

**UNIVERSITATEA MARITIMĂ CONSTANȚA**  
**Facultatea de Electromecanică Navală**  
**Școala Doctorală Inginerie Mecanică și Mecatronică**

**REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT**

**CERCETĂRI PRIVIND REDUCEREA EMISIILOR  
POLUANTE PRIN UTILIZAREA SISTEMELOR  
INOVATOARE DE PROPULSIE NAVALĂ**

**COORDONATOR ȘTIINȚIFIC**  
**Prof. univ. dr. ing. Nicolae BUZBUCHI**

**DOCTORAND**  
**Ing. Andreea ARSENIE**

**- CONSTANȚA -**  
**2015**



## **CUPRINS**

	<b>Pag.</b>
<b>Introducere</b>	<b>5</b>
1. Necesitatea și oportunitatea temei propuse	<b>5</b>
2. Obiectivele tezei	<b>6</b>
3. Organizarea tezei	<b>7</b>
<b>Capitolul 1. Generalități</b>	<b>8</b>
1.1. Elemente generale cu privire la cadrul legislativ care vizează emisiile de noxe în industria maritimă	<b>8</b>
1.2. Tendințe de viitor privind emisiile generate de transportul maritim	<b>9</b>
1.3. Instalațiile energetice utilizate la bordul navei	<b>10</b>
1.4. Utilizarea motoarelor cu ardere internă în sistemul de propulsie al navei	<b>12</b>
<b>Capitolul 2. Stadiul actual în domeniul reducerii emisiilor de noxe și a eficientizării instalațiilor de la bord</b>	<b>13</b>
2.1. Strategii tehnologice implementate la bordul navelor	<b>14</b>
2.2. Măsurile operaționale	<b>17</b>
2.3. Tehnologii și moduri de acționare pentru reducerea emisiilor de gaze	<b>18</b>
2.4. Tehnici inovatoare pentru un transport maritim mai sigur și mai durabil	<b>18</b>
<b>Capitolul 3. Elemente de modelare numerică a fenomenelor și proceselor generatoare de noxe</b>	<b>20</b>
3.1. Combustibili utilizați pentru instalațiile energetice navale	<b>20</b>
3.2. Procesul de ardere	<b>21</b>
3.3. Determinarea temperaturii de ardere	<b>21</b>
3.4. Formarea emisiilor poluante	<b>21</b>
3.5. Computational Fluid Dynamics (CFD)	<b>23</b>
3.6. Modelarea procesului de ardere în tubul de flacără al unei turbine cu gaze	<b>25</b>

	<b>Pag.</b>
<b>Capitolul 4. Estimarea emisiilor poluante la bordul navei cu ajutorul metodelor numerice</b>	<b>29</b>
4.1. Descrierea instalațiilor pe care s-au efectuat determinările	<b>29</b>
4.2. Precizări privind modul de determinare al datelor	<b>33</b>
4.3. Interpretarea rezultatelor obținute la probele efectuate la ieșirea navei din șantier	<b>33</b>
4.4. Determinarea concentrației emisiilor	<b>38</b>
 <b>Capitolul 5. Validări și cercetări experimentale privind influența îmbunătățirii arderii în motoarele cu ardere internă asupra emisiilor de gaze</b>	 <b>40</b>
5.1 Validarea metodelor de control a emisiilor poluante prin determinări	<b>40</b>
5.2. Impactul asupra mediului al sistemelor moderne de propulsie din punct de vedere al creșterii eficienței arderii	<b>47</b>
 <b>Capitolul 6. Metode operaționale de reducere a emisiilor poluante</b>	 <b>50</b>
 <b>Capitolul 7. Concluzii si contribuții personale</b>	 <b>60</b>
C1. Concluzii generale	<b>60</b>
C2. Contribuții originale	<b>61</b>
C3. Perspective de dezvoltare ulterioară	<b>62</b>
 <b>BIBLIOGRAFIE</b>	 <b>64</b>

## **INTRODUCERE**

### **1. Necesitatea și oportunitatea temei propuse**

În ultimii ani, durabilitatea într-un climat în continuă schimbare și perspectivele legate de mediul înconjurător au devenit probleme cu prioritate deosebită. Aceasta este o agendă care nu poate și nu ar trebui să fie ignorată. Criza financiară a scos la iveală o societate globală vulnerabilă.

Din fericire, cele mai recente evoluții au prezentat semne de redresare în ceea ce privește politicile la nivel global, ceea ce a condus la recăpătarea încrederii în rândul companiilor și consumatorilor. Acest angajament politic poate fi văzut ca recunoaștere a faptului că producția și comerțul global a reprezentat dezvoltarea pentru noi toți, cu industria navală și domeniile conexe ca factori principali de distribuție a bunurilor. În scopul de a continua eforturile pentru un transport naval sustenabil și prietenos cu mediul înconjurător - chiar și în vremuri dificile - trebuie să ne îndreptăm atenția spre inovare și adoptarea de politici și reglementări eficiente. Ceea ce este unanim acceptat este faptul că transportul naval va fi în continuare dependent de combustibilii fosili.

De aceea este nevoie de dezvoltarea de tehnologii eficiente din punct de vedere energetic și ecologice în același timp care pot fi implementate la bordul navelor pentru producerea de energie electrică sau pentru susținerea sistemului de propulsie.

Factorul cheie în stabilirea reglementărilor și politicilor de mediu aplicabile în transportul naval este Organizația Maritimă Internațională (IMO). Reglementările emise de IMO pun pe primul plan siguranța și durabilitatea activității de transport. Astfel de reglementări creează premisa adoptării de tehnologii eficiente și inovatoare, precum și elaborarea de noi standarde operaționale.

Poluarea produsă de industria navală este aproximată a fi de 3% din poluarea la nivel global. Totuși, având în vedere creșterea numărului de nave, datorată consumului în creștere, poluarea rezultată în urma activității de transport naval are o creștere exponențială. Se consideră că emisiile astfel rezultate contribuie la încălzirea globală, afectarea stratului de ozon, fenomene climatice deosebite și calamități naturale. Activitatea de transport naval nu este exclusă din această ecuație a poluării la nivel global și va fi cu siguranță cea mai afectată de următoarea "revoluție" în ceea ce privește protejarea mediului înconjurător.

În ultimele decenii, industria navală a încercat în permanență să optimizeze consumul de combustibil al navelor prin dezvoltarea unor motoare și sisteme de propulsie mai eficiente, prin optimizarea corpului navei și prin construirea de nave cu capacități de transport mai mari, și, prin urmare, a

realizat o reducere notabilă a consumului de combustibil și a emisiilor de CO<sub>2</sub> în funcție de capacitate (tone-km). În ultimii ani, interesul crescut cu privire la încălzirea globală a condus la omniprezența tematicilor legate de conservarea energiei și reducerea emisiilor de CO<sub>2</sub>. Eforturile internaționale de reducere a impactului schimbărilor climatice au început la Rio în 1992, unde s-a convenit un cadru pentru dezvoltarea durabilă de către mai mult de 150 de guverne. Aceasta a fost urmată de adoptarea Protocolului de la Kyoto în 1997, care obliga națiunile semnatare (prevăzute în anexa I) la reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră cu o medie de 5,2% sub nivelul din 1990, până în 2012. Deși navele reprezintă mijlocul de transport cel mai eficient din punct de vedere al consumului de combustibil raportat la capacitatea de transport, un studiu privind emisiile de gaze cu efect de seră efectuat de IMO în 2009 a identificat un potențial însemnat de îmbunătățire a eficienței energetice al sistemelor deja existente.

În 2010, IMO a introdus o serie de "măsurile tehnice", "măsurile operaționale" și "instrumente economice", ca instrumente de reducere a emisiilor de CO<sub>2</sub>. Măsurile tehnice și operaționale menționate aici sunt măsuri directe pentru îmbunătățirea eficienței energetice a unei nave. Măsurile tehnice sunt puse în aplicare prin îmbunătățirea echipamentelor, în timp ce măsurile operaționale vizează îmbunătățiri sau inovații în exploatarea navei. În schimb, instrumentele economice nu sunt menite pentru a reduce în mod direct emisiile de CO<sub>2</sub>, acestea pot reprezenta stimulente economice pentru promovarea punerii în aplicare a măsurilor tehnice și operaționale.

Măsurile tehnice au scopul de a îmbunătăți eficiența energetică a navei prin adoptarea de noi echipamente și sisteme. IMO a introdus indicele de eficiență energetică (EEDI – Energy Efficiency Design Index), ca indice de evaluare a măsurilor tehnice [14]. EEDI răspunde la eforturile IMO de a limita încălzirea globală prin poluarea mediului de către motoarele navale, permițând calcularea valorii specifice a designului fiecărei nave în baza unei formule complexe. Ea este exprimată în grame de CO<sub>2</sub> pe mila parcursă raportat la capacitatea de transport a navei, iar o valoare mai mică a EEDI indică o navă cu un design de eficiență energetică mai ridicată. Scăderea progresivă prin reglementări ale IMO în ceea ce privește indicele de eficiență energetică va fi aplicată în primă fază navelor de tip cargou mărfuri uscate, petroliere, tancuri produse lichefiate, nave de mărfuri generale și nave frigorifice cu un tonaj brut mai mare de 400 de tone. Aceste nave vor primi un certificat internațional de eficiență energetică (International Energy Efficiency Certificate - IEEC).

Principalul element necunoscut de către cei din industria navală se referă la potențialul de reducere a EEDI și modul în care industria va implementa reglementările EEDI, respectând în același timp și restricțiile temporale care

interven. În consecință, modalitățile și oportunitățile de reducere a EEDI trebuie să fie analizate și evaluate.

Anexa VI la Convenția MARPOL impune limite asupra emisiilor de oxizi de azot (NOx) și oxizi de sulf (SOx) proveniți de la nave. Revizuirea anexei a intrat în vigoare la 1 Ianuarie 2012 și stabilește un conținut maxim de sulf pentru combustibilii de la bord de 3,5%, în loc de 4,5%. La 1 ianuarie 2020, acest lucru va fi redus la 0,5% [91], [92].

Uniunea Europeană (UE), prin strategia descrisă în COM (2002) 595 final, creează un punct de cotitură în politica de protecție împotriva poluării atmosferice provenită de la nave. 42% din comerțul intern al UE și 90% din schimburile comerciale cu țările non-europene sunt realizate prin intermediul transportului naval. Consumul de energie și emisiile de CO<sub>2</sub> pe tonă și mile parcurse de navă este de aproximativ 25% din consumul de combustibil realizat pe cale rutieră. Prin urmare, UE a stabilit ca obiectiv strategic fundamental reducerea poluării și emisiilor de gaze cu efect de seră prin transferul transportului rutier de mărfuri către sectorul naval, și realizarea de așa zise "autostrăzi maritime". În ciuda acestor măsuri, se estimează că până în 2020, emisiile de oxizi de sulf (SOx), oxizi de azot (NOx) și pulberi în suspensie (PM2.5) în apele UE datorate activității navale va crește cu 40%, 50% și respectiv 55%, comparativ cu nivelurile din 2000 [31].

Cercetarea efectuată pe parcursul studiilor universitare de doctorat susține ideea că activitățile de dezvoltare durabilă asociate cu industria construcțiilor navale pot fi îndreptate în viitor spre promovarea de tehnologii și servicii inovatoare bazate pe conceptul Green Technology - Green Ship - Green Shipping. Una dintre soluțiile asociate cu acest concept este reprezentată de utilizarea combustibililor neconvenționali, asociată cu strategii operaționale, într-adevăr eficiente, de reducere a consumurilor de combustibili la bordul navelor.

În scopul de a susține și a ne conforma cu tendințele tehnologice la nivel mondial, considerăm că un prim pas în scopul reducerii emisiilor generale de instalațiile energetice existente la bordul navelor, este folosirea unor metode cât mai bine fundamentate de evaluare și monitorizare a acestor emisii, împreună cu implementarea de combustibili "prietenoși cu mediul înconjurător" și cu adoptarea unor strategii viabile și aplicabile de eficientizare, în special din punct de vedere operațional a proceselor caracteristice instalațiilor energetice navale.

Având în vedere această problemă, cercetările efectuate se încadrează în strategia Consiliului European referitoare la schimbările climatice (Energy – Climatic changes) și strategia națională pentru perioada 2007 – 2020 și, de

asemenea, este corelat cu convenția MARPOL 73/78 , anexa 6 – „Reguli pentru prevenirea poluării atmosferei de către nave”.

## **2. Obiectivele tezei**

Unul dintre principalele obiective ale prezentei lucrări este evaluarea obiectivă oportunității folosirii combustibililor neconvenționali pentru alimentarea motoarelor cu ardere internă la bordul navelor.

De asemenea, pe parcursul demersului științific derulat în timpul studiilor doctorale, s-a urmărit dezvoltarea și validarea unui instrument analitic de determinare a nivelului de emisii de noxe care să vizeze mașinile termice de la bordul navelor.

Se poate observa că există mai multe încercări la nivel mondial de cuantificare a nivelului de emisii de noxe pentru motoarele cu ardere internă, în funcție de regimurile specifice de exploatare, dar în ciuda acestor progrese importante, există o cantitate foarte mică de rezultate diseminate în cadrul comunităților academice și de cercetare. Acesta este principalul motiv pentru dezvoltarea acestei abordări pe tot parcursul tezei de doctorat.

Necesitatea cuantificării și monitorizării permanente a nivelului de emisii pentru fiecare navă care tranzitează în special zone populate, demonstrează necesitatea unor astfel de cercetări în domeniul ingineriei marine, orientate către următoarele direcții:

- reducerea poluării aerului, ținând seama de precizările anexei 6 din convenția MARPOL 73/78;
- stimularea activităților de cercetare și dezvoltare în direcția eficientizării proceselor tehnice și, implicit, în direcția reducerii nivelurilor de emisii de noxe la nivel atât local, cât și mondial, cu impact pozitiv atât pentru mediul marin cât și pentru comunitățile de pe uscat;
- conformitatea cu normele naționale și internaționale pentru reducerea cantității de gaze de evacuare.

Scopul și obiectivele imediate, urmărite pentru dezvoltarea tezei de doctorat, avându-se în vedere cele de mai sus, sunt:

- Analiza normelor și reglementărilor internaționale în domeniul protecției mediului marin și identificarea direcțiilor de dezvoltare care derivă din acestea;
- Analiza tipurilor de sisteme navale de propulsie existente pe plan mondial și a oportunităților de implementare a soluțiilor de eficientizare a proceselor caracteristice;
- Dezvoltarea unui model matematic de cuantificare a emisiilor de noxe pentru motoarele cu ardere internă de la bordul navelor;



- Validarea metodelor de determinare a emisiilor poluante la bordul navei prin compararea rezultatelor obținute cu datele determinate în timpul exploatării unei nave moderne;
- Determinarea unei serii de experimente de laborator prin care se dorește determinarea modului în care îmbunătățirea arderii afectează nivelul de emisii poluante.
- Realizarea unui plan de reducere a emisiilor poluante ale navei prin metode operaționale.

### **3. Organizarea tezei**

Teza de doctorat este organizată într-un mod convențional, care cuprinde:

- Prezentarea situației la nivel mondial în ceea ce privește nivelul de emisii de noxe în industria maritimă și tendințele legislative internaționale;
- Prezentarea stadiului actual în ceea ce privește tehnologiile folosite pentru diminuarea emisiilor de noxe la bordul navelor;
- Modelarea matematică a mecanismului de producere a noxelor, folosind atât o abordare analitică, cât și prin intermediul tehnologiilor moderne de modelare numerică;
- Dezvoltarea unui algoritm de evaluare a emisiilor de noxe și aplicarea sa pentru o navă reală;
- Validarea rezultatelor obținute analitic cu ajutorul datelor obținute atât la bordul navei, cât și în urma dezvoltării unor seturi de experimente de laborator;
- Dezvoltarea unei propuneri de S.E.E.M.P. (Ship Energy Efficiency Management Plan) și analizarea posibilităților de implementare la bord;

Având în vedere rezultatele obținute pe parcursul parcurgerii programului de pregătire, am convingerea că atunci când se dorește o abordare din punct de vedere al normelor de mediu vis-a-vis de eficientizarea proceselor de la bordul navelor și de reducerea emisiilor de noxe, implementarea soluțiilor și instrumentelor prezentate pe parcursul prezentei teze de doctorat pare a fi o alegere bună.

## **Capitolul 1. GENERALITĂȚI**

### **1.1. Elemente generale cu privire la cadrul legislativ care vizează emisiile de noxe în industria maritimă**

Protecția mediului înconjurător a devenit, mai ales în ultimii ani, o problemă aflată în mod constant în atenția statelor și a guvernelor lumii, din ce în ce mai responsabile de problemele grave pe care le ridică deteriorarea continuă a mediului înconjurător. Efectele pe termen lung ale poluării asupra mediului ambiant, generate de lipsa de reglementări cu caracter sancționator, au atras atenția oamenilor de stat asupra necesității elaborării unor acte normative eficace în lupta continuă cu aceasta [13].

Cea mai actuală definiție dată poluării marine este cea conținută în Convenția Națiunilor Unite asupra Dreptului Mării. Astfel, prin poluarea mediului marin se înțelege introducerea de către om, direct sau indirect, de substanțe sau de energie în mediul marin, inclusiv în estuare, când aceasta are sau poate avea efecte vătămătoare, cum ar fi daune aduse resurselor biologice, faunei și florei marine, riscuri pentru sănătatea omului, piedici pentru activitățile maritime, inclusiv pescuitul și celelalte utilizări legitime ale mării, alterarea calității apei mării din punctul de vedere al întrebuințării acesteia și degradarea valorilor sale de agrement;

Reglementările în domeniul poluării stabilesc obligația statelor contractante de a lua măsurile necesare pentru a asigura o protecție eficace a mediului marin împotriva efectelor dăunătoare care pot rezulta din activitățile desfășurate, și acțiunile ce trebuie demarate pentru prevenirea, reducerea și controlul poluării mediului marin de către nave, îndeosebi măsurile pentru prevenirea accidentelor și pentru a se face față cazurilor de urgență, a se asigura securitatea operațiunilor pe mare, a se preveni deversările, fie că sunt intenționate sau nu, și a se reglementa proiectarea, construcția, echiparea și exploatarea navelor și componența personalului.

I.M.O. (International Maritime Organization) este organizația internațională subsidiară O.N.U. (Organizația Națiunilor Unite) în probleme maritime. Prin organismul său și anume M.E.P.C. (Marine Environment Protection Committee), o foarte mare atenție este îndreptată către prevenirea poluării mediului marin.

Rezoluțiile M.E.P.C sunt asumate de către I.M.O. prin convenții internaționale, care sunt supuse aprobării statelor membre și, mai departe, sunt implementate de către acestea. După semnarea de către un stat a unei convenții statul respectiv devine „stat parte” la convenția respectivă. De aplicarea convenției semnate, pentru navele care poartă pavilionul acelei țări, se ocupă

guvernul respectivului stat care, pentru armatorii și navele acelui stat este reprezentat prin „Administrația de pavilion” sau „Administrația”.

Literatura de specialitate clasifică formele de poluare marină, potrivit sursei acestora, în: poluarea de la țărm, poluarea generată de nave, aruncarea reziduurilor în mare și poluarea cauzată de explorarea și exploatarea fundului mării.

Una dintre primele preocupări internaționale în domeniu constă în Convenția Internațională pentru Prevenirea Poluării Mării cu Produse Petroliere, 1954, cu amendamentele din 1962, 1969 și 1971. Convenția a fost adoptată la 12 mai 1954 și a intrat în vigoare la 26 iulie 1958.

## **1.2. Tendinte de viitor privind emisiile generate de transportul maritim**

Transportul maritim generează aproximativ 4% din totalul emisiilor de CO<sub>2</sub> produse de activitățile umane, ceea ce înseamnă că amprenta sa de carbon este aproape la fel de mare ca cea a Germaniei.

În ceea ce privește emisiile de gaze cu efect de seră (GES sau GHG – GreenHouse Gases), transportul maritim este cel mai ecologic mod de transport. Totuși, se estimează că, dacă nu se iau măsuri, emisiile generate de nave vor crește cu 150-200% până în 2050. În prezent, există aproximativ 50 000 de nave comerciale care transportă 90 % din mărfurile internaționale, transportul maritim devenind astfel indispensabil pentru economia mondială [9].

