



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE

OIPOSDRU



Universitatea Politehnica
din București

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Școala doctorală de Inginerie



TEZĂ DE DOCTORAT

Rezumat

**CERCETĂRI PRIVIND FENOMENUL DE COROZIUNE
A CORPULUI NAVEI ÎN VEDEREA EFICIENTIZĂRII
CHELTUIELILOR DE
ÎNTREȚINERE ȘI REPARAȚII**

**RESEARCH ON THE CORROSION PHENOMENON OF SHIP
HULL IN ORDER TO REDUCE THE COST OF MAINTENANCE
AND REPAIR**

Doctorand,

Mihaela COSTACHE

Conducător științific,

Prof univ.dr.ing. Costel Iulian MOCANU

Seria I 6: Inginerie mecanică Nr. 33

GALAȚI

2016



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE

OIPOS DRU



Universitatea Politehnică
din București

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Școala doctorală de Inginerie



TEZĂ DE DOCTORAT

Rezumat

**CERCETĂRI PRIVIND FENOMENUL DE COROZIUNE
A CORPULUI NAVEI ÎN VEDEREA EFICIENTIZĂRII
CHELTUIELILOR DE
ÎNTREȚINERE ȘI REPARAȚII**

**RESEARCH ON THE CORROSION PHENOMENON OF SHIP
HULL IN ORDER TO REDUCE THE COST OF MAINTENANCE
AND REPAIR**

Doctorand,

Mihaela COSTACHE

**Președinte
Conducător de doctorat
Referenți oficiali**

Prof univ.dr.ing. Leonard DOMNIȘORU
Prof univ.dr.ing. Costel Iulian MOCANU
Prof univ.dr.ing. Anton HADĂR
Prof univ.dr.ing. Gabriel JIGA
Prof univ.dr.ec. Adrian MICU

Seria I 6: Inginerie mecanică Nr. 33

GALAȚI

2016



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE

OIPOSDRU



Universitatea Politehnică
din București

Seriile tezelor de doctorat sustinute 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**

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**

Cuvinte cheie

- ✓ Coroziune
- ✓ Eficiență
- ✓ Cost
- ✓ Reparații
- ✓ Mentenanță
- ✓ Supply Offshore Vessel
- ✓ Nave de aprovizionare pentru platformele maritime de foraj
- ✓ Costuri de întreținere și reparații
- ✓ Corp navă
- ✓ Cerințe societăți de clasificare
- ✓ Evoluția coroziunii
- ✓ Analiza structurală
- ✓ "Cost Efficiency Program"

Introducere

1. Tematica generală și domeniile abordate

În contextul economic mondial actual, când construcția de nave noi a intrat într-un regres vizibil, se pune problema eficientizării costurilor de transport pe apa al mărfurilor. Aceste costuri, pe lângă cele operaționale, se referă și la costurile întreținerilor și reparațiilor curente. Armatorii se gândesc intens la prelungirea duratei de viață a navelor aflate în posesie. Astfel, pe lângă atenția dată în proiectarea navei, alegerea instalațiilor de bord și punte, o mare atenție se acordă fenomenului care provoacă cele mai mari uzuri la corpul navelor și anume **coroziunea**.

Subiectul ales pentru această cercetare este unul intens dezbătut încă de la apariția navelor cu structură metalică, dar totodată actual deoarece problema costurilor de reparații la corpul navei nu este complet elucidată. Astfel, există încă situații când, după o anumită perioadă de la începerea lucrărilor de reparații operațiunea se oprește, deoarece pe parcursul acesteia se constată costuri mult prea mari în comparație cu calculele inițiale. În aceste condiții armatorii sunt înclinați să aleagă să construiască o navă nouă, costurile fiind comparabile cu repararea unei nave uzate.

Erorile în estimarea costurilor au urmări nefaste în derularea lucrărilor executate, armatorii fortând șantierele navale unde se execută lucrările, să își desfășoare activitatea în pierdere. Astfel, pentru evitarea acestor neajunsuri este necesară cunoașterea deplină a gradului de uzură și a lucrărilor ce trebuie executate și apoi alcătuirea unui plan de reparații eficient și care să conducă la respectarea bugetelor.

O problemă, poate mai importantă decât costul lucrărilor de reparații, este cea a asigurării cerințelor societăților de clasificare din toate punctele de vedere: rezistența generală și locală, siguranță în navigație precum și asigurarea unui trai decent pentru echipaj la bordul navei. Satisfacerea primelor două cerințe se realizează prin calcule de structuri avându-se în vedere reducerile de grosimi de table și osaturi cauzate de coroziune. Pentru atingerea scopului lucrării a fost necesară stabilirea de obiective clare, bine definite care să conducă la rezolvarea problemei eficientizării costurilor de reparații.

2. Contextul și obiectivele cercetărilor efectuate

Pentru atingerea scopului principal, acela de a crește gradul de eficiență a cheltuielilor de mentenanță la nave și de a oferi informații prețioase și utile cu referire la natura factorilor determinanți, studiile vor fi concentrate pe atingerea următoarelor obiective majore:

- Investigarea și evaluarea datelor referitoare la factorii de influență în apariția și evoluția coroziunii;
- Studiul metodelor de calcul utilizate în determinarea ratei de evoluție a coroziunii;
- Prezentarea aspectelor teoretice ale analizei structurale prin metoda elementelor finite și aplicarea acesteia pe nava ce face obiectul studiului în această lucrare;
- Realizarea analizei structurale pe baza măsurătorilor centralizate, realizate de societățile de clasificare în decursul perioadei de utilizare, măsurători ce s-au realizat la fiecare 5 ani, iar scopul acesteia este de a evidenția grafic modul în care influențează coroziunea evoluția tensiunilor dar și zona în care tensiunile au cea mai ridicată valoare;
- Determinarea zonei unde tensiunile au valori apropiate de cele limită;
- Studiul influenței coroziunii asupra stărilor de tensiune și implicit asupra rezistenței navei;
- Determinarea costurilor efective generate de coroziune în cazul navei analizate din punct de vedere structural și evaluarea rezultatelor în vederea stabilirii costurilor cheie. Acestea sunt reprezentate de costurile variabile ce fluctuează în funcție de anumiți factori, această caracteristică oferind posibilitatea de reducere a costului final;

- Stabilirea procedurilor ce trebuie avute în vedere pentru analiza și identificarea variantei optime în ceea ce privește eficientizarea costurilor determinate de lucrările de reparație și mentenanță;

- Determinarea condițiilor în care eficiența este maximă, și sunt satisfăcute simultan criteriile urmărite de armatori și societățile de clasificare;

- Prelucrarea numerică a datelor experimentale - prin simularea combinării factorilor ce intră în componența costului total în vederea determinării variantei optime.

Se are în vedere atingerea eficienței maxime precum și îndeplinirea criteriilor urmărite de armatori și societățile de clasificare. Acest lucru se realizează prin intermediul programului informatic realizat în cadrul acestei teze, „*Cost Efficiency Program*”, program ce are rolul de a analiza și prelucra un volum mare de date, realizând evaluarea acestora pentru toate variantele de construcție, mentenanță și reparații.

3. Abordare și rezultate

Teza de doctorat este structurată în 7 capitole, după cum urmează:

Capitolul 1 prezintă noțiuni introductive, oferă motivarea alegerii temei de cercetare, importanța și semnificația subiectului. În continuare prezintă o descriere a stadiului actual al studiului influenței coroziunii asupra structurilor marine. Sunt prezentați factorii de influență în apariția și evoluția coroziunii în general și în special în domeniul naval și este analizată necesitatea și oportunitatea eficientizării costurilor de mentenanță și reparații ale corpului navei din perspectiva coroziunii. Eficientizarea costurilor de mentenanță și reparații ale corpului navei reprezintă baza cercetării din această lucrare.

Capitolul 2 prezintă o descriere a evoluției coroziunii din punct de vedere teoretic, privind metode de determinare teoretică a ratei de coroziune, caracteristici definitorii a modelelor de coroziune, modele de coroziune la corpul navei dar și abordări fundamentale privind modelele de coroziune la corpul navei

Capitolul 3 prezintă aspecte privind Metoda Elementelor Finite (MEF) în analiza structurală a navelor ca metodă principală de studiu și stabilirea stării de tensiune în cazul unei nave nou construite. De asemenea este realizată o analiză structurală asupra unei nave de aprovizionare pentru platformele maritime de foraj (offshore supply vessel OSV), navă ce constituie reperul întregului studiu. Această analiză se realizează pentru determinarea zonei de studiu a modificărilor asupra stării de tensiune provocate de coroziune. În cadrul acestui Capitol s-au abordat diverse scenarii de calcul care au determinat alegerea zonei periculoase și a modalităților de determinare a stării de tensiune pentru corpul navei.

Capitolul 4 evidențiază dezvoltarea stării de tensiune în timp, pe zona de interes determinată în Capitolul 3. În cadrul acestui capitol, având la bază studiile efectuate anterior, s-a realizat analiza structurală cu evidențierea efectelor coroziunii din perspectiva rezistenței generale și locale a corpului navei, pe zona selectată. Astfel încât, după o perioadă de 20 de ani de utilizare a navei, valoarea coeficientului de siguranță pentru criteriul de voalare depășește valoarea unitară, fiind necesară impunerea unor soluții constructive. În continuare este realizată verificarea și validarea soluțiilor constructive propuse a fi aplicate după o perioadă de utilizare de 20 de ani a navei, prin prisma evoluției tensiunilor înainte și după efectuarea reparațiilor.

Capitolul 5 descrie metodologiile actuale de control și eficientizare a costurilor de reparații și întreținere a navei prin prezentarea conceptului de eficiență și importanța eficientizării costurilor de reparații și întreținere a navei. Studiul comparativ al avantajelor și dezavantajelor utilizării celor

două procedee de eficientizare costurilor de reparații și întreținere, și anume optimizarea și simularea, au ca rezultat necesitatea combinării acestor două procedee pentru construirea unui software de eficientizare util armatorilor.

Capitolul 6 prezintă analiza costurilor efective generate de coroziune în cazul navei analizate din punct de vedere structural și evaluarea rezultatelor în vederea stabilirii costurilor cheie în procesul de eficientizare. Pentru modelarea procesului de determinare a costului navei s-au luat în considerare datele obținute pe baza modelării structurale realizate în programul 3D-FEMAP din *Capitolul 3* al acestei lucrări și înregistrările armatorului realizate la fiecare 5 ani vis-a-vis lucrările de mentenanță și reparații efectuate la corpul acesteia pe o perioadă de 20 de ani.

Datorită complexității analizei costului de reparații și întreținere a navei s-a optat pentru conceperea unui program informatic capabil să determine varianta optimă ținând cont de multitudinea de parametri implicați și care oferă posibilitatea unor simulări pe toată perioada de viață a navei.

În aceste condiții se determină situațiile în care eficiența este maximă, și sunt satisfăcute simultan criteriile urmărite de armatori și societățile de clasificare. Prelucrarea numerică a datelor experimentale - prin simularea combinării factorilor ce intră în componența costului total în vederea determinării variantei optime în care eficiența este maximă, se realizează prin intermediul programului informatic realizat în cadrul acestei teze, "*Cost Efficiency Program*". Acesta poate fi utilizat ca suport în luarea deciziilor, de mentenanță și reparații aplicate la corpul navei, în timp real pentru majoritatea tipurilor de nave.

Capitolul final, și anume *Capitolul 7* prezintă concluziile activităților de cercetare efectuate, evidențiază contribuțiile personale, diseminarea rezultatelor și direcțiile viitoare de cercetare.

Pe lângă acestea, teza cuprinde și un număr de 4 Anexe, care reprezintă codurile sursă ale programelor dezvoltate în vederea eficientizării proceselor și determinările experimentale efectuate.

Precizare: În rezumatul tezei de doctorat se păstrează numerotarea ecuațiilor, figurilor, tabelelor și referințelor bibliografice din teza de doctorat.

