



TEZĂ DE DOCTORAT

- Rezumat -

CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA REGIMURILOR DE FUNCȚIONARE ALE INSTALAȚIILOR ENERGETICE CU MOTOARE CU ARDERE INTERNĂ

Conducător științific:
Prof. Dr. Ing. Constantin IOSIFESCU

Doctorand:
Ing. Mariana CARAGHIULEA (LUPCHIAN)



ROMÂNIA
UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS”
DIN GALAȚI



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
CERCETĂRII
TINERETULUI
ȘI SPORTULUI

07214/19.07.2012

C ă t r e

Universitatea “ Dunărea de Jos “ din Galați vă face cunoscut că în data de 05.10.2012 , ora 12 , în sala G 102 a Facultatii de Mecanica , va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat intitulată:” **CONTRIBUTII LA OPTIMIZAREA REGIMURILOR DE FUNCȚIONARE ALE INSTALAȚIILOR ENERGETICE CU MOTOARE CU ARDERE INTERNĂ**”, elaborată de domnul/doamna **ing. CARAGHIULEA MARIANA(LUPCHIAN)**, în vederea conferirii titlului științific de doctor în Domeniul de doctorat - **Inginerie mecanică**.

Comisia de doctorat are următoarea componență :

- 1. Președinte:** **Prof.univ.dr.ing. Cătălin FETECĂU**
Decan – Facultatea de Mecanică
Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați
- 2. Conducător de doctorat:** **Prof.univ.dr.ing. Constantin IOSIFESCU**
Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați
- 3. Referent oficial:** **Prof.univ.dr.ing. Gheorghe POPESCU**
Universitatea POLITEHNICA din București
- 4. Referent oficial:** **Prof.univ.dr.ing. Vergil CHITAC**
Academia Navală “Mircea Cel Bătrân” din Constanța
- 5. Referent oficial:** **Prof.univ.dr.ing. Dan SCARPETE**
Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați
- 6. Referent oficial:** **Prof.univ.dr.ing. Costel MOCANU**
Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați

Cu această ocazie vă transmitem rezumatul tezei de doctorat și vă invităm să participați la susținerea publică. În cazul în care doriți să faceți eventuale aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării, vă rugăm să le transmiteți în scris pe adresa Universității, str. Domnească nr.47, 800008 - Galați, Fax - 0236 / 461353.

Prof.univ.dr.ing. **Gabriel BÎRSAN**

Str. Domnească nr.47, cod poștal 800008, Galați, România, Tel.: +40 336. 130. 109, Fax: +40 236. 461. 353

Web: www.ugal.ro e-mail: rectorat@ugal.ro

CUPRINS

	Pag.teză/ pag. rezumat
INTRODUCERE	5/4
Capitolul 1 NOȚIUNI TEORETICE PRIVIND INSTALAȚIILE ENERGETICE CU MOTOARE CU ARDERE INTERNĂ	7/6
1.1. Componenta instalației energetice cu motoare cu ardere internă terestre.	7/6
1.1.1. Componenta și scheme ale instalațiilor energetice cu motoare cu ardere internă aplicate pe autovehiculele rutiere.	7/-
1.1.2. Componenta și scheme ale instalațiilor energetice cu motoare cu ardere internă aplicate în transportul feroviar	10/-
1.1.3. Autoblindatele	12/-
1.1.4. Instalația energetică cu motoare cu ardere internă staționare	13/-
1.1.5. Instalația energetică aplicate pe aeronave	13/-
1.1.6. Componenta și schemele ale instalațiilor enegetice navale cu motoare cu ardere internă	13/6
1.2. Concluzii	24/ -
Capitolul 2 REGIMURILE DE FUNCȚIONARE ALE MOTOARELOR CU ARDERE INTERNĂ	26/ 8
2.1. Regimurile de funcționare ale motoarelor cu ardere internă terestre	26/ -
2.2. Regimurile de funcționare ale motoarele cu ardere internă navale	31/ 8
2.2.1. Regimurile nestaționare de funcționare a motoare cu aprindere prin comprimare principale	32/ -
2.2.2. Particularități principale ale regimurilor de funcționare ale Diesel-generatoarelor	34/ -
2.3. Caracteristica de elice și punctele de funcționare ale motorului	35/ 8
2.3.1. Diagrama de încărcare a motorului cu aprindere prin comprimare	36/ 9
2.4. Concluzii	46/ 9
Capitolul 3 TERMOECONOMIA INSTALAȚIILOR ENERGETICE NAVALE CU MOTOARE CU ARDERE INTERNĂ	47/ 10
3.1. Indici tehnici ai instalațiilor de propulsie navale	48/ 10
3.2. Analiza termoeconomică a proceselor din instalațiile energetice cu motoare cu ardere internă	56/11
3.2.1. Analiza economică a ansamblului în care funcționează instalația energetică cu motoare cu ardere internă în funcție de specificul sau destinația lui	56/11
3.2.2. Analiza exergetică a proceselor din instalațiile energetice cu motoare cu ardere internă	57/12
3.2.3. Bilanțul exergetic	58/12
3.3. Concluzii	66/--
Capitolul 4 INTERACȚIUNEA DINTRE NAVA ȘI INSTALAȚIA DE PROPULSIE	67/18
4.1 Estimarea rezistenței la înaintare a navei petrolier	69/18
4.1.1. Estimarea factorilor de propulsie	74/18
4.1.2. Verificarea elicei la cavitație	79/20
4.2. Calculul preliminar al puterii de propulsie la bordul navelor	81/--