Un raport publicat de către Centrul Comun de Cercetare (JRC) al Comisiei Europene oferă prima apreciere de ansamblu cuprinzătoare asupra metodelor de estimare a cantității de emisii atmosferice generate de transportul maritim, prezintă soluții tehnologice și analizează opțiunile strategice de reducere a emisiilor de dioxid de carbon și a poluării atmosferice în acest sector.

Totuși, odată cu noul acord în cadrul IMO, până în anul 2015, în zonele de control al emisiilor de sulf din Marea Baltică și din Marea Nordului navele au fost obligate să utilizeze carburanți cu un conținut de sulf de numai 0,1 %, așa cum este deja cazul în porturile Uniunii Europene în temeiul legislației UE. Începând cu 1 Ianuarie 2015, nivelul maxim de sulf considerat a fi acceptabil în zonele SECA, precum și în porturile Uniunii Europene, ale Australiei și Statelor Unite ale Americii, este de 0.01% sulf în combustibil [15].

Există deci un potențial considerabil de reducere a emisiilor generate de sectorul transportului maritim. Este deja disponibilă o gamă soluții tehnice de reducere a consumului de carburanți, a poluanților atmosferici și a emisiilor de

gaze cu efect de seră, gamă care cuprinde o mai bună proiectare a navelor, a mecanismelor de propulsie și a instalațiilor acestora în vederea unei funcționări optimizate.

Acest nou raport de referință al JRC contribuie la sensibilizarea publicului cu privire la efectele transportului maritim asupra mediului la nivel mondial, inclusiv asupra sănătății umane. Raportul analizează aspectele metodologice evidențiate de comunitatea științifică în legătură cu evaluarea impactului sectorului maritim asupra mediului, insistând asupra lipsei unor surse de informații fiabile și exhaustive. Raportul conține și o analiză detaliată a rentabilității și a potențialului de reducere a emisiilor a fiecărei soluții tehnologice prezentate.

Cu toate acestea, pentru a obține reduceri semnificative ale emisiilor de dioxid de carbon și ale poluării atmosferice, soluțiilor tehnologice (referitoare la carburanți și la motoare) ar trebui să li se adauge și alte măsuri. Trebuie examinate și soluțiile bazate pe piață, care abordează atât măsuri la nivel regional, cât și la nivel mondial. Raportul analizează posibilele modalități de implementare a politicilor bazate pe piață, de exemplu un sistem internațional de comercializare a certificatelor de emisii de gaze cu efect de seră (ETS) pentru sectorul transportului maritim.

Strategia „Europa 2020” include, ca obiectiv principal pentru 2020, angajamentul de a reduce emisiile de gaze cu efect de seră cu cel puțin 20 % față de nivelurile înregistrate în 1990 sau cu până la 30 %, în cazul în care condițiile sunt favorabile. Sfera acestui angajament este prezentată în legislația UE în domeniul climei și energiei. În conformitate cu legislația respectivă, toate sectoarele economiei trebuie să contribuie la realizarea acestor reduceri de emisii, inclusiv sectorul transportului maritim și aerian internațional.

Ca măsură de sprijin în sensul reducerii emisiilor de gaze cu efect de seră, IMO, prin Comisia pentru Protecția Mediului Marin (MEPC) a dezvoltat termenul de Index de Eficiență Energetică a Proiectării (Energy Efficiency Design Index – EEDI), ca fiind o metodă cantitativă de determinare a eficienței energetice a unei nave.

Valoarea EEDI va fi inclusă într-un Certificat de Eficiență Energetică (IEEC), care va fi eliberat pentru toate navele. EEDI se bazează pe o formulă de calcul pentru emisiile specifice de dioxid de carbon. Rezultatul, care se obține plecându-se de la documentația tehnică a navei și caracteristicile motoarelor instalate la bord se exprimă în grame / tona milă [16].

### **1.3. Instalațiile energetice utilizate la bordul navei**

Instalațiile energetice sunt acele instalații ce au drept scop conversia diferitelor forme de energie (mecanică, electrică, termică, etc.) în alte forme de energie necesare la bordul navei [125].

În funcție de energiile pe care le transformă dintr-o formă într-alta, instalațiile energetice se clasifică [115] după cum urmează:

- Instalații de propulsie - sunt instalațiile energetice ce obțin energia mecanică necesară propulsiei navei, din energia chimică rezultată în urma arderii unui combustibil, sau energia atomică rezultată în urma unei reacții nucleare;
- Instalații energetice electrice - sunt instalațiile energetice ce au în componență, un generator electric, acționat de motoare cu ardere internă sau de turbine cu abur, ce produce prin transformarea energiei mecanice, energia electrică necesară instalațiilor electrice de la bord;
- Instalații energetice de producere a aburului - sunt instalațiile cu generatoare de abur care transformă energia chimică (rezultată prin arderea combustibilului în focarul generatorului) sau energia atomică, în abur, utilizat de diferiți consumatori de la bordul navei și necesar pentru acționarea turbinelor cu abur;
- Instalațiile energetice de producere a aerului comprimat - sunt instalațiile care au în componență compresoare, ce transformă energia electrică în energie piezometrică înmagazinată în butelii de aer;
- Instalațiile energetice de pompare - sunt instalațiile care au în componență motoare electrice sau termice și pompe, ce transformă energia electrică sau termică în energie piezometrică, în pompele hidraulice, utilizată ulterior pentru acționarea unor motoare hidraulice;
- Instalațiile frigorifice - transformă energia mecanică în energie termică cu rol în obținerea frigului la bordul navei.

Din totalitatea instalațiilor energetice existente la bordul navei, cele care utilizează motoare cu ardere internă sunt:

- Instalațiile de propulsie:
  - Motoare cu ardere internă în doi timpi (utilizate cu precădere la bordul navelor de mare tonaj);
  - Motoare cu ardere internă în patru timpi (utilizate la bordul navelor mici și mijlocii);
- Instalații energetice electrice:
  - Motoare cu ardere internă în patru timpi;
- Instalații energetice de producere a aerului comprimat:
  - Motoare cu ardere internă în patru timpi;
- Instalații energetice de pompare:

- Motoare cu ardere internă în patru timpi.

#### **1.4. Utilizarea motoarelor cu ardere internă în sistemul de propulsie al navei**

Navele cu instalații energetice de propulsie cu motoare cu ardere internă au cea mai largă răspândire, depășind 80 % din totalul navelor maritime și fluviale, datorită numeroaselor avantaje pe care le prezintă [70]:

- Cel mai scăzut consum specific efectiv de combustibil;
- Cheltuieli relativ reduse pentru reparații și revizii periodice și capitale;
- Durată relativ redusă de punere în funcțiune;
- Pericol redus de producere a incendiilor sau exploziilor.

##### **1.4.1. Rolul instalației de propulsie**

Instalația de propulsie [46] reprezintă totalitatea mașinilor principale și auxiliare, care transformă energia conținută de combustibil în energie mecanică și/sau hidraulică utilizată pentru deplasarea navei în condiții normale de exploatare, cu viteza prevăzută și pe drumul dorit.

##### **1.4.2. Clasificarea generală a instalațiilor de propulsie**

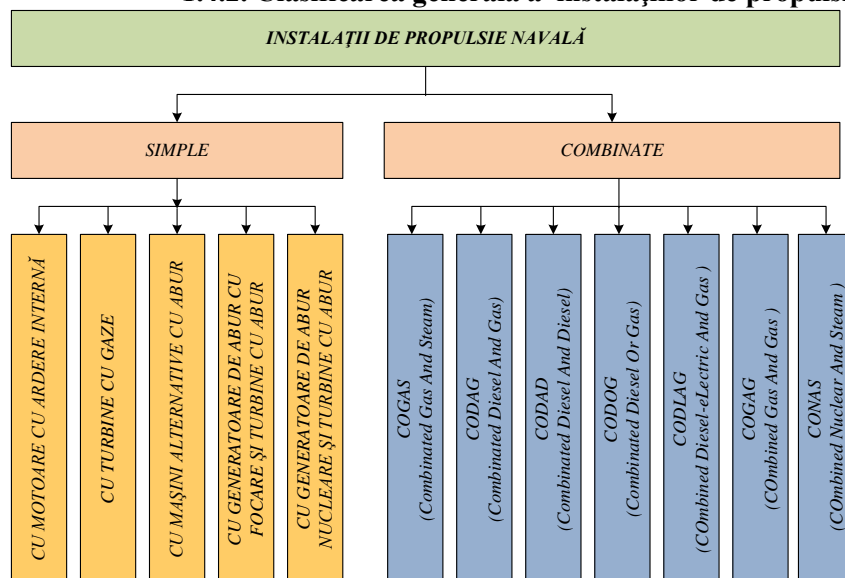


Figura 1.2. Clasificarea instalațiilor de propulsie [55]

## **Capitolul 2. STADIUL ACTUAL ÎN DOMENIUL REDUCERII EMISIILOR DE NOXE ȘI A EFICIENTIZĂRII INSTALAȚIILOR DE LA BORD**

Dintre strategiile de reducere a emisiilor poluante de la nave, identificate până în prezent, soluțiile tehnice sunt primele ce au fost implementate la bordul acestora. Avantajul utilizării unor soluții tehnice la bordul navelor este randamentul mare de reducere a unui produs sau a mai multor produși poluanți, însă principalul dezavantaj este prețul mare de implementare și de exploatare a acestora la bordul navelor.

O altă problemă privind aplicarea soluțiilor tehnice de reducere a emisiilor poluante o reprezintă multitudinea factorilor ce pot influența aceste emisii, precum și interdependența dintre ei. Astfel, în cele mai multe situații, realizarea unei metode de reducere a unui produs poluant duce de cele mai multe ori la modificarea valorilor celorlalți produși poluanți. De aceea, adoptarea unei soluții tehnice la bordul navei necesită acceptarea unui compromis între valorile principalilor produși poluanți nocivi.

Factorii de natură tehnică care afectează nivelul emisiilor poluante sunt numeroși, iar cei mai importanți sunt:

- Forma corpului navei;
- Viteza navei;
- Forma elicei / elicelor navei;
- Determinați de regimul funcțional al motorului: turația; sarcina (dozajul de combustibil); regimul termic al motorului;
- Caracteristicile procesului de injecție: avansul la injecție; legea de injecție; construcția echipamentului de injecție; mărirea presiunii de injecție;
- Particularități constructive ale motorului: intensitatea curentului de aer ce pătrunde în camera de ardere; cantitatea de gaze arse reziduale; arhitectura camerei de ardere; caracteristica de transfer termic a camerei de ardere; supraalimentarea; caracteristicile instalației de ungere;
- Caracteristicile combustibilului: conținutul de sulf; densitatea; volatilitatea; conținutul de hidrocarburi aromatice;
- Starea tehnică a motorului: uzura; depunerile;

Principalele tehnologii de reducere a emisiilor de la nave se concentrează în general asupra emisiilor de NO<sub>x</sub> și SO<sub>x</sub>, deoarece acestea sunt, în prezent, reglementate la nivel internațional și pot fi grupate în trei mari metode: pre-tratament, primare (sau metode interne) și secundare (sau metode de post-tratare). Implementarea acestor tehnologii la bordul navelor depinde în mare măsură de fiecare tip de navă și de tipul de motoare existente la bord. Utilizarea acelor soluții tehnice de reducere a NO<sub>x</sub> și

SOx, care au ca rezultat și reducerea consumului de combustibil de la motoare, au ca efect și reducerea emisiilor de CO<sub>2</sub> din gazele de evacuare de la motoare, deoarece procentul de emisii de CO<sub>2</sub> este direct proporțional cu conținutul de carbon din combustibil. De asemenea, în zonele de acostare a navelor din porturi, au fost implementate tehnologii, care au rolul fie de a trata emisiile de noxe de la motoarele auxiliare (care asigură energia electrică la bordul navelor), fie să furnizeze energia electrică necesară operațiunilor specifice navelor la cheu, înlocuind astfel motoarele auxiliare de la bord.

## **2.1. STRATEGII TEHNOLOGICE IMPLEMENTATE LA BORDUL NAVELOR**

### **2.1.1. Metodele tehnice de pre-tratament**

Metodele de pre-tratament duc la modificarea compușilor chimici din combustibil, care prin arderea acestuia produc emisii de SOx, Nox, CO<sub>2</sub> și PM, ce sunt eliminate în atmosferă.

Prin urmare, scăderea cantității de agenți nocivi din componența combustibilului produce cantități mai mici de substanțe poluante.

La ora actuală, au fost identificate trei metode de pre-tratament pentru reducerea emisiilor de la bordul navelor și anume: emulsia combustibilului, modificarea proprietăților combustibilului, și utilizarea de combustibili alternativi.

### **2.1.2. Metode tehnice primare**

Conform mecanismelor de formare, prezentate în capitolul anterior, emisiile de NOx din gazele de evacuare se formează pe timpul procesului de ardere la presiuni și temperaturi ridicate în cilindrii motoarelor. Prin urmare, metodele primare de reducere a emisiilor de NOx se bazează pe modificarea proceselor de ardere pentru a reduce temperatura din camera de ardere.

Prin utilizarea tehnologiilor care modifică parametrii procesului de ardere, randamentul de reducere a emisiilor de NOx din gazele de evacuare este influențat de tipul motorului, însă în mod general, potențialul de reducere este între 20-55%. Însă reducerea acestor emisii de NOx, prin aceste metode tehnice, duce la o creștere a emisiilor de CO, HC și de asemenea duce și la o creștere a consumului de combustibil (la o reducere de 10% a NOx consumul de combustibil crește cu 1 %) [131].

La ora actuală au fost dezvoltate de către companiile constructoare de motoare navale numeroase metode de reducere a NOx, prin optimizarea și prin



modificarea parametrilor funcționali ai motorului, unele dintre ele fiind într-un stadiu de dezvoltare incipient, fiind disponibile informații limitate.

În termeni generali, tehnologiile de reducere a emisiilor de NOx pot fi grupate în două mari categorii de metode și anume în: metode uscate și metode umede.

Din categoria metodelor uscate fac parte sistemele de optimizare a proceselor funcționale din motor:

- Optimizarea procesului de injecție;
- Optimizarea sistemului de pulverizare;
- Optimizarea raportului de comprimare;
- Sistemul Miller & răcirea turboalimentării (la motoarele în 4 timpi);
- Sistemul common rail

Din categoria metodelor umede fac parte sistemele de modificare a proceselor din motor:

- Sistemul de reducere WBT – Water Based Techniques [115],[128]:

- DWI - Direct Water Injection;
- IWI - Indirect Water Injection;
- FEI - Fuel Emulsion Injection;
- SFWI - Stratified Fuel-Water Injection.

- Sistemul de reducere AHT (Air Humidification Techniques) [115],[128]:

- CAH - Charge Air Humidification;
- CASS - Combustion Air Saturation System;
- HAM - Humid Air Motor;
- SAM - Saturation air motor;

### **2.1.3. Metode de reducere de post-tratare a emisiilor de noxe**

A treia categorie de măsuri destinate reducerii emisiilor de noxe înglobează totalitatea procedeele de reținere a emisiilor din gazele de evacuare prin tehnici de curățare și filtrare a acestora.

### **2.1.4. Tehnologii de optimizare a sistemului de propulsie a navei**

**Tehnologii diferite au fost studiate pentru a îmbunătăți performanțele energetice la navele aflate în exploatare sau în stadiu de proiectare, prin utilizarea fenomenelor fizice, care mult timp nu au fost considerate importante în procesul de proiectare, sau care nu sunt încă complet înțelese.** Aceste tehnologii se bazează pe realizarea unei curgeri laminare și uniforme a apei în jurul elicei și a cârmei, pe creșterea forței de propulsie prin concentrări ale debitului de apă, pe reducerea efectelor hidrodinamice și pe reducerea rezistenței la înaintare a navei.

### **2.1.5. Tehnologii de optimizare a designului corpului navei**

Întrucât rezistența de înaintare a navei crește cu pătratul vitezei acesteia, pentru creșterea eficienței energetice este important să găsim metodele necesare astfel încât coeficienții de frecare să fie diminuați.

Până în prezent au fost determinate trei metode de reducere a rezistenței la înaintare a navei și anume:

- reducerea suprafeței udate (reducere liniară);
- reducerea vitezei navei;
- îmbunătățirea modului în care suprafața udată interacționează în contact cu apa.

Primele două metode sunt ușor de aplicat însă ele afecează în mod semnificativ operabilitatea navei. **Din acest motiv, studiile s-au concentrat pe a treia metodă prin îmbunătățirea interacțiunii corm imers - lichid, fie prin schimbarea modului în care lichidul se comportă (prin densitatea, vâscozitatea și stratul limită de creștere) sau prin îmbunătățirea texturii zonei suprafeței umezite zona, astfel încât acesta ar oferi cele mai bune interacțiuni cu un astfel de lichid.**

În ceea ce privește îmbunătățirea interacțiunii dintre cocă și apă s-a studiat metoda prin care se interpune între fundul plat al navei și apă a unui jet de aer uniform, apărând astfel fenomenul de glisare. Studiile au demonstrat o reducere a consumului de combustibil care a fost anulat cu energia necesară funcționării pompelor de alimentare a fluxului de aer.

De asemenea o altă metodă interacțiune dintre corpul navei și lichid este metoda de lubrifiere cu micro bule de aer.



Figura 2.1. Sistem de reducere a rezistenței la înaintare cu bule de aer [65]

Sistemul de lubrifiere Mitsubishi, prezentat în figura 2.23 a fost primul sistem de lubrifiere a aerului în lume să fie aplicată unei nave nou construite,

și a dus la o reducere substanțială a rezistenței la înaintare. Sistemul de aer de lubrifiere este o metoda de a reduce aceasta marime, folosind distribuția bulelor de aer pe suprafața corpului navei reducând rezistența de înaintare, creând astfel efecte de economisire a energiei. Față de sistemul de lubrifiere cu aer, sistemul cu micro-bule **nu trebuie să asigure stabilitatea ca în situația fluxului de aer peste cocă.**

**De asemenea, cantitatea de energie necesară pentru a crea micro-bule ar fi mai mică decât cea necesară pentru a crea cavitatea de aer, iar cantitatea de suprafață de cocă umezită este mai mare, deoarece micro-bulele pot fi create oriunde pe coca, față de sistemul precedent în care se utilizează numai suprafața fundului plat al navei.**

Cu un design drept de corp al navei, este de așteptat ca sistemul de lubrifiere a aerului să atingă până la 10-15% reducere a emisiilor de CO<sub>2</sub>, împreună cu economii semnificative de combustibil [65].

#### **2.1.6. Modificarea texturii operei vii a navei**

**O altă metodă de a reduce frecarea dintre corpul navei și apă este de a modifica modul în care crește viteza de curgere prin stratul limită și/sau modul în care stratul limită crește de-a lungul corpului. Acest lucru depinde de viteza navei și caracteristicile geometrice ale corpului acesteia.**

#### **2.2. Măsurile operaționale**

Măsurile operaționale la nivelul companiilor de transport se referă la modul în care nava este menținută și operată, și includ măsuri, cum ar fi: încărcarea optimizată și balastare, curățarea operei vii a navei și a elicelor, o mai bună întreținere a motorului, planificarea și optimizarea rutelor în funcție de vreme și reducerea vitezei navei.

Măsurile operaționale nu necesită investiții semnificative în hardware și echipamente.

Măsurile au, în general, necesități de investiții reduse și costuri de funcționare moderate. Punerea în aplicare a multora dintre aceste măsuri necesită executarea de programe care implică schimbări în management și training. Multe dintre aceste măsuri sunt atractive din motive pur economice.

În cele ce urmează, sunt penumerate câteva dintre soluțiile operaționale disponibile pentru reducerea emisiilor de noxe:

- Reducerea vitezei navei
- Reglarea asietei navei în funcție de marfa încărcată;
- Alegerea rutelor în funcție de condițiile meteo

Este important ca acești factori să fie luați în considerare atunci când se planifică o călătorie, și alegerile rutelor ar trebui să fie făcute pentru a minimiza aceste efecte negative.

### **2.3. Tehnologii si moduri de actionare pentru reducerea emisiilor de gaze**

În timp ce sunt acostate în port, navele utilizează motoarele auxiliare și, uneori, de motoarele principale pentru a asigura încălzirea, răcirea și electricitate la bord, precum și pentru asigurarea operațiunilor de încărcarea și descărcare.