Cuprins

Mulțumiri	I	
Introducere	III	I
Introduction	VII	
Listă de notații și abrevieri	XI	
Listă de figuri	XV	
Listă de tabele	XVII	
Cuprins	XIX	IV
Content	XXI	
1 Stadiul actual al studiului influenței coroziunii asupra structurilor marine	1	1
1.1 Aspecte generale ale degradării suprafețelor metalice prin coroziune.....	1	1
1.2 Coroziunea la corpul navei.....	2	
1.2.1 Probleme specifice. Terminologia referitoare la coroziune utilizată în domeniul naval.....	3	
1.2.2 Factorii care influențează ratele de coroziune.....	4	
1.3 Tipuri de coroziune.....	6	
1.3.1 Coroziune uniformă.....	6	
1.3.2 Coroziunea prin ciupituri (pitting).....	6	
1.3.3 Coroziunea în crevase.....	6	
1.3.4 Coroziunea galvanică.....	7	
1.3.5 Coroziunea în depozite.....	7	
1.3.6 Coroziunea mecanică.....	8	
1.3.7 Coroziunea cu influență microbiologică (MIC).....	8	
1.4 Necesitatea și oportunitatea eficientizării costurilor de mentenanță și reparație la corpul navei..	8	
1.5 Concluzii.....	10	
2 Metode de determinare a ratei de coroziune la corpul navei	11	
2.1 Rata de Coroziune. Generalități.....	11	
2.2 Caracteristici definitorii ale modelelor de coroziune.....	11	
2.2.1 Modele de coroziune utilizate în ingineria navală.....	14	
2.3 Concluzii.....	15	
3 Metoda Elementelor Finite în analiza structurală a navelor. Stabilirea stării de tensiune pentru nava ieșită din șantierul de construcție	16	1
3.1 Metoda Elementului Finit – metodă de studiu pentru structurile navale.....	16	
3.1.1 Discretizarea structurilor navale. Elemente finite folosite în analiza structural.....	17	1
3.1.2 Discretizarea legăturilor pentru structurile navale.....	22	
3.1.3 Discretizarea încărcărilor care acționează asupra structurilor navale.....	22	
3.1.4 Definirea caracteristicilor de material.....	22	
3.2 Stabilirea stării de tensiune în cazul navei ieșite din șantierul de construcție (necorodată).....	23	
3.2.1 Analiza numerică 3D-FEM a rezistenței generale și locale a corpului navei.....	23	1
3.2.2 Cazuri de încărcare analizate.....	24	1
3.2.3 Descrierea modelului 3D – MEF.....	28	1
3.2.4 Post procesarea rezultatelor analizei cu elemente finite a structurii navei ieșite din șantier	32	
3.2.5 Evaluarea rezultatelor numerice.....	32	
3.3 Cerințe de Registru privind măsurarea grosimii tablelor la nave de tip OSV.....	36	
3.3.1 Cerințe privind extensia și locația măsurătorilor.....	36	
3.3.2 Criterii de verificare.....	36	
3.3.3 Analiza numerică a stării de tensiune care apare în corpul navei în cazul de plină încărcare.....	37	

3.3.4 Analiza numerică a stării de tensiune care apare în corpul navei în cazul de balast.....	42	
3.3.5 Rezultate privind analiza din perspectiva rezistenței generale și locale a corpului navei de tip OSV.....	47	2
3.3.6 Analiza tensiunilor care apar în zona de interes aleasă.....	48	2
3.4 Concluzii.....	49	
4 Studiul variației stării de tensiune în zona selectată spre a fi analizată.....	50	3
4.1 Analiza numerică 3D-FEM a efectelor coroziunii din perspectiva rezistenței generale și locale a corpului navei de tip Offshore Supply Vessel (OSV) pe zona analizată.....	50	3
4.2 Verificarea și validarea soluțiilor constructive propuse prin analiza efectelor coroziunii din perspectiva rezistenței generale și locale a corpului navei.....	62	
4.3 Concluzii.....	66	
5 Eficientizarea costurilor de reparații și întreținere a navei. Metodologii actuale de eficientizarea a costurilor.....	68	
5.1 Optimizarea costurilor de reparații și întreținere a unei navei.....	69	
5.1.2 Aspecte economice și tehnice în procesul de optimizare a costurilor generate de coroziune la corpul navei.....	72	
5.2 Simularea în procesul de eficientizare a costurilor de întreținere și reparații la corpul navei.....	73	
5.3 Avantaje și dezavantaje a procedurii de optimizare versus celui de simulare.....	74	
5.3.1 Avantaje.....	74	
5.3.2 Dezavantaje.....	74	
5.4 Concluzii.....	75	
6 Aplicarea procedurilor de optimizare și simulare în eficientizarea costurilor de reparații și mentenanță la nava de tip OSV.....	77	4
6.1 Determinarea costului inițial NEOPTIMIZAT al navei de tip OSV.....	80	4
6.1.1 Analiza inițială a elementelor de cost și a costului total al navei.....	80	4
6.2 Optimizarea activităților de mentenanță și reparații pentru eficientizarea costurilor generate de acestea.....	90	6
6.2.1 Configurarea teoretică a produsului informatic pentru optimizarea costurilor de reparații și mentenanță.....	90	
6.2.2 Aplicația numerică.....	94	6
6.2.3 Metodologia de realizare a programului.....	95	
6.3 Concluzii.....	101	
7 Concluzii generale. Contribuții originale și Perspective.....	104	11
7.1 Concluzii generale.....	104	11
7.2 Contribuții originale.....	108	15
7.3 Diseminarea rezultatelor.....	109	16
7.4 Direcții viitoare de extindere a cercetării.....	109	16
Bibliografie.....	110	17
Anexe.....	118	
Lista de lucrări.....	202	

CAPITOLUL 1

Stadiul actual al studiului influenței coroziunii asupra structurilor marine

1.1 Aspecte generale ale degradării suprafețelor metalice prin coroziune

Efectele negative determinate de coroziunea metalelor au preocupat societatea umană din vechi timpuri. Coroziunea constă în distrugerea - parțială sau totală - a stratului superficial al metalelor, ca urmare a unor reacții chimice, electrochimice sau biochimice de oxidare survenite în cursul interacțiunii cu mediul înconjurător [1-4]. Frecvent, în cea mai simplistă interpretare, coroziunea este identificată ca o acoperire cu rugină a straturilor superficiale ale structurilor confecționate din diverse tipuri de oțeluri sau alte materiale metalice. Se apreciază că, daunele cauzate de coroziune în țările cu economie dezvoltată se ridică la 4-5 % din produsul intern brut. Ele se manifestă în multiple forme. În primul rând este vorba de pierderile directe irecuperabile de metal (cca. 10-20 %). Însă daunele cele mai mari sunt legate de consecințele indirecte ale coroziunii, mult mai greu de apreciat la valoarea lor reală [5].

CAPITOLUL 3

Metoda Elementelor Finite în analiza structurală a navelor.

Stabilirea stării de tensiune pentru nava ieșită din șantierul de construcție.

3.1.1 Discretizarea structurilor navale. Elemente finite folosite în analiza structurală.

Elementele de structură principale care intră în componența structurilor navale sunt bare și plăci. Ca urmare a acestui fapt principalele tipuri de elemente finite utilizate la idealizarea structurală a navei sunt elemente de tip grindă și placă.

3.2 Stabilirea stării de tensiune în cazul navei ieșite din șantierul de construcție (necorodată)

3.2.1 Analiza numerică 3D-FEM a rezistenței generale și locale a corpului navei.

În vederea efectuării cercetării propuse s-a ales ca variantă o navă de aprovizionare pentru platformele maritime de foraj (offshore supply vessel OSV). Datele constructive sunt ale navei OSV 3300 construite la Șantierul Naval Damen Galați.

Navele de tip OSV dispun de tancuri pentru a transporta noroiul de foraj, combustibil, apa potabilă sau orice altă substanță necesară pe o platforma marină. Aceste nave sunt dotate condițiilor de lucru specifice și funcțiilor pe care trebuie să le îndeplinească aceste nave [78].

3.2.2 Cazuri de încărcare analizate.

Analiza numerică utilizând modele 3D-FEM a fost realizată pentru două cazuri de încărcare și pentru înălțimi de val echivalent cvasi-static de la 0 m la 6 m atât în cazurile de creastă de val cât și în cazurile de gol de val. Înălțimea valului echivalent cvasi-static determinat statistic este de $h_w = 5,840$ m, conform normelor Bureau Veritas [79]. Modelul 3D-FEM utilizat pentru analiza numerică a fost extins pe toată lungimea navei și a fost generat cu programul FEMAP/ NX NASTRAN.

Aplicarea sarcinilor se realizează cu proceduri utilizator proprii [80] pentru: distribuția presiunii hidrostatice din val echivalent cvasi-static cât și pentru distribuția presiunii hidrostatice în tancuri și a încărcăturii pe punte.

Cele doua cazuri de încărcare considerate în studiu pentru nava de tip OSV sunt cazul de plină încărcare și de balast.

3.3.5 Rezultate privind analiza din perspectiva rezistenței generale și locale a corpului navei de tip OSV

Rezultatele numerice privind analiza rezistenței generale a corpului navei arată:

- o valoare maximă a coeficientului de siguranță pentru criteriul de curgere de 0,878, în zona intersecției dintre parapetul punții principale cu învelișul exterior, pe cazul de plină încărcare, creastă de val echivalent cvasi-static cu înălțimea $h_w = 5,84$ m.
- o valoare maximă a coeficientului de siguranță pentru criteriul de voalare de 0,812 zona de fund, pe cazul de plină încărcare, creastă de val echivalent cvasi-static cu înălțimea $h_w = 5,84$ m.

3.3.6 Analiza tensiunilor care apar în zona de interes aleasă

Studiul din paragrafele anterioare a fost necesar pentru determinarea zonelor unde poate apare pierderea stabilității formei de echilibru (voalarea plăcilor componente ale corpului navei).

În figura **Fig.3.27** este prezentată distribuția coeficientului de siguranță pentru criteriul de voalare (BR) pe învelișul exterior, structura navei noi. În imaginile de mai jos se poate vedea că zona de interes este cea de fund. Aceste zone vor fi studiate ulterior prin aplicarea ratelor de coroziune corespunzătoare duratei de viață a navei.

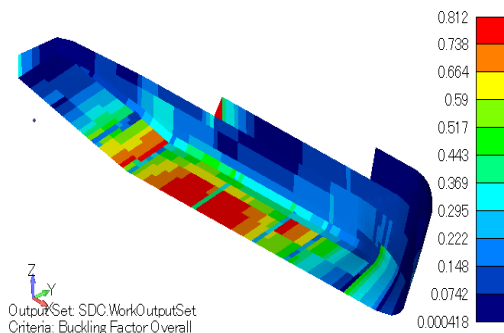


Fig.3.27 Distribuția BR pe învelișul exterior pentru modelul analizat, caz de plină încărcare, creastă de val, $h_w = 5,84$ m

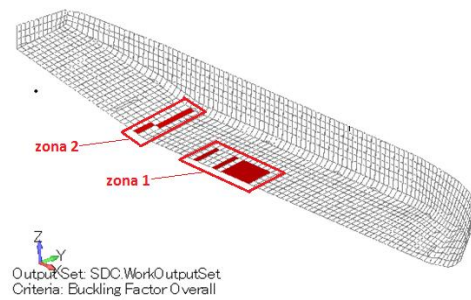


Fig.3.28 Zonele în care valoarea coeficientului de siguranță pentru voalare este aproape de valoarea unitară.

Se poate observa că, valorile coeficienților de siguranță sunt ridicate pe învelișul exterior în zona 11 - 33 m. Pentru a analiza influența coroziunii asupra coeficienților de siguranță a fost selectată următoarea zonă de evaluare prezentată în figurile Fig.3.29 și Fig.3.30 cuprinsă între 11,05 – 33,80 m.

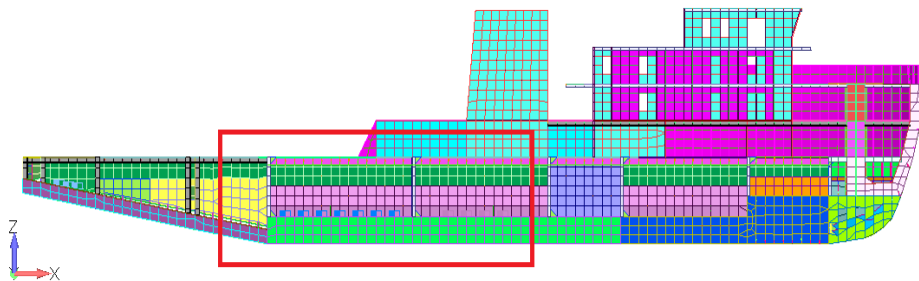


Fig.3.29 Modelul 3D-FEM extins pe toată lungimea navei cu zona selectată spre analiză

CAPITOLUL 4

Studiul variației stării de tensiune în zona selectată spre a fi analizată

4.1. Analiza numerică 3D-FEM a efectelor coroziunii din perspectiva rezistenței generale și locale a corpului navei de tip Offshore Supply Vessel (OSV) pe zona analizată

Modelarea condițiilor de margine și a distribuției de mase pe modelul 3D-FEM este mult mai apropiată de modelul fizic real al corpului navei; procedura de echilibrare în valuri echivalente cvasi – statice de întâlnire nu impune restricții privind modelul 3D-FEM; rezultatele obținute din analiza pe modele 3D-FEM permit evaluarea unei stări 3D de tensiuni și deformații, cu evidențierea concentratorilor de tensiuni.

