile remorcherului, având ca referință înălțimea de val extremă de $H_s=5$ m

v [km/h]	RMS_z <i>pupa</i> [m]	RMS_z <i>nijloc</i> [m]	RMS_z <i>prova</i> [m]	RMS_θ [rad]	RMS_ϕ [rad]	$RMSac_z$ [m/s ²]	$RMSac_\theta$ [rad/s ²]	$RMSac_\phi$ [rad/s ²]
Adm	3,350	2,550	3,950	0,052	0,140	0,981	0,061	0,196
0	3,822	3,199	3,949	0,0566	0,1388	0,804	0,043	0,143
	14,08%	25,44%	-0,03%	8,12%	-0,58%	-18,00%	-29,65%	-26,95%
5	3,867	3,201	4,002	0,0572	0,1389	0,827	0,054	0,144
	15,43%	25,55%	1,32%	9,25%	32,63%	-15,6%	-11,98%	-26,64%
6	3,880	3,202	4,015	0,0577	0,1390	0,836	0,057	0,144
	15,81%	25,58%	1,66%	10,11%	32,69%	-14,76%	-7,43%	-26,57%
10	3,920	3,205	4,062	0,0587	0,1392	0,887	0,067	0,15
	17,01%	25,69%	2,84%	12,11%	32,92%	-9,61%	8,99%	-26,29%
12	3,936	3,206	4,079	0,0588	0,1393	0,926	0,071	0,145
	17,50%	25,73%	3,26%	12,26%	33,03%	-5,60%	16,09%	-26,16%
15	3,956	3,208	4,099	0,0584	0,1395	1,008	0,077	0,145
	18,08%	25,81%	3,76%	11,58%	33,17%	2,76%	25,58%	-25,97%
18	3,969	3,212	4,112	0,0576	0,1396	1,127	0,082	0,146
	18,48%	25,95%	4,11%	10,08%	33,30%	14,89%	34,10%	-25,79%
20	3,976	3,214	4,118	0,0570	0,1397	1,229	0,086	0,146
	18,69%	26,03%	4,26%	8,79%	-0,002%	25,32%	39,49%	-25,68%

Tabelul 9.3. Valorile limite ale înălțimii semnificative a valului H_s limit [m] și a stării mării în grade Beaufort B limit pentru asigurarea siguranței la navigație din criteriile la seakeeping a remorcherului fluvial - maritim

v [km/h]	0		5		6		10		12		15		18		20		
μ [°]	H_s limit	B limit	H_s limit	B limit	H_s limit	B limit	H_s limit	B limit	H_s limit	B limit	H_s limit	B limit	H_s limit	B limit	H_s limit	B limit	
0	4,356	7,15	4,878	7,51	4,916	7,53	5,000	7,59	5,000	7,59	5,000	7,59	5,000	7,59	5,000	7,59	
45	4,296	7,11	4,497	7,25	4,542	7,28	4,725	7,40	4,760	7,43	4,897	7,52	4,951	7,56	4,995	7,59	
70	4,079	6,95	4,145	7,00	4,159	7,01	4,225	7,06	4,263	7,08	4,329	7,13	4,410	7,19	4,473	7,23	
90	3,789	6,69	3,799	6,70	3,800	6,70	3,807	6,70	3,811	6,71	3,817	6,71	3,825	6,72	3,830	6,73	
110	3,994	6,87	3,948	6,83	3,940	6,82	3,910	6,80	3,897	6,78	3,881	6,77	3,867	6,76	3,838	6,73	
135	4,317	7,12	4,188	7,03	4,170	7,02	4,113	6,98	4,095	6,96	4,031	6,90	3,343	6,29	3,049	6,03	
180	4,705	7,39	4,257	7,08	4,196	7,04	3,675	6,59	3,159	6,13	2,752	5,68	2,521	5,39	2,413	5,26	
Limita de navigație	fluvial	IN(2.0)		IN(2.0)		IN(2.0)		IN(2.0)		IN(2.0)		IN(2.0)		IN(2.0)		IN(2.0)	
	costier 0-45°	C(4.29)		C(4.49)		C(4.54)		C(4.72)		C(4.76)		C(4.89)		C(4.95)		C(4.99)	
	Costier 70-110°	C(3.79)		C(3.80)		C(3.80)		C(3.81)		C(3.81)		C(3.82)		C(3.82)		C(3.83)	
	Costier 135-180°	C(4.32)		C(4.18)		C(4.17)		C(3.67)		C(3.15)		C(2.75)		C(2.52)		C(2.41)	

Tabelul 9.4. Criteriile la seakeeping care conduc la restricțiile de navigație a remorcherului fluvial-maritim,

v [km/h]	Val de urmărire și val oblic pupa	Val travers și val oblic	Val de întâlnire și val oblic prova
0	Mișcare verticală la pupa, mișcare de tangaj	Mișcare verticală la pupa și la mijloc	Mișcare verticală la pupa, mișcare de tangaj
5	Mișcare verticală la pupa, mișcare de tangaj	Mișcare verticală la pupa și la mijloc	Mișcare verticală la pupa, mișcare de tangaj
6	Mișcare verticală la pupa, mișcare de tangaj	Mișcare verticală la pupa și la mijloc	Mișcare verticală la pupa, mișcare de tangaj
10	Mișcare verticală la pupa	Mișcare verticală la pupa și la mijloc	Mișcare verticală la pupa, mișcare de tangaj, accelerație la tangaj
12	Mișcare verticală la pupa	Mișcare verticală la pupa și la mijloc	Mișcare verticală la pupa, centru și prova, mișcare de tangaj, accelerație la tangaj
15	Mișcare verticală la pupa	Mișcare verticală la pupa și la mijloc	Mișcare verticală la pupa, centru și prova, mișcare de tangaj, accelerație la tangaj
18	Mișcare verticală la pupa	Mișcare verticală la pupa și la mijloc	Mișcare verticală la pupa, centru și prova, mișcare de tangaj, accelerație la tangaj
20	Mișcare verticală la pupa	Mișcare verticală la pupa și la mijloc	Mișcare verticală la pupa, centru și prova, mișcare de tangaj, accelerație la tangaj

9.4. Concluziile analizei dinamicii remorcherului fluvial – maritim în valuri aleatoare

Siguranța în exploatare a remorcherului fluvial - maritim de 4000 CP (figura 9.2. și tabelul 9.1.) a fost analizată cu ajutorul programul DYN [45], pe baza criteriilor de seakeeping formulate pentru principalele componente de oscilații și accelerații, verticale, tangaj și ruluu, în valuri neregulate specifice traseului de navigație (figura 2.7.), pe fluviul Dunărea ($H_s \leq 2\text{m}$), precum și în zona costieră a litoralului românesc al Mării Negre ($H_s \leq 5\text{m}$). Analiza operatorilor amplitudine răspuns *RAO* (figurile 9.3. – 5.a, b, c, d) arată că la variația vitezei de marș în intervalul 0 - 20 km/h, crește amplitudinea răspunsului dinamic la oscilațiile verticale și de tangaj în cazul valurilor de întâlnire. La valuri traverse influența vitezei este foarte redusă asupra componentelor principale de oscilație ale remorcherului.

Luând în considerare starea extremă a valurilor neregulate cu înălțime semnificativă maximă $H_s = 5\text{ m}$, pe coasta Mării Negre (figurile 2.9.-10.), pentru variația vitezei remorcherului în gama 0 - 20 km/h, valorile statistice cele ai probabile maxime *RMS* (figurile 9.6.-8.) depășesc valorile admisibile din criteriile la seakeeping (tabelul 4.2) după cum urmează:

- oscilații verticale combinate la pupa, 14,08 - 18,69%,
- oscilații verticale combinate la mijloc 25,44 - 26,03%,
- oscilații verticale combinate la prova 4,26%;
- oscilația de tangaj 8,12 - 8,79%;
- accelerația la oscilații verticale 25,32%;
- accelerației la oscilații de tangaj 39,49%.

Mișcarea și accelerația la ruluu se încadrează în limitele criteriilor de seakeeping datorită stabilității transversale semnificative a remorcherului (figura 9.1.)

Pe baza influenței vitezei asupra funcțiilor amplitudine răspuns *RAO* și a valorilor răspunsului statistic cel mai probabil maxim *RMS*, se identifică criteriile la seakeeping care conduc la restricții de navigație pentru remorcherul fluvial - maritim (tabelul 9.4.).

Considerând diagramele polare $H_{s\text{limit}}$, B_{limit} (figura 9.9. și figura 9.10., tabelul 9.3) pentru ruta fluvială pe Dunăre, remorcherul nu are restricții de navigație, $H_{s\text{limit}} = 2\text{m}$. Pentru ruta de pe coasta Mării Negre, pentru viteze între 0 -10 km/h restricția de navigație este de $H_{s\text{limit}} = 3,67 - 3,80\text{ m}$, aproape de limita $H_{s\text{limit}} = 4\text{ m}$, $B_{\text{limit}} = 6,70$, cu probabilitatea de depășire $P[H_s > 3,80\text{ m}] \approx 0,9\%$, iar pentru intervalul de viteză de 12 - 20 km/h restricția de navigație este $H_{s\text{limit}} = 2,41 - 3,15\text{ m}$, $B_{\text{limit}} = 5,26 - 6,13$, cu probabilitatea de depășire $P[H_s > 2,41\text{ m}] \approx 4,8\%$.

Rezultă că, pentru a asigura siguranța de navigație a remorcherului de 4000 CP pe rutele de coastă, viteza navei trebuie redusă sub 10 km/h, în funcție de starea mării.

CAPITOLUL 10

CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

10.1. Concluzii finale

Pentru optimizarea și creșterea capacităților de lansare sau andocare a corpurilor plutitoare în cadrul șantierelor navale, în prezent s-a extins utilizarea docurilor plutitoare (capitolul 1), ce trebuie evaluate într-o gamă largă de condiții de operare, ce conduc în multe situații la solicitări extreme. Studiul din cadrul tezei este centrat pe dezvoltarea unei metodologii integrate proprii folosită pentru analiza comparativă a capacității de operare a trei tipuri de docuri plutitoare (capitolul 4), pe baza mai multor criterii limită de siguranță la flotabilitate, stabilitate transversală, rezistență locală și globală, precum și la seakeeping (navigație). Fiecare doc plutitor este analizat pentru mai multe scenarii de andocare, conform normelor societăților de clasificare navale [1], [3], inclusiv cazul de relocare între șantierele navale pe rute fluviale și costiere. Astfel, pe baza concluziilor din acest studiu se evidențiază limitările impuse pentru asigurarea siguranței în exploatare a trei tipuri de docuri plutitoare selectate, supuse la solicitări extreme în valuri echivalente cvasi - statice și aleatoare.