Emisiile generate de motoare la cheu (menționate ca emisii de ralanti) de multe ori contribuie în mod semnificativ la inventarele de emisii locale și la riscurile potențiale pentru sănătate prin expunerea umană la poluanții dăunători.

Până în prezent, trei strategii principale au fost puse în aplicare sau propuse pentru a reduce emisiile locale: utilizarea de combustibili cu un conținut mai mic de sulf pentru motoare, asigurarea energiei electrice la bord de la o sursă de curent electric de la cheu, și tratarea emisiilor de la motoare cu ajutorul unor instalații montate la țărm. Utilizarea de combustibil marin cu conținut inferior de sulf cum ar fi motorina cu conținut de sulf mai mic de 1,5% și LNG, pe timpul cât nava se află în radă sau la cheu, pot furniza reduceri de SO<sub>x</sub> și PM semnificative în comparație cu utilizarea de combustibil marin greu. Prin conectarea navei la o sursă de curent de la cheu sunt eliminate toate emisiile de noxe.

### **2.4. Sistemul de propulsie alimentat din surse regenerabile**

Analiza variantelor implementate la bordul navelor arată că prin valorificarea energiei din surse regenerabile eolian/solar se obține diminuarea consumului de combustibil și implicit scăderea cheltuielilor de exploatare, precum și reducerea gazelor cu efect de seră, produse de sistemele și echipamentele navale.

Tehnologiile și serviciile inovative la bordul navelor, care valorifică energia din surse regenerabile sunt în prezent de domeniul pioneratului, fiind în studiu implementate pe nave pilot.

Un proiect existent de utilizare a energiilor din surse regenerabile este cel al navei Beluga SkySail, figura 2.25, intrată în exploatare în anul 2008.

Aceasta dispune de un sistem tip zmeu de remorcare utilizat ca sursă de propulsie adițională. Folosirea acestei inovații reduce consumul de combustibil cu aproximativ 15% și reduce efectul nociv al gazelor cu efect de seră.



Figura 2.7. Beluga SkySail [8]



Figura 2.8. Nava Nichio Maru [9]

Un alt concept dezvoltat și implementat în direcția utilizării energiei din surse regenerabile este nava de tip Ro-Ro Nichio Maru echipată cu 281 de panouri fotovoltaice, montate la nivelul punților superioare (figura 2.8). Aceste panouri sunt capabile să acopere necesarul de energie electrică și să reducă semnificativ cantitatea de combustibil consumată.

### **Capitolul 3. ELEMENTE DE MODELARE NUMERICĂ A FENOMENELOR ȘI PROCESELOR GENERATOARE DE NOXE**

În cadrul acestui capitol vor fi prezentate mecanismele chimice ale arderii și ale formării principalelor emisii poluante prin apelarea la dezvoltarea simulării în vederea sublinierii mecanismelor de formare a noxelor, precum și pentru evidențierea distribuției acestora în flacără și mai departe, în gazele de ardere.

Datorită faptului că simularea proceselor de ardere caracteristice motoarelor cu ardere internă necesită un volum foarte mare de calcule și implicit existența unor stații de lucru dedicate activităților CAE (Computer Aided Engineering), am considerat, pentru această etapă a cercetărilor mele, procesul de ardere desfășurat în camera de ardere a unei turbine cu gaze, profitând de faptul că procesul de ardere în sine nu este fundamental diferit de cel desfășurat la motoarele cu ardere internă.

La realizarea acestor simulări am utilizat modele 3D construite în programul *SolidWorks* 2012 după care am analizat aceste modele în *ANSYS CFX 12.1*.

Arderea este definită ca o fiind transformarea energiei chimice (a elementelor oxidabile conținute în combustibil) în energie termică materializată printr-o reacție exotermă rapidă de oxidare în urma căreia se eliberează o cantitatea însemnată de energie sub formă de căldură. [71]

Arderea se studiază din două puncte de vedere: termodinamic și cinetic. Din punct de vedere termodinamic, procesul de ardere este tratat global, în sensul evaluării energiei reactanților și a produselor finale, fără a se lua în considerare mecanismul cinetic și produsele intermediare de ardere. Purtătorul de energie termică rezultată în urma procesului de ardere este constituit din gazele de ardere evacuate la o temperatură care depinde de natura combustibilului, perfecțiunea procesului și modul de desfășurare a arderii. [86]

Din punct de vedere cinetic, procesul de ardere pune în evidență existența unui mecanism alcătuit din mai multe etape de realizare a procesului și rolul radicalilor activi în propagarea frontului de flacără. [94] [115]

#### **3.1. Combustibili utilizați pentru instalațiile energetice navale**

Compoziția combustibililor pune în evidență elementele care iau parte la procesul de ardere și care formează masa combustibilă și elementele care nu iau parte la acest proces care formează masa necombustibilă. Compoziția combustibililor este dată prin analiza chimică elementară, definită fie prin elementele primare, fie prin compușii stabili care-i alcătuiesc. [13]

### **3.2. Procesul de ardere**

Arderea combustibililor lichizi, în care din combustia carbonului rezultă numai dioxid de carbon ( $\text{CO}_2$ ), se numește ardere completă a combustibilului. Arderea combustibililor, la care în urma combustiei carbonului rezultă atât dioxid de carbon ( $\text{CO}_2$ ) cât și monoxid de carbon ( $\text{CO}$ ), se numește ardere incompletă.

### **3.3. Determinarea temperaturii de ardere**

Prin ardere, entalpia gazelor care iau naștere în urma reacției chimice sau care participă numai pasiv la ardere, se mărește.

Temperatura gazelor de ardere crește până în momentul în care se stabilește echilibrul între energiile care intră în sistem și se cedează de către sistem (inclusiv căldura cedată mediului ambiant).

### **3.4. Formarea emisiilor poluante**

Gazele de evacuare rezultate în urma arderii hidrocarburilor în camerele de ardere ale motoarelor cu ardere internă, duc la eliminarea oxigenului din atmosferă și eliberarea în locul acestuia a unor compuși după cum urmează: [58] [78]

- $\text{H}_2\text{O}$  și  $\text{CO}_2$ ;
- hidrocarbonați (cum ar fi:  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_2\text{H}_8$ ,  $\text{C}_6\text{H}_6$ ,  $\text{CH}_2$ ,  $\text{CHO}$  etc.);
- monoxid de carbon ( $\text{CO}$ );
- oxizi de azot ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ );
- compuși ai azotului ca  $\text{NH}_3$  și  $\text{HCN}$ ;
- gaze sulfuroase ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{OCS}$ ,  $\text{CS}_2$ );
- halo-carbonați ( $\text{CHCl}$  și  $\text{CH}_3\text{Br}$ );
- particule de material.

Emisiile poluante pot fi împărțite în: emisii poluante primare și secundare. Emisiile poluante primare sunt acelea care în urma arderilor, sunt emise direct în atmosferă. Emisiile poluante secundare pe de altă parte, se formează în urma reacțiilor dintre emisiile poluante primare și alți compuși ce se găsesc în atmosferă [44], [71].

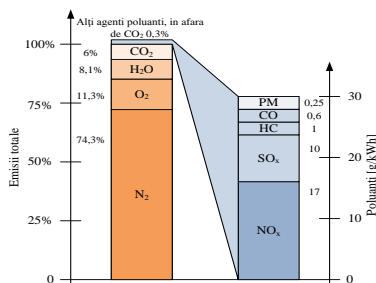


Figura 3.1. Componenta procentuală a gazelor de evacuare ale unui motor cu ardere internă ce arde combustibil cu o medie de 3 % Sulf [106]

Oxizii de azot (NO<sub>x</sub>) – produși datorită căldurii, din azot și oxigen la temperaturi de ardere înalte, prezintă un interes deosebit datorită faptului că se consideră că aceștia sunt vinovați de formarea ceții petrochimice deasupra orașelor și a ploilor acide (determinând astfel și crearea unei acidități mari a solului).

Oxizii de sulf (SO<sub>x</sub>) – produși prin oxidarea sulfului din combustibil, au un miros neplăcut, sunt iritanți pentru sistemul res-pirator și sunt o cauză a ploilor acide (reacționând cu apă se produce acidul sulfuric). Odată produs de în camera de ardere, și evacuat în atmosferă, oxidul de sulf poate fi transportat pe distanțe foarte mari în aer până să ajungă în apă sau în sol.

Hidrocarburi nearse (HC) – rezultate în urma arderilor incomplete a combustibililor sau uleiurilor de ungere și evaporării acestora. Au miros neplăcut și reprezintă una din cauzele formării ceții petrochimice și sunt iritanți pentru sistemul respirator.

Monoxidul de carbon (CO) - rezultat în urma arderilor incomplete a combustibililor datorate deficiențelor alimentării cu aer și a disocierii dioxidului de carbon, este foarte toxic atunci când se găsește în concentrații mari.

Materiile sub formă de particule (PM) – sunt amestecuri complexe de compuși organici și anorganici rezultați din arderea incompletă, dezlipirea termică a hidrocarbonaților din combustibili, cenușă, funingine, sulfati și apă. Mai mult de jumătate din particulele evacuate de motoarele cu ardere internă navale sunt particule carbonice anorganice. Aceste particule nu sunt ele însuși toxice dar pot duce la apariția de hidrocarbonați apoși care pot fi cancerigeni. Particulele constituie 0.003 % din totalitatea gazelor de evacuare ale unui motor. [43][78]



### 3.5. Computational Fluid Dynamics (CFD)

CFD (*Computational Fluid Dynamics*) este o ramură a mecanicii fluidelor care, cu ajutorul computerelor și a unor programe specializate, realizează predicții cantitative ale fenomenelor de curgere a fluidelor pe baza celor trei legi de conservare care guvernează mișcarea fluidelor [27]:

- Conservarea masei;
- Conservarea momentului;
- Conservarea energiei.

Predicțiile, în mod normal, se realizează prin definirea unor condiții, cum ar fi:

- Geometria curgerii;
- Proprietățile fizice ale fluidelor;
- Condiții inițiale și la limită a unui câmp de definire a curgerilor.

Aceste predicții, privesc seturi de valori ale variabilelor ce caracterizează procesele de curgere, cum ar fi:

- Viteza fluidului;
- Presiunea;
- Temperatura,

definite pentru domenii de spațiu și timp specificate inițial.

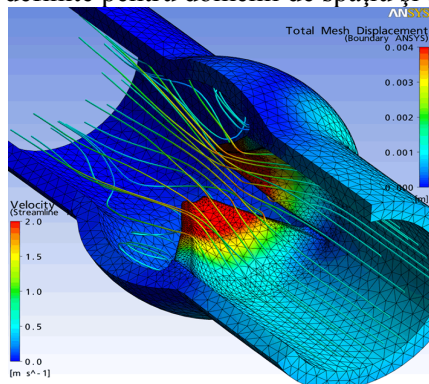


Figura 3.2. Etapa de postprocesare a rezultatelor unei simulări CFD [27]

De asemenea, CFD, poate evalua comportarea generală a unei curgeri, cum ar fi rata de desfășurare a curgerii, distribuția forțelor hidrodinamice sau aerodinamice ce acționează asupra unui corp supus acesteia.

În ultimele trei decenii au fost dezvoltate diferite metode numerice pentru a simula curgerea fluidelor, ce pot fi utilizate într-o gamă foarte largă de aplicații. Aceste metode includ:

- Metoda diferențelor finite (FDM);

- Metoda elementelor finite (FEM);
- Metoda volumelor finite (FVM);
- Metode spectrale.

Trebuie făcută precizarea că predicțiile CFD, nu sunt niciodată întrutotul exacte. Acest lucru se întâmplă pentru că în aceste predicții sunt implicate multe surse de erori, iar interpretarea rezultatelor obținute trebuie să se efectueze cu mare atenție, avându-se în vedere toți parametrii și toate fenomenele implicate. Cele mai comune surse de erori sunt:

- Erorile de discretizare – apar în cazul tuturor metodelor numerice, ori de câte ori un sistem continuu este aproximat printr-un sistem discret, în care, pentru rezolvarea ecuațiilor câmpului de curgeri, au fost utilizate un număr finit de locații în spațiu (*grids*) sau de intervale de timp. Diferite

scheme numerice pot avea diferite ordine de magnitudine a erorilor de discretizare;

- Erorile datorate datelor de intrare – se datorează faptului că atât geometria curgerii cât și proprietățile fluidului pot fi cunoscute doar într-o măsură aproximativă;

- Erorile datorate condițiilor inițiale și la limită – apar datorită faptului că, atât condițiile inițiale cât și cele la limită nu reprezintă decât într-o manieră brută, situația întâlnită în realitate. De exemplu este necesară (pentru definirea acestor condiții) o informație despre curgerea fluidului în zona de intrare și respectiv ieșire din modelul geometric al curgerii. Însă proprietățile curgerii nu sunt cunoscute cu exactitate și astfel sunt approximate;

- Erorile datorate modelelor utilizate – sunt cauzate de faptul că în cazul curgerilor complexe apar fenomene fizice care nu sunt perfect descrise prin teoriile științifice curente. Modelele folosite pentru rezolvarea acestor probleme, cu siguranță conțin erori, cum ar fi de exemplu modelul curgerii turbulente, modelul atmosferic, probleme legate de curgeri multifazice, etc.

Ca un instrument de cercetare și proiectare, CFD în mod normal combină dinamica fluidelor experimentală cu cea teoretică. Și totuși CFD are un număr de avantaje care face ca aceste metode să fie utilizate la scară largă în activitatea de cercetare științifică și în activitățile de proiectare industrială, cum ar fi:

- Costul și durata de realizare a simulărilor sunt reduse. În timp ce în general prețul produselor, și al echipamentelor tehnologice necesare în cercetarea științifică, crește încontinuu, prețul computerelor și al programelor de calcul este în scădere. Iar ca și timp de rezolvare a unor probleme prin metode numerice, cu precizarea că acest timp depinde de viteza și puterea CPU (procesorului computerului), se poate observa că aproximativ la doi ani puterea procesoarelor se dublează;

- CFD generează un pachet complet de informații, atât detalii ale proceselor cât și informații pentru înțelegerea proceselor, pentru toate variabilele relevante ce se găsesc în domeniul de interes. Această informație, poate fi accesată și prelucrată foarte ușor;
- Permite modificarea foarte simplă a parametrilor ce sunt implicați în proces, rezultând astfel un instrument foarte util în proiectare;
- Permite simularea unor condiții reale, nu ca în cazul experimentelor unde adesea se apelează la teorii de similitudine, când se folosesc modele mai mici sau mai mari decât cel real;
- Are abilitatea de a simula procese în condiții ideale. CFD asigură posibilitatea anulării unor termeni din ecuațiile de determinare, permițând astfel utilizatorului să-și concentreze atenția la câțiva parametri esențiali și să-i negligeze pe cei irelevanți;
- Permite explorarea unor evenimente ne-naturale, permițând studierea lor în scopul prevenirii acestora. De exemplu deflagrații, explozii, avarii la centrale nucleare, etc [79].

### **3.6. Studiu de caz. Modelarea procesului de ardere în tubul de flacără al unei turbine cu gaze**

#### **3.6.1. Prezentarea problemei și a etapei de preprocesare**

Pentru evidențierea procesului de formare a emisiilor de oxizi de azot, cu ajutorul unui program de tip CFD, se va dezvolta simularea procesului de ardere în tubul de flacără a unei turbine cu gaze, a cărei construcție este prezentată în figura 3.3.

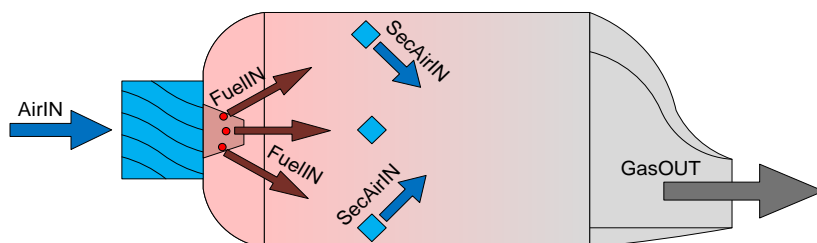


Figura 3.3. Modelul geometric al tubului de flacără [27]

Parametrii geometrici ai zonelor de intrare și ieșire a fluidelor sunt: 6 orificii de intrare a combustibilului (FuelIN) fiecare cu o suprafață de  $0,14 \text{ cm}^2$ ; intrarea aerului primar (AerIN). Aerul este ghidat de sistemul de direcționare și turbionare. Suprafața totală de intrare a aerului este de  $57 \text{ cm}^2$ ;

6 intrări pentru aerul secundar (SecAirIN) fiecare având o suprafață de  $2 \text{ cm}^2$ ; zona de ieșire a gazelor de ardere (GasOUT) cu o suprafață de  $150 \text{ cm}^2$ .

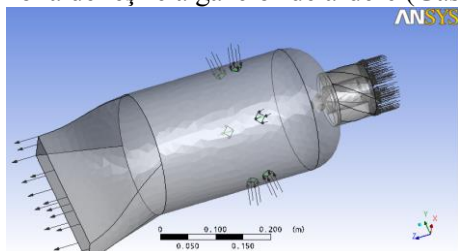


Figura 3.4. Geometria modelului vizualizată în ANSYS

### 3.9.2. Procesarea și postprocesarea

După definirea modelului în *ANSYS CFX Pre* este necesară rularea simulării în *CFX Solver*.

La finalul simulării, programul va genera un fișier, care odată introdus în *ANSYS CFX Post* permite vizualizarea rezultatelor.

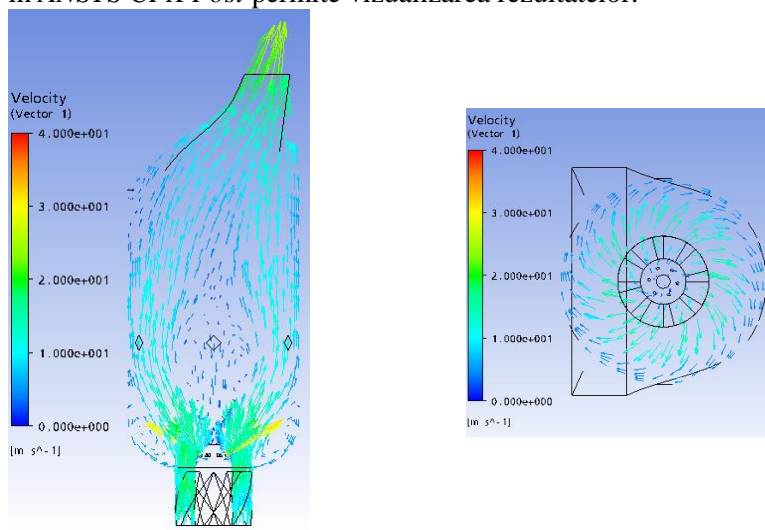
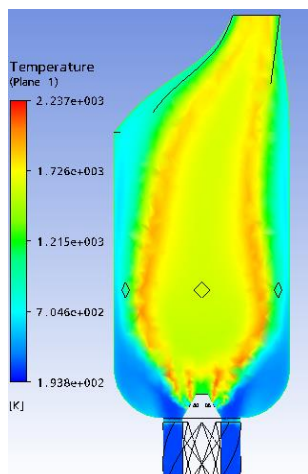


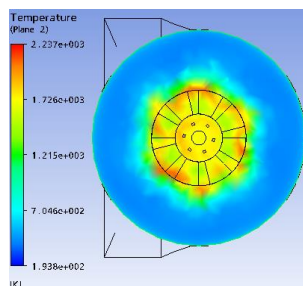
Figura 3.5. Curgerea fluidului și turbulențe

Cel mai ușor mod de a observa rezultatele analizelor este vizualizarea grafică. Însă programul permite și observarea parametrilor în diferite puncte, precum și a variațiilor dintre diferiți parametri. În cadrul acestui capitol s-a accentuat prezentarea grafică a rezultatelor.

În figura 3.6. este prezentată variația temperaturii în tubul de flacără.