Conform măsurătorilor realizate de societatea de clasificare [78] în tabelul Tab.4.1. este prezentată influența coroziunii asupra elementelor structurale din zona secțiunii maestre a navei de tip OSV.

În primii 15 ani de utilizare valorile coeficienților de siguranță, atât coeficientul de siguranță pentru curgere cât și pentru voalare, sunt sub valoarea unitară. Pentru etapa 4, în care structura navei are aplicată coroziunea corespunzătoare perioadei de utilizare de 20 ani se poate observa, în diagramele de mai sus, efectul coroziunii asupra învelișului exterior, transpus în faptul că valorile maxime ale coeficienților de siguranță pentru criteriul de voalare depășesc valoarea unitară în zona fundului navei.

Cazul de plină încărcare

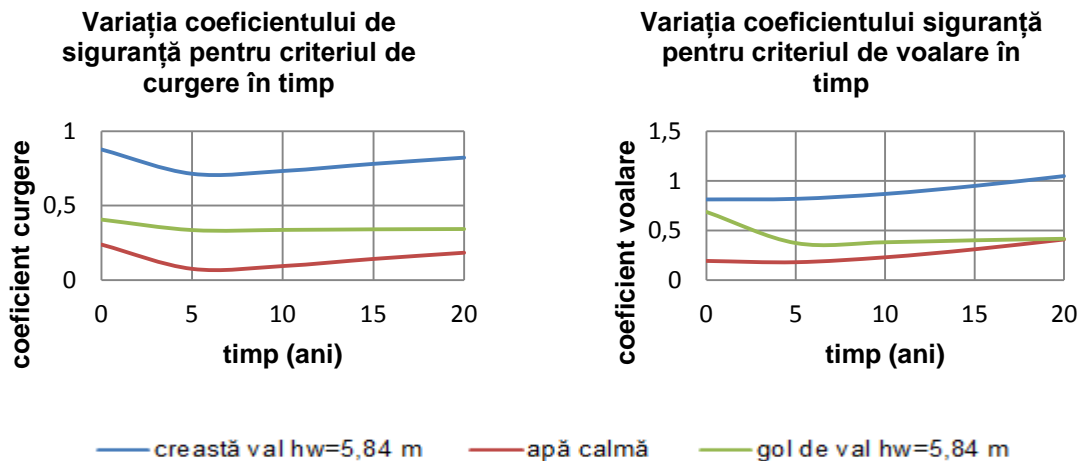


Fig. 4.9 Variația coeficientului de siguranță pentru criteriul de curgere și voalare în timp

Cazul de balast

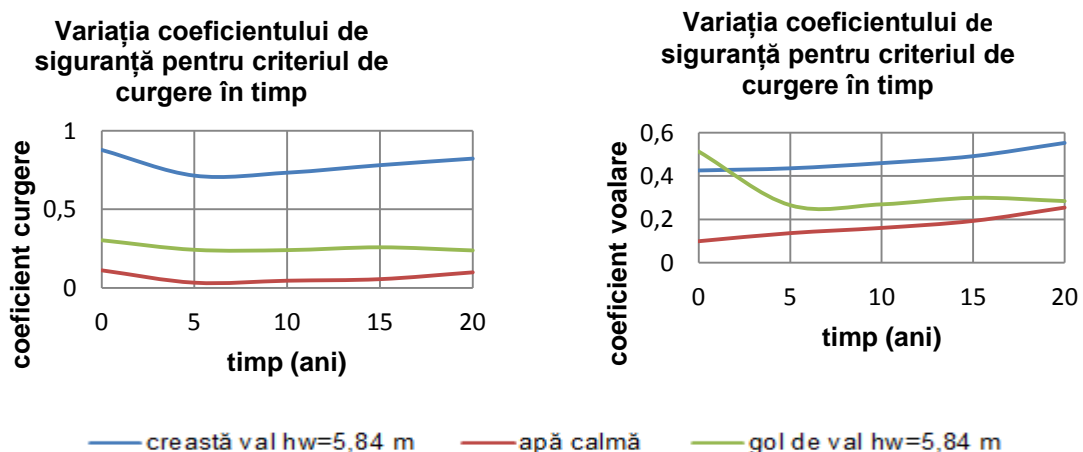


Fig. 4.10 Variația coeficientului de siguranță pentru criteriul de curgere și voalare în timp

Analizele numerice pe modele 3D – FEM complet extinse pe lungimea navei la solicitări din apă calmă și valuri echivalente cvasi – statice permit verificarea criteriului de rezistență în raport cu limita de curgere a materialului și astfel determinarea zonelor concentratorilor de tensiune.

În figura 4.11 și 4.12 pentru cazul de plină încărcare și Figura 4.13 și 4.14 pentru cazul de balast, se poate observa influența coroziunii asupra rezistenței generale și locale a corpului navei. Odată cu trecerea timpului, datorită diminuării grosimii elementelor structurale cresc valorile coeficienților de siguranță pentru criteriul de curgere și pentru criteriul de voalare.

Astfel încât, după o perioadă de 20 de ani de utilizare a navei, valoarea coeficientului de siguranță pentru criteriul de voalare depășește valoarea unitară, fiind necesară înlocuirea unor fâșii de tablă din învelișul fundului. Soluțiile constructive în acest caz sunt prezentate în figurile Fig.4.15 și Fig.4.16. În cazul ambelor zone, soluția constructivă adoptată este înlocuirea tablei în zonele în care coeficientul de siguranță depășește valoarea de 0.9. Pentru zona 1 dimensiunile tablei ce trebuie înlocuită sunt 13 m x 3,3 m, iar pentru zona 2 sunt de 6 m x 2,6 m.

CAPITOLUL 6

Aplicarea procedurilor de optimizare și simulare în eficientizarea costurilor de reparații și mentenanță la nava de tip OSV

6.1 Determinarea costului inițial NEOPTIMIZAT al navei de tip OSV.

6.1.1 Analiza inițială a elementelor de cost și a costului total al navei.

Determinarea costului pentru investiția inițială (de construcție a navei).

În continuare se efectuează calculul pentru determinarea costului inițial al navei folosind procedurile neoptimizate și pe baza datelor prezentate anterior.

Tab.6.7 Relații de calcul pentru costul inițial al navei

Denumire articol calculație	Relație de calcul	Preț (eur)
Cost oțel	$\Delta \times CC_i$	5.780.700,00
Cost acoperire punte	$A_p \times CV_i$	37.842,00
Cost acoperire suprastructură	$A_s \times CV_i$	95.557,00
Cost acoperire carenă	$A_h \times CV_a$	96.390,00
Cost acoperire tancuri	$A_t \times CV_i$	122.998,00
Cost anozii	$NA_i \times CIA_i$	7.013,00
TOTAL		6.140.500,00

Determinarea costului de reparație al protecție anticorozive.

În cadrul primei inspecții după 5 ani de funcționare a navei s-a constatat necesitatea revopsirii punții, datorită frecării intense la nivelul acesteia la încărcarea și descărcarea mărfurilor grele transportate. Această revopsire este necesară la fiecare 5 ani pentru asigurarea protecție la nivelul punții suprasolicitate, dată de specificul navei.

Dupa primii 5 ani nu este necesară o revopsire a carenei, decizie luată în conformitate cu rezultatele inspecție tehnice. Deasemenea, conform verificărilor efectuate în cadrul inspecției de 15 ani, se constată faptul că nu este necesară o revopsire a carenei.

Tab.6.8 Relații de calcul pentru determinarea costului de reparație al protecție anticorozivă.

Zona / nr.ani	Relație de calcul	Cost reparație anticorozivă (eur)
Punte		
5	$A_p \times RV$	67.257,00
10		73.935,00
15		48.402,00
20		93.810,00
Tancuri		
5	$A_t \times C_1 \times RV$	2.761,00
10		23.243,00
15		48.402,00
20		80.768,00
Carenă		
5	$A_h \times RV_a$	0,00
10		187.740,00
15		0,00
20		238.140,00
Suprastructură		
5	$A_s \times C_1 \times RV$	689,00
10		14.533,00
15		31.536,00
20		53.400,00
TOTAL după 20 ani		418.047,52

Tab.6.9 Cost înlocuire anozii

Nr ani	Cost instalare /anod(eur)	Număr anozii
5	91,20	8
10	100,30	9
15	111,70	9
20	127,20	11

Determinare cost total înlocuire anozii după 20 ani = 38.305,6 Euro

Tab.6.10 Cost andocare

Nr ani	Nr zile andocare	Cost andocare (Eur)
5	0	0,00
10	4,13	62.869,00
15	19,70	334.139,58
20	76,62	1.479.356,00
Total	100,45	1.876.364,58

Determinare cost înlocuire oțel

În cazul navei OSV studiată, a fost necesară înlocuirea de oțel, fapt constatat în cadrul reviziei efectuate la 20 de ani. Zona afectată a fost învelișul fundului, și a fost necesară înlocuirea unor fâșii de tablă cu dimensiuni de 13 m x 3,3 m, respectiv 6 m x 2,6 m. Volumul oțelului ce trebuie înlocuit este de 1,2558 m³, cu o densitatea a tablei de 7,85 tone/m³, rezultând o cantitate de 9,85 tone de înlocuit.

Cost total înlocuire oțel după 20 de ani = 7.871,60 Euro

Determinarea costului total al navei

Valoare reziduală = $\Delta \times PV = 2700 \times 641,3 = 1.731.510,0$ Euro

Costurile neoptimizate de fabricație a navei studiate sunt prezentate în tabelul 6.11. Se menționează că materialele și metodele de construcție și reparații folosite sunt cele clasice, uzuale în industria navală.

Tab.6.11 Costurile de construcție, mentenanță și reparații la nava OSV studiată

Cost	Inițial	Cost	5 ani	10 ani	15 ani	20 ani	Cost Total Cost inițial +cost reparații
(Euro)							
Vopsire tancuri	122.998,00	Reparații tancuri	2.761,00	23.243,00	48.402,00	80.768,00	278.172,00
Vopsire punte	37.842,00	Reparații punte	67.257,00	73.935,00	82.362,00	93.810,00	355.206,00
Vopsire carenă	96.390,00	Reparații carenă	0,00	187.740,00	0,00	238.140,00	522.270,00
Vopsire suprastructură	95.557,00	Reparații suprastructură	689,00	14.533,00	31.536,00	53.400,00	195.715,00
Cost anozii zinc	7.013,00	Cost anozii zinc	8.117,00	8.927,00	9.941,00	11.321,00	45.319,00
Cost oțel	5.780.700,00	Cost oțel	0,00	0,00	0,00	7.872,00	5.788.572,00
Cost andocare	0,00	Cost andocare	0,00	62.869,00	334.140,00	1.479.356,00	1.876.365,00
COST INIȚIAL	6.140.500,00		78.824,00	371.247,00	506.381,00	1.964.667,00	9.568.000,00

6.2 Optimizarea activităților de mentenanță și reparații pentru eficientizarea costurilor generate de acestea

6.2.2 Aplicația numerică.

În vederea determinării optimului pentru costul de întreținere și reparații a fost conceput și realizat un program în limbajul de programare orientat pe obiecte Java, folosind mediul integrat de dezvoltare Netbeans. Optimizarea se realizează pentru costurile totale de construcție și exploatare (întreținere/reparații) pe durata de viață a unei nave.