Studiul din cadrul tezei este structurat conform obiectivelor formulate (introducere) și conduce la concluziile finale următoare:

1. Pentru analiza comportării dinamice în valuri a docurilor plutitoare, am validat modelul teoretic la oscilații din subcapitolul 2.4. și codul program asociat DYN (OSC) [45], folosind modelul experimental redus la scara 1:16 a unei nave de cercetare fluvial - maritimă (figurile 3.1 - 3.2, tabelul 3.1), cu forme pline asemănătoare docurilor plutitoare, în cadrul bazinului de carene de la Facultatea de Arhitectură Navală din Galați (capitolul 3). Din analiza comparativă între modelul numeric și experimental rezultă o bună corelație între acestea, fiind înregistrate pentru funcțiile operator amplitudine răspuns următoarele diferențe medii: la oscilații verticale 16,79%, la oscilații de tangaj 12,32% și la oscilațiile de ruluu 16,79% (figurile 3.14. - 3.17., tabelele 3.3 - 3.6). Modelul numeric conduce la valori mai mari a răspunsului dinamic, având la bază un model teoretic hidrodinamic liniar, în timp ce neliniaritățile din modelul experimental conduc la o atenuare a răspunsului pe componenta spectrală principală. Din punct de vedere practic (ITTC [58], [59]) se poate considera că modelul numeric furnizează un răspuns dinamic ce permite evaluarea conservativă a siguranței în exploatare a docurilor pe baza criteriilor la seakeeping (navigație).

2. Analiza capacității operaționale la solicitări extreme a primei variante constructive, docul plutitor de mici dimensiuni cu tancuri laterale superioare de balast continue, Dock60_CWT (subcapitolul 4.1, figura 4.2, figurile 4.9.-4.11., tabelul 4.1), cu lungimea de 60 m și capacitatea maximă de andocare de 828 t, combinând criteriile limită de siguranță (capitolul 2), conduce la următoarele concluzii:

- Pe baza modelului de grindă echivalentă 1D (subcapitolele 5.1, 5.2), supus la solicitări din valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire - urmărire și oblice, cu modelele teoretice din subcapitolele 2.1.3, 2.1.4, 2.3.1, se pot evalua criteriile de flotabilitate și rezistență globală preliminară (tabelele 4.3, 4.4, 4.5), pentru cinci cazuri de operare impuse de normele constructive [1], ale docurilor plutitoare (tabelul 4.7, figurile 4.9.). În cazul de operare fără masă andocată, sigura restricție este din criteriul de bord liber minim $H_{wlimit}=1,934$ m, la valuri de întâlnire - urmărire (tabelele 5.2.a, b), cât și la valurile oblice (tabelul 5.6.a, figurile 5.9.-13.b, figura 5.14.b), indiferent de unghiul de întâlnire doc - val ($\mu=0 - 360^{\circ}$). În cazul de balastare maximă rezultă restricții doar din criteriul de bord liber minim $H_{wlimit}=0,600$ m (tabelele 5.2.a,b, figurile 5.1.-3.1.-2.a., b.). Pentru cele trei cazuri de andocare la capacitatea maximă de 828 t, restricțiile rezultă tot din criteriul de bord liber $H_{wlimit}=0,550$ m, la valuri de întâlnire - urmărire (tabelele 5.2.a,b, figurile 5.1.-3.1.-2.a., b.), cât și la valurile oblice (tabelul 5.6.b,c,d, figurile 5.4.-8.2., figurile 5.9.-13.b, figura 5.14.b).
- Pe baza modelului structural 3D-FEM (figurile 4.12-14) extins într-un bord, complet pe lungimea docului plutitor, (subcapitolul 5.3.1), supus la solicitări din valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire - urmărire, cu modelul teoretic din subcapitolul 2.2, precum și modelul 3D-FEM extins în ambele borduri (subcapitolul 5.3.2), supus la solicitări din valuri echivalente cvasi - statice oblice, cu modelul teoretic din subcapitolul 2.3.2, se evaluează criteriile de rezistență locală și globală (tabelul 4.3), pentru cele cinci cazuri de operare (tabelul 4.7). Din analiza rezultatelor criteriilor de rezistență pe modele 3D-FEM, la valuri de întâlnire - urmărire (tabelul 5.9., figurile 5.15.1.a-e) și oblice (tabelul 5.13, figurile 5.17.a-c, figurile 5.18.a-b, figurile 5.23. – 26.1.a-b), nu conduc la restricții suplimentare față de analiza pe modele 1D, respectiv singurele restricții sunt din criteriul de bord liber minim, rezultând limitele pentru înălțimea valurilor echivalente cvasi - statice: 1,934 m la cazul fără masă andocată, 0,600 m la balastarea maximă, 0,550 m la cele trei cazuri de andocare la capacitatea maximă a docului plutitor Dock60_CWT.
- Pe baza modelului hidrodinamic (subcapitolul 6.1), cu modelul teoretic din subcapitolul 2.4, se evaluează siguranța operațiunii de relocare a docului plutitor Dock60_CWT, în cazul fără masă andocată, pe rute fluviale și pe coasta Mării Negre (figura 2.8), în valuri aleatoare, pe baza criteriilor limită la seakeeping (tabelul 2.3, tabelul 6.1). Din analiza răspunsului dinamic la oscilațiile verticale, tangaj și ruluu, în valuri aleatoare (tabelul 6.3., tabelul 6.5., figurile 6.3-8.a, figurile 6.9-14.b), restricțiile la relocarea docului plutitor Dock60_CWT sunt înregistrate dominant în cazul valurilor aleatoare traverse și oblice ($\mu=70^{\circ}-110^{\circ}$, $\mu=250^{\circ}-290^{\circ}$), din criteriile pentru amplitudinea cea mai probabilă statistic la oscilațiile combinate verticale și accelerațiile la oscilația de ruluu. Din analiza curbelor de rezistență la înaintare a convoiului remorcher – doc plutitor (figura 6.1.), rezultă că viteza de remorcare poate fi de maxim 18 km/h. La creșterea vitezei de remorcare a docului plutitor Dock60_CWT restricțiile devin extreme, rezultând următoarele valori limită ale înălțimii semnificative a valurilor (H_{slimit}) și intensității Beaufort (B_{limit}): 1,456 m (3,09) la $v=0$ km/h; 1,418 m (2,93) la $v=5$ km/h; 1,382 m (2,75) la $v=10$ km/h; 0,990 m (0,89) la $v=15$ km/h și 0,652 m (0,59) la $v=18$ km/h.
- Pe baza modelului teoretic din subcapitolul 2.1.5, am analizat pentru docul plutitor Dock60_CWT criteriile generale și meteorologice de stabilitate transversală intactă [2], [16], [17] (subcapitolul 6.2), la toate cele cinci cazuri de andocare (tabelul 4.7). Pentru toate cazurile de andocare criteriile generale de stabilitate nu impun restricții. Criteriul de stabilitate dinamic (meteorologic) conduce la restricții în cazul de balastare maximă, precum și în cazurile de andocare la capacitatea maximă de 828 t pentru poziția extremă a centrului de greutate a masei andocate $z_G \geq 8,5$ m, când docul plutitor nu poate fi operat decât în condiții de apă calmă (tabelul 6.7).
- Cumulând rezultatele obținute la analiza multicriterială a docului plutitor Dock60_CTW, rezultă următoarele condiții limită de operare:
 - În cazul fără masă de andocare, docul plutitor poate fi operat staționar în acvatorii neprotejate IN(1.4) ($H_{limit}=1,456$ m) și protejate SW ($H_{limit}=0$ - apă calmă), respectiv

poate fi relocat pe rute interioare fluviale cu clasa medie de navigație IN(1.4) ($H_{limit}=1,382-1,418$ m) până la viteza de remorcare de 10 km/h și restricționat la clasa medie IN(0.6) ($H_{limit}=0,652-0,990$ m), dacă viteza de remorcare crește peste 15 km/h. Docul plutitor Dock60_CWT poate fi relocat pe căile navigabile din zona costieră doar cu o aprobare specială din partea autorităților de navigație, în condiții meteorologice favorabile și viteză redusă de remorcare (maxim 10 km/h).

- În cazul de balastare maximă, fără masă andocată, docul plutitor poate fi operat în acvatorii neprotejate IN(0.6) ($H_{limit}=0,600$ m) și protejate SW ($H_{limit}=0$ - apă calmă), dar nu este proiectat pentru relocarea în această condiție.
- În cele trei cazuri de andocare la capacitatea maximă de 828 t, docul plutitor poate fi operat staționar în acvatorii neprotejate \approx IN(0.6) ($H_{limit}=0,550$ m) și protejate SW ($H_{limit}=0$ - apă calmă), cu poziția verticală maximă a navei andocate $z_{GS} \leq 7,5$ m, respectiv nu sunt proiectate pentru condiția de relocare cu masă andocată la bord.

3. Analiza capacității operaționale la solicitări extreme a celei de a doua variante constructive, docul plutitor de mici dimensiuni cu tancuri laterale superioare de balast discontinue, Dock60_NWT (subcapitolul 4.1, figura 4.1, figurile 4.12-4.14, tabelul 4.1), cu lungimea de 60 m și capacitatea maximă de andocare de 828 t, cu structura inițială ($a_F=2a_0$) și întărită ($a_F=a_0$), combinând criteriile limită de siguranță (capitolul 2), conduce la următoarele concluzii:

- Pe baza modelului de grindă echivalentă 1D (subcapitolele 5.1, 5.2) cu solicitări din valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire - urmărire și oblice, folosind modelele teoretice din subcapitolele 2.1.3, 2.1.4, 2.3.1, se evaluează criteriile de flotabilitate și rezistență globală preliminară (tabelele 4.3, 4.4, 4.5), în cinci cazuri de operare conform normelor constructive [1], ale docurilor plutitoare (tabelul 4.6, figurile 4.12.). Din analiza structurii inițiale a docului ($a_F=2a_0$), realizată doar în cazul valurilor de întâlnire - urmărire, rezultă următoarele concluzii: în cazul de operare fără masă andocată restricțiile majore sunt impuse de criteriul rezistenței globale moment încovoietor vertical admisibil, în condiția de hogging, $H_{wlimit}=0,378$ m (tabelele 5.1.a,b); în cazul de balastare maximă rezultă restricții doar din criteriul de bord liber minim $H_{wlimit}=0,326$ m (tabelele 5.1.a,b, similar și pentru structura întărită); pentru cazul de andocare la capacitatea maximă cu masă distribuită uniform restricțiile principale sunt din criteriul rezistenței globale moment încovoietor vertical admisibil, în condiția de hogging, $H_{wlimit}=0,252$ m (figurile 5.1-3.1.a, b.); pentru cazul de andocare la capacitatea maximă cu masă distribuită tip sagging restricțiile sunt din criteriul de bord liber minim $H_{wlimit}=0,420$ m (tabelele 5.1.a., b.); pentru cazul de andocare la capacitatea maximă cu masă distribuită tip hogging restricțiile semnificative sunt din criteriul rezistenței globale moment încovoietor vertical admisibil, în condiția de hogging, $H_{wlimit}=0$ m apă calmă (tabelele 5.1.a., b.), fiind cazul extrem de solicitare. Din analiza structurii întărite ($a_F=a_0$), ce se consideră ca referință pentru docul plutitor Dock60_NWT, cu solicitări din valuri de întâlnire - urmărire și oblice, rezultă următoarele concluzii: în cazul fără masă andocată (tabelul 5.5.a, figurile 5.9.-13.a) pentru unghiul de întâlnire doc - val $\mu=0-45^\circ$ restricțiile sunt din criteriul de rezistență globală moment încovoietor vertical admisibil, în condiția de hogging, $H_{wlimit}=0,640-1,278$ m, iar pentru $\mu=60-90^\circ$ restricțiile sunt din criteriul de bord liber minim $H_{wlimit}=1,800$ m; în cazurile de andocare la capacitatea maximă cu masă distribuită uniform și tip sagging (tabelele 5.5.b,c, figurile 5.9.-13.a) restricțiile principale sunt impuse de criteriul de bord liber minim $H_{wlimit}=0,420$ m, indiferent de unghiul de întâlnire doc - val; în cazurile de andocare la capacitatea maximă cu masă distribuită tip hogging (tabelul 5.5.d, figurile 5.9.-13.) pentru $\mu=0-30^\circ$ restricțiile sunt din criteriul de rezistență globală moment încovoietor vertical admisibil, în condiția de hogging, $H_{wlimit}=0,261-0,318$ m, iar pentru $\mu=45-90^\circ$ restricțiile sunt din criteriul de bord liber minim $H_{wlimit}=0,420$ m.
- Pe baza modelului structural 3D-FEM (figurile 4.12. - 14) extins într-un bord, complet pe lungimea docului plutitor (subcapitolul 5.3.1), supus la solicitări din valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire - urmărire, cu modelul teoretic din subcapitolul 2.2, precum și modelul 3D-FEM extins în ambele borduri (subcapitolul 5.3.2), supus la solicitări din valuri echivalente cvasi - statice oblice, cu modelul teoretic din subcapitolul 2.3.2, se evaluează criteriile de rezistență locală și globală (tabelul 4.3), pentru cele cinci cazuri de operare

(tabelul 4.6). Din analiza rezultatelor criteriilor de rezistență pe modelele 3D-FEM, la valori de întâlnire - urmărire (tabelele 5.10. – 11., figurile 5.15.2.a-e) și oblice (tabelul 5.14, figurile 5.20.a-f), rezultă următoarele concluzii: în cazul fără masă andocată, nebalastat, pentru $\mu=0-60^{\circ}$ restricțiile sunt din criteriul rezistenței la stabilitate structurală, în condiția de val hogging, $H_{wlimit}=0,582-1,041$ m, iar pentru $\mu=75-90^{\circ}$ restricțiile sunt din criteriul de bord liber minim $H_{wlimit}=1,800$ m; în cazurile de andocare la capacitatea maximă cu masă distribuită uniform și tip sagging restricțiile sunt impuse de criteriul de bord liber minim $H_{wlimit}=0,420$ m, indiferent de unghiul de întâlnire doc - val; în cazul de andocare la capacitatea maximă cu masă distribuită tip hogging, pentru $\mu=0-60^{\circ}$ restricțiile sunt din criteriul rezistenței la stabilitate structurală, în condiția de val hogging, $H_{wlimit}=0,186-0,350$ m, iar pentru $\mu=75-90^{\circ}$ restricțiile sunt din criteriul de bord liber minim $H_{wlimit}=0,420$ m.

- Folosind modelul hidrodinamic (subcapitolul 6.1), cu modelul teoretic din subcapitolul 2.4, se realizează evaluarea siguranței operațiunii de relocare a docului plutitor Dock60_NWT, în cazul fără masă andocată, pe trasee fluviale și pe coasta Mării Negre, în valuri aleatoare, pe baza criteriilor limită la seakeeping (tabelul 2.3, tabelul 6.1). Din analiza răspunsului dinamic la oscilațiile verticale, tangaj și ruluiu, în valuri aleatoare (tabelele 6.4. – 5., figurile 6.3-8.b, figurile 6.9-14.a), restricțiile la relocarea docului plutitor Dock60_NWT sunt înregistrate majoritar în cazul valorilor aleatoare traverse și oblice ($\mu=70^{\circ}-110^{\circ}$, $\mu=250^{\circ}-290^{\circ}$), din criteriile pentru amplitudinea cea mai probabilă statistic la oscilațiile combinate verticale, cuplat cu criteriul bordului liber minim. Analog docului cu tancuri laterale continue, pe baza curbilor de rezistență la înaintare a convoiului remorcher – doc plutitor (figura 6.1), rezultă o viteză de remorcare maximă de 18 km/h. La creșterea vitezei de remorcare a docului plutitor Dock60_NWT restricțiile se accentuează, rezultând următoarele valori limită ale înălțimii semnificative a valurilor (H_{slimit}) și intensității Beaufort (B_{limit}): 1,071 m (0,97) la $v=0$ km/h; 0,988 m (0,89) la $v=5$ km/h; 0,938 m (0,85) la $v=10$ km/h; 0,708 m (0,64) la $v=15$ km/h și 0,626 m (0,56) la $v=18$ km/h.
- Pe baza modelului teoretic din subcapitolul 2.1.5, am analizat pentru docul plutitor Dock60_NWT criteriile generale și meteorologice de stabilitate transversală intactă [2], [16], [17] (subcapitolul 6.2), la toate cele cinci cazuri de andocare (tabelul 4.6). Pentru toate cazurile de andocare criteriile generale de stabilitate nu impun restricții. Analog docului plutitor cu tancuri laterale continue, criteriul de stabilitate dinamic (meteorologic) conduce la restricții în cazul de balastare maximă, precum și în cazurile de andocare la capacitatea maximă de 828 t pentru poziția extremă a centrului de greutate a masei andocate $Z_{GS} \geq 8,5$ m, când docul plutitor nu poate fi operat decât în condiții de apă calmă (tabelul 6.6.).
- Din analiza multicriterială combinată a docului plutitor Dock60_NTW, considerând ca referință structura întărită ($a_{Fr}=a_0$), rezultă următoarele condiții extreme de operare:
 - În cazul fără masă de andocare, docul plutitor poate fi operat staționar în acvatorii neprotejate $\approx IN(0.6)$ ($H_{limit}=0,582$ m) și protejate SW ($H_{limit}=0$ – apă calmă), respectiv poate fi relocat pe rute interioare fluviale cu clasa medie de navigație IN(0.6) ($H_{limit}=0,582$ m) până la viteza de remorcare maximă de 18 km/h. Nu se recomandă relocarea docului plutitor Dock60_NWT pe căile navigabile din zona costieră.
 - În cazul de balastare maximă, fără masă andocată, docul plutitor poate fi operat numai în acvatorii protejate SW ($H_{limit}=0$ – apă calmă) și nu se poate reloca în această condiție.
 - În cele trei cazuri de andocare la capacitatea maximă de 828 t, docul plutitor poate fi operat doar staționar în acvatorii protejate SW ($H_{limit}=0,186-0,420$ m), cu poziția verticală maximă a navei andocate $Z_{GS} \leq 7,5$ m, fără posibilitate de relocare.

4. Analiza capacității operaționale la solicitări extreme a celei de-a treia variante constructive, docul plutitor de mari dimensiuni cu tancuri laterale superioare de balast discontinu, Dock_Vard_Tulcea [9] (subcapitolul 4.2, tabelul 4.9, figura 4.24., figura 4.27., figurile 4.30. – 32, figura 4.36.), cu lungimea de 209,2 m și capacitatea maximă de andocare de 27000 t, combinând criteriile limită de siguranță (capitolul 2), conduce la următoarele concluzii:

- Pe baza rezultatelor obținute la analiza docurilor mici cu solicitări din valuri echivalente cvasi - statice, am considerat în cazul docului de mari dimensiuni doar condițiile de valuri cvasi - statice de întâlnire - urmărire, ce conduc la răspunsul structural extrem.
- Pe baza modelului de grindă echivalentă 1D (subcapitolul 7.1), cu solicitări din valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire - urmărire, cu modelul teoretic din subcapitolul 2.1.4, se evaluează criteriile de flotabilitate și rezistență globală preliminară (tabelul 4.10), pentru cinci cazuri de operare. Din analiza structurii docului plutitor rezultă următoarele concluzii: criteriul de bord liber minim nu impune restricții în niciun caz de andocare (tabelul 7.1.a); în cazul fără masă andocată și balastat pentru pescajul de referință $T=6,2$ m (tabelul 7.1.b) criteriile de rezistență globală preliminară nu impun restricții, astfel încât $H_{limit}=4,492$ m; în cazul tranziției navei andocate de 19747 t de pe cheu pe întreaga lungime a șinelor de pe puntea principală de andocare a docului plutitor, în apă calmă cu balastare asistată pentru pescajul de referință $T=6,2$ m (tabelele 7.1.c,d, figurile 7.1.a,b, figurile 7.2.a-d), criteriile de rezistență globală preliminară nu impun restricții; pentru cazul de andocare la capacitatea maximă cu masă distribuită uniform restricția principală este din criteriul rezistenței globale forță tăietoare verticală admisibilă, în condiția de sagging, $H_{wlimit}=3,231$ m (tabelul 7.1.e.); pentru cazul de andocare la capacitatea maximă cu masă distribuită tip hogging restricția principală este din criteriul rezistenței globale forță tăietoare verticală admisibilă, în condiția de sagging, $H_{wlimit}=3,769$ m (tabelul 7.1.f); pentru cazul de andocare la capacitatea maximă cu masă distribuită tip sagging restricția principală este din criteriul rezistenței globale forță tăietoare verticală admisibilă, în condiția de sagging, $H_{wlimit}=2,197$ m (tabelul 7.1.g, figurile 7.3.a - d).
- Pe baza modelului structural 3D-FEM (figura 7.4.) extins într-un bord, complet pe lungimea docului plutitor, (subcapitolul 7.2), supus la solicitări din valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire - urmărire, cu modelul teoretic din subcapitolul 2.2, se evaluează criteriile de rezistență locală și globală (tabelul 4.9.), pentru cele cinci cazuri de operare. Din analiza rezultatelor criteriilor de rezistență pe modelele 3D-FEM, la valuri cvasi - statice de întâlnire - urmărire, rezultă următoarele concluzii: în cazul fără masă andocată și balastat pentru pescajul de referință $T=6,2$ m (subcapitolul 7.2.1, tabelul 7.3., figurile 7.5-9), restricția principală este din criteriul deformației verticale admisibile, astfel încât $H_{limit}=3,867$ m; în cazul tranziției navei andocate de 19747 t, cu balastare asistată pentru pescajul de referință $T=6,2$ m (subcapitolul 7.2.2, tabelele 7.4. - 5., figurile 7.11-15), în condiția de apă calmă nu sunt restricții, iar cu nava de 19747 t complet andocată restricțiile sunt impuse de criteriul deformației verticale admisibile, val sagging, $H_{wlimit}=3,851$ m; în cazul cu andocare la capacitatea maximă de 27000 t (subcapitolul 7.2.3) restricțiile sunt pentru masa distribuită uniform (tabelul 7.6., figurile 7.18.-19.) din criteriul tensiunilor admisibile, val sagging, $H_{limit}=2,173$ m, pentru masa distribuită tip hogging (tabelul 7.7., figurile 7.20-21.) din criteriul deformațiilor verticale admisibile, val sagging, $H_{limit}=3,048$ m, și pentru masa distribuită tip sagging (tabelul 7.8., figurile 7.22-23) din criteriul tensiunilor admisibile, val sagging, $H_{limit}=1,008$ m.
- Pe baza modelului hidrodinamic (subcapitolul 8.1), cu modelul teoretic din subcapitolul 2.4, se realizează evaluarea siguranței operațiunii de relocare a docului plutitor de mari dimensiuni Dock_Vard_Tulcea, pentru trei pescaje de balastare ($T=5,2; 6,2; 7,2$ m) și șase valori pentru poziția centrului de greutate ($z_G=6 - 16$ m), pe rute fluviale și costiere, în valuri aleatoare, pe baza criteriilor limită la seakeeping (tabelul 2.3, tabelul 8.3.) aplicate răspunsului dinamic la oscilațiile verticale, tangaj și ruluu. Din analiza curbelor de rezistență la înaintare ale convoiului remorcher - doc plutitor, pentru cele trei pescaje de balastare la relocare (figura 8.1), rezultă că viteza maximă de remorcare este de 12 km/h. Din analiza răspunsului dinamic în valuri aleatoare pentru pescajul de balastare $T=7,2$ m (tabelul 8.4, tabelul 8.7, figurile 8.2-4.a, 8.5.a.-b.) rezultă următoarele: variația poziției verticale a centrului de greutate a docului are o influență medie asupra amplitudinii oscilațiilor la valul travers, mică sau chiar neglijabilă pentru restul unghiurilor de întâlnire doc - val; influența vitezei de remorcare asupra restricțiilor de navigație este medie și se înregistrează pentru $\mu=30-150^0$ ($210-330^0$), în principal din criteriul limită la oscilațiile verticale combinate, cu valorile limită alte înălțimii semnificative a valurilor