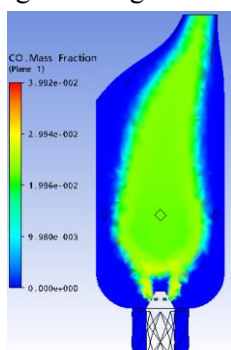
a) Temperatura în secțiune longitudinală



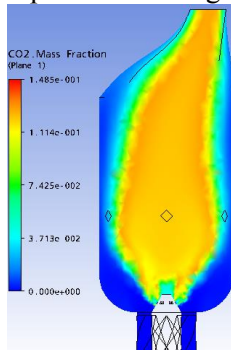
b) Temperatura în secțiune transversală

Figura 3.6. Variația temperaturii frontului de flacără

Concentrațiile de CO și CO<sub>2</sub> rezultate în urma procesului de ardere, și care se regăsesc în gazele de evacuare, sunt prezentate în figura 3.10.



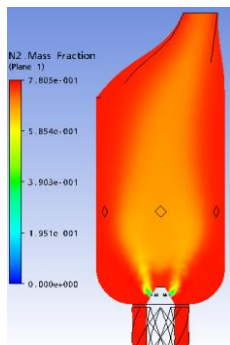
Concentrația de CO



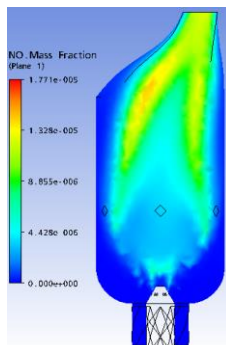
Concentrația de CO<sub>2</sub>

Figura 3.7. Concentrația de CO și CO<sub>2</sub>

Concentrația de N<sub>2</sub> și NO rezultate în urma procesului de ardere, și care se regăsesc în gazele de evacuare, sunt prezentate în figura 3.12.



a) Concentrația de  $N_2$



b) Concentrația de NO

Figura 3.8. Concentrația de  $N_2$  și NO

## **Capitolul 4. ESTIMAREA EMISIILOR POLUANTE LA BORDUL NAVEI CU AJUTORUL METODELOR NUMERICE**

În acest capitol sunt prezentate două metode de determinare a emisiilor poluante: una analitică și una grafică pentru o navă, în vederea stabilirii încadrării nivelului de emisii în limitele impuse de normele internaționale, valabile pentru orice tip de propulsie bazate pe motor cu ardere internă indiferent de ce tip este acesta (cu funcționare pe combustibil Diesel, LNG, LPG, injecție pilotată sau orice alt tip). În această categorie intră inclusiv navele cu propulsie azimutală și propulsie diesel – electrică.

Prin prisma regulilor emise la nivel internațional de către MEPC și la nivel european prin directive ca Directiva 2012/33/EU necesitatea evaluării, monitorizării și controlului emisiilor devine de imediată importanță, în măsura în care în momentul de față emisiile și tipul de combustibil folosit este foarte strict monitorizat în porturile europene, la momentul de față, urmând ca în următorii doi ani această atenție a autorităților maritime să fie extinsă și în apele teritoriale sau în zonele economice exclusive [15].

Mai mult, o metodă viabilă de monitorizare a emisiilor de la bordul navelor se dovedește a fi un instrument valoros pentru monitorizarea gradului de implementare al Ship Energy Efficiency Management Plan și modul de încadrare cu nivelul doi de implementare al EEDI, ambele intrând în vigoare cu 01.01.2015.

### **4.1. Descrierea instalațiilor pe care s-au efectuat determinările**

Determinările și calculele efectuate în cadrul acestui capitol au la bază parametrii funcționali ai instalațiilor de la bordul M/T Aristidis, de 37 000 tdw, aparținând companiei Capital Shipping Management ce are sediul la Pireu – Grecia. Această abordare este fundamentată pe faptul că în continuarea lucrării validările experimentale se vor realiza cu ajutorul determinărilor realizate la bordul aceleiași nave, în perioada 01.10.2013 – 27.03.2014, de către membrii echipajului de la acel moment.



Figura 4.1. Nava la bordul căreia s-au efectuat determinările parametrilor funcționali

Determinările au fost efectuate pe un grup de instalații energetice formate din:

- Motor principal tip DU Sulzer 6 RT flex 50;
- Diesel generator (1) tip Hyundai – Himsen 6 H 21/32;
- Diesel generator (2) tip Hyundai – Himsen 6 H 21/32;
- Diesel generator (3) tip Hyundai – Himsen 5 H 21/32;
- Motor auxiliar pentru antrenarea pompelor de marfă (1) tip Cummins KTA 19 - D (M);
- Motor auxiliar pentru antrenarea pompelor de marfă (2) tip Cummins KTA 19 - D (M).

#### **4.1.1. Principalele caracteristici ale navei**

Tabelul 4.1.

##### **M/T Aristidis**

Construcție

Clasa

Pavilion

Portul

înregistrare

Call Sign

Armator

Manager

de

2006, Șantierul Naval Hyundai Mipo

ABS

+A1(E), Oil Carrier ESP, Chemical Carrier ESP, Ship type 2 in association with a list of defined cargoes including Caustic Soda, SH, SHCM, +AMS, +ACCU, V ECL, FL(25), ICE Strengthening 1A

Marshall Islands

Majuro

V7JD7

Atlantas Shipping CO., Majuro, Marshall Islands

Capital Ship Management Corp / 3, Iassonos Street Piraeus185-37, Grecia

#### **4.1.2. Motorul principal**

Instalația de propulsie a navei este de tipul cu motor în doi timpi – linie axială – elice cu pas fix și are în componența sa un motor Wärtsilä – DU Sulzer RT flex 50.

Principalele caracteristici ale motorului sunt:

Tabelul 4.2.

<b>Nr. crt.</b>	<b>Denumire</b>	<b>Valoare</b>	<b>Unitate de măsură</b>
1.	Număr de cilindri	6	-



2.	Număr de timpi	2	-
3.	Alezajul cilindrului	500	[mm]
4.	Cursa pistonului	2050	[mm]
5.	Puterea maximă	9720	[kW]
6.	Puterea de serviciu (85 % MCR)	8265	[kW]
7.	Turația maximă	124	[rpm]
8.	Turația de serviciu (85 % MCR)	117	[rpm]
9.	Viteza medie a pistonului	8,5	[m/s]
10.	Presiunea medie efectivă	19,5	[bar]
11.	Lungime	7712	[mm]
12.	Lățime	3150	[mm]
13.	Înălțime	8840	[mm]
14.	Greutate (cu apă și ulei în instalații)	225	[t]
15.	Consumul specific efectiv de combustibil	166,7	[g/kW·h]
16.	Consumul specific efectiv de ulei pentru cilindri	1,97	[g/kW·h]
17.	Ordinea de aprindere	1-6-2-4-3-5-1	-
18.	Presiunea maximă de ardere	155	[bar]
19.	Raportul de comprimare	18.01	-
20.	Numărul de înregistrare al motorului	DU-3675	-

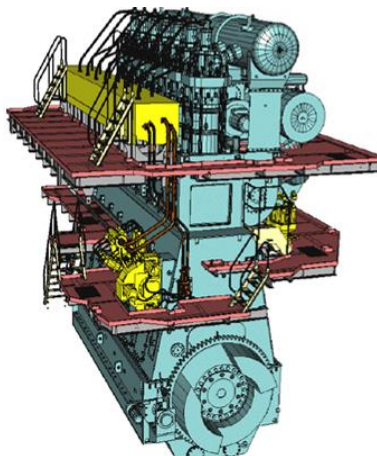


Figura 4.2 Motorul principal Sulzer 6 RT Flex 50 [153]

#### 4.1.3. Diesel generatoare

Nava este dotată cu trei generatoare produse de firma Hyundai, de tip HIMSEN H21/32 și un diesel generator de avarie, produs de MAN B&W. Caracteristicile diesel generatoarelor H21/32 sunt prezentate în tabelul următor.

Tabelul 4.3.

Nr. crt.	Denumire	Valoare	Unitate de măsură
1.	Număr de cilindri	6 (5)	-
2.	Număr de timpi	4	-
3.	Alezajul cilindrului	210	[mm]
4.	Cursa pistonului	320	[mm]
5.	Puterea maximă	960 (720)	[kW]
6.	Turația maximă	720	[rpm]
7.	Puterea aparentă a generatoarelor electrice	1125 (925)	[kVA]
8.	Factorul de putere ( $\cos \phi$ )	0.82	-
9.	Tensiunea produsă	440	[V]
10.	Frecvența	60	[Hz]
11.	Viteza medie a pistonului	7,7 (8.0)	[m/s]
12.	Presiunea medie efectivă	24,1	[bar]

13.	Ordinea de aprindere	1-4-2-6-3-5-1 (1-2-4-5-3-1)	-
14.	Presiunea maximă de ardere	175 (180)	[bar]
15.	Raportul de comprimare	17	-
16.	Numărul de înregistrare al motoarelor	BA1782-1, BA1782-2, BA1781	-



Figura 4.3. Diesel generatoare

#### **4.1.4. Motoarele pentru antrenarea pompelor de marfă**

Sistemul de încărcare și descărcare a mărfii este construit de firma FRAMO și cuprinde patru pompe acționate, două de motoare electrice și două de motoare diesel.

#### **4.2. Precizări privind modul de determinare al datelor**

Pe parcursul modelărilor dezvoltate, au fost considerate drept date de referință, valorile măsurate la ieșirea navei din șantier, în cadrul testelor de acceptanță, pe baza cărora am determinat, printr-o metodă grafică, variațiile concentrațiilor poluanților, în funcție de parametrii motorului principal.

La determinarea concentrațiilor de componente poluante, a fost utilizată o ipoteză simplificatoare prin care, fiecare concentrație de poluant variază la modificarea unui singur parametru funcțional al motorului, ceilalți parametri rămânând constanți, și deci nu influențează concentrațiile. Ipoteza nu corespunde cazului real de dependență a concentrațiilor funcție de parametrii motorului, însă în urma efectuării calculului emisiilor specifice se poate observa care sunt acei parametri care influențează valorile emisiilor specifice. Determinarea și studiul acestor parametri, care determină variații ale emisiilor, este unul dintre obiectivele primare ale tezei de doctorat.

Cu concentrațiile obținute prin metoda grafică, mai departe au fost determinate analitic valorile emisiilor specifice pentru parametrii măsurați la bord, punându-se în final în evidență acei parametri care au influență asupra emisiilor.

Valorile parametrilor funcționali, obținute în timpul probelor de mare, se găsesc la bordul navei publicate în “*NO<sub>x</sub> Technical File*”, pentru fiecare motor în parte. Aceste rezultate vor fi utilizate pentru a determina graficele de variație a concentrațiilor poluanților funcție de diferiți parametri și apoi cu aceste relații să determin emisiile pentru cazul actual.

### **4.3. Interpretarea rezultatelor obținute la probele efectuate la ieșirea navei din șantier**

#### **4.3.1. Descrierea modelului matematic utilizat pentru realizarea diagramelor de variație a parametrilor în programul MATHCAD**

Datele din tabelele anterioare au fost introduse în programul **MathCAD**, în vederea obținerii diagramelor de variație a emisiilor de NO<sub>x</sub> funcție de diferiți parametri.

Mai întâi în program au fost introduse **tabelele de valori** (ale parametrilor) pentru fiecare motor în parte, utilizându-se notațiile de mai jos:

Tabelul 4.5. Convenții de notare

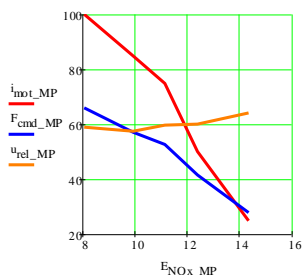
MP	6 RT flex 50
DG1	6 H21/32 (1)
DG2	6 H21/32 (2)
DG3	5 H21/32
PP 1	KTA19-D(M) (1)
PP 2	KTA19-D(M) (2)

#### **4.3.2. Interpretarea rezultatelor**

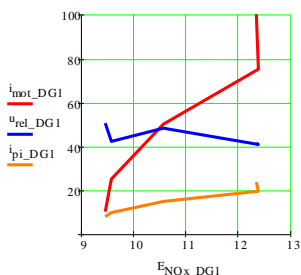
##### **4.3.2.1. Variația emisiilor de NO<sub>x</sub> la modificarea încărcării motorului, comandai de combustibil, umidității relative, eficienței generatorului electric, umidității absolute sau indexului pompei de injecție**

Motoarele pentru antrenarea pompelor de marfă, nu pot asigura reducerea emisiilor pe tot domeniul de funcționare al motorului, pentru că sistemul de modificare al timpilor de injecție nu este unul electronic, care ar asigura un reglaj mult mai fin și mai bun. În cadrul acestor motoare se utilizează un sistem VIT de tipul Hydraulic Variable Timing. Adică variația unghiului de deschidere a injectoarelor este comandată de un sistem hidraulic. Presiunea

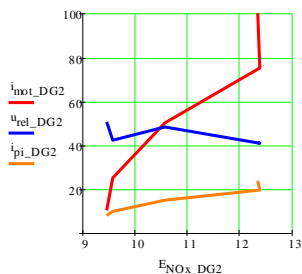
maximă din rampa de combustibil este de 7.31 bar. Atunci când combustibilul atinge presiunea de 3.65 bar temporizarea injectiei este modificată de la injectie avansată la injectie întârziată, față de unghiul normal de deschidere al injectorului, nu față de PMS. Dacă presiunea va scădea sub valoarea de 1.59 bar, temporizarea se inversează, și de la injectie întârziată se schimbă în injectie avansată. Acest system de injectie permite menținerea unor presiuni de ardere optime din punct de vedere al echilibrului procesului de ardere, ducând la reducerea emisiilor de  $\text{NO}_x$ .



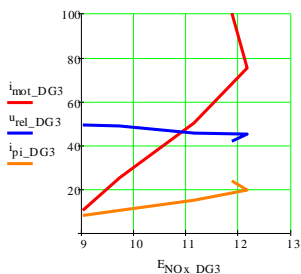
a) Variația emisiilor de  $\text{NO}_x$  [g/kWh] funcție de încărcarea motorului [%], comanda de combustibil [%] și umiditatea relativă [%] pt. MP



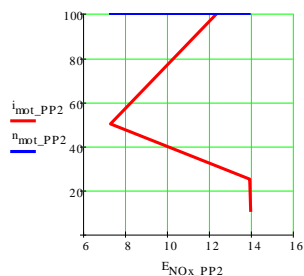
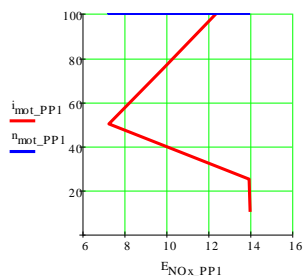
b) Variația emisiilor de  $\text{NO}_x$  [g/kWh] funcție de încărcarea motorului [%], umiditatea relativă [%] și indexul pompei de injectie [%] pt. DG nr.1



c) Variația emisiilor de  $\text{NO}_x$  [g/kWh] funcție de încărcarea motorului [%], umiditatea relativă [%] și indexul pompei de injectie [%] pt. DG nr.2



d) Variația emisiilor de  $\text{NO}_x$  [g/kWh] funcție de încărcarea motorului [%], umiditatea relativă [%] și indexul pompei de injectie [%] pt. DG nr.3



e) Variația emisiilor de  $NO_x$  [g/kWh] funcție de încărcarea [%] și turația motorului [%] pt. PP nr.1

f) Variația emisiilor de  $NO_x$  [g/kWh] funcție de încărcarea [%] și turația motorului [%] pt. PP nr.2

Figura 4.5. Determinarea variației  $NO_x$  funcție de încărcarea motorului, comanda de combustibil, umiditatea relativă, eficiența generatorului electric, umiditatea absolută sau indexului pompei de injecție

În ceea ce privește umiditatea aerului de alimentare, variațiile sunt nesemnificative. Acest lucru se datorază faptului că toate sistemele de alimentare cu aer ale motoarelor studiate, dispun de filtre de aer ce rețin atât praful cât și apa din aer pentru a proteja motorul.

Însă unele motoare sunt special proiectate să introducă apă în camera de ardere, fie prin injecție direct fie odată cu aerul de alimentare, pentru a reduce temperaturile de ardere sub valoarea de 2000 K, și diminuarea efectului termic de formare a  $NO_x$ .

#### 4.3.2.2. Variația emisiilor de $NO_x$ la modificarea VIT și FQS

Aceste determinări au fost efectuate doar pentru motorul principal, deoarece acesta este singurul care beneficiază de cele două sisteme [78], [86].

**VIT (Variable Injection Timing)** reprezintă temporizarea variabilă a injecției. Acest parametru acționează asupra presiunii maxime de ardere și mai departe asupra emisiilor de  $NO_x$ , mărindu-le pe amândouă sau micșorându-le.

**FQS (Fuel Quality Setting)** este setarea privind calitatea arderii combustibilului.

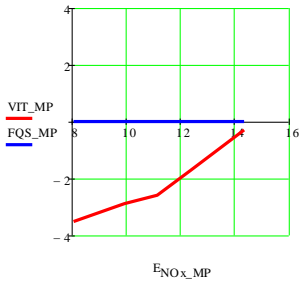
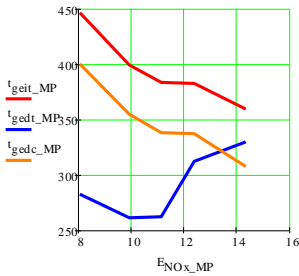
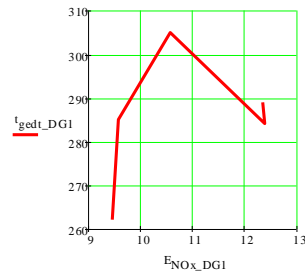


Figura 4.6. Variație emisiilor de  $NO_x$  [g/kWh] funcție de parametrii VIT și FQS

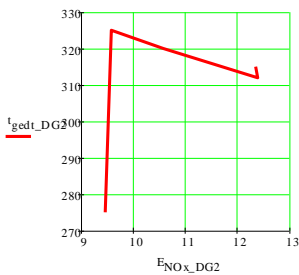
#### 4.3.2.3. Variația emisiilor de $NO_x$ la modificarea temperaturii gazelor de evacuare



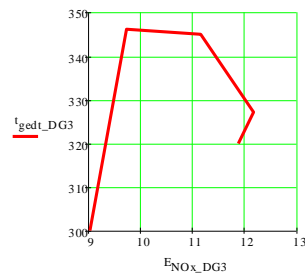
a) Variație emisiilor de  $NO_x$  [g/kWh] funcție de temperatura gazelor de evacuare, înainte de turbină, după turbină și după cilindri [°C] pt. MP



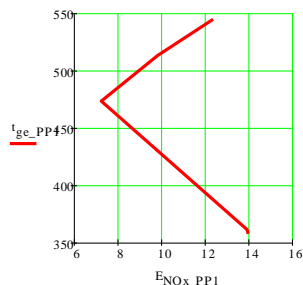
b) Variație emisiilor de  $NO_x$  [g/kWh] funcție de temperatura gazelor de evacuare [°C] pt. DG nr. 1



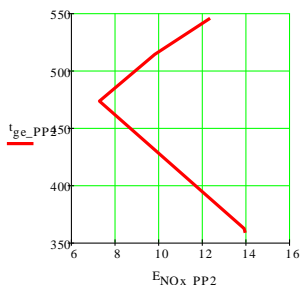
c) Variație emisiilor de  $NO_x$  [g/kWh] funcție de temperatura gazelor de evacuare [°C] pt. DG nr. 2



d) Variație emisiilor de  $NO_x$  [g/kWh] funcție de temperatura gazelor de evacuare [°C] pt. DG nr. 3



e) Variație emisiilor de  $NO_x$  [g/kWh] funcție de temperatura gazelor de evacuare [°C] pt. PP1



f) Variație emisiilor de  $NO_x$  [g/kWh] funcție de temperatura gazelor de evacuare [°C] pt. PP2

Figura 4.7. Determinarea variației  $NO_x$  funcție de temperatura gazelor de evacuare

Studiind diagramele de variație a emisiilor de  $NO_x$  în funcție de temperaturile gazelor de evacuare, pentru motorul principal, se poate observa că la scăderea temperaturii gazelor de evacuare la ieșirea din cilindri și la intrarea în turbină, emisiile cresc. Această variație nu este una normală, deoarece valoarea emisiilor ar trebui să se reducă, însă este posibilă datorită controlului electronic al arderii și evacuării în cazul motorului principal. În ceea ce privește temperatura gazelor de evacuare la ieșirea din turbină, se observă o revenire la variația normală a emisiilor, adică la creșterea temperaturii cresc și emisiile.