Programul realizează o analiză a costurilor pentru întreaga durată de viață a navei furnizând ca rezultate:

- costul total optimizat al navei;

- materialele ce trebuie folosite, pe sorturi și cantități;
- numărul de zile optimizat de andocare în condiția utilizării materialelor specificate;
- informații despre ponderea fiecărui element de cost în costul final;
- calculeze varianta optimă ținând cont de multitudinea de parametri implicați;
- oferă posibilitatea unor simulări pe toată perioada de viață a navei;
- suport în luarea deciziilor, de mentenanță și reparații la corpul navei, în timp real.

Programul de calcul este structurat astfel:

- meniu de introducere date;
- meniul de analiză;
- meniul de rezultate.

Rezultatele sunt furnizate într-un fișier care constă într-un raport complet ce conține datele navei analizate, perioada analizată, costurile corepunzătoare fiecărei metode anticorozive utilizate și a fiecărei perioade de utilizare, explicațiile termenilor folosiți, și nu în ultimul rând a variantelor optime din punct de vedere al eficienței costurilor analizate în contextul asigurării unei fiabilități crescute.

Principal programul are ferestrele de prezentare de mai jos.



Fig. 6.7 Fereastra de prezentare

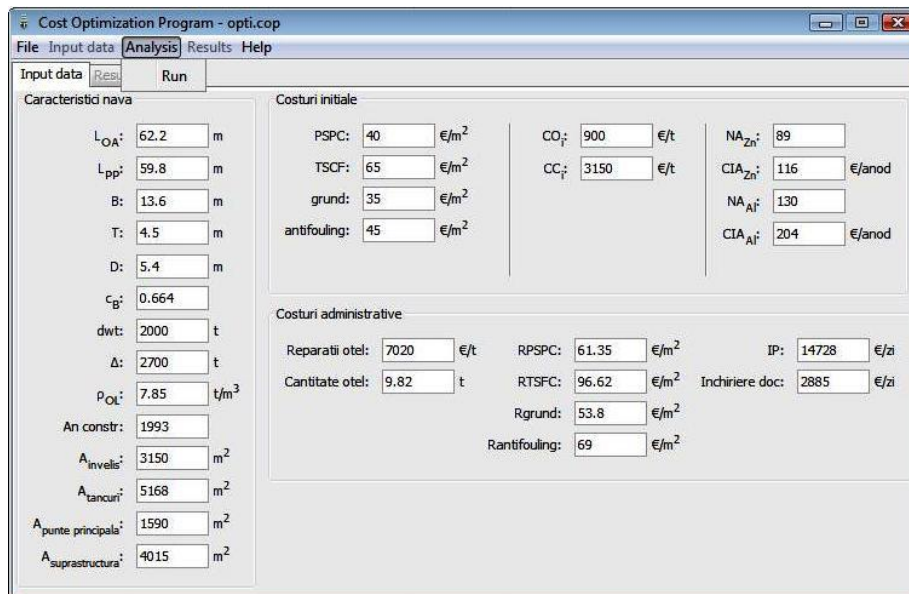


Fig. 6.8 Meniul „Analysis”

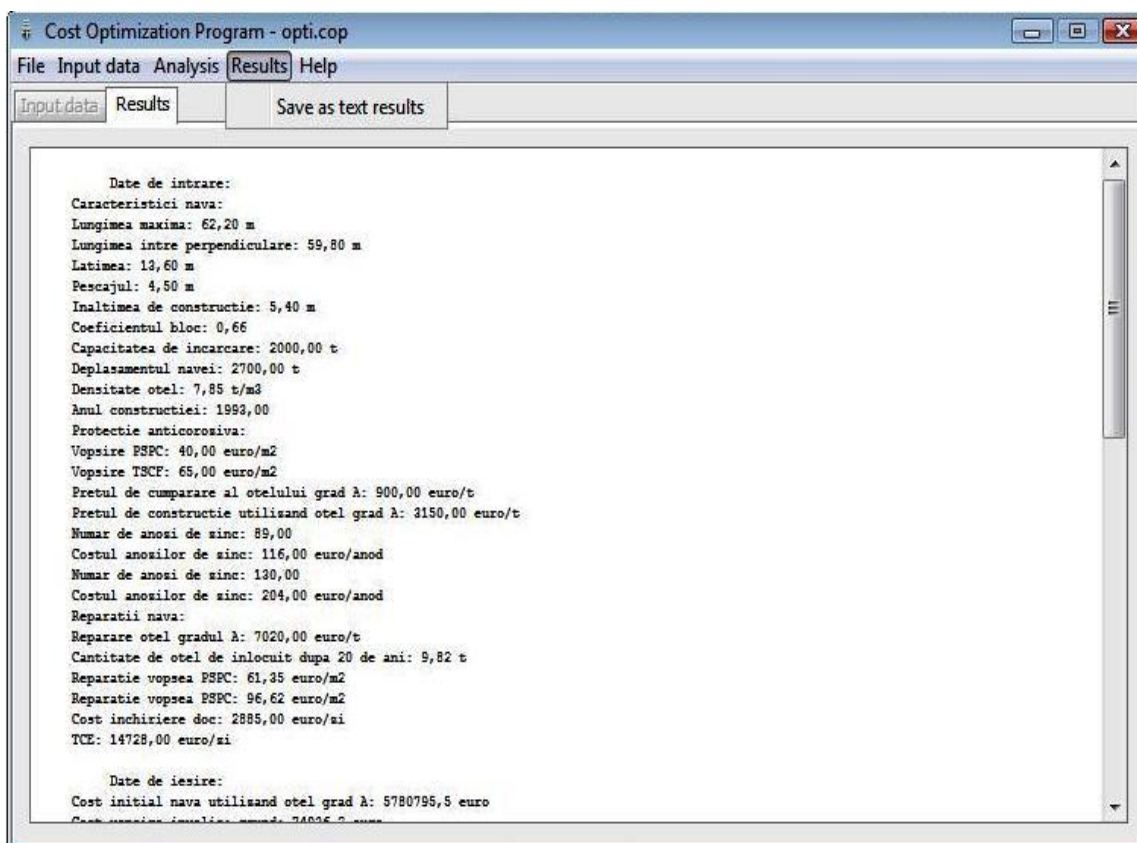


Fig. 6.9 Meniul „Results”

Tab. 6.14 Raport generat de programul "Cost Efficiency Program" pentru structura metalică a corpului navei OSV 3300

Date de intrare	
Caracteristici navă:	
Lungimea maximă	62,20 m
Lungimea între perpendiculare	59,80 m
Lățimea	13,60 m
Pescajul	4,50 m
Înălțimea de construcție	5,40 m
Coeficientul bloc	0,66
Capacitatea de încărcare	2.000,00 t
Deplasamentul navei	2.700,00 t
Densitate oțel	7,85 t/m ³
Anul construcției	1993
Protectie anticorozivă:	
Vopsire PSPC	40,00 euro/m ²
Vopsire TSCF	65,00 euro/m ²
Prețul de cumpărare al oțelului grad A	900,00 euro/t
Prețul de construcție utilizând oțel grad A	3.150,00 euro/t
Număr de anodi de zinc	89,00
Costul anozilor de zinc	116,00 euro/anod
Număr de anodi de aluminiu	130,00
Costul anozilor de aluminiu	204,00 euro/anod
Reparații navă:	

Reparare oțel gradul A	7.020,00 euro/t			
Cantitate de oțel de înlocuit după 20 de ani	9,82 t			
Reparație cu vopsea PSPC	61,35 euro/m ²			
Reparație cu vopsea TSCF	96,62 euro/m ²			
Cost închiriere doc	2.885,00 euro/zi			
TCE	14.728,00 euro/zi			
Date de ieșire:	(euro)			
Cost inițial nava utilizând oțel grad A	5.780.795,50			
Cost vopsire înveliș antifouling	96.346,60			
Cost vopsire punte: grund	37.825,00			
Cost vopsire suprastructură: grund	95.514,00			
Cost vopsire tancuri: PSPC	140.506,30			
Cost vopsire tancuri: TSCF	228.322,70			
Cost anozii zinc	7.017,20			
Cost anozii aluminiu	18.025,50			
	5 ani	10 ani	15 ani	20 ani
	(euro)			
Cost revopsire punte	849,60	7.150,70	14.894,20	24.839,60
Cost revopsire suprastructură	2.145,30	18.056,70	37.610,30	62.723,90
Cost revopsire înveliș - antifouling	2.158,60	18.169,00	37.844,20	63.113,80
Cost revopsire tancuri PSPC	3.148,80	26.503,80	55.204,70	92.066,60
Cost revopsire tancuri TSCF	2.975,40	25.044,50	52.165,10	86.997,30
Cost andocare	0,00	62.901,60	334.056,60	1.479.751,90
Cost înlocuire anozii zinc	8.114,30	16.228,6	24.342,90	32.457,20
Cost înlocuire oțel	0,00	0,00	0,00	7.847,60
Varianta optimizată pentru executarea de reparații la 5 ani:	Anozii din zinc, carena navei vopsită cu vopsea antifouling			
	Tancurile navei vopsite cu vopsea PSPC			
	Costul optim construcție și reparații pentru perioada de 5 de ani: 6.174.420,90 euro			
Investiție inițială		Cheltuieli de reparație și mentenanță		
		Durată de utilizare:	5 ani	
Vopsire tancuri	140.506,30	Reparații tancuri	3.148,80	
Vopsire punte	37.825,00	Reparații punte	849,60	
Vopsire carenă	96.346,60	Reparații carenă	2.158,60	
Vopsire suprastructură	95.514,00	Reparații suprastructură	2.145,30	
Cost anozii	7.017,20	Înlocuire anozii	0,00	
Cost oțel	5.780.795,50	Înlocuire oțel	0,00	
		Cost andocare	0,00	
Cost total inițial: 6.158.004,40		Cost total reparații : 8302,20		
Varianta optimizată pentru	Anozii din aluminiu, carena navei vopsită cu vopsea			

executarea de reparații la 10 ani:		antifouling,				
		Tancurile navei vopsite cu vopsea PSPC				
		Costul optim construcție și reparații pentru perioada de 10 de ani: 6.301.794,70 euro				
Investiție inițială		Cheltuieli de reparație și mentenanță				
		Durată de utilizare:	5 ani	10 ani		
Vopsire tancuri	140.506,30	Reparații tancuri	3.148,80	26.503,80		
Vopsire punte	37.825,00	Reparații punte	849,60	7.150,70		
Vopsire carenă	96.346,60	Reparații carenă	2.158,60	18.169,00		
Vopsire suprastructură	95.514,00	Reparații suprastructură	2.145,30	18.056,70		
Cost anozii	18.025,50	Înlocuire anozii	0,00	0,00		
Cost oțel	5.780.795,50	Înlocuire oțel	0,00	0,00		
		Cost andocare	0,00	62.901,60		
Cost total inițial: 6.169.012,70		Cost total reparații	8.302,20	132.782,00		
Varianta optimizată pentru executarea de reparații la 15 ani		Anozii din aluminiu, carena navei vopsită cu vopsea antifouling				
		Tancurile navei vopsite cu vopsea PSPC				
		Costul optim construcție și reparații pentru perioada de 15 de ani: 6.648.622,80 euro				
Investiție inițială		Cheltuieli de reparație și mentenanță				
		Durată de utilizare:	5 ani	10 ani	15 ani	
Vopsire tancuri	140.506,30	Reparații tancuri	3.148,80	26.503,80	55.204,70	
Vopsire punte	37.825,00	Reparații punte	849,60	7.150,70	14.894,20	
Vopsire carenă	96.346,60	Reparații carenă	2.158,60	18.169,00	37.844,20	
Vopsire suprastructură	95.514,00	Reparații suprastructură	2.145,30	18.056,70	37.610,30	
Cost anozii	18.025,50	Înlocuire anozii	0,00	0,00	0,00	
Cost oțel	5.780.795,50	Înlocuire oțel	0,00	0,00	0,00	
		Cost andocare	0,00	62.901,60	334.056,60	
Cost total inițial: 6.169.012,70		Cost total reparații	8.302,20	132.782,00	479.610,00	
Varianta optimizată pentru executarea de reparații la 20 ani		Anozii din aluminiu, carena navei vopsită cu vopsea antifouling				
		Tancurile navei vopsite cu vopsea PSPC				
		Costul optim construcție și reparații pentru perioada de 20 de ani: 7.891.508,50 euro				
Investiție inițială		Cheltuieli de reparație și mentenanță				
		Durată de utilizare:	5 ani	10 ani	15 ani	20 ani
Vopsire tancuri	140.506,30	Reparații tancuri	3.148,80	26.503,80	55.204,70	92.066,60
Vopsire punte	37.825,00	Reparații punte	849,60	7.150,70	14.894,20	24.839,60
Vopsire carenă	96.346,60	Reparații carenă	2.158,60	18.169,00	37.844,20	63.113,80
Vopsire	95.514,00	Reparații	2.145,30	18.056,70	37.610,30	62.723,90

suprastructură		suprastructură	0		0	
Cost anozii	18.025,50	Înlocuire anozii	0,00	0,00	0,00	0,00
Cost oțel	5.780.795,50	Înlocuire oțel	0,00	0,00	0,00	0,00
		Cost andocare	0,00	62.901,60	334.056,60	1.479.751,90
Cost total inițial: 6.169.012,70		Cost total reparații	8.302,20	132.782,00	479.610,00	1.722.495,80

Pe baza datelor de intrare și a relațiilor matematice prezentate în capitolul anterior, programul determină varianta optimă de mentenanță și reparații astfel încât costurile generate de acestea să fie minime.