	4.3. Calculul puterii necesară pentru acționarea elicei	82/21
	4.4. Concluzii	84/22
Capitolul 5	OPTIMIZAREA TERMONECONOMICĂ A INSTALAȚIILOR ENERGETICE CU MOTOARE CU ARDERE INTERNĂ	89/24
	5.1. Analiza termoeconomică a proceselor din instalația energetică cu motoare cu ardere internă	90/24
	5.2. Formularea optimizării termoeconomice a proceselor din instalațiile energetice cu motoare cu ardere internă	92/---
	5.3. Criterii de optimizare a regimurilor de funcționare a motoarelor cu ardere internă și posibilități de implementare	93/---
Capitolul 6	OPTIMIZAREA REGIMURILOR DE EXPLOATARE ALE INSTALAȚIILOR DE PROPULSIE NAVALE, PE BAZA CONSUMULUI MINIM DE COMBUSTIBIL	97/26
	6.1. Optimizarea regimurilor de exploatare ale instalațiilor de propulsie navale, pe baza consumului minim de combustibil	99/27
	6.1.1. Consumul de combustibil după caracteristica de elice	104/30
	6.1.2. Consumul specific efectiv de combustibil al motorului	109/32
	6.2. Optimizarea regimurilor de exploatare ale instalațiilor de propulsie navale pe baza costului minim al transportului	112/34
	6.2.1 Determinarea numărului de voiaje efectuate de petrolier	112/34
	6.2.2 Determinarea capacității utile de încărcare a navei	116/37
	6.3. Costul specific al transportului	122/37
	6.4. Concluzii	140/48
Capitolul 7	Concluzii finale și contribuții personale	143/51
	7.1. Concluzii	143/51
	7.2. Contribuții personale	145/52
Bibliografie		167/54
Lista lucrărilor publicate		172/59

Introducere

Funcționarea instalației energetice cu motoare cu ardere internă este rezultatul interacțiunii și a corelării corecte a elementelor componente ale acesteia și anume dintre motor, transmisie, propulsor și celelalte instalații auxiliare.

Autonomia funcționării instalației energetice cu motoare cu ardere internă este conferită de echiparea acestora cu motoare care transformă energia chimică a combustibililor sau energia electrică în energie mecanică.

Totalitatea mecanismelor care transmit energia mecanică dezvoltată de motor la propulsor formează transmisia instalației energetice cu motoare cu ardere internă.

Motorul împreună cu transmisia și propulsorul alcătuiesc sistemul de propulsie, acesta fiind mai simplu sau complex, în funcție de elementele componente, funcție și de domeniul în care este aplicată instalația energetică cu motoare cu ardere internă respectivă.