În cazul diesel generatoarelor, mai întâi se poate preciza, privind forma variației, că pentru toate cele trei generatoare, la sarcină maximă temperatura gazelor de evacuare tinde să scadă. Acestei scăderi îi corespunde și o ușoară scădere a emisiilor, mai slabă în cazul DG 2 și mai pronunțată în cazul DG 1. În celelalte zone de variație, valoarea emisiilor crește odată cu scăderea temperaturii gazelor de evacuare.

Pentru motoarele de antrenare a pompelor de marfă, se remarcă aceeași formă a variației dintre cei doi parametri, determinată (forma) de acțiunea VIT în mijlocul intervalului de temperaturi ale gazelor de evacuare, zonă corespunzătoare valorilor reduse ale emisiilor.

#### 4.4. Metoda grafică de determinare a concentrațiilor

**Metoda grafică** se bazează pe construirea diagramelor de variație a concentrațiilor necesar a fi determinate funcție de parametrii funcționali ai motorului. Astfel, utilizând datele măsurătorilor de la ieșirea navei din șantier, se pot determina diagrame de variație a concentrațiilor funcție de diferiți



parametri. În aceste diagrame, introducând parametrii măsurați la bordul navei, se va determina concentrația de component poluant. În funcție de influența diversilor parametri asupra concentrațiilor de componente poluante, am ales realizarea următoarelor diagrame:

Însă, pentru a trasa aceste diagrame, se va utiliza următoarea ipoteza simplificatoare: se consideră ca o anumită concentrație de component poluant variază doar funcție de un singur parametru funcțional al motorului. În realitate variația emisiilor este o funcție de mai mulți parametri funcționali.

Utilizarea acestei ipoteze simplificatoare și a metodei grafice de determinare a emisiilor ne permite să determinăm cu ușurință valorile emisiilor specifice. După determinarea acestor valori, se pot determina acei parametri ai motorului care influențează valorile emisiilor. Studiul acestor parametri reprezintă însuși obiectivul tezei de doctorat.

În concluzie, utilizarea metodei grafice, poate duce la apariția unor erori de determinare a valorilor exacte a concentrațiilor emisiilor, însă în lipsa unor analizoare de gaze, metoda devine utilă. Pe de altă parte erorile ce s-ar obține nu ar afecta modul de apreciere a impactului unor parametri asupra emisiilor.

Tabelul 4.1. Parametrii utilizați în metoda analitică

	<b>C<sub>NOx</sub></b>	<b>C<sub>CO</sub></b>	<b>C<sub>CO2</sub></b>	<b>C<sub>O2</sub></b>	<b>C<sub>HC</sub></b>
<b>M</b>	<b>C<sub>NOx</sub>=f(F<sub>c</sub></b>	<b>C<sub>CO</sub>=f(F<sub>c</sub></b>	<b>C<sub>CO2</sub>=f(F<sub>c</sub></b>	<b>C<sub>O2</sub>=f(F<sub>c</sub></b>	<b>C<sub>HC</sub>=f(F<sub>c</sub></b>
<b>P</b>	<b>md)</b>	<b>md)</b>	<b>md)</b>	<b>md)</b>	<b>md)</b>
<b>D</b>	<b>C<sub>NOx</sub>=f(n<sub>T</sub></b>	<b>C<sub>CO</sub>=f(n<sub>T</sub></b>	<b>C<sub>CO2</sub>=f(n<sub>T</sub></b>	<b>C<sub>O2</sub>=f(n<sub>T</sub></b>	<b>C<sub>HC</sub>=f(n<sub>T</sub></b>
<b>G</b>	<b>s)</b>	<b>s)</b>	<b>s)</b>	<b>s)</b>	<b>s)</b>
<b>PP</b>	<b>C<sub>NOx</sub>=f(T<sub>g</sub></b>	<b>C<sub>CO</sub>=f(T<sub>g</sub></b>	<b>C<sub>CO2</sub>=f(T<sub>g</sub></b>	<b>C<sub>O2</sub>=f(T<sub>g</sub></b>	<b>C<sub>HC</sub>=f(T<sub>g</sub></b>
	<b>e)</b>	<b>e)</b>	<b>e)</b>	<b>e)</b>	<b>e)</b>

în care:

C<sub>NOx</sub> – concentrația de NO<sub>x</sub> [ppm];

C<sub>CO</sub> – concentrația de CO [ppm];

C<sub>CO2</sub> – concentrația de CO<sub>2</sub>;

C<sub>O2</sub> – concentrația de O<sub>2</sub>;

C<sub>HC</sub> – concentrația de HC;

F<sub>cmd</sub> – comanda de combustibil a motorului principal [%];

n<sub>TS</sub> – turația turbosufletei diesel generatorului [rpm];

T<sub>ge</sub> – temperatura gazelor de evacuare ale motorului de antrenare a pompelor de marfă [°C];

## **Capitolul 5. VALIDĂRI ȘI CERCERTĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND INFLUENȚA ÎMBUNĂȚĂȚIRII ARDERII ÎN MOTOARELE CU ARDERE INTERNĂ ASUPRA EMISIILOR DE GAZE**

### **5.1 IMPACTUL ASUPRA MEDIULUI AL SISTEMELOR MODERNE DE PROPULSIE DIN PUNCT DE VEDERE AL CREȘTERII EFICIENȚEI ARDERII**

#### **5.1.1 Descrierea echipamentelor folosite**

##### **5.1.1.1. Modelul experimental CT 152 [81]**

Modulul experimental CT 152 Motor pe benzină în 4-timpuri cu raport de compresie variabil face parte dintr-o serie de echipamente destinate studiilor și experimentărilor asupra motoarelor.

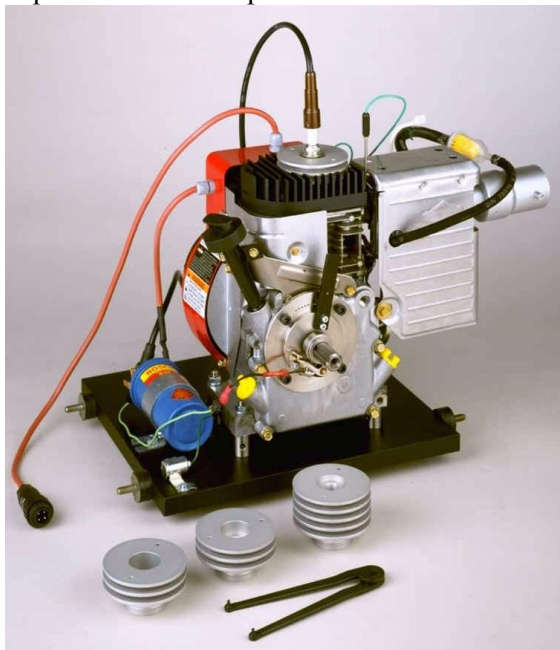


Figura 5.1. Vedere de ansamblu al echipamentului CT 152 [81]

Utilizarea de senzori pentru întreaga familie de echipamente face posibilă achiziția datelor pe un PC.

Modulul experimental CT152 Motor pe benzină în 4 timpi cu raport de compresie variabil conține un motor cu aprindere cu bujii cu o putere de aproximativ 1,5 kW. Experimentele dau posibilitatea realizării de determinări ale caracteristicilor externe pentru sarcini parțiale și maximă. Pentru a putea studia influența raportului de comprimare, avansului și amestecului motorul a fost prevăzut cu unele componente special realizate în acest sens, pentru a putea modifica parametrii respectivi. Platforma experimentală este prevăzută cu un senzor de temperatură pentru măsurarea temperaturii gazelor de evacuare, care, similar cablului destinat aprinderii și a conductei de alimentare cu combustibil, este cuplat la platforma CT 159 Modul de bază pentru motoare cu ardere internă. Dinamometrul folosit în experimente se găsește în pachetul HM 365 Universal Drive and Brake Unit.

Motorul termic CT 152 este răcit cu aer, are un singur cilindru funcționând în 4-timpi, iar carburatorul este extern. Pentru a studia diverse rapoarte de compresie, motorul este prevăzut cu capete de cilindru care pot fi echipate cu diverse camere de ardere (chiulase).

Modificarea amestecului se poate efectua datorită construcției modificate a carburatorului. Pentru reglarea avansului motorul este echipat cu un demaror diferit de cel original, astfel încât este posibil ca momentul comenzii aprinderii să fie reglabil (decalat înainte sau în urmă).

### **5.1.1.2. Modelul experimental CT 151**

Modulul experimental CT 151 Motor pe motorină în 4-timpi face parte dintr-o serie de echipamente destinate studiilor și experimentărilor asupra motoarelor [82].

Utilizarea de senzori pentru întreaga familie de echipamente face posibilă achiziția datelor pe un PC. Modulul experimental CT 151 Motor pe motorină în 4-timpi conține un motor diesel cu o putere de aproximativ 1,5 kW. Experimentele oferă determinări ale caracteristicilor externe pentru sarcini parțiale și maxime. Platforma experimentală este prevăzută cu un senzor de temperatură pentru măsurarea temperaturii gazelor de evacuare, care, similar conductelor de alimentare cu combustibil și a cablului electric destinat opririi motorului, este cuplat la platforma CT 159 Modul de bază pentru motoare cu ardere internă.

Dinamometrul necesar pentru realizarea experimentelor se găsește în pachetul HM 365 Universal Drive and Brake Unit.

Motorul CT 151 este răcit cu aer și are un singur cilindru funcționând în 4-timpi. Puterea sa este adaptată la puterea echipamentului de frânare. Aerul pentru răcire este furnizat prin intermediul unui volant care joacă rol de

ventilator. Motorul se pornește cu un demaror manual (cu cureaua). Motorul este echipat cu un senzor de temperatură pentru măsurarea temperaturii gazelor de evacuare. Acesta este conectat la modulul CT 159, similar cablului pentru aprindere și conductele de alimentare cu combustibil.

### **5.1.1.3. Analizor de gaze MGT 5 produs de MAHA Mschinenbau GmbH & Co.KG**

Tabelul 5.1. Caracteristicile analizorului de gaze [103]

Domeni u de aplicare	Unitate portabila sau stationara de masurare a emisiilor de gaze pentru motoarele cu aprindere prin scanteie				
Tip de emisii determin ate	CO	CO <sub>2</sub>	HC	O <sub>2</sub>	NO
Domeni ul de masură	0 – 15 Vol %	0-20 Vol%	0- 2000 ppm Vol (Hexa n) 0- 4000 ppm Vol (Propan)	0-25 Vol %	0-5000 ppm Vol
Precizie de măsurar e	0.03 Vol %	0.5 Vol%	10 ppm Vol	0.1 Vol %	32 – 120 ppm Vol
Unitate minima de măsurar e	0.001 Vol%	0.01 Vol %	0.1 ppm Vol	0.01 Vol %	1 ppm Vol

Metoda de determinare	Infraroșu	Infraroșu	Infraroșu	Electrochimică	Electrochimică
Deviația de măsurare	Mai mică de $\pm 0.6\%$ din limitele intervalului de măsurare				
Valoarea Lambda	Domeniu de măsură: 0.500 – 9.999. Incrementare 0.001				
Durata fazei de încălzire	Min 30 sec, Max 10 minute, Mediu 2.5 minute. Temperatura este controlată				
Debit de gaze prin echipament în timpul determinărilor	Max 3.5 l/min, Min 1.5 l/min				
Debit de gaze măsurat	Max 2.5 l/min. Pompa cu membrane.				
Debit volumetric de condens	Max 1l/min. Extragere automata continua de condens prin intermediul pompei de separație				
Separarea Condensului	Sistem de separare a apei cu determinare automata a nivelului de apă				
Presiune de lucru	750 – 1100 milibar				
Fluctuații de presiune	Eroare maximă de 0.2% la fluctuații de 5kPa				
Tensiune de alimentare	85V – 280V, 50Hz, 65W/12 – 240VDC				
Temperatura de operare	$+5^{\circ}$ .... $+45^{\circ}\text{C}$ cu o deviație de $\pm 2^{\circ}\text{C}$				
Temperatura de depozitare	$-10^{\circ}$ .... $+60^{\circ}\text{C}$ cu o deviație de $\pm 2^{\circ}\text{C}$				
Teste de scurgeri	O dată pe zi, pe baza meniului echipamentului				
Test reziduuri HC	Automatic				
Ajustare la 0	Automatic, prin intermediul filtrului cu carbon activ				
Calibrare	Prin intermediul meniului				
Interfata	LON / OBD / USB				
Dimensiuni	560 x 240 x 300mm				
Greutate	Aproximativ 10Kg				

Aprobare	PTB – A18.10 / 99.25 (Germania)
Clasa de precizie	PTB: Clasa 1, OIML: Clasa 0

### 5.1.2. Caracteristicile combustibilului folosit

**Tabel 1. Condiții și metode de încercare  
Motorină Euro Diesel 5 / Motorină Standard**

Caracteristica	U.M.	Valoare		Metoda de încercare <sup>a</sup>
		minim	maxim	
Cifra cetanică		51,0	–	EN ISO 5165
Indice cetanic		46,0	–	EN ISO 4264
Densitate la 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	820	845	EN ISO 3675 (metoda de litigiu) EN ISO 12185
Hidrocarburi aromatice policiclice	% (m/m)	–	8	EN 12916
Conținut de sulf	mg/kg	–	10	EN ISO20846 (metoda de litigiu) EN ISO 20884
Punct de inflamabilitate , PM	°C	peste 55	–	EN ISO 2719
Reziduu de carbon (în 10 % reziduu de distilare)	% (m/m)	–	0,30	EN ISO 10370
Conținut de cenușă	% (m/m)	–	0,01	EN ISO 6245
Conținut de apă	mg/kg	–	200	EN ISO 12937
Contaminare totală	mg/kg	–	24	EN 12662
Coroziune pe lama de cupru (3 h la 50 °C)	cotare	clasa 1		EN ISO 2160
Stabilitate la oxidare	g/m <sup>3</sup>	–	25	EN ISO 12205
	h	20	–	EN 15751
Putere de lubrifiere diametrul corectat al urmel de uzură (wsd 1,4) la 60 °C	μm	–	480	EN ISO 12156 -1
Vâscozitate la 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	2,0	4,5	EN ISO 3104
Distilare ➤ recuperat la 250 °C ➤ recuperat la 350 °C ➤ 95%(V/V) recuperat la	% (V/V) % (V/V) °C	– 85 –	<85 – 360	EN ISO 3405
Conținut de EMAG (FAME)	% (V/V)	5,0	7,0	EN 14078
Temperatura limită de filtrabilitate, TLF, maxim	<u>CLASA</u> °C	Nu există o limită impusă a valorii TLF (clasă )		EN 116
➤ vară: 1 Mai - 30 Septembrie		–	E - 15	
➤ iarnă: 16 Noiembrie - 14 Martie		–	D , E - 10 - 15	
➤ tranziție: 16 Martie - 30 Aprilie și 1 Octombrie - 16 Noiembrie		–		
Conductivitate electrică	pS/m	50	–	ASTM D 2624 (metoda de litigiu) ASTM D 4308

Figura 5.2. Caracteristicile motorinei utilizate (date puse la dispoziție de către Rompetrol Group N.V.)



ROMPETROL

ROMPETROL DOWNSTREAM SRL (COMPANIE A GRUPULUI ROMPETROL)  
ADRESA: BUCUREȘTI, PIATA PRESII LIBERE 3-A, NORTH TOWER, 011002  
SECTOR 1  
TELEFON + (00) 21 206 75 00 FAX + (40) 21 206 75 00  
WEB: www.rompetrol.com EMAIL: office.downstream@rompetrol.com

SS 6B/2012

Data aprobării: 20.03.2012  
Ediția 2 / Reviziu 3

**BENZINA EFIX 3,4,6,7****UTILIZARE: COMBUSTIBIL PENTRU MOTOARELE CU APRINDERE PRIN SCANTEIE**

CARACTERISTICA	UM	VALORI		METODA DE INCERCARE
		Min.	Max.	
Densitate la 15 °C	Kg/m <sup>3</sup>	720	775	ASTM D 4052-08 <sup>2</sup> / ASTM D 1298-06(06) <sup>2</sup> SR EN ISO 3675-02 <sup>1</sup> / SR EN ISO 3675-02/C01:05 <sup>2</sup> / EN ISO 3675-98 <sup>2</sup> / ISO 3675-98 <sup>2</sup> / SR EN ISO 12185-02 <sup>2</sup> EN ISO 12185-98 <sup>2</sup> / ISO 12185-98 <sup>2</sup>
Cifra octanica				ASTM D 2899-09 <sup>2</sup> / ASTM D 2700-09 <sup>2</sup> / SR EN ISO 5164-06 <sup>2</sup> / EN ISO 5164-05 <sup>2</sup> / ISO 5164-05 <sup>2</sup> SR EN ISO 5163-06 <sup>2</sup> / EN ISO 5163-05 <sup>2</sup> / ISO 5163-05 <sup>2</sup>
COR		95,0	-	
COM		85,0	-	
Continut de plumb	mg/l	-	5,0	SR EN 237-05 <sup>1</sup> / EN 237-04 <sup>1</sup> / ASTM D 3237-06 <sup>2</sup>
Continut de benzen	% (v/v)	-	1,0	SR EN 12177-01 <sup>1</sup> / SR EN 12177-01 / AC:02 <sup>2</sup> EN 12177-98 <sup>2</sup> / SR EN 22854-09 <sup>2</sup>
Continut de hidrocarburi: Olefine	% (v/v)	-	18,0	SR EN 15553-07 <sup>1</sup> / EN 15553-07 <sup>1</sup> / SR EN 22854-09 <sup>2</sup> / ASTM D 1319-08 <sup>2</sup>
Aromatic	% (v/v)	-	35,0	
Distilare				ASTM D 88-09 <sup>2</sup> / SR EN ISO 3405-03 <sup>2</sup> / EN ISO 3405-00 <sup>2</sup>
Evaporat la 70 °C (E 70)	% (v/v)			
- vara <sup>3</sup>		20,0	48,0	
- iarna <sup>3</sup>		22,0	50,0	
- perioada de tranzitie <sup>3</sup>		20,0	50,0	
Evaporat la 100 °C (E 100)	% (v/v)			
- vara <sup>3</sup> , iarna <sup>3</sup> , perioada de tranzitie <sup>3</sup>		46,0	71,0	
Evaporat la 150 °C (E 150)	% (v/v)			
- vara <sup>3</sup> , iarna <sup>3</sup> , perioada de tranzitie <sup>3</sup>		75,0	-	
Punct final de fierbere (FBP)	°C	-	210	
Reziduu la distilare	% (v/v)	-	2	
Presiune de vapor (VP)	kPa			SR EN 13016-1:06 <sup>1</sup> / EN 13016-1:07 <sup>2</sup> / ASTM D 5191-07 <sup>2</sup>
- vara <sup>3</sup>		45,0	60,0	
- iarna <sup>3</sup>		60,0	90,0	
- perioada de tranzitie <sup>3</sup>		45,0	90,0	
Continut de sulf	mg/kg	-	10,0	
Stabilitatea la oxidare	minute	360	-	SR EN ISO 7536-01 <sup>1</sup> / EN ISO 7536-98 <sup>2</sup> / ISO 7536-94 <sup>2</sup> / ASTM D 525-05 <sup>2</sup> SR EN ISO 7160-03 <sup>1</sup> / EN ISO 7160-98 <sup>2</sup> / ISO 7160-98 <sup>2</sup> / ASTM D 330-04 <sup>2</sup>
Coroziune pe lama de cupru (3h la 50 °C)	clasa 1			
Continut de gume actuale (spalare cu solvent)	mg/ 100 ml	-	5,0	SR EN ISO 6246-00 <sup>1</sup> / EN ISO 6246-97 <sup>2</sup> / ISO 6246-95 <sup>2</sup> / ASTM D 381-09 <sup>2</sup>
Indice de volatilitate, VLI				Calcul
- vara <sup>3</sup>		-		
- iarna <sup>3</sup>		-		
- perioada de tranzitie <sup>3</sup>		-	1150	
Aspect	limpede si transparent			Inspectie vizuala
Continut de oxigen	%(m/m)	-	2,7	SR EN 1801-00 <sup>1</sup> / EN 1801-97 <sup>2</sup> / SR EN 22854-09 <sup>2</sup> / SR EN 13132-01 <sup>1</sup> / EN 13132-00 <sup>2</sup> DIN EN 13132-02 <sup>2</sup>

SPECIFICATIE STANDARD

Pagina 2/3

Figura 5.3. Caracteristicile benzinei utilizate (date puse la dispoziție de către Rompetrol Group N.V.)