CAPITOLUL 7

Concluzii generale. Contribuții originale și Perspective

7.1. Concluzii generale

În contextul economic mondial actual, când construcția de nave noi a intrat într-un regres vizibil, se pune problema eficientizării costurilor de transport pe apa al mărfurilor. Aceste costuri, pe lângă cele operaționale, se referă și la costurile întreținerilor și reparațiilor curente. Armatorii se gândesc intens la prelungirea duratei de viață a navelor aflate în posesie. Astfel, pe lângă atenția data în proiectarea navei, alegerea instalațiilor de bord și punte, o mare atenție se acordă fenomenului care provoacă cele mai mari uzuri la corpul navelor și anume **coroziunea**.

Subiectul ales pentru această cercetare este unul intens dezbătut încă de la apariția navelor cu structură metalică, dar totodată actual deoarece problema costurilor de reparații la corpul navei nu este complet elucidată. Astfel, există încă situații când, după o anumită perioadă de la începerea lucrărilor de reparații operațiunea se oprește, deoarece pe parcursul acesteia se constată costuri mult prea mari în comparație cu calculele inițiale, iar în aceste condiții armatorii sunt înclinați să aleagă să construiască o navă nouă, costurile fiind comparabile cu repararea unei nave uzate.

Erorile în estimarea costurilor au urmări nefaste în derularea lucrărilor executate, armatorii fortând șantierele navale unde se execută lucrările, să își desfășoare activitatea în pierdere. Astfel, pentru evitarea acestor neajunsuri este necesară cunoașterea deplină a gradului de uzură și a lucrărilor ce trebuie executate și apoi alcătuirea unui plan de reparații eficient și care să conducă la respectarea bugetelor.

O problemă, poate mai importantă decât costul lucrărilor de reparații, este cea a asigurării cerințelor societăților de clasificare din toate punctele de vedere: rezistența generală și locală, siguranță în navigație precum și asigurarea unui trai decent pentru echipaj la bordul navei. Satisfacerea primelor două cerințe se realizează prin calcule de structuri avându-se în vedere reducerile de grosimi de table și osaturi cauzate de coroziune.

Coroziunea implică numeroase aspecte, cauze, forme de evoluție. Combaterea efectelor coroziunii este de asemenea un proces complex, cu metode anticorozive specializate pe tipuri de coroziune, dar și în funcție de mediile în care se dezvoltă. Având în vedere faptul că în această teză este abordat domeniul naval, analiza coroziunii și metodele anticorozive analizate în această lucrare sunt adaptate acestei industrii. O particularitate a coroziunii în domeniul naval este suprafața mare expusă diverselor tipuri de coroziune, ce afectează în mod inegal corpul navei.

Din acest motiv, abordarea estimării evoluției în timp a ratei de coroziune este, în momentul de față, empirică, bazată foarte mult pe observații și măsurători efectuate pentru diverse structuri

ale diferitelor nave în exploatare și incluse apoi în baze de date. În acest context s-a recurs la alegerea unei nave de tip OSV având istoricul măsurătorilor de grosime.

Acest lucru a permis realizarea unui studiu precis concentrat pe evoluția reală a stării de tensiune în contextul coroziunii. Datele referitoare la nava studiată furnizează informații referitoare atât la măsurători cât și la lucrările efectuate în cadrul inspecțiilor periodice la corpul navei, ceea ce oferă posibilitatea realizării unui calcul din punct de vedere economic al costurilor de mentenanță și reparație corespunzătoare întregii perioade de viață a navei. Aceste informații permit realizarea unei eficientizări a costurilor, fapt ce reprezintă un obiectiv major în industria navală.

Analizele efectuate au condus la stabilirea unei metodologii de studiu folosind MEF în vederea determinării cu exactitate a zonelor de interes pe lungimea navei care pot constitui puncte nevralgice ale navei din punctul de vedere al voalării câmpurilor de placă.

În definitiv cheltuielile generate de coroziune nu pot fi reduse total, chiar dacă aceasta nu are o evoluție agresivă, iar prezumția de reducere semnificativă a costului total atribuit coroziunii este valabilă numai printr-un control atent al echilibrului între investiție, fiabilitate asigurată, condiții de utilizare, specificul navei, istoricul navelor din aceeași categorie. Controlul acestor variabile și determinarea combinării optime a factorilor, poate asigura o eficiență crescută a cheltuielilor de mentenanță și reparații.

În termeni generali, pentru armatori, deținerea unei nave este eficientă atunci când costurile de construcție, sau după caz prețul de achiziție la care se adaugă costurile de mentenanță și reparații, taxele portuare, etc. sunt devansate de veniturile obținute de acesta.

Eficientizarea costurilor este un exercițiu pe care un armatorul trebuie să îl facă în permanență, să devină un mod de lucru, o cultură.

Calculul eficienței în acest caz implică elaborarea unor instrumente viabile de planificare și analiză în timp a performanțelor din punct de vedere economic și a sustenabilității acestora dar și identificarea elementelor generatoare de costuri pe toată perioada de viață a navei.

Alte instrumente utile în acest calcul sunt identificarea posibilelor surse de pierderi ascunse, a potențialului de creștere a profitului atât în prezent cât și profitabilitatea viitoare a navei și realizarea unui sistem eficient de management a coroziunii din punct de vedere tehnic, a efectelor acesteia asupra structurii dar și din punct de vedere al costurilor generate de aceasta pe toată perioada de viață a navei.

Principala caracteristică a eficientizării este aceea de a răspunde prompt și rapid la evenimentele sau modificările ce pot apărea în cadrul procesului de exploatare a navei. Acest proces de eficientizare nu oferă doar flexibilitate și capacitate de reconfigurare ci și autonomie, asigurarea unui nivel de calitate și funcționare conform cu prevederile Societăților de clasificare, reducerea costurilor, capacitate de învățare și auto-regenerare.

Sistemele moderne eficientizare în domeniul naval au fost dezvoltate având la baza trei concepte esențiale, și anume:

1. susținerea producției de nave noi;
2. menținerea calității la standardele reglementate;
3. reducerea pierderilor în activitatea de exploatare a acestora.

Cercetarea actuală s-a bazat pe dezvoltarea unui program software ce își propune să eficientizeze costurile de reparații și întreținere a navei din perspectiva coroziunii.

Avantajele oferite de acest program sunt:

- optimizarea timpului de andocare;
- posibilitatea simulării variantelor de materiale în vederea minimizării costurilor și maximizării perioade de utilizare;
- reducerea costurilor cu materialelor utilizate pentru lucrările de reparații și întreținere a navei;

-algoritmul este flexibil, adaptabil și reutilizabil, putând fi implementat pe orice tip de nava.

În vederea dezvoltării sistemului de eficientizare a fost necesar controlul și monitorizarea întregului proces de reparații și întreținere a navei, pentru a se putea observa ce parametri ai procesului pot fi optimizați.

Prin controlul procesului, se reușește menținerea standardelor de reparații și întreținere a navei și mai mult, îmbunătățirea acestora. Controlul unui proces de reparații și întreținere a navei este complet atunci când se realizează analiza procesului din punct de vedere al organizării, execuției dar și al efectelor structurale rezultate în urma deciziilor de executare a acestuia.

Din studiul realizat se poate observa ponderea crescută în costul total de construcție, mentenanță și reparații, a cheltuielilor determinate de achiziționarea și prelucrarea oțelului în faza inițială, respectiv 65% din costul total, semnificativ mai mare decât a cheltuielilor corespunzătoare vopselei anticorozive care reprezintă doar 15,2%.

Din punct de vedere al costurilor determinate de acoperirea anticorozivă, un aport semnificativ de 6% din costul total îl are zona carenei, fiind urmată de punte cu 4% și tancuri cu 3%. O pondere relevantă în costul total o are, deasemenea costul de andocare, în procent de 19%.

Dacă facem referire doar la cheltuielile de mentenanță și întreținere pe perioada celor 20 de ani de funcționare, ponderea semnificativă din totalul acestora este deținută de cheltuielile de andocare, cu un procent de 62%, urmată îndeaproape de cheltuielile cu revopsirea navei cu un procent de 36,5%.

În urma acestei analize se constată că pentru o eficientizare a costului total de construcție și mentenanță a acestei nave este necesară o reducere a costurilor ce au o pondere semnificativă în componența acestuia, respectiv cheltuielile corespunzătoare acoperirii anticorozive, cheltuielile de andocare prin reducerea timpilor necesari pentru mentenanță și reparații, concomitentă cu o creștere a fiabilității navei.

Măsura în care este posibil acest lucru face subiectul unui studiu amănunțit a soluțiilor tehnologice în primă instanță, coroborate cu un studiu economic din punct de vedere al costurilor implicate de acestea.

Raportul generat de program în urma analizei pe baza datelor de intrare corespunzătoare navei de tip OSV utilizată în studiul ce face obiectul acestei teze, determină costurile realizate pe fiecare element component: cost revopsire punte, cost revopsire suprastructură, înveliș, tancuri, cost înlocuire anozii, cost andocare, luând în considerare pentru toate aceste elemente, variantele posibile.

În funcție de alternativele prezentate mai sus, în materie de produse utilizate atât la construcție cât și la protecția anticorozivă, poate fi construită o strategie complexă de optimizare a costului coroziunii.

Programul informatic răspunde unei complexități ridicate, fiind capabil să calculeze varianta optimă ținând cont de multitudinea de parametri implicați și care oferă posibilitatea unor simulări pe toată perioada de viață a navei. La baza acestui program s-a utilizat atât procedeele de optimizare cât și cel de simulare. Acestea au principii de funcționare diferite, dar au un aport considerabil în procesul de determinare a eficienței costurilor de reparații și întreținere a navei din perspectiva coroziunii.

Coroborarea acestor două metode s-a realizat datorită specificității lor. Optimizarea este un concept cu o înclinație mai mult teoretică, ceea ce face ca aplicarea în practică să fie ușor deficitară având în vedere că pe parcursul celor 20 de ani intervin foarte multe elemente diferite iar din punct de vedere al armatorului, posibilitatea efectuării unor simulări cu factori reali pe toată perioada de viață a navei, constituie un avantaj major în luarea deciziilor atât în stadiul de construcție a navei cât și pe perioada de exploatare a acesteia.

Acest program poate fi utilizat ca un suport în luarea deciziilor, de construcție, mentenanță și reparații aplicate la corpul navei, în timp real și nu numai în evaluarea post facto.

Multitudinea parametrilor utilizați în calculul costului optim și ușurința modificării a valorilor acestora, fac din acest program un real ajutor pentru armator în eficientizarea costurilor de exploatare și obținerea unui profit superior.

Pentru eficientizarea procesului de reparații și întreținere a navei a fost necesară parcurgerea a două etape:

- identificarea variabilelor influențabile din punct de vedere al costului generat de lucrările de reparații și întreținere a navei

- prelucarea în timp real a informațiilor privind variantele de materiale utilizate și costurile aferente acestora

În urma parcurgerii celor două etape și a implementării aplicației dezvoltate în vederea eficientizării procesului, programul afișează variantele optime de mentenanță, dar nu numai atât, acesta calculează rentabilitatea deținerii unei nave pe termen scurt sau lung afișând optimul în cazul deținerii unei nave pe o perioadă de 5 ani, 10 ani, 15 ani respectiv 20 de ani.