Componenta instalației de propulsie, precum și amplasarea agregatelor acestuia reprezintă un element de bază în organizarea generală a instalației energetice cu motoare cu ardere internă; varianta constructivă aleasă determină posibilitățile de amplasare a celorlalte instalații auxiliare, influențând decisiv performanțele dinamice, economice și de exploatare a acesteia.

Energia necesară pentru buna funcționare a instalației energetice este asigurată de către motoarele cu care aceasta este echipată.

Din punct de vedere al funcționării instalației energetice cu motoare cu ardere internă, oportunitatea utilizării unui anumit tip de motor în cadrul instalației energetice este dictată de posibilitatea acestuia de a asigura puterea considerată optimă pentru multitudinea de condiții de exploatare, dar cu costuri specifice reduse.

În cadrul tezei de doctorat este aprofundată instalația de propulsie navală, deoarece prezintă caracteristici deosebite de funcționare, determinate de condiții speciale de navigație și trafic.

În acest sens, a fost studiată o navă petrolier, pe care a fost efectuată cercetarea instalației energetice de propulsie cu motor cu ardere internă în timpul navigației.

Teza este structurată pe 7 capitole, fiind completată cu anexe și referințe bibliografice din literatura de specialitate.

Capitolul 1 al tezei tratează noțiuni generale privind componența instalațiilor energetice cu motoare cu ardere internă.

Capitolul 2 prezintă particularități ale regimurilor de funcționare ale motoarelor cu aprindere prin comprimare în instalații de propulsie. Este prezentată caracteristica de elice și regimurile de funcționare specifice ale motorului de propulsie.

Capitolul 3 tratează analiza termoeconomică a instalațiilor energetice navale; sunt analizate pierderile cauzate de ireversibilitatea proceselor de lucru ale motorului care echipază petrolierul.

În capitolul 4 este prezentat calculul rezistenței la înaintare a navei și verificarea elicei la cavitație. Capitolul conține și calculul puterii necesară pentru acționarea elicei.

Capitolul 5 abordează problemele legate de optimizarea termoeconomică și criteriile de optimizare a regimurilor de funcționare ale instalațiilor energetice cu motoare cu ardere internă.

Capitolul 6 conține studierea regimurilor de exploatare ale instalațiilor de propulsie navale în vederea optimizării funcționării pe baza consumului specific minim de combustibil, determinate după caracteristica de elice.

Acest capitol prezintă și optimizarea regimurilor de exploatare ale instalațiilor de propulsie navală pe baza costului specific minim al transportului. Capitolul continuă cu rezultatele obținute cu programul de calcul Engineering Equation Solver (EES).

Capitolul 7 conține concluziile finale și contribuțiile personale.

În ultima secțiune a tezei sunt prezentate anexe care conțin programul de calcul și rezultatele obținute.

Capitolul 1.

NOȚIUNI TEORETICE PRIVIND COMPONENTA INSTALAȚIILOR ENERGETICE CU MOTOARE CU ARDERE INTERNĂ

1.1. Componenta instalației energetice cu motoare cu ardere internă

Motoarele cu ardere internă sunt cele mai răspândite surse de energie care se folosesc în cadrul instalației energetice ce sunt dispuse pe autovehicule cu roți sau șenile, pe locomotive, pe nave maritime și fluviale cât și pe unele aeronave.

Sunt prezentate pe scurt instalațiile energetice cu motoare cu ardere internă aplicate pe autovehiculele rutiere și feroviare; voi prezenta detaliat componenta instalațiilor energetice navale cu motoare cu ardere internă.

1.1.6. Componenta și schemele ale instalațiilor energetice navale cu motoare cu ardere internă

Tendința actuală în construcția motoarelor cu aprindere prin comprimare în 2T (doi timpi) de mare putere lente, este de a reduce turația de funcționare a acestora, ajungându-se la turații nominale de circa 70 - 90 [rot/min], prin creșterea raportului S/D (cursă/alezaj) și a îmbunătățirii indicilor termoeconomici, ajungându-se la randamentul efectiv pentru regimul nominal $\eta_{enom} \approx 50\%$ [35].