Pentru acest experiment s-au folosit echipamentele descrise anterior. In figurile de mai jos sunt prezentate fotografiile cu elementele folosite:



Figura 5.4. Standul experimental



Figura 5.4. Motorul folosit in experiment



Figura 5.5. Analizorul de gaze

În cadrul experimentului s-au efectuat determinari pe 5 probe de combustibil. Plecand de la benzina standard de 95, cu concentratie de 5% bioetanol s-a adaugat cate 2% bioetanol si s-au efectuat determinarile. În total au fost 6 tipuri de combustibil. S-au determinat concentratiile de CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> si NO.



## **5.2. Impactul asupra mediului al sistemelor moderne de propulsie din punct de vedere al creșterii eficienței arderii**

În mod similar cu abordarea experimentală pentru determinările parametrilor caracteristici funcționării motoarelor cu aprindere prin scânteie la diferite concentrații de biocombustibil, pentru motorul Diesel disponibil s-au considerat mai multe categorii de amestecuri, urmărindu-se în acest fel determinarea emisiilor la folosirea biocombustibililor pe o plajă cât mai largă de determinări.

În acest sens, au fost pregătite cinci probe de combustibil în amestec cu biodiesel (în cazul de față ulei de rapiță), considerându-se următoarele concentrații:

Proba 1	0 %
Proba 2	15%
Proba 3	25%
Proba 4	50%
Proba 5	100 %

Testele au fost efectuate pentru sarcini constante ale motorului experimental, situate la valoarea de 1kW. Rezultatele sunt prezentate în tabelul 5.2.

Tabelul 5.2. Valorile determinate pentru emisiile de noxe la motorul Diesel

Concentrație	CO <sub>2</sub> %	NO <sub>x</sub> ppm	CO %
0%	2.65	87.65	11.20
15%	2.63	90.13	9.71
25%	2.64	93.70	9.60
50%	2.57	90.96	8.41
100%	2.45	97.39	7.94

Figurile 5.61 – 5.63 reprezintă graficele de variație ale valorilor determinate experimental.

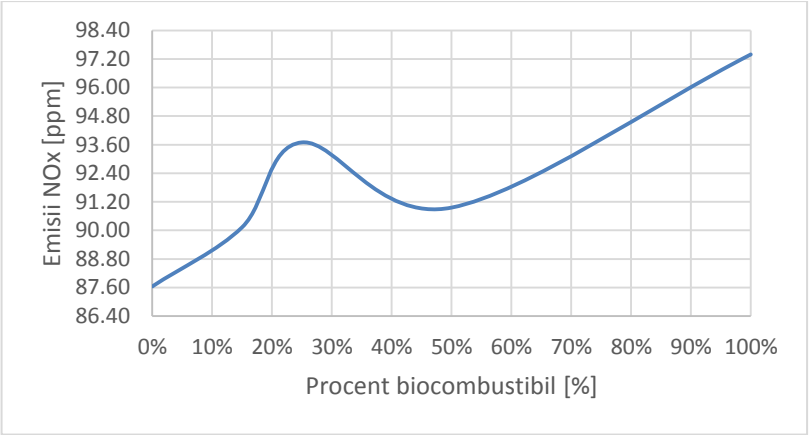


Figura 5.6. Variația emisiilor de NO<sub>x</sub> în funcție de concentrația de biodiesel în combustibilul folosit

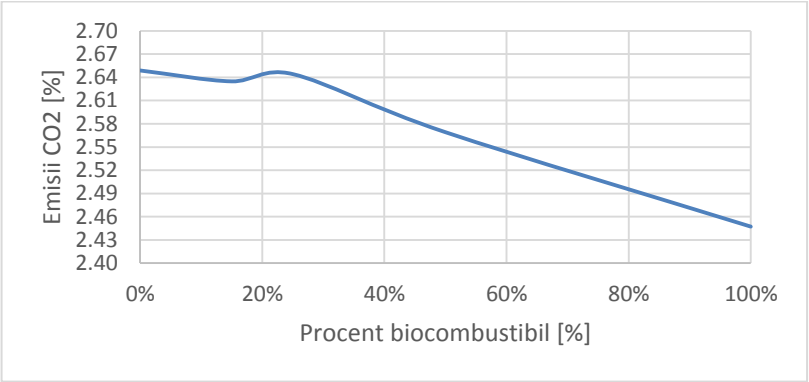


Figura 5.7. Variația emisiilor de CO<sub>2</sub> în funcție de concentrația de biodiesel în combustibilul folosit

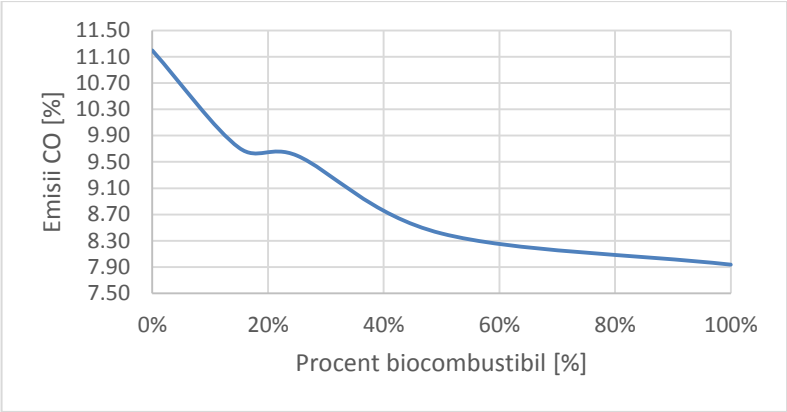


Figura 5.8. Variația emisiilor de CO în funcție de concentrația de biodiesel în combustibilul folosit

## **Capitolul 6. METODE OPERAȚIONALE DE REDUCERE A EMISIILOR POLUANTE**

În cadrul prezentei teze de doctorat, am propus o metodă de estimare a emisiilor poluante pe care am confirmat-o prin studii experimentale.

Din păcate, așa cum era de așteptat, sunt reduse emisiile poluante “standard” însă se constată, atât teoretic cât și experimental, o creștere a emisiilor de oxizi de azot.

Aceste emisii constituie un element cancerigen care, într-o primă estimare, va duce la creșterea incidenței cancerului pulmonar în zonele de coastă.

Astfel, putem spune că în momentul de față ne apropiem de momentul în care problema reducerii emisiilor poluante la nave nu va mai fi o problemă tehnică, care ține de echipamentele navale, ci o problema umană, care ține de modul în care echipajele folosesc echipamentele de la bord.

Indicele EEDI presupune un nivel minim acceptat, în ceea ce privește eficiența energetică a navei, cuantificat prin nivelul de emisii de CO<sub>2</sub> și raportat la cantitatea de marfă și distanța de transport. Valorile factorilor de reducere au o tendință descrescătoare în perioadele de implementare, ajungând ca, la nivelul anilor 2025 să fie impusă o scădere minimă de 30% a emisiilor de noxe, raportate la nivelurile de dinaintea implementării acestui indice. EEDI a fost conceput considerându-se segmentele cele mai mari și mai puternic poluante ale industriei maritime [14].

Pentru a înlesni implementarea cu succes la bordul navelor, din punct de vedere operațional, a cerințelor de reducere a EEDI și implicit a nivelelor actuale de emisii de noxe, a fost introdusă și dezvoltată noțiunea de Plan de Management Energetic al Navei (SEEMP – Ship Energy Efficiency Management Plan). Prin acest plan de management, se stabilește un mecanism pentru proprietarii de nave și pentru echipele de la bordul acestora, pentru a îmbunătăți eficiența operării sistemelor de la bord. SEEMP permite dezvoltarea unui sistem de monitorizare a eficienței energetice la bordul navelor de-a lungul timpului, prin folosirea unor indici, cum ar fi EEOI (Energy Efficiency Operational Index). Implementarea acestui instrument forțează atât proprietarii de nave, cât și operatorii acestora să aibă în vedere adoptarea de proceduri operaționale și retehnologizarea navelor, în orice fază a ciclului de operare a acestora.

În comparație cu nivelul actual estimat de emisii de CO<sub>2</sub>, se preconizează o reducere a consumului de combustibil și implicit de emisii de CO<sub>2</sub> situate între 13% și 23% până în 2020 și respectiv 2030.

Se observă că măsurile presupuse de implementarea SEEMP (în special măsuri operaționale) vor începe să își facă simțit efectul pe termen mediu (anii 2020), în timp ce abordările tehnologice vor avea efecte pe termen lung (2030 – 2050) pe măsură ce flota mondială va fi modernizată și pe măsură ce vor fi adoptate noi tehnologii.

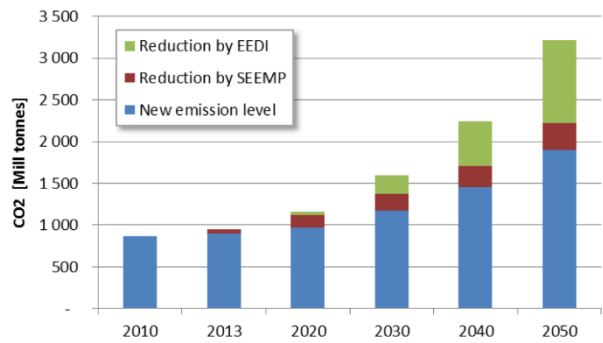


Figura 6.1. Nivelul anual de reducere a emisiilor de noxe până în anul 2050 și noile niveluri de emisii [14]

Implementarea nivelurilor minime ale EEDI vor conduce, pe viitor, la dezvoltarea unor nave mai eficiente din punct de vedere energetic. De asemenea, eficiența generală a activităților de transport va crește cu aceleași valori cu care se estimează ca va scădea nivelul emisiilor de noxe. Tabelul 6.1 arată variația emisiilor de CO<sub>2</sub>, exprimată în grame CO<sub>2</sub> / tonă milă, avându-se în vedere etapele de implementare ale cerințelor minime pentru valorile EEDI.

Tabelul 6.1. Eficiența activităților de transport maritim (g CO<sub>2</sub> / tona milă) în funcție de tipurile de nave [19]

An ul	Vrachi er	Tanc produ se finite	Tanc petroli er	Port contain er	Navă mărfu ri gener ale	Navă mărfuri refriger ate
200 5	9	13	13	30	40	40
201 0	9	12	12	28	37	37
202 0	8	10	10	23	30	30

<b>2030</b>	7	9	9	20	27	27
<b>2050</b>	5	7	7	16	21	20

Măsurile de reducere a valorii EEDI sunt prevăzute în SEEMP existente la bordul navelor. Acestea cuprind atât abordări din punct de vedere al implementării de noi tehnologii, cât și din punct de vedere operațional. Acestea se consideră că vor fi adoptate în comun, iar, așa cum este de așteptat, în primă fază măsurile care vor fi implementate vor fi cele operaționale. În tabelul 6.4 se prezintă o parte dintre măsurile operaționale și abordările tehnologice care pot avea influență asupra eficienței energetice a navei.

Tabelul 6.4. Măsurile tehnologice și operaționale care pot avea influență asupra creșterii eficienței energetice la bordul navei [14]

<b>Nr. crt.</b>	<b>Măsurile tehnologice</b>	<b>Măsurile operaționale</b>
<b>1</b>	Optimizarea dimensiunilor și corpului navei	Reglarea corectă și monitorizarea parametrilor motorului principal
<b>2</b>	Construcții ușoare	Menținerea corpului navei fără depuneri
<b>3</b>	Vopsirea navei cu vopseluri performante	Monitorizarea stării propulsorului și curățarea acestuia.
<b>4</b>	Sisteme de ”ungere,, cu aer	Reducerea consumului de energie electrică la bord
<b>5</b>	Optimizarea zonei bolta pupa și folosirea de sisteme de îmbunătățirea curgerii	Reducerea vitezei
<b>6</b>	Folosirea elicelor contrarotative	Optimizarea unghiurilor de bandă și asietă prin managementul balastului
<b>7</b>	Îmbunătățirea eficienței motorului principal	Planificarea rutei optime a voiajului
<b>8</b>	Recuperarea	Determinarea și modificarea rutei de

	energiei reziduale la bordul navei	tranzit în funcție de condițiile meteo
9	Folosirea combustibililor gazoși pentru propulsie	Reducerea consumului de energie electrică la bord
10	Folosirea de concepte și tehnologii inovatoare pentru instalația de propulsie	
11	Înlocuirea motoarelor electrice de la bord cu motoare cu turații variabile	
12	Folosirea energiilor regenerabile la bord	
13	Considerarea, în etapa de proiectare, a unor viteze de calcul reduse	

În cele ce urmează, se vor prezenta principalele aspecte legate de metodele tehnice care sunt vizate pentru implementarea la bord, în vederea reducerii valorii EEDI [14]:

Creșterea eficienței energetice urmând abordări operaționale pare a fi semnificativă și nu se rezumă doar la managementul energiei la bordul navei și la reducerea vitezei. În mod suplimentar, pentru creșterea eficienței energetice a activităților asociate transporturilor navale, se impune găsirea de noi moduri de cooperare între proprietarii de bunuri, care vor fi transportate, transportatori, proprietarii de nave și, în aceeași măsură, autoritățile portuare pot avea o influență pozitivă asupra stării de fapt. Adițional, optimizarea managementului flotei, în special prin reducerea voiajelor neproductive, în balast.

Sprijinind această idee, următoarele aspecte sunt de menționat:

- *Optimizarea managementului tehnic și operațional* – presupune măsuri pentru planificarea optimă a voiajului în funcție de previziunile meteo pentru zonele ce urmează a fi tranzitate, optimizarea balastării navei, monitorizarea și optimizarea parametrilor funcționali de pe parcursul voiajului, operarea eficientă a consumatorilor majori de energie electrică de la bordul navei, ș.a.
- *Logistică performantă și managementul flotei* – în acest set de măsuri sunt incluse direcții, cum ar fi combinarea sorturilor de marfă transportate pentru o rată de utilizare mai mare, optimizarea lanțurilor logistice implicate în activități, planificarea voiajului pentru a optimiza timpii de sosire și pentru a permite viteze de deplasare mai mici;
- *Autoritățile portuare* se pot implica în mod pozitiv în demersul de eficientizare a transporturilor maritime prin: renunțarea la restricțiile de dimensiuni care sunt impuse navelor, prelungirea programului de operare în port, mărirea capacității de operare a navelor, ș.a.

### **Studiu de caz: dezvoltarea și implementarea SEEMP pentru o navă de tip tanc petrolier**

Pentru a putea sublinia modul de dezvoltare și implementare a SEEMP, se va considera situația unei navei de tip tanc petrolier cu o capacitate de 50000tdw (figura 6.3) [16].



Figura 6.3. Nava studiată [16]

Nava are următoarele caracteristici:

$L_{pp}$	183m
B	32,2m
$V_{max}$	15,7nd
Tipul MP	MAN B&W 6S50MC-C, $P_e=8600kW$ la 127rpm



Planul de Management a fost dezvoltat avându-se în vedere caracteristicile navei – model și faptul că a fost implementat pe un sistem de simulare, certificat ca și simulator de clasa A de către DNV-GL.

Măsurile de implementare a EEDI:

### **I. Optimizarea voiajului**

Voiajul optim este realizat atunci când momentul determinat al sosirii rămâne neschimbat de la începutul voiajului. Acest plan vizează implementarea măsurilor care pot fi realizate în mod direct de către echipajul navei, la bordul acesteia. Proprietarul navei răspunde de implementarea măsurilor în porturi și pe linie.

## **II. Optimizarea rezistenței la înaintare**

### **II.1. Curățarea elicei**

Un propulsor corect întreținut generează un consum redus cu 3 la 5% mai mic decât unul cu depuneri pe suprafață. Din acest motiv, propulsorul trebuie curățat cel puțin odată pe an.

### **II.2. Curățarea operei vii**

Atunci când corpul navei este acoperit cu depuneri, rezistența la înaintare va crește cu 3%. Din acest motiv, este recomandat ca suprafața operei vii să fie curățată la fiecare trei ani.

## **III. Optimizarea funcționării instalațiilor mecanice**

Elementele principale vizate de optimizarea instalațiilor mecanice sunt:

- menținerea unui număr cât mai mic de consumatori în funcțiune;
- efectuarea lucrărilor de mentenanță la timpul planificat;
- cooperarea între departamentul Electromecanic și Navigație

Modul de implementare a prevederilor acestui plan de management poate fi evaluat prin folosirea unor metode de cuantificare a efectelor obținute. Cea mai cunoscută metodă este determinarea coeficientului EEDI și raportarea valorii obținute la limitele impuse prin adoptarea rezoluțiilor MEPC.

O a doua modalitate de cuantificare a efectelor implementării SEEMP este evaluarea emisiilor de noxe în funcție de fiecare stare de funcționare a sistemului energetic complex reprezentat de navă.

În cele ce urmează, se prezintă rezultatele obținute prin implementarea soluției de reducere a vitezei de deplasare a navei, folosită foarte des la bordul navei și cunoscută sub denumirea de „slow steaming”. Pentru a se observa influența acestei abordări asupra emisiilor generate în timpul operării navei, s-au considerat mai multe cazuri de funcționare ale modelului MAN B&W

6S50MC-C, care vizează sarcina acestui cuprinsă într-o plajă de valori între 100% și 20%. A fost considerat ca fiind funcțional un singur diesel generator, capabil să susțină consumatorii de la bord.

Au fost monitorizate emisiile de CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub> și SO<sub>x</sub> pentru motorul principal și un diesel generator. Rezultatele sunt prezentate în tabelul 6.5 și în tabelul 6.6.