Pentru perioada cel mai des întâlnită de deținere a unei nave, respectiv de 20 de ani, varianta optimă este reprezentată de vopsirea întregii carene cu vopsea de tip antifouling, cu aplicații de anozii din aluminiu, iar tancurile protejate cu vopsea de tip PSPC.

Poate fi observat faptul că anozii de zinc sunt eficienți doar pe o perioadă de 5 ani. Costul inițial al acestora este de 10.324 Euro, și reprezintă 38% din costul inițial al anozilor de aluminiu a căror înlocuire, în condiții de utilizare normală, nu este necesară pe întreaga durată de viață a navei. La pragul de 10 ani anozii de zinc își pierd eficiența, costul inițial și costurile de înlocuire depășind costul anozilor de aluminiu.

- vopseaua antifouling se aplică pe zona de carenă aflată sub linia de plutire a navelor, iar reparația acesteia se face la fiecare 5 ani, în funcție de suprafața și gradul de afectare. O calitate înaltă a vopselei inițiale poate determina un cost mai scăzut al reparațiilor acesteia, dar poate varia și în funcție de specificul apelor în care se desfășoară navigația.

- în ceea ce privește costul de revopsire al tancurilor, acesta variază în funcție de perioada de utilizare dar și de natura mărfurilor încărcate în acestea. Standardele PSPC (Standardul de performanță pentru protecția învelișului) adoptate de Organizația maritimă internațională obligatorie din anul 2008, au stabilit o țintă de viață utilă a acoperirii de 15 ani, perioadă în care acoperirea inițială este destinată să rămână în stare BUNĂ.

Întreținere și repararea PSPC este foarte importantă pentru ca acoperirea să rămână în stare bună dealungul perioadei obiectiv de 15 ani. O alternativă la vopseaua PSPC este vopseaua TSCF pentru tancuri. Aceasta promite o perioadă de utilizare de 25 de ani cu respectarea standardelor de exigență în ceea ce privește pregătirea substratului și a condițiilor de aplicare. Având în vedere stadiul experimental, costul ridicat al acestui tip de acoperire poate fi luată în considerare ca alternativă inovatoare, cu grad ridicat de risc.

Tancurile sunt vopsite cu PSPC tot pe principiul eficienței, cu toate că vopseaua de tip TSCF reduce suprafața afectată cu 40% și reparațiile se fac odată la 10 ani. Veniturile obținute prin reducerea costurilor cu totalitatea lucrărilor de întreținere și reparații a tancurilor nu compensează diferența de aproape 60% dintre costul inițial al utilizării protecției anticorozive de tip PSPC și cea de tip TSCF. După o durată de viață de 20 de ani, costurile totale ale utilizării vopselei pentru tancuri PSPC sunt aproximativ egale cu investiția inițială în cazul TSCF.

Se poate face deasemenea, o comparație între nava supusă studiului în această teză și variantele simulate de programul de calcul " *Cost Efficiency Program*".

Costul total generat de coroziune la nava studiată, după 20 de ani de utilizare este de 8.883.015 Euro în condițiile în care s-a utilizat ca protecție anticorozivă pe suprafața întregii nave vopsea de tip grund, însoțită de anozii de zinc.

În cazul variantei optime simulate de program, aceasta presupune utilizarea anozilor de aluminiu, vopsea de tip PSPC pentru tancuri, vopsea antifouling pentru carenă și grund pe celelalte suprafețe structurale. Totodată în cazul acestei variante simulate nu este necesară schimbarea de oțel care presupune costuri suplimentare dar și scăderea rezistenței așa cum este demonstrat în analiza numerică realizată în 3D-FEMAP în Capitolul 4.

Elementele care asigură o eficiență crescută în cazul variantei optimizate sunt:

- timpul de andocare interpretat ca pierdere dublă, un prim aspect fiind timpul mort al navei din punct de vedere comercial cât și al costului de staționare în port. Acesta este influențat de durata și frecvența lucrărilor realizate la corpul navei.

- calitatea materialelor și a procedurilor folosite în realizarea lucrărilor de reparație și mentenanță, au un aport crescut la sporirea duratei de funcționare a navei și la reducerea lucrărilor de mentenanță și reparație, implicit a costului cu aceste lucrări. Se poate observa că pentru o perioadă de 20 de ani utilizarea formulei: vopsea PSPC, antifouling și anozii de sacrificiu din aluminiu elimină necesitatea înlocuirii de oțel pe suprafața corpului de navă.

- eficientizarea procesului se realizează atât din punct de vedere al costului aferent timpului de staționare a navei cât și al costului efectiv al lucrărilor.

În ceea ce privește costul total generat de coroziune la variantă simulată, acesta este în cuantum de 7.891.509 euro, cu aproximativ 12% mai mic decât costul navei studiu. Din analiza realizată mai sus, costurile inițiale ale ambelor variante sunt aproximativ egale, diferența costurilor totale fiind dată de reducerea costurilor de întreținere și reparații.

Având în vedere posibilitatea modificării fiecărei dintre aceste caracteristici, acest program poate fi utilizat în calculul costurilor generate de coroziune pentru majoritatea tipurilor de nave. Poate reprezenta un instrument indispensabil în luarea deciziilor de construcție dar și de alegerea materialelor și lucrărilor de întreținere și reparație. Estimarea costurilor de construcție, întreținere și reparații, detalierea elementelor acestuia și aproximarea efectelor fizice generate de alegerea utilizării unui material duce la eficientizarea acestor costuri și maximizarea profitului.

7.2 Contribuții originale

Prin prezenta teză de doctorat, autorul consideră că s-au adus următoarele contribuții originale:

- realizarea unui studiu aprofundat cu privire la stadiul actual de dezvoltare a sistemelor de eficientizare a costurilor de mentenanță și reparații dezvoltate pentru industria navală și a impactului pe care acestea le au asupra mediului economic;

- pentru o imagine mai clară asupra efectelor negative ale coroziunii, a fost realizată, în Capitolul 3 și Capitolul 4 o analiză a rezistenței generale și locale utilizând modele 3D-FEM, extinse pe toată lungimea navei de tip OSV, astfel fiind obținute valorile tensiunilor și deformațiilor din toată structura navei inclusiv din structurile de la extremități.

- realizarea unui studiu asupra costurilor generate de coroziune în cazul navei selectate, în vederea determinării categoriilor de coroziune generatoare de costuri, ponderea lor în costul final și modalitatea de reducere a acestora fără încălcarea standardelor de calitate impuse de Societățile de Clasificare

- realizarea unui sistem software pentru eficientizarea costurilor de mentenanță și reparații pe durata de viață a unei nave. Software-ul a fost conceput în limbajul de programare orientat pe obiecte Java, folosind mediul integrat de dezvoltare Netbeans pentru a genera, compila și testa codul sursă.

- posibilitatea simulării pe toată perioada de viață a navei, ca suport în luarea deciziilor, de construcție, mentenanță și reparații la corpul navei, în timp real
- prelucrarea electronică a datelor experimentale - prin simularea combinării factorilor ce intră în componența costului total în vederea determinării variantei optime în care eficiența este maximă, și criteriile urmărite de armatori și societățile de clasificare sunt satisfăcute simultan.

7.3 Diseminarea rezultatelor

Cercetările întreprinse în perioada desfășurării proiectului „Burse doctorale pentru dezvoltare durabilă POSDRU/107/1.5/S/76945”, s-au concretizat prin elaborarea și publicarea în calitate de prim autor a unui număr de 5 articole științifice, dintre care toate 5 ca prim autor, atât în reviste de specialitate, cât și în volumele unor conferințe științifice internaționale, după cum urmează:

- articole publicate în lucrările unor conferințe cotate ISI (Web of Knowledge) – 2;
- articole publicate în volumele unor manifestări științifice internaționale indexate în baze de date internaționale – 2;
- articole publicate în buletine și reviste de specialitate – 1

Din cele 2 articole publicate în lucrările unor conferințe, 2 dintre ele au fost susținute personal de către autor.

De asemenea, diseminarea rezultatelor s-a realizat și prin participarea la sesiunile științifice organizate în cadrul proiectului.

7.4 Direcții viitoare de extindere a cercetării

Cercetările efectuate până în prezent vor fi continuate prin:

- dezvoltarea de noi algoritmi de eficientizare;
- dezvoltarea unei noi direcții de cercetare la nivelul optimizării costurilor totale de construcție și exploatare pe durata de viață a unei nave și anume dezvoltarea suplimentară a aspectelor legate de influența asupra evoluției coroziunii în funcție de specificul navei, salinitatea apelor în care navighează etc.
- creșterea complexității analizei variantei optime prin introducerea elementelor ce țin de zona de navigare a navei studiate, variante de andocare, costuri de andocare în funcție de zona de navigare, variante de vopsire, automatizate sau nu etc.
- implementarea softului *Cost Efficiency Program* la nivelul tuturor tipurilor de nave

Bibliografie

- [1] Dieter L., *Chimie et corrosion de surfaces des metaux*, Presses Polytechniques et Univertaires Romandes, Vol.12, 1993.
- [2] Takizawa K., Skimizu Y., Koga K., *Effects of MnS inclusions, alloying elements and pretreatments on the corrosion resistance of 18-8 stainless steel*. Congress Mondial des Tritements de Surface. 4-7 X 1988, P 965-972.
- [3] Evans U.R., *An introduction to Metallic Corrosion*, 3rd Ed. Edward Arnold Lid and American Society for Metals, Metals Park, 1981.
- [4] Wranglen G., *Introduction in Corrosion and Metal Protection*, Stockholm Institut för Metállskydd, 1972 .
- [5] Andreas I., *Rezistența longitudinală ultimă a vrachierelor corodate și avariate*, Teză de doctorat, Galați, 2010.
- [6] Vermeșan E., Vermeșan G., *Procese care au loc la coroziunea produselor tratate termic*, O.I.D., București, 82, 1988.
- [7] Evans U.R., *Corrosion and Oxydation of Metals*, London, Arnold, 1960, P 38.
- [8] Turner C., *Corrosion - what a waste, Corrosion Prevention and Control*, 1991.
- [9] Oniciu L., *Coroziunea metalelor*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1986.
- [10] Evans U.R., *The corrosion and oxydation of metals*, London, 1989.
- [11] Vermeșan E., *Chimie metalurgică*, E.D.P., București, 1981.
- [12] www.dechema.de , *Deutch Gesellschaff für Chemisches Apparatewesen*, Postfach 150104, W-6000 Frankfurt am Main 15, 1992.
- [13] Raport cercetare, *Cercetări fundamentale și aplicative privind realizarea bronzurilor CuNiAl destinate recondiționării elicelor navale – ELNAV - CEEX 322 / 2006*.
- [14] Maximadj A. I., Belenkij L. M., Briker A. S., And Neugodov A. U., *Technical Assessment Of Ship Hull Girder*, Petersburg, Sudostroenie, 1982.
- [15] Loseth R., Sekkesaeter G. And Valsgard S., 1994, *Economics Of High - Tensil Steel In Ship Hulls, Marine Structures*, Vol. 7, P 31-50.
- [16] Guedes Soares C., Garbatov Y., *Reliability Of Maintained, Corrosion Protected Plates Subjected To Non-Linear Corrosion And Compressive Loads*, Marine Structures, 12, 1999, P 25–55.
- [17] Boyd W. K., Fink F. W., *Corrosion Of Metals In Marine Environments- An Overview, Seawater Corrosion Handbook*, New Jersey, Noyes Data Corporation, 1979, P 1-104.
- [18] Emi H., Arima T., Umino M., *A Study on Developing a Rational Corrosion Protection System of Hull Structures*, NK Technical Bulletin, 1994, P 65-79.
- [19] Johnny Eliasson, *Prevention and management of marine corrosion*, Lloyd's List event conference. London; 2003.
- [20] *Co-Operative Forum (TSCF)*, Guidance Manual For Tanker Structures, Witherby & Co. Ltd., London, 1997
- [21] <http://www.rna.ro>/Autoritatea Navala Romana
- [22] Bureau Veritas, *General principles of classification*, Ian 2013, Pt A, Ch 1, Sec 1
- [23] International Association Of Classification Societies IACS, *Recommendation 87, 2b,3, Guidelines For Coating Maintenance & Repairs For Ballast Tanks And Combined Cargo/Ballast Tanks On Oil Tankers*, London, UK, 2015.
- [24] www.eagle.org, American Bureau of Shipping, *Guidance notes on the inspection, maintenance and application of marine coating systems*, Houston, TX 77060, USA, 2013, P 1-17.