(H_{slimit}) și intensității Beaufort (B_{limit}): 3,622 – 3,872m (6,54 - 6,76) la $v=0$ km/h; 3,621 - 3,869 m (6,54 - 6,76) la $v=6$ km/h; 3,620 - 3.865 m (6,54 - 6,76) la $v=12$ km/h. Din analiza răspunsului dinamic în valuri aleatoare pentru pescajul de balastare $T=6,2$ m (tabelul 8.5, tabelul 8.8, figurile 8.2.-4.b) rezultă următoarele: influența poziției verticale a centrului de greutate a docului asupra amplitudinii oscilațiilor este medie la valuri traverse și oblice, respectiv neglijabilă la valuri de întâlnire - urmărire; se înregistrează o influență medie a vitezei de remorcare pe restricțiile de navigație pentru $\mu=60-120^{\circ}$ ($240 - 300^{\circ}$), din criteriul limită la oscilațiile verticale, cu valorile limită alte înălțimii semnificative a valurilor (H_{slimit}) și intensității Beaufort (B_{limit}): 4,219 – 4,529 m (7,05 - 7,27) la $v=0$ km/h; 4,215 - 4,486 m (7,05 - 7,24) la $v=6$ km/h; 4,204 - 4,434 m (7,04 - 7,20) la $v=12$ km/h. Din analiza răspunsului dinamic în valuri aleatoare pentru pescajul de balastare $T=5,2$ m (tabelul 8.6, tabelul 8.9, figurile 8.2-4.c.) rezultă următoarele: o influență semnificativă a poziției verticale a centrului de greutate a docului asupra amplitudinii oscilațiilor pentru valurile traverse; se înregistrează o influență medie a vitezei de remorcare pe restricțiile de navigație pentru $\mu=75 - 105^{\circ}$ ($255 - 285^{\circ}$), din criteriul limită la oscilațiile de ruluu, cu valorile limită alte înălțimii semnificative a valurilor (H_{slimit}) și intensității Beaufort (B_{limit}): 2,733 – 4,942m (5,65 - 7,55) la $v=0$ km/h; 2,723 - 4,492 m (5,64 - 7,55) la $v=6$ km/h; 2,713 - 4,492 m (5,63 - 7,55) la $v=12$ km/h.

- Am analizat pentru docul plutitor Dock_Vard_Tulcea criteriile generale și meteorologice de stabilitate transversală intactă [2], [16], [17] (subcapitolul 8.2), cu modelul teoretic din subcapitolul 2.1.5, pentru trei pescaje de andocare $T=5,2$ m, 6,2 m, 7,2 m și poziția verticală a centrului de greutate a docului $z_G=6-16$ m. Pentru toate cazurile analizate criteriile generale de stabilitate nu impun restricții. Criteriul de stabilitate dinamic (meteorologic) impune restricții în toate cazurile de andocare analizate pentru poziția verticală a centrului de greutate a docului $z_G \geq 14$ m, când acesta poate fi operat doar în apă calmă (tabelele 8.10-12).
- Pe baza analizei multicriteriale combinată a docului plutitor de mari dimensiuni Dock_Vard_Tulcea, considerând ca referință pescajul $T=6,2$ m, asigurat prin balastarea asistată a docului în toate cazurile, rezultă următoarele condiții extreme de operare:
 - În cazul fără masă de andocare, docul plutitor poate fi operat staționar în acvatorii neprotejate IN(2.0) și RE(40%) ($H_{limit}=3,867$ m) și protejate SW ($H_{limit}=0$), respectiv poate fi relocat pe rute interioare fluviale cu clasa de navigație IN(2.0) și costier cu clasa medie RE(40%), C(3.8), ($H_{limit}=3,867$ m), având viteza maximă de remorcare de 12 km/h. Nu necesită aprobare specială pentru navigația pe zona costieră a Mării Negre.
 - În cazul de andocare a navei de 19747 t în condiții de apă calmă nu rezultă restricții. Operarea docului în valuri având ambarcată masa de 19747 t se poate realiza fără restricții în zona fluvială IN(2.0) și costier pentru clasa RE(40%), C(3.8), ($H_{limit}=3,851$ m), putând fi relocat în această condiție.
 - În cazul de andocare la capacitatea maximă de 27000 t cu masa distribuită uniform, docul plutitor poate fi operat fără restricții în zona fluvială IN(2,0) și costier cu restricții la clasa RE(20%), ($H_{limit}=2,173$ m), fiind permisă relocarea docului doar cu aprobare specială.
 - În cazul de andocare la capacitatea maximă de 27000 t cu masa distribuită tip hogging, docul plutitor poate fi operat fără restricții în zona fluvială IN(2.0) și costier cu restricții la clasa RE(30%), C(3.0), ($H_{limit}=3,048$ m), fiind permisă relocarea docului.
 - În cazul de andocare la capacitatea maximă de 27000 t cu masa distribuită tip sagging, docul plutitor poate fi operat cu restricții în zona fluvială IN(1.0) și poate fi operat în zona costieră doar cu aprobare specială. Se recomandă relocarea docului doar în cazul rutelor interne fluviale, dar și în acest caz cu restricția IN(1.0).
 - Pentru toate cazurile de operare poziția verticală a centrului de greutate a docului plutitor trebuie să fie $z_{Gs} \leq 14$ m, pentru a îndeplini criteriul de stabilitate dinamică (meteorologic).

5. Analiza capabilităților de navigație a remorcherului fluvial - maritim de 4000 CP [77], [79] (tabelul 9.1, figura 9.2), folosit la relocarea celor trei tipuri de docuri plutitoare incluse în studiu, pe baza modelului hidrodinamic (capitolul 9), cu formularea teoretică din subcapitolul 2.4., pe rute fluviale și costiere, în valuri aleatoare, cu criteriile limită la seakeeping pentru

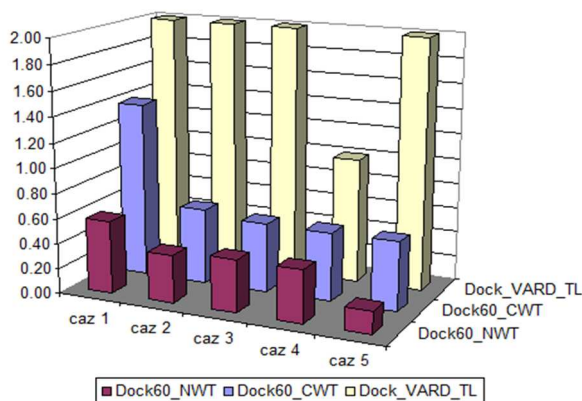
oscilațiile verticale, tangaj și ruluu, (tabelul 2.3), conduce la restricții pentru toate unghiurile de întâlnire remorcher - val din criteriile limită pe oscilațiile verticale combinate și de tangaj, fiind mai semnificative la valurile de întâlnire, oblice prova și traverse. Considerând toata gama de viteze de remorcare ($v_{max}=18$ km/h), a celor trei docuri plutitoare, conform curbelor de rezistență la înaintare (figurile 6.1, 8.1), restricțiile de navigație se accentuează odată cu creșterea vitezei și rezultă următoarele valori limită ale înălțimii semnificative a valurilor (H_{slimit}) și intensității Beaufort (B_{limit}): 3,789 m (6,69) la $v=0$ km/h; 3,791 m (6,69) la $v=5$ km/h; 3,790 m (6,69) la $v=6$ km/h; 3,675 m (6,59) la $v=10$ km/h; 3,159 m (6,13) la $v=12$ km/h, 2,752 m (5,68) la $v=15$ km/h; 2,521m (5,39) la $v=18$ km/h. Din analiza comparativă a limitelor de operare la relocarea docurilor plutitoare și remorcher, rezultă următoarele concluzii:

- Docurile de dimensiuni mici Dock60_CWT și Dock60_NWT, în cazul fără masă andocată, pot fi relocate pe rute fluviale IN(0.6) sau IN(1.4), până la viteza maximă de 18 km/h, fără nici o restricție suplimentară impusă de operarea remorcherului (IN(2.0)).
- Docul de mari dimensiuni Dock_Vard_Tulcea poate fi relocat pe rute fluviale IN(1.0) sau IN(2.0), în toate cazurile de andocare, până la viteza maximă de 12 km/h, fără nici o restricție suplimentară impusă de operarea remorcherului (IN(2.0)). De asemenea, în cazurile de relocare pe rutele costiere, fără masă andocată sau la andocarea navei de 19747 t operarea convoiului remorcher - doc plutitor se poate face pentru $v_{max}=10$ km/h restricționat la clasa RE(40%), C(3.6)-C(3.8), iar pentru $v_{max}=12$ km/h restricționat la clasa RE(30%), C(3.0). În cazul cu masă andocată la capacitatea maximă de 27000 t, cu distribuție tip hogging, operarea convoiului se poate face până la viteza maximă de 12 km/h la clasa de navigație medie RE(30%), C(3.0). În cazurile de andocare la capacitatea maximă de 27000 t, cu distribuție uniformă sau tip sagging, deși remorcherul permite asigurarea vitezei maxime de tractare de 12 km/h, această operație este limitată din criteriile de rezistență structurală locală și globală a docului plutitor ($H_{limită}=1,008-2,713$ m), relocarea fiind posibilă numai cu aprobare specială din partea autorităților de navigație și în condiții meteorologice favorabile.