Tabelul 6.5. Emisiile de noxe ale motorului principal în funcție de sarcină

Sarcina [%]	NO <sub>x</sub> [ppm]	CO [ppm]	SO <sub>x</sub> [ppm]	CO <sub>2</sub> [%]	C [mg/m <sup>3</sup> ]
100	939	60	63	5	61
80	722	41	68	4	56
60	471	21	66	4	51
40	449	19	40	3	50
20	571	18	19	1	58

Tabelul 6.6. Emisiile de noxe ale diesel generatorului raportate la sarcina motorului principal

Sarcina	NO <sub>x</sub> [ppm]	CO [ppm]	SO <sub>x</sub> [ppm]	CO <sub>2</sub> [%]	C [mg/m <sup>3</sup> ]
100	627	178	53	5	32
80	571	188	50	4	33
60	638	173	52	5	32
40	620	177	50	4	32
20	624	168	51	4%	32

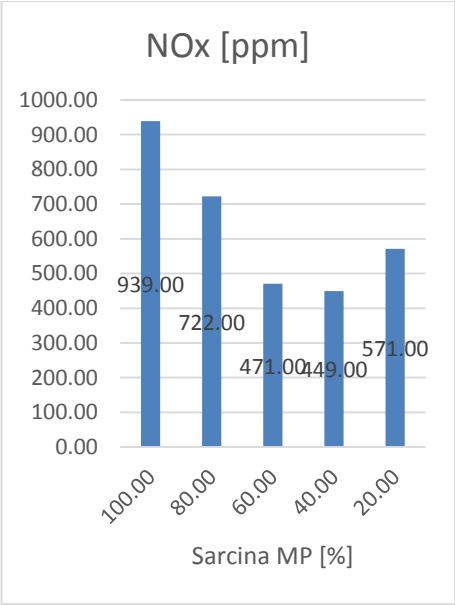


Figura 6.4. Emisiile de NO<sub>x</sub> – motor principal [ppm]

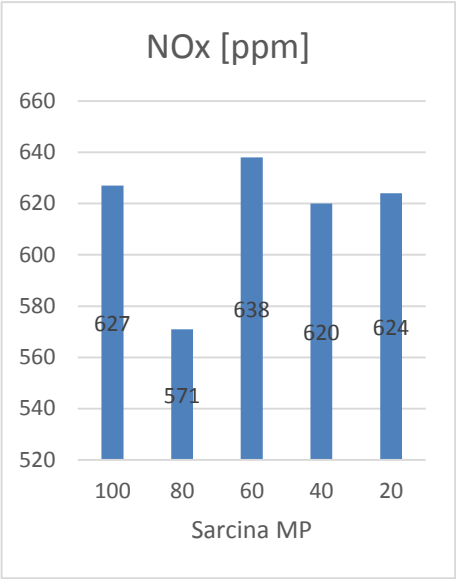


Figura 6.5. Emisiile de NO<sub>x</sub> – motor auxiliar [ppm]

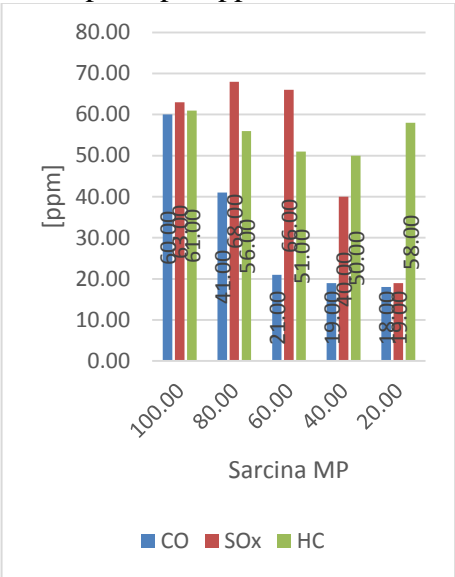


Figura 6.6. Emisiile de CO, SO<sub>x</sub> și HC – motor principal [ppm]

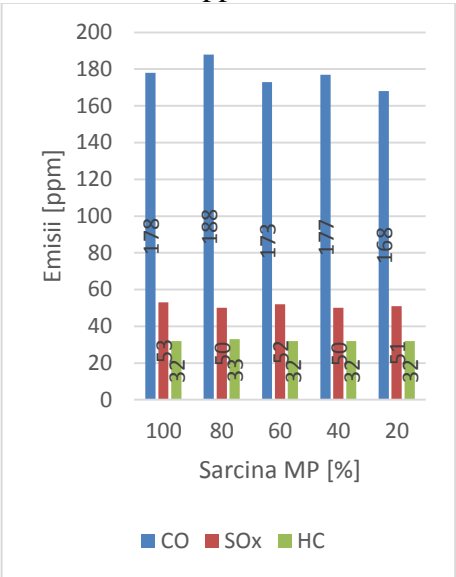


Figura 6.7. Emisiile de CO, SO<sub>x</sub> și HC – motor auxiliar [ppm]

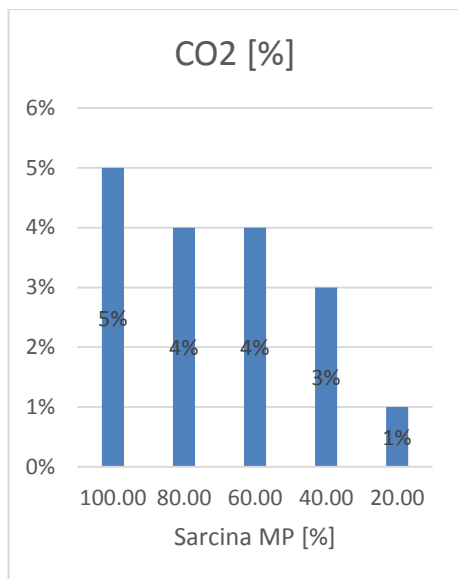


Figura 6.8. Emisiile de CO<sub>2</sub> – motor principal [%]

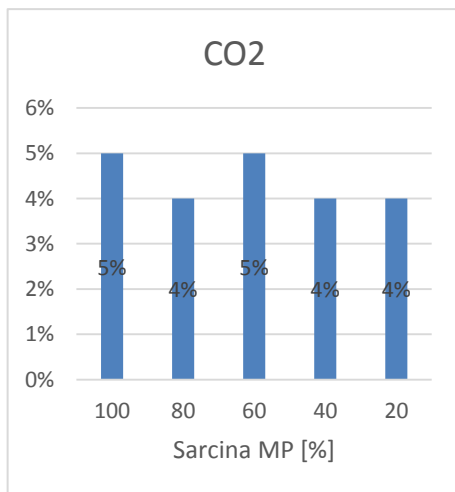


Figura 6.9. Emisiile de CO<sub>2</sub> – motor auxiliar [%]

Analizând figurile 6.3 – 6.8, se constată faptul că, odată cu reducerea sarcinii motorului principal, emisiile de NO<sub>x</sub> înregistrează o tendință descrescătoare, până la o sarcină de 20%, moment în care se constată o creștere de 22 ppm față de valoarea înregistrată pentru sarcina de 40%. Aceeași categorie de emisii are o variație relativ constantă pentru motorul auxiliar. În ceea ce privește emisiile de CO, SO<sub>x</sub> și HC, se constată tendința clară de scădere acestor categorii de poluanți, pentru motorul principal, cu excepția emisiilor de hidrocarburi nearse care, datorită coeficientului mic de exces de aer la sarcină mică, înregistrează o creștere accentuată.

Pentru motorul auxiliar, datorită sarcinilor induse de către diverșii consumatori de la bord, variația emisiilor nu urmărește o tendință asociată cu variația sarcinii motorului principal. Cu toate acestea, pentru intervale scurte de timp, în intervalul tranzitoriu situat în jurul sarcinii de 40% din sarcina nominală, moment în care intră în funcțiune electrosuflantele care deservesc motorul principal la sarcini mici, se constată o creștere temporară a nivelului emisiilor generate de diesel generatorul în funcțiune.

Emisiile de CO<sub>2</sub> se înscriu în aceeași tendință ca cele prezentate mai sus, constatându-se, pentru motorul principal o tendință clară de scădere a emisiilor, în timp ce, pentru motorul auxiliar, emisiile variază după o lege independentă de sarcina motorului principal.

## **Capitol 7 CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE**

### **C.1. CONCLUZII GENERALE**

Analizând rezultatele grafice obținute cu programul de simulare și prezentate în Capitolul 3, putem observa că valorile cele mai ridicate ale concentrației de NO corespund zonelor în care temperatura depășește valoarea de 2000K. Acest lucru este cauzat de mecanismul de formare a NO<sub>x</sub>.

În ultimii douăzeci de ani au fost realizate diferite tehnologii de reducere a acestei temperaturi și, în consecință, de reducere a emisiilor de NO<sub>x</sub>. Câteva din aceste tehnologii sunt: injecția de apă, injecția de abur și camera de ardere uscată cu coeficient ridicat de exces de ardere, însă ele vor fi prezentate mai în detaliu în capitolul următor.

Gazele de evacuare provenite de la motoarele Diesel navale, generatoarele de abur navale și turbinele cu gaze conțin emisii ca: oxizi de azot, oxizii de sulf, oxizi de carbon, hidrocarburi nearse și particule mecanice. Există mai multe metode de studiere a acestor emisii, cu scopul general de a înțelege formarea acestora. Prin analiza modului de formare a emisiilor de NO<sub>x</sub> într-o cameră de ardere a unei turbine cu gaze, am putut remarca faptul că zonele de formare intensă a NO<sub>x</sub> corespund cu zonele în care temperatura de ardere atinge valoarea maximă. Cu aceste rezultate, mai departe se poate obține o reducere a emisiilor de NO<sub>x</sub> dacă se realizează o metodă de reducere a temperaturilor în acele zone.

Din graficele prezentate în Capitolul 5, se poate observa că odată cu creșterea concentrației de bioetanol în combustibil, scad concentrațiile de hidrocarburi, monoxid de carbon și oxigen din gazele de evacuare, în timp ce cresc concentrațiile de bioxid de carbon și de oxizi de azot.

Acest lucru se datorează îmbunătățirii arderii și creșterii temperaturii în camera de ardere (îmbunătățirea arderii are ca efect creșterea temperaturii gazelor din camera de ardere).

Din păcate, creșterea temperaturii în camera de ardere duce la creșterea oxizilor de azot, element poluant cu efect la fel de nociv ca și elementele poluante care au fost scăzute.

Din cele observate în cazul experimentului, se poate afirma că îmbunătățind arderea combustibililor în motoarele cu ardere internă, printr-o abordare similară cu cea prezentată mai sus, se ajunge în situația de a reduce nivelul de emisii a unor categorii de poluanți (hidrocarburi și monoxid de carbon) pe de-o parte și de a crește nivelul de emisii a altor categorii de poluanți care, se pare, sunt chiar mai nocivi decât prima categorie (oxizi de azot).

O a doua concluzie, desprinsă de variațiile randamentului ciclului motor, determinate de variațiile parametrilor caracteristici combustibililor, este aceea că îmbunătățirea eficienței arderii și implicit îmbunătățirea randamentului motorului (dezvoltarea unei puteri mai mari la același consum de combustibil) duce la o creștere a eficienței economice a acestuia, având, totuși, ca și efect indirect creșterea poluării cu  $\text{NO}_x$ .

În urma analizei metodelor operaționale de reducere a emisiilor poluante, se constată faptul că, prin implementarea unor astfel de măsuri de creștere a eficienței energetice, se obține o reducere a emisiilor de noxe și, implicit, o reducere a consumului de combustibil consumat.

În acest fel, se poate afirma faptul că abordarea operațională de creștere a eficienței globale a sistemului energetic reprezentat de navă este o soluție viabilă.

## **C.2. CONTRIBUȚII ORIGINALE**

Lucrarea de față este o lucrare foarte amplă, printre ale cărei contribuții pot fi enumerate următoarele:

- S-a realizat o analiză foarte detaliată a normelor și reglementărilor internaționale în domeniul poluării provenite din zona industriei maritime. Astfel, s-a evidențiat importanța pe care o are în momentul de față protecția mediului marin subliniind demersurile legislative internaționale în acest domeniu.

- S-a realizat studiu detaliat care vizează instalațiile energetice navale și particularitățile acestora. Astfel s-au prezentat majoritatea sistemelor de propulsie utilizate la bordul navei, plecând de la cele mai simple, precum sistemele de propulsie cu motor cu ardere internă cuplat direct cu axul port elice, terminând cu sistemele de propulsie combinate de motor cu ardere internă – turbina care antrenează atât elicea dar și generatoarele de curent electric.

- S-a efectuat un studiu detaliat referitor la metodele de determinare a emisiilor rezultate în urma exploatării sistemelor navale de propulsie

- S-au propus două metode de estimare a emisiilor poluante de la bordul navei, una grafică și una analitică. Aceste metode permit realizarea în timp real și foarte rapid de către echipaj, a nivelului de poluare al navei pe care o exploatează.

- Au fost validate metodele de determinare a emisiilor poluante la bordul navei prin compararea rezultatelor obținute în urma utilizării metodei propuse anterior cu indicațiile de la bordul unei nave moderne.

- Au fost realizate două serii de experimente, una pe un motor cu ardere prin scântee și cealaltă pe un motor diesel. În cadrul acestor experimente s-a dorit determinarea modului în care îmbunătățirea arderii afectează emisiile poluante. Astfel, s-a crescut concentrația de biocombustibil folosind bioetanol și respectiv biodiesel, ceea ce a dus la o îmbunătățire a arderii. În urma analizei emisiilor poluante s-a constatat reducerea emisiilor de CO și HC concomitent cu creșterea emisiilor de CO<sub>2</sub>.

Acest lucru se explică prin însăși îmbunătățirea arderii, și este un fenomen benefic. Din păcate determinarea emisiilor oxizilor de azot ne indică faptul ca nivelul acestora crește.

De asemenea acest efect era de așteptat, așa cum a fost detaliat în studiul referitor la metodele de determinare a emisiilor poluante. Explicația acestui fenomen este că odată cu îmbunătățirea arderii, cresc și temperatura și presiunea în camera de ardere, ceea ce duce la obținerea unor compuși mai complecși ai azotului cu oxigenul și de asemenea creșterea concentrației acestora în gazele de ardere. Acești compuși au un puternic efect cancerigen, așa cum rezultă din numeroase studii publice.

O concluzie a acestui studiu este aceea că în acest moment, din punct de vedere tehnic, s-a atins o limită referitoare la nivelul de poluare produs de o navă iar soluțiile de reducere a emisiilor poluante trebuie căutate în modul de operare al navei.

- S-a realizat un plan de reducere a emisiilor poluante ale navei prin metode operaționale.

### **C.3. PERSPECTIVE DE DEZVOLTARE ULTERIOARĂ**

În cadrul prezentei teze de doctorat, am propus o metodă de estimare a emisiilor poluante pe care am confirmat-o prin studii experimentale.

De asemenea, am prezentat și metodele curente de eficientizare a arderii combustibilului, care conduc la îmbunătățirea randamentului termic și implică la reducerea consumului și a nivelului de emisii poluante.

Din păcate, așa cum era de așteptat, sunt reduse emisiile poluante „standard” însă se constată, atât teoretic cât și experimental, o creștere a emisiilor de oxizi de azot care, se pare, constituie, cel puțin statistic, unul dintre factorii determinanți ai diferitelor forme de manifestare a cancerului pulmonar pentru populația care locuiește în zonele costiere.

Astfel, putem spune că în momentul de față ne apropiem de momentul în care problema reducerii emisiilor poluante la nave nu va mai fi o problemă tehnică, care ține de echipamentele navale, ci o problema umană, care ține de modul în care echipajele folosesc echipamentele de la bord.

Având în vedere cele prezentate mai sus, se desprinde în mod natural faptul că una din direcțiile viitoare reducere a emisiilor poluante va trebui să ia în considerare reducerea emisiilor poluante prin metode operaționale; această problemă, poate constitui, cu siguranță, obiectul unei cercetări pluridisciplinare de anvergură.

Pentru aprofundarea cercetărilor pe această linie, la momentul de față s-au mai identificat și alte direcții viitoare de cercetare, care vin să sprijine direcțiile majore identificate:

- dezvoltarea de simulări specifice pentru fenomenul de ardere în mașinile termice (cu ardere internă și externă), pentru a identifica influența geometriei camerei de ardere asupra modului de formare a noxelor;
- dezvoltarea de noi metode tehnice de creștere a randamentului global al sistemului energetic reprezentat de navă;
- identificarea și validarea de noi abordări operaționale pentru eficientizarea activității la bordul navei.



## BIBLIOGRAFIE

- 1      \*\*\*      [LNG Bunkering Summit 2014- http://www.lnqbunkeringssummit.com](http://www.lnqbunkeringssummit.com)
- 2      \*\*\*      [Seas At Risk Position Paper: Ship Waste Dumping And The Clean Ship Concept How An Improved Eu, Prf Directive Can Play A Key Role In Cleaning Up The Seas; http://www.seas-at-risk.org/Images/Seas%20At%20Risk%20Position%20Paper160911.pdf](http://www.seas-at-risk.org/Images/Seas%20At%20Risk%20Position%20Paper160911.pdf)
- 3      \*\*\*      [Solar Powered Eco-Concept Vessel - http://www.treehugger.com/cars/solar-powered-eco-concept-vessel.html](http://www.treehugger.com/cars/solar-powered-eco-concept-vessel.html)
- 4      \*\*\*      [Transportpolicy: International: Marine: Emissions - http://transportpolicy.net/index.php?title=International: \\_Marine: \\_Emissions](http://transportpolicy.net/index.php?title=International:_Marine:_Emissions)
- 5      \*\*\*      <http://www.shippippedia.com>
- 6      \*\*\*      [www.worldslargestship.com;](http://www.worldslargestship.com)
- 7      \*\*\*      [http://www.chemical-pollution.com;](http://www.chemical-pollution.com)
- 8      \*\*\*      <http://www.ship-technology.com/projects/msbelugaskysails>
- 9      \*\*\*      <http://www.marineinsight.com/news/nichio-maru-the-new-green-car-carrier-from-nissan>
- 10     \*\*\*      [www.gie.eu](http://www.gie.eu)
- 11     \*\*\*      Germanischer Lloyd, 2004
- 12     \*\*\*      Lloyd's Register, 2002
- 13     \*\*\*      Manualul inginerului termotehnician, Ed. Tehnică, 1961
- 14     \*\*\*      MEPC 63/INF.2, Assessment of IMO mandated Energy Efficiency measures for International Shipping, Estimated CO<sub>2</sub> Emissions Reduction from Introduction of Mandatory Technical and Operational Energy Efficiency Measures for Ships, DNV-GL, 31.10.201.
- 15     \*\*\*      MEPC 63/23, Annex 8, Resolution MEPC.212(63) Adopted on 2 March 2012, Guidelines on the Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for new ships.
- 16     \*\*\*      Manual de utilizare al simulatorului Transas ERS TechSim – model MAN B&W 6S50MC-C.
- 17     \*\*\*      European Communities, Council Directive of 7 March 1985 on Air Quality standard for Nitrogen Dioxid (85/203/EEC), Official Journal of the European Communities, No. L87/1, Luxemburg, 1985
- 18     A. Arsenie, R  
Hanzu - Pazara, A  
Valsami, R  
Tromiadis, D  
Lamba      A Comparative Approach of Electrical Diesel Propulsion Systems, TRANSSNAV, Vol 9, Nr 1, p 185-189
- 19     ABS      ABS Ship Energy Efficiency Measures Advisory,
- 20     Ahlquist, I.      The Low-Emission Ship, CCMS-A.S.W. on *Air Pollution from Marine Engines*, Athens, 1994
- 21     Andreea, Arsenie      Methods of the energetic consumptions of ships, *Analele Universitatii Maritime Constanta* . 2015, Vol. 23, p13-16. 4p
- 22     Andreea, Arsenie      Stability and Recovery Measures after the Ship Stability was Damage, *Analele Universitatii Maritime Constanta*, 2014, Year XV, Vol.21, p19-24
- 23     Andreoni, V.  
Miola A., Perujo A.      Cost Effectiveness Analysis Of The Emission Abatement In The Shipping Sector Emissions, JRC Scientific and Technical Report, 2008
- 24     Andrew B Smith  
and Joseph  
Morelos      Gas-Fuelled Ships: Fundamentals, Benefits, Classification And Operational Issues, Lloyd's Register Technology Days 2011 Safety, economy of operational and the environment;

- 25 Annamali K., Puri I.  
Anouk Florentinus, Carlo Hamelinck, Arno van den Bos, Rob Winkel, Maarten Cuijpers  
Advanced Thermodynamics Engineering, CRC Press, 2002,
- 26 Potential Of Biofuels For Shipping, Final Report, European Maritime Safety Agency (EMSA), January 2012
- 27 ANSYS Inc.  
ANSYS CFX – Solver Theory Guide, 2006
- 28 Apostolescu, N., Taraza, D.  
Bazele cercetării experimentale a mașinilor termice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979
- 29 Aramă C., Apostolescu N.  
Poluarea aerului de către m.a.i., Ed. Tehnică, 1975
- 30 Aramă, C., Grunwald, B.  
Motoare cu ardere internă. Procese și caracteristici, Editura Tehnică, București, 1966
- 31 Arcadis Belgium nv/sa  
Economic Assessment Of Policy Measures For The Implementation Of The Marine Strategy Framework, Directive European Commission, Contract N° 070307/2010/577902/ETU/F1 EC DG Environment Project number 11601 | Final report | February 2012;
- 32 Arsenie P., Martinas G., Gheorghe C., Arsenie A.  
Technologies for the Reduction of Nitrogen Oxides Emissions, TRANSSAV, Vol 9 Nr 2, 2015, p251-256
- 33 Asimit T., T Popa.  
Jurnal de hidrocarburi, Ed. Briza mării, 2007
- 34 Babcock & Wilcox  
Documentație tehnică
- 35 Badea A., Stan M., ș.a.  
Bazele termoeenergeticii, Ed. Tehnică, 2003
- 36 BAE Land & Sea Sys.  
Guide to Exhaust Emission Control Options, 2000;
- 37 Baumgarten C.  
Mixture Formation in I.C.E., Springer, 2006,
- 38 Bayhan, M., Buzbuchi, N.  
Engine Vibration Effects on Exhaust System and Sound Damping, Vol. A VII-a Coferință de Vibrații Mecanice, Timișoara, 1993
- 39 Bazari, Z.  
Application of Predictive Methods to Marine Diesel Exhaust Emissions, CCMS-A.S.W. on Air Pollution from Marine Engines, Athens, 1994
- 40 Bedford F., Rutland C., Dittrich P., Raab A  
Effects Of Direct Water Injection On DI Diesel Engine Combustion, Society of Automotive Engineers.
- 41 Bodolan, D.  
Stadiu actual în modelarea formării poluanților navali, Referat de doctorat, Universitatea Maritimă Constanța, 2003
- 42 Bodolan, D.  
Metode de control și reducere a emisiilor poluante ale sistemelor energetice navale, Universitatea Maritimă Constanța, 2003
- 43 Bodolan, N, Buzbuchi N  
"Modelarea, predicția și controlul emisiilor poluante ale motoarelor navale", Editura Nautica, ISBN 973-7872-09-6, 82 pag., Constanța, 2005.
- 44 Boubel R., Fox D. ș.a.  
Fundamentals of Air Pollution, Academic Press 1994
- 45 Bratspies, R.M.  
Regulatory Wake-up Call: Lessons from BP's Deepwater Horizon Disaster, A. Golden Gate U. Envtl. LJ, 2011, 5: 7.
- 46 Buzbuchi N. , Manea L.  
Motoare Navale. Procese și Caracteristici, Vol. 1, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1996