- [25] www.ocimf.com, Oil Companies International Marine Forum - OCIMF, *Double Hull Tankers are they the answer?*, London, UK, 2013
- [26] <http://www.nei-marine.com> , *Life Cycle Cost Of The Venture Oxygen Strippingtm Ballast Tank Corrosion Protection System In Double Hull Ships*, 2010.
- [27] Zamani N. G., Chuang J. M., Porter J. F., *BEM Simulation Of Cathodic Protection Systems Employed In Infinite Electrolytes*, Int. J.For Numer. Methods Eng., Vol. 24, 1987, P 605–620.
- [28] The Royal Institution of Naval Architects – RINA, *In-Service Assessment of Ship Structures: Effects of General Corrosion on Ultimate Strength*,1993; P 135,77,91.
- [29] Svetlana B., *Studii Privind Degradarea prin Oboseală în Mediu Coroziv a unor Oțeluri Navale*, Teză de Doctorat, Universitatea “Dunărea De Jos” Din Galați, 2010.
- [30] Joanne J.-M., Brenda J. Little, Richard R., Patricia A. W., Lee C. C., Florian M., *Marine bacteria and localized corrosion on polymer coated steel: cause and effect*, Naval Research Laboratory Washington, DC 20375, Corrosion 1999, ISBN: 99183 1999 CP.
- [31] <http://www.awwa.org>, Awwa - American Water Works Association, *Corrosion Protection Of Ships, Optimized Corrosion Control Treatment Primer (P) 9*. Dnv, Booklet On Recommended Practice, 2000.
- [32] International Association Of Classification Societies, *Recommendation 96*, Guidelines for Surveys, Assessment and Repair of Hull Structures - Double hull oil tankers, London, UK, 2007.
- [33] <http://www.corrosionclinic.com>, Microbiologically Influenced Corrosion (MIC)
- [34] <https://www.dnvgl.com/>, Det Norske Veritas, *Corrosion Protection Of Ships*, Booklet On Recommended Practice, 2000.
- [35] Don Butler Butterworth-Heinemann, *Guide to ship repair estimates*, Oxford First Published 2000(8-6 Pag)
- [36] ASTM *International Standard Worldwide -F20-16-00, 2006, SSPC-SP12*, Arthur K. Marshall, NACE, *Coating Inspector's Condensed Logbook*, 5th Edition, ISBN: 9781575903132, 2015
- [37] www.eagle.org, American Bureau of Shipping, Part 2, *Rules For Materials And Welding*, USA , July 2014
- [38] www.international-marine.com/ International Paint: International Marine Coatings
- [39] De Baere K., Verstraelen H., Dewil R., Lemmens L., Lenaerts S., Potters G., *Impact Of Tank Construction On Corrosion Of Ship Ballast Tanks*, MP 49, 5, 2010, P. 48-53.
- [40] Pedferri P., *Cathodic Protection And Cathodic Prevention, Construction And Building Materials*, Elsevier, ISSN: 0950-0618, 1996, P 391-402.
- [41] Zamani N. G., Chuang J. M., Porter J. F., “BEM Simulation Of Cathodic Protection Systems Employed In Infinite Electrolytes,” Int. J.For Numer. Methods Eng., Vol. 24, Pp. 302-325, 1987.
- [42] Guibert A., Chadebec O., Coulomb J.-L., Rannou C. *Ships hull corrosion diagnosis from close measurements of electric potential in the water*, IEEE Transactions on magnetics, Vol. 45, No. 3, 2009
- [43] Bureau Veritas, *Protection of hull metallic structures*, Pt B, Ch 11, Sec 1, Ian 2013
- [44] Convenția Internațională International Maritime Organization (IMO) privind *Control Of Harmful Anti-Fouling Systems On Ships (Conventia AFS)* a fost adoptată la 5 Octombrie 2001.

- [45] International Maritime Organization (IMO) PSPC; Resolution MSC. 215(82)), *Performance Standard For Protective Coatings For Dedicated Seawater Ballast Tanks In All Types Of Ships And Double-Side Skin Spaces Of Bulk Carriers*, (London, UK, IMO).
- [46] Chao W., Johnny E., Edward J., Ge Wang, Roger I., International Maritime Organization (IMO) *PSPC Implementation And 15 Years Of Target Useful Coating Life* ABS, 16855 Northchase Drive, Houston, Texas 77060
- [47] International Association Of Classification Societies, *Common structural rules adopted By IACS*, July, 2010
- [48] Brown RS, Savage I. *The Economics Of Double Hulled Tankers*, Maritime Policy and Management, 1996;23: P 167–75.
- [49] Koch GH, Brongers MPH, Thompson NG, Virmani YP, Payer JH. *Corrosion Costs And Preventive Strategies In The United States*. US Federal Highway Administration; 2002. Report FHWA-RD-01–156
- [50] Johnson J. *Cost Of Corrosion In Ships, Report*. Dublin, Ohio: CC Technologies Laboratories, Inc.; 2001.
- [51] De Baere K, Verstraelen H, Lemmens L, Lenaerts S, Potters G. *In Situ Study Of The Parameters Quantifying The Corrosion In Ballast Tanks And An Evaluation Of Improving Alternatives*. Houston: NACE Conference Papers; 2011
- [52] Melchers RE. *Corrosion Uncertainty Modelling For Steel Structures*. J Constr Steel Res 1999;52: P 3–19.
- [53] Kawano H, Hirakata M. *Tanker structure and hull failure strength*. PAJ Oil Spill Symposium 2003. Tokyo: Petroleum Association of Japan; February 27–28, 2003.
- [54] Cheng F.Y., *In Recent Advances in Optimal Structural Design*, ed., S.A. Burns (ASCE), 2002.
- [55] <http://www.z-guard.co.uk>, *The A-Z of cathodic protection*. [last accessed December 2014].
- [56] http://www.anaz.ro/4_coroziune.html
- [57] Eschenauer H., Koski J., Osyczka A., *Multicriteria Design Optimization*, Springer-Verlag, Berlin, 1990.
- [58] Det Norske Veritas Rules., Rules for Classification of ships, 2014,
- [59] China Classification Society - *Guidelines for Survey of Corrosion Resistant Steel of Cargo Oil Tanks in Crude Oil Tankers* GD 03 -2013
- [60] <http://www.international-marine.com>
- [61] Bureau Veritas, Coating Performance Standard, July 2013.
- [62] J. L. Ham, *Modern Offshore Support Vessels Class and Statutory Perspectives* Ahmad Sarthy – *Ship/Offshore Structures and Statutes*, American Bureau of Shipping - Pacific Division 2005
- [63] <http://www.nei-marine.com>, *Life cycle cost of the venturi oxygen stripping ballast tank corrosion protection system in double hull ships*, LosAngeles, USA: 2007 [accessed 01.08.11].
- [64] Kris D.B., Helen V., Philippe R., Steven V. P., Silvia L., Geert P., Reducing the cost of ballast tank corrosion: an economic modeling approach, *Marine Structures* 32 (2013) P 136–152
- [65] Martinescu I., Popescu I., *Fiabilitate*, Editura Gryfon, Braşov, 1995
- [66] Water A. G., Chadebec O., Coulomb J.-L., Rannou C. *Ships Hull Corrosion Diagnosis From Close Measurements Of Electric Potential*, IEEE Transactions on magnetics, Vol. 45, No. 3, 2009
- [67] www.eagle.org, American Bureau of Shipping – ABS, *Guidance notes on the inspection, maintenance and application of marine coating systems*. 3rd ed. 2007.

- [68] Domnișoru L., *Metoda Elementului finit in constructii navale*, Editura tehnica Bucuresti 2001, P 62
- [69] Guedes Soares C., *Special issue on loads on marine structures. Marine Structures* 1999, 12(3): P 129-209
- [70] Servis D., Voudouris G., Samuelides M., Papanikolaou A., *Finite element modeling and strength analysis of hold no. 1 of bulk carriers. Marine Structures*, 2003,16:601-626
- [71] Domnișoru L. *Structural analysis and hydroelasticity of ships*, Galati: University "Dunarea de Jos" Press, 2006
- [72] Bathe K.J., *Finite Elementen Methoden*, Berlin, Springer Verlag, 1990.
- [73] Lehman E. *Matrizenstatik*, Technischen Universitat Hambourg – Hamburg, 1994.
- [74] Lehman E. *Guidelines for strength analysis of ship structures with the finite element method*, Hamburg: Germanischer Lloyd Register, 1998.
- [75] Sorohan Șt. *Practica Modelării cu Elemente Finite – Note de Curs*, Universitatea Politehnică București
- [76] Ioan A., Popovici O., Domnișoru L., *Global ship strength analysis*, Braila: Evrika Publishing House, 1998.
- [77] Rozbicki M., Das Purnendu K., Crow A. *The preliminary finite element modeling of a full ship. International Shipbuilding Progress. Delft* 48(2):213-225, 2001.
- [78] Ionaș O., *Nave Tehnice, note curs*, Facultatea de Arhitectură Navală
- [79] Bureau Veritas Rules, *Rules for Classification of steel ships*, 2014.
- [80] Jagițe G., Domnișoru L., *Pachetul de softuri SSA for Femap (Ship Structural Analysis) pentru analiza rezistentei generale si locale a corpului navei din valuri echivalente cvasi-stactice*, Facultatea de Arhitectura Navala, Universitatea "Dunarea de Jos" din Galati
- [81] Domnișoru L., Chirică I., Ioan A., *Methods for Hull Structure Strength Analysis and Ships Service Life Evaluation, for a large LNG carrier, Analysis and Design of Marine Structures* (Editors C.Guedes Soares, P.K.Das), CRC Press / A.A. Balkema Publishers a member of Taylor & Francis Group London, Lisbon, 2009, P 53-67.
- [82] International Association of Classification Societies, *CSR - Tanker, Common Structural Rules for Double Hull Oil tankers adopted by IACS*, 2008
- [83] International Association of Classification Societies, *CSR - Bulker, Common Structural Rules for Bulk Carriers adopted by IACS*, 2008
- [84] Domnișoru L., Găvan E., Popovici O., *Analiza structurilor navale prin metoda elementului finit*, Editura Didactica si Pedagogica R.A. Bucuresti, 2005
- [85] www.sdcverifier.com, SDC Verifier Ver.3.6 software,
- [86] <http://www.oecd.org/dac/>
- [87] Rossetti M. D., Hill R. R., Johansson B., Dunkin A., Ingalls R. G., J. Ethan Brown, Sturrock D., *Identifying cost red opportunities throug*, eds.Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference, Deloitte Consulting, USA, 2009.
- [88] Balduzzi F., Giua A., Seatzu C., *Modelling and Simulation of Manufacturing Systems Using First-Order Hybrid Petri Nets*, Int. J. of Production Research, Vol. 39, No. 2, 2001, P 255-282.
- [89] Balduzzi F., Giua A., Menga G., *First-Order Hybrid Petri Nets: a Model for Optimization and Control*, IEEE Trans. Robotics and Automation, Vol. 16, 2000, P 382-399.
- [90] Champagnat R., Esteban P., Pingaud H., Valette R., *Modeling and Simulation of a Hybrid System Through PR/TR PN-DAE Model*, Proc. 3rd Int. Conf. on Automation of Mixed Processes, Reims, France, 1998.