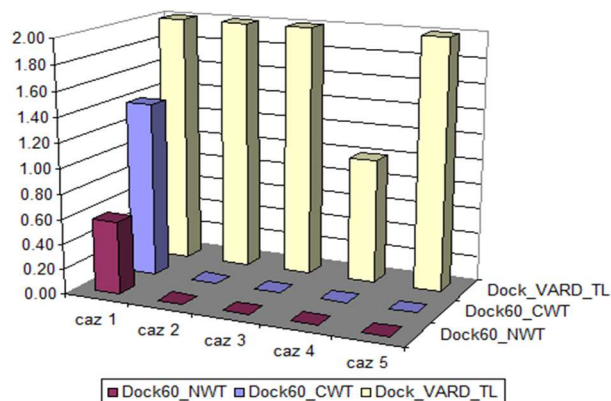
Tabelul 10.1. Sinteza analizei condițiilor de operare a docurilor plutitoare la solicitări extreme

Caz andocare	Condiții operare	Dock60_CWT ^a (828 t)	Dock60_NWT ^a (828 t)	Dock_Vard_Tulcea ^b (27000 t)
(1) fără masă de andocare	Port	neprotejat IN(1.4) și protejat SW	neprotejat IN(0.6) și protejat SW	neprotejat IN(2.0), C(3.8) și protejat SW
	Relocare fluvial	IN(1.4) - 10km/h IN(0.6) - 18km/h	IN(0.6) - 18km/h	IN(2.0) - 12 km/h
	Relocare costier	doar cu aprobare specială (10km/h)	nu	C(3.6) - 10 km/h C(3.0) - 12 km/h
(2) ^a balastat maxim	Port	neprotejat IN(0.6) și protejat SW	protejat SW	neprotejat IN(2.0), C(3.8) și protejat SW
(2) ^b andocare OSV cu masa 19747t	Relocare fluvial	nu	nu	IN(2.0) - 12 km/h
	Relocare costier	nu	nu	C(3.6) - 10 km/h C(3.0) - 12 km/h
(3) capacitate maximă, cu masă uniformă	Port	neprotejat IN(0.6) și protejat SW	protejat SW	neprotejat IN(2.0) și protejat SW
	Relocare fluvial	nu	nu	IN(2.0) - 12 km/h
	Relocare costier	nu	nu	doar cu aprobare specială (12 km/h)
(4) capacitate maximă, cu masă tip sagging	Port	neprotejat IN(0.6) și protejat SW	protejat SW	neprotejat IN(1.0) și protejat SW
	Relocare fluvial	nu	nu	IN(1.0) - 12km/h
	Relocare costier	nu	nu	doar cu aprobare specială (12 km/h)
(5) capacitate maximă, cu masă tip hogging	Port	neprotejat IN(0.6) și protejat SW	protejat SW	neprotejat IN(2.0), C(3.0) și protejat SW
	Relocare fluvial	nu	nu	IN(2.0) - 12 km/h
	Relocare costier	nu	nu	C(3.0) - 12 km/h

Operare docuri plutitoare în șantiere navale / porturi



Relocare docuri plutitoare pe rute fluviale



Relocare docuri plutitoare pe rute costiere

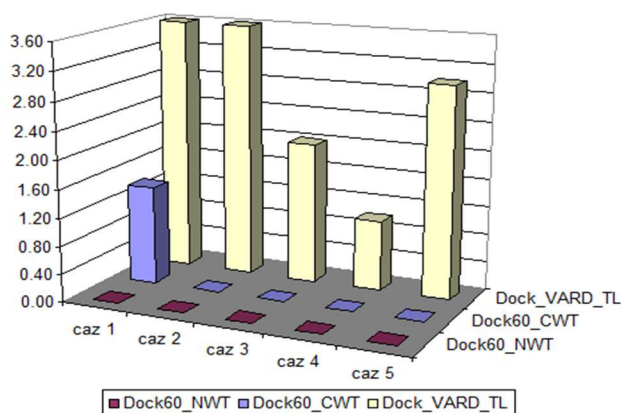


Figura 10.1. Limitele de operare a celor trei docuri plutitoare supuse la solicitări extreme

6. Pe baza metodologiei integrate de analiză multicriterială a capacității de operare a celor trei docuri plutitoare la solicitări extreme, dezvoltată în cadrul tezei, cu rezultatele în sinteză prezentate în tabelul 10.1. (figura 10.1.), rezultă următoarele concluzii:

- Din analiza comparativă a docurilor de mici dimensiuni, cu tancuri de balast laterale superioare continue Dock60_CWT și discontinue Dock60_NWT (capitolele 5, 6), rezultă că cele mai multe restricții de operare se înregistrează în cazul celei de a doua variante constructive (NWT), fiind cauzate de criteriile de rezistență structurală locală și globală.
- Docurile plutitoare cu tancuri de balast laterale discontinue (NWT) au masa proprie a corpului de oțel mai redusă față de varianta cu tancuri de balast laterale continue (CWT) (subcapitolul 4.1.) și în plus se pretează la reconversia unor barje existente în docuri plutitoare, cu costuri mai reduse decât pentru o construcție complet nouă (subcapitolul 4.2.).
- În cazul unor docuri de mari dimensiuni Dock_Vard_Tulcea, cu structura întărită și bord liber semnificativ, se asigură condiții de operare mai puțin restrictive pentru varianta constructivă cu tancuri de balast laterale superioare discontinue (capitolele 7, 8).

10.2. Contribuții personale

În cadrul acestei tezei am elaborat următoarele contribuții personale:

1. Pe baza literaturii de specialitate am realizat documentarea privind stadiul actual a tehnicilor de andocare a navelor în șantierul naval, precum și variantele constructive aplicate la dezvoltarea docurilor plutitoare (capitolul 1).

2. Am realizat o sinteză a modelelor teoretice ce stau la baza metodelor de analiză a capacității de operare a docurilor plutitoare la solicitări din valuri cvasi - statice și dinamice aleatoare, definirea criteriilor limită de siguranță, (capitolul 2), fiind incluse următoarele:

- Metode pentru analiza preliminară a docurilor plutitoare pe baza modelelor de grindă echivalentă 1D, la solicitări în apă calmă și valuri cvasi - statice de întâlnire - urmărire, (subcapitolul 2.1), pentru evaluarea criteriilor de bord liber minim, rezistență globală momentele încovoietoare și forțe tăietoare verticale admisibile, stabilitate transversală intactă (generală și dinamică);
- Metode pentru analiza structurală a docurilor plutitoare pe baza modelelor 3D-FEM complet extinse pe lungimea docului, într-un bord, la solicitări în apă calmă și valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire - urmărire, (subcapitolul 2.2), pentru evaluarea criteriilor de rezistență locală și globală, tensiuni admisibile față de limita de curgere a materialului, stabilitate structurală și deformații verticale admisibile;
- Metode pentru analiza structurală a docurilor plutitoare pe baza modelelor de grindă echivalentă 1D și 3D-FEM, complet extinse pe lungimea și lățimea docului, la solicitări din valuri echivalente cvasi - statice oblice, (subcapitolul 2.3), pentru evaluarea criteriilor de rezistență locală și globală formulate în termenii: momente încovoietoare și forțe tăietoare, verticale și orizontale admisibile, momente de torsiune admisibile, tensiuni admisibile față de limita de curgere a materialului, stabilitate structurală (buckling) și deformații admisibile;
- Metode pentru analiza comportării dinamice a docurilor plutitoare în valuri aleatoare, la oscilațiile verticale, tangaj și ruluu, liniare, cu determinarea răspunsului statistic pe termen scurt în condiții de navigație pe rute fluviale și costiere, funcție de viteza de remorcare a docului, (subcapitolul 2.4), pentru evaluarea criteriilor de navigație (seakeeping) formulate în termenii valorilor statistice amplitudinile cele mai probabile ale mișcărilor și accelerațiilor pe componentele semnificative la oscilațiile docurilor plutitoare.

3. Pe baza modelele teoretice din subcapitolul 2.1 am realizat pachetul de programe FDOCK cu schema logică din figura 2.1, ce include următoarele module:

- Modulul program D_CDB (anexa 1), dezvoltat pentru calculul curbelor hidrostatice ale docurilor plutitoare (cu înveliș exterior și interior între tancurile de balast laterale), curbele de carene drepte și Bonjean (subcapitolul 2.1.2);
- Modulul program D_AC (anexa 2), dezvoltat pentru calculul preliminar a poziției de echilibru în apă calmă a docurilor plutitoare (cu înveliș exterior și interior între tancurile laterale de balast), pe baza unei proceduri iterative neliniare pentru condițiile de flotabilitate și asietă longitudinală (subcapitolul 2.1.3).
- Modulul program D_ACAVD (anexa 3), dezvoltat pentru echilibrarea docurilor plutitoare (cu înveliș exterior și interior între tancurile laterale) în valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire - urmărire, calculul momentelor încovoietoare VBM și a forțelor tăietoare VSF verticale, folosind o procedură iterativă neliniară cu doi parametri (subcapitolul 2.1.4);
- Modulul program D_LDF (anexa 4), dezvoltat pentru calculul diagramei de stabilitate transversală cu includerea influenței suprafeței libere a tancurilor de la bord (parțial umplute) și a asietei longitudinale a docului, folosind o procedură iterativă neliniară la unghiuri mari de înclinare transversală, pentru docurile plutitoare (cu înveliș exterior și interior între tancurile laterale de balast) (subcapitolul 2.1.5);
- Modulul program D_DRSU (anexa 5), dezvoltat pentru procesarea datelor înregistrate la pescajele docurilor plutitoare (cu dublu înveliș), la natură, ținând cont de asietă longitudinală și de deformația verticală a docului (subcapitolul 2.1.1).