- 47 Buzbuchi N, Sabau A. “Procese, caracteristici și supraalimentarea motoarelor navale”, Editura Nautica, ISBN 973-87008-2-5, 210 pag., Constanța, 2004.
- 48 Buzbuchi N. Motoare termice din zona portuară. Procese, Ed. Matrix Rom, 2001
- 49 Buzbuchi N. Poluarea produsă de motoarele cu ardere internă, Sesiunea de comunicări științifice, Catedra de organizare a producției, Institutul Politehnic București, 1981
- 50 Buzbuchi, N., Gogu., E. “The Intelligent Engine Concept”, Tehnav 2008, Conference Proceedings, ISSN-1223-7221, 6 pag., Constanța, 2008, Ovidius University Annals of Mechanical, Industrial and Maritime Engineering Volume X, Tom I, 2008.
- 51 Buzbuchi, N., Stan, L. “Model Simulation of High Power Diesel Engine Exhaust Gas Pollutants”, Proceedings of the 3rd International Conference on Environmental and Geological Science and Engineering (EG’10), Constantza, Romania, September 3-5, 2010, ISBN 978-960-474-221-9 (4 pag).
- 52 Buzbuchi, N., Stan, L. “Noise Marine Diesel Engines and the Environment Simulation of the Marine Diesel Engine Pollution-Part I-II”, Constanta Maritime University Annals, ISSN 1582-3601, 6 pag ,Year XI, Vol.
- 53 Buzbuchi, N., Stan, L., Sabau, I. “Simulation of Air Pollution due to Marine Engines”, Proceedings of the International Conference “Danube-Black Sea 3E-Energy, Environment & Efficiency”, Fascicle II, Year V, No. 2, pp. 277-286, Galati, September 2013, ISSN 2067-2071.
- 54 Buzbuchi, N., Stan, L.: “Procese și caracteristici ale motoarelor navale”, Colecția Mașini Navale, Editura Nautica, ISBN 978-973-7872-78-4, 200 pag., Constanța, 2008
- 55 Buzbuchi, N., Stan, L.: “Construcția motoarelor navale și a sistemelor auxiliare ale acestora”, Colecția Mașini Navale, Editura Nautica, ISBN 978-973-7872-79-1, 350 pag., Constanța, 2008.
- 56 Călimănescu, I., Chițac, V., Buzbuchi, N.: “Aplicațiile analizei cu elemente finite în științele ingineresti”, Editura Academiei Navale “Mircea cel Bătrân”, ISBN 978-973-1870-35-9, 275 pag., Constanța, 2009
- 57 Canada Shipping Act Regulations for the Prevention of Pollution from Ship and for Dangerous Chemicals, Transport Canada, 2007
- 58 Center For Climate And Energy Solutions Marine Shipping, <http://www.c2es.org/technology/factsheet/MarineShipping>
- 59 Cheremisnoff N.P. Handbook of Air Pollution Prevention and Control, Butterworth Heinemann, 2002
- 60 Chisacof Al., Dobrovicescu Al. Bazele termoeenergeticii tehnice, Politehnica Press, 2009
- 61 Chul-hwan HAN Strategies To Reduce Air Pollution In Shipping Industry; The Asian Journal of Shipping and Logistics, Volume 26 Number 1 June 2010 pp. 007-030, <http://www.sciencedirect.com/science/journal/20925212/26/1>
- 62 Clamping Paul et all Final report: Specific evaluation of emissions from shipping including assessment for the establishment of possible new emission control areas in European Seas, 2013.
- 63 Cofala J., Amann M. ș.a. Analysis of Policy Measures to Reduce Ship Emissions in th Context of the Revision of the National Emissions Ceilings Directive, International Institute for Applied Systems Analysis, 2007
- 64 Corbett J., Fischbeck P. Sources and transport of air pollution from ships, Journal of University of Delaware
- 65 Darren Quick Mitsubishi reduces friction on ship hulls by blowing bubbles, 2012. <http://www.gizmag.com/mitsubishi-air-lubrication-system/21196/>
- 66 Det Norske Veritas Assesment Of Measures To Reduce Future CO2 Emissions From Shipping, Research And Innovation, Position Paper 05-2010, [www.dnv.com](http://www.dnv.com)

*Cercetări Privind Reducerea Emisiilor Poluante Prin Utilizarea Sistemelor Inovatoare De Propulsie Navală*

		Shipping	2020	-	final	report:
67	Det Norske Veritas	<a href="http://www.dnv.nl/binaries/shipping%202020%20-%20final%20report_tcm141-530559.pdf">http://www.dnv.nl/binaries/shipping%202020%20-%20final%20report_tcm141-530559.pdf</a>				
68	Det Norske Veritas, Germanischer Lloyd	LNG as ship fuel The future –Today, 01.2014.				
69	Doe U.S.	Instrumentation & Control, U.S. Department of Energy, 1991				
70	Dragalina A., Florea T.	Mașini și instalații navale, Ed. Muntenia, Constanța, 2007				
71	Dragalina Al, Scurtu C, Munteanu C, Buzbuchi N	“Îndrumar de proiectare în domeniul motoarelor diesel navale”, Editura Nautica, ISBN978-606-681-028-9, 345 pag., Constanța, 2014.				
72	Dragalina Al.	Motoare cu ardere internă, Vol. 1 și 2, Ed. ANMB, 2003				
73	El-Mahalawy F. El-Din H.	Fundaments and Technology of Combustion, Elsevier, 2002				
74	EPA National Air Pollutant Emission Trends	EPA National Air Pollutant Emission Trends (2004), EIA Annual Energy Review 2003				
75	Equasis	<a href="http://www.equasis.com">The World Merchant Fleet In 2013- Statistics from Equasis, www.equasis.com</a>				
76	Ericson C.	NO <sub>x</sub> Modelling of a Complete Diesel Engine / SCR System, Division of I.C.E., Department of Energy Sciences, Lund University, 2007				
77	Ernst and Young	<a href="http://emergingmarkets.ey.com/wp-content/uploads/downloads/2011/11/TBF_212_International_trade_white_paper_v24_Low_Res2.pdf">Trading Places: The emergence of new patterns of international trade. Ernst Young and Oxford Economics. EYG No. AU1000. Available at http://emergingmarkets.ey.com/wp-content/uploads/downloads/2011/11/TBF_212_International_trade_white_paper_v24_Low_Res2.pdf</a>				
78	Germanischer Lloyd AG	Possible Technical Modification on Pre-2000 Marine Diesel Engines for NO <sub>x</sub> Reductions, Report No. MPU 2008.017 based on contract with EMSA.				
79	Graboski M.S., McCormick R.L., Alleman T.L.,	The effect of Bio diesel composition on engine emissions from a DDC series 60 Diesel engine, National Renewable Energy Laboratory, 2003				
80	Grünwald, B.	Teoria, calculul și construcția motoarelor pentru autovehicule rutiere, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980				
81	GUNT Gmbh, Hamburg	Documentația tehnică a motorului experimental CT 152				
82	GUNT Gmbh, Hamburg	Documentația tehnică a motorului experimental CT 151				
83	GUNT Gmbh, Hamburg	Documentația tehnică a platformei de bază cu motor cu ardere internă CT 159				
84	GUNT Gmbh, Hamburg	Documentația tehnică a unității de antrenare si franare universală HM 365				

- 85 Gwenn H. Chemical Reactor Modeling of Oxides of Nitrogen in Lean-Premixed, High-Intensity Combustion of Carbon Monoxide-Hydrogen Blends, University of Washington, 2004, PhD Thesis
- 86 Hedrick J. Emerging Technologies For Controlling Marine Engine Emissions, Conference on Marine Vessels & Air Quality, 2001.
- 87 Hedrick J. Emerging Technologies for Controlling Marine Engine Emissions, Conference on Marine Vessels & Air Quality, 2001
- 88 Hesser M SCR Technology for NO<sub>x</sub> Reduction: Series Experience and State of Development, DEER Conference, 2005;
- 89 Hinze J. O. Turbulence, McGraw-Hill, 1975.
- 90 Hutchison B. Reduction of marine emissions (SO<sub>x</sub>), 2006, PhD Thesis
- 91 I.M.O. MARPOL 73/78: Annex VI and NO<sub>x</sub> Technical Code, 1998
- 92 I.M.O. MEPC 176 (58), Anexa VI din MARPOL 73/78 revizuită, 2008
- 93 Ionescu I. Motoare termice. Soluții constructive și măsuri generale pentru reducerea emisiilor poluante, Ed. Matrix Rom, 2001
- 94 Irwin J., Marghitu D.B. Mechanical Engineer's Handbook, Academic Press, 2001
- 95 ITOPF Oil Tanker Spil Statistics 2013;
- 96 James J. Corbett , James J. Winebrake , Erin H. Green, Prasad Kasibhatla, Veronika Eyring și Axel Lauer Mortalitatea din emisiile de la nave: o evaluare globală, Environ. Sci. Technologie. , 2007 , 41 (24), pp. 8512-8518.
- 97 Jasper Faber, Freund, Martin Kopke, Dagmar Nelissen Going slow to reduce emissions. can the current surplus of maritime transport capacity be turned into an opportunity to reduce GHG emissions?, Published January 2010 by Seas Risk;
- 98 Karlsson B. Enclosure Fire Dynamics, CRC Press, 2000
- 99 Laurie Goldsworthy Design Of Ship Engines For Reduced Emissions Of Oxides Of Nitrogen, Faculty of Maritime Transport and Engineering, Australian Maritime College, [www.flamemarine.com](http://www.flamemarine.com)
- 100 Linan A., On the internal structure of laminar diffusion flames, Institut Nacional de Technic Aeronautic, 1961

*Cercetări Privind Reducerea Emisiilor Poluante Prin Utilizarea Sistemelor Inovatoare De Propulsie Navală*

- 101 Lloyd's Register Technology LNG - Fuelled Deep Sea Shipping - The Outlook For LNG Bunker And LNG - Fuelled Newbuild Demand Up To 2025, August 2012;
- 102 Magnussen B. F. The Eddy Dissipation Concept for Turbulent Combustion Modelling. Its Physical and Practical Implications, Presented at the First Topic Oriented Technical Meeting, International Flame Research Foundation, 1989
- 103 MAHA Maschinenbau GmbH Documentația tehnică a analizorului de gaze MGT5
- 104 Maija Lappi, Tadeus Borkowski, Jaroslaw Myskow Ship Emissions And Abatement Technology Assessment, VTT Technical Research Centre of Finland, and Maritime University of Szczecin, 2012
- 105 MAN B&W Electronically Controlled Two-stroke Engines, K98 ME, 2005
- 106 MAN B&W Emissions control for two stroke diesel engines, 2003
- 107 MAN B&W Exhaust Gas Emission Control Today and Tomorrow
- 108 Manea A. Manea L. ș.a. Motoare termice, procese, poluare, Ed. Matrix Rom, 2004
- 109 Maritime Institute in Gdarisk Clean Baltic Sea Shipping: Study 4.1, Development Of Future Changes For Clean Baltic Sea Shipping, Programme: Baltic Sea Region 2007-2013, part-financed by the EU ;
- 110 Martinas George, Ovidiu Sorin Cupșa, Liviu Constantin Stan, Arsenie Andreea Cold Flow Simulation of an Internal Combustion Engine with Vertical Valves Using Layering Approach, Modtech2015, ID: C-66
- 111 McGeorge H.D. Marine Auxiliary Machinery, Butterworth Heinemann, 2002,
- 112 Mihai Diac Norme de mediu mai severe pentru vapoare- Green report- <http://www.green-report.ro/norme-de-mediu-mai-severe-pentru-vapoare>
- 113 Mitchell D. Health Effects of Shipping Related Air Pollutants, California Environmental Protection Agency, Air Resources Board, 2001
- 114 Moldoveanu A. Poluarea aerului cu particule, Ed. Matrix Rom, 2005
- 115 Moroianu C. Arderea combustibililor lichizi în sistemele de propulsie navale, Ed. ANMB, 2001
- 116 Nanu D. Sisteme electroenergetice navale, Ed. Muntenia, 2004
- 117 Nicolae F și alții Air pollution from shipping. study case: Constanta Port, International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, SGEM Conference Proceedings, June, 2014, Bulgaria
- 118 Nicolae F. Managementul mediului in industria navală.
- 119 Nicolae F. Prevenirea poluării mediului în activitățile navale și portuare

- 120 Nicolae F., Popa C., Beizadea H., 2013b. Econology Perspectives In Naval Industry. DOI:10.5593/SGEM2013/BE5.V2/S21.011 13th SGEM GeoConference on Ecology, Economics, Education And Legislation, www.sgem.org, SGEM 2013 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-
- 121 Nord K. Particles and Unregulated Emissions from CI Engines Subjected to Emission Control, Luleå University of Technology, 2005
- 122 Oceana Shipping Impacts On Climate: A Source With Solutions, Ellycia Harrould-Kolieb, July 2008; [www.oceana.org](http://www.oceana.org).
- 123 Palmer W Cost-Benefit Study of Marine Engine NOx Emissions Control Systems, Transportation Development Centre of Transport Canada, 2000
- 124 Peters N. Turbulent Combustion, Cambridge monographs on mechanics, Cambridge University Press, 2000
- 125 Popa I. Instalații mecanice și hidropneumatice navale, Ed. Muntenia, 2005
- 126 Popescu, C., Varsami, A.E., Bejan, R., Hanzu - Pazara, R., Grosan, V.-N., Arsenie, A. Deck department leadership through bridge team management (Conference Paper), 23rd DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation 2012; Zadar; Croatia; 24 October 2012 through 27 October 2012; Code 105229
- 127 Pruiu A. Instalații energetice navale; Ed. Leda& Muntenia, 2000
- 128 Pruiu A. Trifan A. Water Based Technologies Used On Diesel Engines For The Reduction Of Nox Emissions, Bulletin of the Transilvania University of Braşov, Vol.2, 2009.
- 129 Rahai H.R, Hefazi H. Emission Control Technologies For Ocean Going Vessels (Osvs), Center For Energy And Environmental Research And Services (CEERS) California State University, Long Beach
- 130 Ristea M. Marine Environment - EU legislation and related documents, 2nd International Conference on Sustainable development of the sea-corridors and coastal waters, Varna, 2014.
- 131 Sabău A., Dumitrache C., Stan L. Evaluation of pollutants for naval engine, Bulletin of the Transilvania University of Braşov, Vol.2, 2009
- 132 Sabău, A., Buzbuchi, N. Stan, L. "Evaluation of the Soot Emissions", Proceedings of the International Conference "Danube-Black Sea 3E-Energy, Environment & Efficiency", Fascicle II, Year V, No. 2, pp. 292-299, Galați, September 2013, ISSN 2067-2071.
- 133 Smith E.H. Mechanical Engineers's Reference Book, Elsevier, 2002
- 134 SSI Forum for the future: Sustainable Shipping Initiative Vision 2040, aprilie 2014, [www.ssi2040.org](http://www.ssi2040.org).
- 135 Stan, I. C., Buzbuchi, N. Prevenirea și combaterea poluării atmosferice produse de nave, Editura Nautica, Constanța, 2009

- 136 Stan, L., Buzbuchi, N. "Prevenirea și combaterea poluării atmosferice produse de nave", Colecția Nautarius, Editura Nautica, ISBN 978-973-7872-80-7, 100 pag., Constanța, 2008.
- 137 Stan, L., Memet, F., Buzbuchi, N.: "Combustion simulation for naval diesel engine", Proceedings of the 3rd International Conference on Maritime and Naval Science and Engineering (MN'10), Constantza, Romania, September 3-5, 2010, ISBN 978-960-474-222-6.
- 138 Stan, L., Buzbuchi, N. "Combustion chamber of the Diesel engine—theory and numerical simulation", Proceedings of the XIV International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean (IMAM 2011), Session Propulsion Plants & Resistance, pg. 581-586, GENOA, ITALY, September 13-16 2011, ISBN : 978-0-415-62081-9.
- 139 Sulzer General technical data for RTA marine engines, 1984
- 140 Takagi M., Atsuto O., Masaru I, Katsuhide H., NOx Emission Value - Study of On-board Measurement, Journal of the Japan Institute of Marine Engineering, 2006
- 141 Takasaki K., Tajima H., Strøm Al., Shinsuke M. Visualization of Combustion and CFD Study for NO<sub>x</sub> Reduction with Water Injection, Journal of the Japan Institute of Marine Engineering, 2006
- 142 The Norwegian Trade Portal Shipping focuses on LNG technology, <http://www.careernorway.com/sectors/articles/environmental-shipping-focuses-on-lng-technology/>
- 143 The U.S. Environmental Protection Agency (EPA) Global Trade And Fuels Assessment—Additional Eca Modeling Scenarios, may 2009, [www.epa.org](http://www.epa.org);
- 144 Trifan A, Olaru N. Instalații Energetice Navale Cu Motoare Cu Ardere Internă. Tehnologii De Reducere A Poluării Mediului Marin, Editura Academiei Navale "Mircea cel Bătrân" Constanța, 2010.
- 145 Trifan A. Instalații energetice navale cu motoare navale. Emisii poluante, referat de doctorat, 2009
- 146 Trozzi Carlo, Rita Vaccaro Methodologies For Estimating Future Air Pollutant Emissions From Ships, Techne report, 1998, Project funded by the European Commission under the transport RTD programme of the 4<sup>th</sup> framework programme.
- 147 U.S. Department of Energy Progress report for advanced combustion engine technologies, Advanced Combustion Engine R&D Office of Vehicle Tech. 2008
- 148 Varsami, A., Gheorghe, C., Arsenie, A., Hanzu-Pazara, R. The impact of modern technologies on maritime training and research (Conference Paper), 15th Annual General Assembly International Association of Maritime Universities, IAMU AGA 2014 - Looking Ahead: Innovation in Maritime Education, Training and Research, 2014, Pages 28-35
- 149 Warnatz, J., Mass, U. ș.a. Combustion, Springer, Verlag, 1996
- 150 Wärtsilä Wärtsilä 38 and 64 - Technology Review, 2006;
- 151 Wärtsilä Wärtsilä Solutions For Marine And Oil & Gas Markets, 2015.
- 152 Wärtsilä Wärtsilä 38 and 64 - Technology Review, 2006
- 153 Wärtsilä Sulzer RT Flex 50, Engine documentation, 2005
- 154 Wärtsilä Sulzer RTA 72 U-B, Engine documentation, 2005



Cercetări Privind Reducerea Emisiilor Poluante Prin Utilizarea Sistemelor Inovatoare De Propulsie Navală

- 155**      Woodyard D.                      United Nations Publication - Review of maritime transport 2013, Sales no. E.13.II.D.9, ISBN 978-92-1-112872-7;
- 156**      Woodyard D.                      Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines, Elsevier, 2004,
- 157**      Zabi Bazari      and                      Energy Efficiency Design Index (EEDI) For Marine Greenhouse Gas Emissions  
Paul Mc Stay                      Control, Lloyd's Register Technology Days 2011 Safety, economy of  
operational and the environment