- [91] Chen H., Hanisch H.-M., *Hybrid net condition/event systems for modeling and analysis of batch processes*, Proc. 3rd Int. Conf. on Automation of Mixed Processes, Reims, France, 1998.
- [92] Chen H., Amodeo L., Chu F., Labadi K., *Modeling and performance evaluation of supply chains using batch deterministic and stochastic Petri nets*, IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol. 2, no. 2, 2005, P 132-144,.
- [93] Andrei N., *Programarea Matematică Avansată. Teorie, Metode Computaționale, Aplicații*. Editura Tehnică, București, 1999.
- [94] Andrei N., *Pachete de Programe, Modele și Probleme de Test pentru Programarea Matematică*, Editura MATRIXROM, București, 2001.
- [95] Andrei N., *Sisteme și pachete de programe pentru programarea matematică*, Editura Tehnică, București, 2002.
- [96] Andrei N., *Modele, Probleme de Test și Aplicații de Programare Matematică*, Editura Tehnică, București, 2003.
- [97] Trandafir R., *Modele și algoritmi de optimizare Seria „Matematică”*, Editura AGIR București, 2004
- [98] Andrei N., *Modele de Optimizare versus Modele de Simulare și Econometrice*, Institutul de Cercetări în Informatică, Centrul de Modelare și Optimizare Avansată 8-10, Bdl. Averescu, București 1, România, 2004
- [99] Andrei N., Borcan Ghe., *ALLO: Algebraic Language for Linear Optimization. ICI Technical Report*, LSSO-2-95, September 21, 1995, P 1-50.
- [100] Andrei N., Borcan Ghe., *Sistem avansat de modelare și optimizare bazat pe limbaje de modelare matematică. ALLO-limbaj algebric de optimizări liniare. Raport Tehnic ICI-97*, 1997.
- [101] Andrei N., Borcan Ghe., *ALLO-limbaj algebric pentru optimizare liniară*, Revista Română de Informatică și Automatică, vol.8, nr. 3, 1998, P 55-67.
- [102] Brooke A., Kendrick D., Meeraus A., *GAMS: A user's guide*. The Scientific Press, Redwood City, CA, 1988.
- [103] Brooke A., Kendrick D., Meeraus A., Raman R., Rosenthal R.E., *GAMS: A user guide*. GAMS Development Corporation, December 1998, Washington, DC, USA.
- [104] Constantinescu I.N., Picu C., Hadăr A., Gheorghiu H., *Rezistența materialelor pentru ingineria mecanică*, Editura BREN, București, 2006
- [105] Deliu M., *Fiabilitatea mașinilor-unelte*, Editura Universității Transilvania din Brașov, 2002
- [106] Toma V., *Aspects concerning the choosing of maintenance system*, International Conference on Material Science and Engineering, BRAMAT 2007, Universitatea Transilvania din Brașov, 2007
- [107] www.eagle.org, American Bureau of Shipping, Guidance notes on the Inspection, Maintenance And Application Of Marine Coating Systems 2013, Houston, TX 77060 USA P 77 - 79
- [108] Aloui R. *Development of a generalized life cycle cost/earning model for tanker ship structure based on effective cost assessment of the corrosion, maintenance and scantling design variables*, Master thesis: Université de Liège (ANAST) 2010, unpublished.
- [109] Paik JK, Kim DK. *Advanced method for the development of an empirical model to predict time-dependent corrosion wastage*. Corrosion Sci 2012;63: P 51–8.
- [110] De Baere K., Verstraelen H., Philippe R., Steven V. P., Silvia L., Geert P. , *Study on alternative approaches to corrosion protection of ballast tanks using an economic model*, Marine Structures 32 (2013) 1–17

- [111] Paik JK, Thayamballi AK, Park YI, Hwang JS. *A time-dependent corrosion wastage model for seawater ballast tank structures of ships*. Corrosion Sci 2004;46: P 471–86.
- [112] International Association of Classification Societies - IACS. *Common structural rules for tankers and bulk carriers*, London, UK, 2005.
- [113] Wang G, Lee AK, Ivanov L, Lynch TJ, Seratella C, Basu R. *A statistical investigation of time-variant hull girder strength of aging ships and coating life*, Mar Struct 2008;21: P 240–56.
- [114] www.eagle.org, American Bureau of Shipping - *Rule Requirements for Materials and Welding*, 2014
- [115] Verstraelen H, De Baere K, Schillemans W, Lemmens L, Dewil R, Lenaerts S, et al. *In situ study of ballast tank corrosion on ships dpart 1*. Mater Perform 2009a;48(10):48–51.
- [116] Verstraelen H, De Baere K, Schillemans W, Lemmens L, Dewil R, Lenaerts S, et al. *In situ study of ballast tank corrosion on ships dpart 2*. Mater Perform 2009b;48(11):54–7. 19
- [117] <http://epp.eurostat.ec.europa.eu> - Eurostat.
- [118] Pearce D, Groom B, Hepburn C, Koundouri P., *Valuing the future: recent advances in social discounting*, World Econ 2003;4:121–41.
- [119] <http://www.nei-marine.com> - McNulty P., *Alternatives to PSPC*, Los Angeles, USA: NEI Treatment Systems, 2008.
- [120] Det Norske Veritas - *Offshore Service Specifications. Provide principles and procedures of DNV classification, certification, verification and consultancy services - DNV-RP-B101 – 2007*
- [121] Arab Shipbuilding and Repair Yard Company. <http://www.asry.net>
- [122] Legacy Shipbroking S.A., Market report; 23–29 August 2010.
- [123] <http://ec.europa.eu/governance/impact/>, Pearce D. *The standard discounting rate EU*. 2003.
- [124] Harmonized indices of consumer prices (2005L100) – monthly data (12-month average rate of change).
- [125] Hotărâre nr. 811 din 4 august 2010 privind controlul statului portului
- [126] Rusu A., Cercetări operaționale Note de curs, Iași, 2007.
- [127] Tator KB. *Risk assessment and economic considerations when coating ballast tanks, workshop: coatings for corrosion protection: offshore oil and gas operation facilities, marine pipeline and ship structures*, Mississippi, USA; 2004.
- [128] National Research Council - NRC, *Effects of Double-Hull Requirements on Oil Spill Prevention: Interim Report*, Marine Board. Washington, D.C.: National Academy Press. 1996.
- [129] Oil Pollution Act, Public Law No 101-380 (33 U.S.C. 2701 et seq.), 104 Stat. 484; 1990.
- [130] Kim I., *Ten years after the enactment of the Oil Pollution, Act of 1990: a success or a failure*. Mar Policy 2002;26:197–207.
- [131] *Ballast tanks: an overview of the TSCF guidelines for ballast tank coating systems and surface preparation*, Shipbuilders Meeting. Tokyo 2000
- [132] Gabroveanu M., *Curs Introducere în Programarea Orientată Obiect (POO)*, 2001
- [133] Negrescu L., *Limbajele C și C++ pentru începători*, Vol. II, (editia XI),Editura Albastra, Cluj-Napoca, 2005
- [134] Bruce E., *Thinking in C++*, 2nd Edition”, Prentice Hall 2000
- [135] <http://www.mindview.net/Books/TICPP/ThinkingInCPP2e.html>
- [136] Bjarne Stroustrup, *The C++ Programming Language*, Adisson-Wesley, 3rd edition, 1997
- [137] Preda M., Mirea A., Preda D., Teodorescu C., *Introducere in programarea orientata-obiect. Concepte fundamentale din perspectiva ingineriei software*, Editura Polirom. 2010

- [138] Schach S., *Object-Oriented and Classical Software Engineering*, Seventh Edition. McGraw-Hill. ISBN 0-07-319126-4, 2006
- [139] Abadi M., Cardelli L., *A Theory of Objects*. Springer-Verlag. ISBN 0-387-94775-2, 1998
- [140] Abelson H. Gerald J.S., *Structure and Interpretation of Computer Programs*, The MIT Press. ISBN 0-262-01153-0, 1997
- [141] Armstrong D. J. *The Quarks of Object-Oriented Development*, Communications of the ACM 49 (2): 123–128. ISSN 0001-0782. Retrieved 2006-08-08, 2006
- [142] Booch G., *Object-Oriented Analysis and Design with Applications*, Addison-Wesley. ISBN 0-8053-5340-2, 1997.
- [143] <http://hypertextbook.com/>
- [144] The International Maritime Organization – *The Performance Standard for Protective Coating (PSPC)*, adopted by (IMO) Resolution MSC.215(82) – 2001
- [145] Rules for building and classing, steel vessels under 90 meters(295) feet) in length - part 5, 2006
- [146] Offshore Magazine, Anniversary Special: 50 key events, technologies shaped the offshore industry, 2004
- [147] Guo J, Wang G, Ivanov L, Perakis AN. *Time-varying ultimate strength of aging tanker deck plate considering corrosion effect*, 2008.
- [148] Southwell CR, Bultman JD, Hummer CW, *Estimating of service life of steel in seawater, seawater corrosion handbook*, Noyes Data Corporation, 1979.
- [149] Mocanu I.C., Gavrilescu I., *Rezistența materialelor*, Editura Fundației Universitare "Dunărea de Jos" Galați, 1999.
- [150] Qin SP, Cui WC., *Effect of corrosion models on the time-variant reliability of steel plated elements*, Mar Struct;16: 15–34, 2003
- [151] Ivanov LD, Wang GE, Seah AK, *Evaluating corrosion wastage and structural safety of aging ships. In: Pacific international maritime conference*, Sydney, Australia; 2004.
- [152] Kaldor N., *The irrelevance of equilibrium economics*, The Economic Journal, vol.82, 1972, P1237-1255.
- [153] Leontief W., (1971) *Theoretical assumptions and nonobserved facts*, American Economic Review, 61 (1): 1-7, 1971.
- [154] Leontief W., Letter in Science, Academic Economics. Science, 217, 1982, P 104-107.
- [155] Lucas R., *Econometric policy evaluation: a critique in K. Brunner și A. Meltzer (Eds.) The Phillips Curve and Labor Markets*. North-Holland, 1976,
- [156] Meadows D.H., Richardson J., Bruckmann G., *Groping in the dark*. Somerset, Wiley, 1982.
- [157] Phelps-Brown E.H., The underdevelopment of economics, The Economic Journal, vol.82, 1972, P 1-10.
- [158] Simon H., *Administrative Behavior*, MacMillan, New York, 1947.
- [159] Kaldor N., *The irrelevance of equilibrium economics*, The Economic Journal, vol.82, 1972, P 1237-1255.
- [160] Leontief W., *Theoretical assumptions and nonobserved facts*, American Economic Review, 61 (1), 1971, P 1-7
- [161] American Bureau of Shipping, *Rules for Building and Classing Steel Vessels Under 90 meters in Length*, Part 3 Hull Construction and Equipment, 2001.
- [162] American Bureau of Shipping, *Rules for Building and Classing Steel Vessels Under 90 meters in Length*, Part 4 Vessel System and Machinery, 2001.
- [163] American Bureau of Shipping, *Rules for Building and Classing Steel Vessels Under 90 meters in Length*, Part 5 Specialized Vessels and Services, 2001.

- [164] International Maritime Organization, *Resolution A.469(XII) Guidelines for the Design and Construction of Offshore Supply Vessels*, IMO London, 1981.
- [165] International Maritime Organization, *Resolution A.673(16) Guidelines for the Transport and Handling of Limited Amounts of Hazardous and Noxious Liquid Substances in Bulk in Offshore Support Vessels*, IMO London, October 1989.
- [166] Offshore Magazine, , *Anniversary Special: 50 key events, technologies shaped the offshore industry*, 2004.
- [167] Ahmad S., Ham J. L. *Modern Offshore Support Vessels Class and Statutory Perspectives*, American Bureau of Shipping - Pacific Division, OSV Singapore 2005
- [168] www.sciencedirect.com, *Machine learning applied to quality management—A study in ship repair domain*, Srdoc A., Bratko I., Sluga A., 2006
- [169] Stimson W.A., *Statistical quality-control and navy ship repair*, Naval Engineers Journal 105 (1) 1993 P 59–65.
- [170] Todd J., Gideon A.K., *An ISO 9000 pilot project in navy ship repair*, Naval Engineers Journal 111 (3) 1999 P 257–267.
- [171] Sire R.A., Kokarakis J.E., Wells C.H., Taylor R.K., *A probabilistic structure life prediction system for container ship repair and inspection*, International Journal of Pressure Vessels and Piping 50 (1–3) 1992 P 297– 315.
- [172] Filipic B., Srdoc A., *Task scheduling and resource management in ship repair using a genetic algorithm*, in: Proceedings of the Eighth International Conference on Computer Applications in Shipbuilding (ICCAS), Bremen, Germany, 1994, P 15.17–15.28.
- [173] Chryssolouris G., Mourtzis S., Makris S., *An approach to planning and control of ship repair manufacturing operations*, CIRP Journal of Manufacturing Systems 32 (1), 2003.
- [174] Cover T.M., Hart P.E., *Nearest neighbor pattern classification*, IEEE Transactions on Information Theory 13 1968 P 21–27.
- [175] Massow C., Siksne-Pedersen I., *Computer integrated planning and resource management in shipbuilding*, in: Proceedings of COMPIT, 2005.