4. Pentru transpunerea distribuției de mase din modelele structurale 3D-FEM în modelele de grindă echivalentă 1D, folosite la determinarea parametrilor de echilibrare a docului plutitor în valuri echivalente cvasi - statice (subcapitolele 2.2, 2.3), am dezvoltat următoarele coduri direct implementate în programul Femap/NX Nastran [42]: modulul *mass_prop_edit.bas* (anexa 6) pentru editare a maselor, modul *totalmass_to_data_table.bas* (anexa 7) pentru citirea maselor, fișierul de macro-comenzi *group_selection.prg* (anexa 8) pentru generarea grupelor de mase pentru modelele 3D-FEM, fișierul de macro-comenzi *mass_selection.prg* (anexa 9) pentru extragerea maselor din grupele de mase pentru modelele 3D-FEM. De

asemenea am implementat funcții tip utilizator în programul Femap/NX Nastran [42] pentru aplicarea presiunilor din valuri cvasi - statice pe dublul înveliș exterior al docurilor plutitoare, modele 3D-FEM, cu expresiile (2.9.), (2.14).

5. Pe baza unui model experimental la scara 1:16 a unei nave de cercetare fluvial - maritime, cu forme pline, asemănătoare docurilor plutitoare rezultate din conversia barjelor, în cadrul bazinului de carene la Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, Facultatea de Arhitectură Navală, am validat programul de analiză liniară la oscilațiile verticale, tangaj și ruluu, modulul funcțiilor operator amplitudine răspuns în valuri regulate (capitolul 3, subcapitolul 2.4), din programul DYN(OSC) [45]. Programul analizelor experimentale și numerice include un set de 8 valuri regulate, având frecvența în gama $f=0,427 - 1,008$ Hz, ce sunt obținute cu generatorul de val din cadrul bazinului, cu condițiile model - val de întâlnire ($\mu=180^\circ$), urmărire ($\mu=0^\circ$) și travers ($\mu=90^\circ$), cu vitezele modelului de 0 și 1,28 m/s (tabelul 3.2). Analiza comparativă a rezultatelor experimentale și numerice permite evidențierea sensibilității modelului numeric folosit pentru obținerea răspunsului dinamic în valuri a docurilor plutitoare.

6. Pentru studiul comparativ al docurilor plutitoare cu tancuri laterale superioare continue (CWT) și discontinue (NWT), am dezvoltat modelul numeric pentru două docuri de mici dimensiuni (Dock60), având lungimea de 60 m și capacitatea maximă de andocare de 828 t (subcapitolul 4.1). Cele două docuri au dublă simetrie la planul diametral și la cuplul maestru. Dimensionarea structurală a celor două docuri plutitoare este realizată cu programul Poseidon [39], conform normelor constructive ale docurilor DNV-GL [1]. Pentru studiu am considerat 5 cazuri de încărcare, fără masă andocată, balastat maxim, cu masă andocată la capacitatea maximă de 828 t, având distribuțiile uniforme, tip sagging și hogging, precum și două scheme pentru amplasarea blocurilor de chilă (scurte și lungi). Pentru cele două docuri plutitoare am dezvoltat modelele numerice de grindă echivalentă 1D, cu 300 de elemente tip grindă elastică Timoshenko și 301 de noduri, precum și modelele 3D-FEM, cu 472830 (237928) sau 378210 (162065) de elemente finite de placă groasă (Mindlin) și membrană, inclusiv și elemente de masă concentrate, cu 398995 (201153) sau 320771 (190618) de noduri, în funcție de extinderea modelului 3D-FEM, în ambele borduri sau într-un bord, cu tancuri de balast laterale superioare continue sau discontinue, având gradul de discretizare mediu de 200 mm, corespunzător unei analize structurale locale și globale (subcapitolul 4.1).

7. Pentru cele două docuri plutitoare, Dock60_CWT și Dock60_NWT, am realizat în primă fază analiza structurală preliminară, pe baza modelelor de grindă echivalentă 1D, supuse la solicitări din valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire - urmărire, cu înălțimea de $h_w=0 - 2,568$ m (pasul 0,1 - 0,25 m), condițiile de apă calmă, sagging și hogging (gol și creastă de val) (subcapitolul 5.1). În a doua etapă, tot pe baza modelului de grindă echivalentă 1D, se consideră solicitările din valurile echivalente cvasi - statice oblice ($\mu=0 - 90^\circ$, pas 15° , ținând cont de simetria corpurilor), cu înălțimea maximă de 2,568 m (subcapitolul 5.2). Pe baza analizelor cu modele 1D, am evaluat criteriile de bord liber minim, rezistență generală eforturi secționale admisibile, momentul încovoietor ultim, deformații admisibile, ce au condus la necesitatea întăririi structurii inițiale. De asemenea, am determinat parametrii de echilibrare ai sistemului docuri plutitoare mici – valuri echivalente cvasi - statice de întâlnire - urmărire, oblice și apă calmă, folosiți la aplicarea presiunilor exterioare din valurile cvasi - statice pe dublul înveliș al docurilor plutitoare, pentru modele 3D-FEM. Pentru a asigura corespondența între modelele 1D și 3D structurale, folosind procedurile proprii (anexele 6-9) am importat în modelul 1D digrama de mase din modelul 3D-FEM, iar formele interioare și exterioare în cele două modele structurale au la bază același model 3D-CAD. Pe baza analizei structurale a celor două docuri plutitoare de mici dimensiuni pe modele 3D-FEM (subcapitolul 5.3), cu aceleași caracteristici ale valurilor cvasi - statice ca și în cazul modelelor 1D, au fost puse în evidență zonele cu concentratori de tensiune, respectiv docurile au fost evaluate pe baza criteriilor de rezistență locală și globală, tensiuni echivalente von Mises admisibile față de limita de curgere a materialului și stabilitatea structurală. Analizele structurale comparative a celor două docuri plutitoare, pe modele 1D și

3D, le-am realizat folosind codurile program și modelele teoretice prezentate în subcapitolele 2.1.3, 2.1.4, 2.2, 2.3.1, 2.3.2 (schemele logice din figurile 2.2. și 2.5.).

8. Pentru studiul comparativ la operațiunea de relocare a celor două docuri plutitoare de mici dimensiuni, Dock60_CWT, Dock60_NWT (subcapitolul 4.1), în cazul fără masă ambarcată la bord, din punct de vedere al criteriilor la seakeeping (navigație), am realizat analiza la oscilații a docurilor în valuri aleatoare (subcapitolul 6), folosind programul DYN (OSC) [45], validat experimental la bazinul de carene (capitolul 3), cu un modelul teoretic hidrodinamic liniar și formulare statistică pe termen scurt (subcapitolul 2.4, schema logică din figura 2.9.). Răspunsul dinamic include principalele componente la oscilațiile docurilor plutitoare, vertical, tangaj, ruliu, și am considerat gama completă a unghiurilor de întâlnire doc - val aleator $\mu=0 - 180^{\circ}(360^{\circ})$, pas 5° , funcția densitatea a spectrului de putere de ordinul tip ITTC [58], [59] pentru valurile aleatoare cu înălțimea semnificativă maximă $H_s=2,568$ m, pas 0,05 m, și cu gama de viteze 0, 5, 10, 15, 18 km/h, unde viteza maximă rezultă din analiza curbelor rezistenței la înaintare a convoiului remorcher - doc de mici dimensiuni (figura 6.1). Rezultatele acestei analize comparative pentru cele două docuri de mici dimensiuni au permis evidențierea restricțiilor de navigație în condiții extreme la relocarea docurilor pe rute fluviale și costiere din zona sectorului românesc al Mării Negre. De asemenea, folosind modulul D_LDF (anexa 4, subcapitolul 2.1.5), am evaluat pentru ambele docuri de mici dimensiuni criteriile de stabilitate transversală generale și dinamică (meteorologice), funcție de cazurile de încărcare și poziția pe verticală a centrului de greutate a masei andocate în raport cu puntea pontonului docului plutitor (0,5 - 8,5 m).

9. Pe baza datelor tehnice puse la dispoziție de către Șantierul Naval VARD din Tulcea am dezvoltat modelul unui doc plutitor de mari dimensiuni, cu lungimea de 209,2m și capacitatea de maximă andocare de 27000 t, Dock_VARD_Tulcea [9] (subcapitolul 4.2), pentru a studia ce capacități de operare la solicitări extreme sunt asigurate în cazul docurilor realizate prin reconversia unor barje existente, în varianta cea mai avantajoasă economic de adăugarea a unor tancuri de balast suplimentare discontinue pe punte (NWT) și extinderea lățimii pontonului cu alte tancuri de balast în ambele borduri. Pentru analiza structurală a docului de mari dimensiuni și tancuri de balast superioare discontinue (capitolul 7), am dezvoltat două modele numerice, unul de grindă echivalentă 1D, cu 280 de elemente tip grindă elastică Timoshenko și 281 de noduri, precum și un model 3D-FEM, cu 1353139 de elemente finite de placă groasă (Mindlin) și membrană, plus elemente de masă concentrate, cu 1834221 de noduri, având gradul de discretizare mediu de 187,5 mm, corespunzător unei analize structurale locale și globale. Docul este analizat în 5 cazuri de andocare, fără masă andocată, cu navă andocată de 19747 t, unde s-au considerat și cele 7 etape intermediare de transfer de pe cheu pe puntea docului, cu masă andocată la capacitatea maximă de 27000 t, având distribuțiile uniforme, tip sagging și hogging, fiind asigurat în toate cazurile același pescaj de referință de $T=6,2$ m printr-o balastare asistată. Analiza structurală în valuri cvasi - statice de întâlnire - urmărire, în condițiile de sagging - hogging (creastă și gol de val) și apă calmă, ce conduc la solicitările extreme a docurilor conform rezultatelor din capitolul 5, este realizată pentru înălțimea de $hw=0 - 4,492$ m (pasul 0,50 m), folosind codurile program și modelele teoretice prezentate în subcapitolele 2.1.3, 2.1.4, 2.2, 2.3.1, 2.3.2 (schemele logice din figurile 2.2. și 2.5). Pe baza modelului de grindă echivalentă 1D (subcapitolul 7.1), cu distribuția de mase și formele dublului înveliș importate din modelul 3D-FEM, se evaluează criteriile preliminare de bord liber minim și de rezistență generală, momentul încovoietor și forța tăietoare verticală admisibilă, momentul încovoietor ultim, deformații admisibile, și se obțin parametrii de echilibrare doc plutitor de mari dimensiuni – val echivalent cvasi - static de întâlnire - urmărire. Pe baza analizei structurale a docului plutitor de mari dimensiuni cu model 3D-FEM complet extins pe lungime, într-un bord, (subcapitolul 7.2), sunt puse în evidență zonele cu concentratori de tensiune, care sunt cazurile de operare cu solicitări extreme, respectiv docul este evaluat pe baza criteriilor de rezistență locală și globală, tensiuni echivalente von Mises admisibile față de limita de curgere a materialului și stabilitate structurală.

10. Pentru analiza comportării dinamice în valuri aleatoare a docului plutitor de mari dimensiuni Dock_VARD_Tulcea [9] (capitolul 8), la operațiunea de relocare, ce se realizează în mod curent fără masă andocată, dar în condiții speciale și pentru cele 4 cazuri de andocare studiate, cu evaluarea criteriilor la seakeeping (navigație), am folosit programul

DYN (OSC) [45], cu modelul teoretic din subcapitolul 2.4 (schema logică din figura 2.9.). Analiza la oscilațiile verticale, tangaj și ruluu, ale docului plutitor de mari dimensiuni este realizată pentru vitezele $v = 0, 6, 12$ km/h, conform curbelor de rezistență la înaintare a convoiului remorcher - doc (figura 8.1), pentru trei pescaje $T = 5,2; 6,2; 7,2$ m de balastare asistată (inclusiv pescajul de referință din capitolul 7), pentru șase valori ale poziției verticale a centrului de greutate a docului $z_G = 6 - 16$ m, unghiul de întâlnire doc - val $\mu=0 - 180^\circ$ (360°), pas 5° , valori aleatoare cu funcția densitate a spectrului de putere de tip ITTC [58], [59] și înălțimea semnificativă maximă $H_s=4,492$ m, pas $0,05$ m. Analiza a condus la obținerea restricțiilor de navigație în cazurile curente și speciale de relocare a docului plutitor de mari dimensiuni, pe ruta fluvială a Dunării ($H_s=0,6 - 2$ m) și costieră la Marea Neagră. Datorită creșterii bordului liber față de docurile mici (capitolul 6), docul de mari dimensiuni are restricții mai reduse din criteriile de seakeeping (navigație). Pe baza modulului D_LDF (anexa 4, subcapitolul 2.1.5) am evaluat pentru docul de mari dimensiuni criteriile de stabilitate transversală generale și dinamică (meteorologice), funcție de cazurile de andocare și poziția pe verticală a centrului de greutate a docului plutitor de mari dimensiuni.

11. Pentru realizarea operațiunilor de relocare a celor trei docuri plutitoare am considerat în studiu un remorcher fluvial - maritim de 4000 CP [77], capabil să asigure vitezele de remorcare maxime de 18 km/h pentru docurile mici (figura 6.1, Dock60_CWT/NWT) și 12 km/h (figura 8.1, Dock_Vard_Tulcea) pentru docul mare. Pentru a analiza cum interferează caracteristicile de navigație ale remorcherului cu cele ale docurilor plutitoare, am realizat analiza oscilațiilor remorcherului folosind programul DYN (OSC) [45], cu modelul teoretic din subcapitolul 2.4 (figura 2.9.), pentru toată gama de viteze $v = 0, 5, 6, 10, 12, 15, 18$ km/h, valori aleatoare cu spectrul ITTC [58], [59] și înălțimea semnificativă $H_s=0 - 5$ m, pas $0,05$ m, unghiul de întâlnire remorcher - val $\mu=0 - 180^\circ$ (360°), pas 5° . Am considerat că sistemul de legare al convoiului remorcher - docuri permite analiza dinamică independentă la oscilații a corpurilor plutitoare constituente. Restricțiile de navigație ale docului plutitor afectează performanțele convoiului doar în cazul docului de mari dimensiuni pe ruta costieră, în cazul fluvial restricțiile fiind generate doar de cele două docuri de mici dimensiuni.

12. Cercetările dezvoltate în cadrul tezei au permis dezvoltarea unei metodologii integrate proprii pentru analiza structurii docurilor plutitoare la solicitări extreme, cu realizarea unor instrumente cod program (anexele 1 - 9) și a modelelor numerice 1D și 3D pentru evaluarea criteriilor limită la operarea docurilor, cu diseminarea rezultatelor prin realizarea unui total de 14 de articole publicate în volumele conferințelor și revistelor de specialitate, naționale și internaționale, din care 4 sunt indexate WOS- Web of Science și Scopus, 2 indexate Scopus și în curs de indexare WOS, 1 în curs de indexare WOS - Scopus și 7 indexate BDI în alte baze de date internaționale.

10.3. Perspective de cercetare viitoare

Direcțiile viitoare pentru extinderea cercetării științifice din cadrul tezei vor include următoarele itemuri:

- extinderea studiilor docurilor plutitoare la solicitări extreme, pentru alte variante constructive, alte zone de operare cu sau fără masă andocată, pentru mai multe scenarii de andocare solicitate de către companiile din industria navală;
- dezvoltarea modelelor teoretice și optimizarea programelor de analiză structurală a docurilor plutitoare în valuri echivalente cvasi-stactice de întâlnire-urmărire și oblice;
- dezvoltarea modelelor teoretice hidrodinamice neliniare și a programelor pentru obținerea răspunsului dinamic al docurilor plutitoare la oscilații în valuri oblice;
- realizarea transferului tehnologic către companiile de proiectare și șantierelor navale a metodologiei integrate multicriteriale și a instrumentelor software dezvoltate în cadrul tezei pentru analiza docurilor plutitoare la solicitări extreme.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. D.N.V. 2017, *Rules and Classification of Floating Docks*, Det Norske Veritas, Hovik, Norway, <https://www.dnvgl.com/>
2. D.N.V. 2018, *Rules and Classification of Floating Docks*, Det Norske Veritas, Hovik, Norway, <https://www.dnvgl.com/>
3. R.I.N.A. 2010, *Rules for the Classification of Floating Docks*, <https://www.rina.org/en>
4. Burlacu E., *Raport de documentare "Studiul actual privind analiza structurală a docurilor plutitoare"*, Universitatea Dunărea de Jos din Galați, 2017, Galați.
5. Pintilie Alexandru – *Note de curs Tehnologia montării și probării instalațiilor navale* – anul universitar 2013-2014, Universitatea Ovidius din Constanța
6. Bidoaie I., Iosifescu C., Valsan E., *Tehnologia fabricării navei și montării mecanismelor*, Editura Didactică și Pedagogică, 1977, București
7. Harison B. Andrews, Archer M Nickerson, *Some Practical Aspects of ship launching*, paper presented before the October 1945 meeting of the New England Section of The Society of Naval Architects and Marine Engineers
8. Heger R. E., *Floating dry dock accidents involving transverse bending failure of the pontoon*, Royal Institution of Naval Architects, 2003, USA
9. Technical drawings of floating dock ATLANTE II, S.N. VARD Tulcea
10. ***, https://www.google.com/search?biw=1366&bih=635&tbm=isch&sxsr=ACYBGNTsNY0kiGIUCIMPHgi8QlvkseE0NQ%3A1567955709979&sa=1&ei=Rp1XZqzO6LgkgX605D4Bg&q=Placarea+celui+mai+mare+vapor+de+la+Santierul+Naval+Tulcea+la+Constanta+pentru+a+i+se+monta+pupa&oeq=Placarea+celui+mai+mare+vapor+de+la+Santierul+Naval+Tulcea+la+Constanta+pentru+a+i+se+monta+pupa&gs_l=img.3...180997.180997..181793...0.0..0.92.92.1....._0...2j1..gws-wiz-img.O2F1tgSVUjA&ved=0ahUKEwjapfeYwsHkAhUisKQKHfopBG8Q4dUDCAY&uact=5#imgrc=WbhHo33RdPkWMM
11. ATLANTE II – CONVERSION FESABILITY STUDY, S:N. VARD Tulcea, 2016
12. ***, https://www.vard.com/SiteCollectionImages/Locations/Images/Floating%20dock%20-%20Atlante%20II_5.jpg
13. ***, <https://www.facebook.com/photo.php?fbid=1428441637314771&set=pcb.1428441807314754&type=3&theater>
14. ***, <https://www.facebook.com/photo.php?fbid=1428441580648110&set=pcb.1428441807314754&type=3&theater>
15. ***, https://www.revocean.org/wp-content/uploads/2019/08/REV-24082019_11_web.jpg
16. Bidoaie R., Ionas O., *Arhitectura navei. Statica navei*, Editura Didactica si Pedagogica, 2004, Bucuresti.
17. Eyres D.J, *Ship construction*, Butterworth-Heinemann, 2007, Oxford, ISBN 13:9-78-0-75-06-8070-7, ISBN 10: 0-75-068070-9
18. ***, www.shipyards.gr
19. Manea E., Zăgan R., Manea M.-G., Militaru C., *Îmbunătățirea activităților de mentenanță și a performanțelor șantierelor navale, Vol. 1 - Managementul calității, aplicații pentru îmbunătățirea activităților de mentenanță și a performanțelor Șantierelor Navale*, Ed. Dobrogea, C-ța, 2018, ISBN 978-1006-565-138-8,
20. Volney E., *General discusion of floating drydocks*, presented at the Annual Meeting, New York, N.Y. November 14-15, 1957, of The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 289-306
21. ***, https://en.wikipedia.org/wiki/USS_ARD-1#/media/File:USSARD1undertowUSSBridgeAF1PanamaCanal28October1934.jpg
22. ***, https://www.cruiseindustrynews.com/images/stories/wire/2018/dec/IMG_7196c.jpg
23. ***, Norden Ship Design House – 180m Floating Dock <http://www.nordenshipdesign.com/icerik.php?id=79&ustid=23>

24. ***, Norden Ship Design House – 50m Floating Dock
<http://www.nordenshipdesign.com/icerik.php?id=81&ustid=23>
25. ***, <http://www.gz-salvage.com.cn/en/index.php?ac=article&at=read&did=355>
26. Hughes O.F., *Ship structural design. A rationally-based, computer-aided optimization approach*, SNAME, Wiley & Sons, 1995, New York., ISBN: 13 978-0939773473, ISBN 10: 0939773473
27. Domnișoru, L., Găvan, E., Popovici, O., *Analiza structurilor navale prin metoda elementului finit*, Editura Didactică și Pedagogică, 2005, București, ISBN 973-30-1075-8
28. Domnișoru Leonard, *Structural Analysis and hydroelasticity of ships*, The university foundation "Dunărea de Jos" Publishing House, 2006, Galați, ISBN(10): 973-627-338-5, ISBN(13): 978-973-627-338-4
29. Bertram, V., *Practical Ship Hydrodynamics*, Butterworth Heinemann, 2000, Oxford, ISBN: 13-978-0-08-097150-6
30. Domnișoru, L., *Dinamica navei. Oscilații și vibrații ale corpului navei*, Editura Tehnică 2001, București, ISBN 973-31-2026-X
31. Faltinsen, O. M., *Sea loads on ships and offshore structures*, Cambridge University Press, 1993, ISBN 0521 45870 6
32. Voitkunski, Y.I. *Ship theory handbook. Statics of ships. Ship motions. (Vol.2)* Sudostroenie, 1985, Sankt Petersburg
33. IACS, 2018, *Standard wave*, Recommendation no. 34., www.iacs.org.uk
34. ISSC 2018, *International Ships and Offshore Structures Congress. Environment. Loads. Quasi-static response. Ultimate strength. Dynamic response. Design principles and criteria*, Schiffbautechnische Gesellschaft, Hamburg, www.issc2018.org
35. **Burlacu, E.**, Pacuraru, F., Domnișoru, L., *On the Development of Design Software for Floating Dock Units Operating Capabilities Analysis*, Galați 8-9 Iunie 2017, Mechanical Testing and Diagnosis, Galati University Press, ISSN 2247-9635, Vol.1, Issue 7, pp. 5-17,
36. PLL 2017, *Users' guide. Pascal language programming*, Free Pascal IDE for Win32, Compiler Version 3.0.0, Open Source Software, www.freepascal.org
37. **Burlacu, E.**, Domnișoru, L., *On the Global Strength Analysis of Preliminary Design for Several Floating Dock Types*, Mechanical Testing and Diagnosis, Galați University Press, 2019, Vol.1, Issue 9, pp. 5-16, ISSN 2247-9635
38. ISO 2005, *Ship and marine technology. Ship structures. Requirements for their ultimate limit state assessment*, ISO/CD 18072-2, International Standard Organization, www.iso.org
39. D.N.V.-G.L. 2017, *Rules for classification. Ships. Inland navigation vessels. Floating docks. Poseidon Program*, Det Norske Veritas, Hovik, Germanischer Lloyd, Hamburg, <https://www.dnvgl.com/>
40. Burlacu E., *Raport științific nr. 2 „Analiza structurii unui doc plutitor în cazul solicitărilor extreme. Soluții pentru extinderea capacității de operare”*, Universitatea Dunărea de Jos din Galați, 2019, Galați.
41. **Burlacu, E.**, Domnișoru, L., *Strength Investigation of a Small Size Floating Dock Unit by 3D-FEM Models in Head Design Waves*, ModTech 6th International Conference Modern Technologies in Industrial Engineering, Maritime Engineering and Navigation, Romania, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 400, 2018, Issue 8, ISSN 1757-899X, ISSN: 1757-8981
42. FNN 2018, *Femap/NX Nastran user's guide*, Siemens PLM Software Inc., <http://www.plm.automation.siemens.com>
43. Burlacu E., *Raport științific nr. 1 „Metode de analiză structurală 3D-FEM pentru docurile plutitoare. Siguranța structurală în cazurile standard de operare”*, Universitatea Dunărea de Jos din Galați, 2018, Galați.
44. Domnișoru L., *Special shapers on ships structures analysis applications*, 2017, Editura Fundației Universitare Dunărea de Jos, ISBN 978-973-627-589-0
45. Domnișoru, L., Rubanenco, I., Mirciu, I., *Pachetul de programe DYN, softuri pentru analiza răspunsului corpului navei la oscilații și vibrații globale induse de valuri regulate și aleatoare*, Facultatea de Arhitectură Navală, Universitatea „Dunărea de Jos”, 2009-2019, Galați
46. Domnișoru, L. *Program SH_GECH pentru calculul caracteristicilor grinzii echivalente a corpului navei*, Facultatea de Arhitectură Navală, Universitatea „Dunărea de Jos”, 2017, Galați
47. Năstăsescu, V., *Metoda elementului finit*, Editura Academiei Tehnice Militară, 1995, București.
48. Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L., *The Finite Element Method.*, 2000, Butterworth Heinemann.
49. Bathe, K.J., *Finite Elemente Methoden*, Springer Verlag, Berlin, 1990
50. Hadăr, A., Marin, C., Petre, C., Voicu, A., *Metode numerice în inginerie*, Editura Politehnica Press, 2005, București, ISBN 973-8449-34-0

51. **Burlacu, E.**, Domnișoru, L., *On a Small Size Floating Dock Structural Analysis in Oblique Design Waves by 3D-FEM Approach*, ModTech 7th International Conference Modern Technologies in Industrial Engineering, Maritime Engineering and Navigation, Romania, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 591, 2019, Issue 1, ISSN 1757-899X, ISSN 2286-4369
52. Domnișoru, L., Modiga, A., Gasparotti, C., *Global Strength Assessment in Oblique Waves of a Large Gas Carrier Ship, Based on a Non-linear Iterative Method*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Section G. Maritime Engineering and Navigation, ModTech 2016 4th International Conference - Modern Technologies in Industrial Engineering, Vol. 145 / 8 - August 2016, IOP Publishing, Bristol, UK, 15-18 June, Iasi, ModTech Publishing House, Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" Iași, ISSN 1757-899X, doi:10.1088/1757-899X/145/8/082009
53. Domnișoru, L., *Metoda elementului finit în construcții navale*, Editura Tehnică București, 2001, București, ISBN 9733120235
54. Mansour, A, Lin, D. *Strength of ship and ocean structures*, The Society of Naval Architecture and Marine Engineering, 2008, New Jersey, ISBN 9781615836673 1615836675 9780939773664 093977366X
55. Obreja D., *Teoria navei. Concepte și metode pentru analiza performanțelor de navigație*, Editura Didactica și Pedagogică, 2005, București, ISBN 973-30-1401-X
56. Tupper E.C., *Introduction to the naval architecture*, Butterworth – Heinemann, 2002, Oxford, ISBN 0 7506 6554 8
57. D.N.V. 2012, *Modelling and analysis of marine operations, Recommended practice*, DNV-RP-H103. Hovik: Det Norske Veritas, www.dnv-gl.org
58. ITTC 2005, *Testing and Extrapolation Methods, Loads and Responses on Seakeeping Experiments*, Recommended Procedures and Guidelines 7.5-02-07-02.1, International Towing Tank Conference, <http://itcc.sname.org/>.
59. ITTC 2011, *Ship Models, Recommended Procedures and Guidelines 7.5-01.01.01*, International Towing Tank Conference, <http://itcc.sname.org/>.
60. **Burlacu, E.**, Domnișoru, L., *The Transit State Evaluation of a Large Floating Dock by Seakeeping Criteria*, MARTECH 2018, Progress in Maritime Engineering and Technology (Editors Carlos Guedes Soares & T.A.Santos), CRC Press / A.A. Balkema Publishers a member of Taylor & Francis Group London, 4th International Conference on Maritime Technology and Engineering, 2018, pp.611-620, ISBN 978-1-138-58539-3
61. Gasparotti C., *Creșterea siguranței navigației în bazinul Mării Negre, Teză de doctorat*, 2015, Editura Fundației Universitare Dunărea de Jos, ISBN 978-973-827-560-0
62. **Burlacu, E.**, Păcuraru F., Domnișoru, L., *On a River – Costal Tug Operation Safety Assessment in Irregular Waves*, ICTTE International Conference on Traffic and Transport Engineering, Inland Waterways Traffic and Transport Research, 2018, Belgrade, Serbia, pp.187-194, ISBN 978-86-916153-4-5
63. **Burlacu, E.**, Domnișoru, L., *Dynamic Response Investigation of a Small Size Floating Dock Unit in Irregular Oblique Waves*, ModTech 6th International Conference Modern Technologies in Industrial Engineering, Constanta, România, Maritime Engineering and Navigation, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 400, 2018, Issue 8, ISSN 1757-899X, ISSN: 1757-8981
64. Bertram, V., Veelo, B., Söding, H., Graf, K., *Development of a freely available strip method for Seakeeping*. Proc. 5th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries, May 2006, Leiden.
65. Solas, *International convention for the safety of life at sea. Safety of navigation*, IMO, 2017, www.imo.org
66. Price, W.G., Bishop, R.E.D. *Probabilistic theory of ship dynamics*. London: Chapman and Hall, 1974, ISBN 0412124300
67. Obreja, D., *Survey Vessel Caspica. Model Resistance Tests, Report No. 617*, Facultatea de Arhitectură Navală, Universitatea „Dunărea de Jos” și SDG Ship Design Group, 2013, Galați.
68. **Burlacu, E.**, Domnișoru, L., Obreja, D., *Seakeeping Prediction of a Survey Vessel Operating in the Caspian Sea*, OMAE The 37th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 2018, Madrid, Spain, ASME The American Society of Mechanical Engineers, Paper No. OMAE2018-77126, ISBN: 978-079185132-6, DOI: 10.1115/OMAE2018-77126
69. Cussons 2010, *Marine Research. Towing Tanks Modernization*, Cusson Marine Technology Ltd., Manchester, <http://www.cussons.co.uk>
70. Mocanu C.I., *Rezistența materialelor*, ediția a II-a, Editura Fundației Universitare Dunărea de Jos din Galați, 2005, Galați, ISBN 973-87793-2-4

- 71 Buzdugan G., *Rezistența Materialelor*, Ed. Academiei R.S.R., 1986, București
72. Rawson K.J., Tupper E.C., *Basic Ship Theory*, (Ed.V) Butterworth Heinemann, Oxford, 2001, ISBN 0-7506-5396-5, ISBN 0-7506-5397-3
- 73 **Burlacu, E.**, Domnișoru, L., *The Structural Evaluation of a Large Floating Dock in Head Design Waves by Strength Criteria*, ModTech 7th International Conference Modern Technologies in Industrial Engineering, Maritime Engineering and Navigation, Romania, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 591, 2019, Issue 1, ISSN 1757-899X, ISSN 2286-4369, *** , <https://www.facebook.com/VardTulceaSA/photos/a.677032898993908/1702018959828625/?type=3&theater>
74. *** , <https://www.facebook.com/VardTulceaSA/photos/a.677032898993908/1702018939828627/?type=3&theater>
75. *** , <https://www.facebook.com/VardTulceaSA/photos/a.677032898993908/1702018943161960/?type=3&theater>
76. *** , <https://www.facebook.com/VardTulceaSA/photos/a.677032898993908/1702018943161960/?type=3&theater>
77. Dragomir, D. *Compendiu de forme navale*. Editura Fundației Universitare Dunărea de Jos, 2014, Galați. ISBN 978-973-627-517-3
- 78 Biran A. B., *Ship hydrostatics and stability*, Butterworth-Heinemann, 2003, Oxford, ISBN 13: 978-0-08-098287-8
- 79 ANR 2006, *Album of ship types. Maritime tug 4000HP.*, Constanța, Romanian Naval Authority
80. DNV-GL 2018, *Rules for classification. Tugs and escort vessels*. Det Norske Veritas, Hovik. Available from internet: <https://rules.dnvgl.com>