Instalațiile de propulsie cu transmisie directă cu motoare Diesel lente, cuplate direct cu propulsorul sunt instalații simple, bazate pe tehnologie înaltă fiind, în momentul de față, cele mai răspândite instalații de propulsie.

De remarcat este faptul că prin folosirea transmisiei cu inversor reductor în cadrul instalațiilor navale, s-au creat condițiile pentru folosirea motoarelor cu aprindere prin comprimare ireversibile construite pentru locomotive, tractoare, autovehicule grele; astfel de instalații de propulsie se folosesc la remorchere, nave tehnice, șalupe și alte ambarcațiuni turistice sau sportive.

O nava este construită pentru a transporta marfă, pasageri sau pentru a îndeplini alte obiective în condițiile navigației pe mare. Nava este supusă unor restricții impuse de condițiile de exploatare. Aprecierea performanțelor cu care nava realizează obiectivele pentru care a fost construită, implică analiza parametrilor care cuantifică interacțiunea dintre navă și legăturile ei cu mediul marin, în condiții de exploatare date.

Nava poate fi considerată ca un sistem complex care realizează anumite funcțiuni și care interacționează cu mediul marin [29].

Pentru studiul navei pot fi aplicate metodele teoriei sistemelor.

Ele oferă posibilitatea stabilirii parametrilor funcționali ai sistemului în ansamblu și ai subsistemelor navei în condițiile date (de mediu, economice, tehnice).

Nava poate fi considerată compusă din patru subsisteme care concură la realizarea funcțiilor principale:

1. Primul subsistem îl formează corpul navei. El asigură funcționarea de transport, în siguranță, a mărfii în condițiile de navigație date. Corpul navei este considerat ca un solid rigid, profilat hidrodinamic, având caracteristici hidrostatische și hidrodinamice impuse.
2. Al doilea subsistem, cel de navigație, realizează controlul procesului de navigație și conține instalațiile care permit controlul direcției de mișcare a navei, a poziției acesteia în marș și instalațiile de comunicare și de evitare a coliziunilor.
3. Al treilea subsistem cuprinde instalațiile care realizează conversia energiei prin arderea combustibilului primar în vederea alimentării consumatorilor de energie de la bord.

4. Al patrulea subsistem este cel de propulsie. El derivă din al treilea și se consideră prin componenta energiei obținute în urma conversiei primare și utilizate pentru propulsie.

Nava poate fi considerată ca un ansamblu format din patru subsisteme interacționând reciproc. Primul subsistem este în strânsă dependență cu al patrulea deoarece mișcarea navei este determinată de forțele date de instalația de propulsie. Mișcarea corpului, considerat subsistem, supus acțiunii mediului, influențează instalația de guvernare considerată în al doilea subsistem cât și instalația de propulsie din al patrulea subsistem.

Modelarea navei ca un complex format din patru subsisteme, implică definirea cât mai exactă a tuturor mărimilor ce caracterizează fizic și funcțional subsistemele.

Descrierea matematică a comportării subsistemelor navei, a perturbațiilor introduse de mediu precum și a legăturilor din subsisteme formează modelul matematic al navei.

Precizia cu care se realizează aceasta depinde de:

- ✓ formularea cât mai completă a modelului prin considerarea elementelor componente semnificative;
- ✓ precizia modelării matematice a elementelor care compun subsistemele navei;
- ✓ modelarea corectă a legăturilor dintre subsisteme;
- ✓ formularea completă a performanțelor introduse de mediu și de alți factori de exploatare.

Funcție de parametri urmăriți la navă sau la subsistemele sale, modelul poate fi complet, când se introduc toate elementele ce caracterizează subsistemele, legăturile sau influențele mediului, sau simplificat, când se neglijează anumite componente sau legături, care influențează mai puțin parametri urmăriți ai modelului.

Subsistemul energetic al navei are rolul de a realiza conversia energiei combustibilului primar în diverse forme de energie, necesare la bordul navei, pentru a se asigura funcționarea instalației de propulsie și a celorlalte instalații de punte și de bord.

Soluții pentru instalațiile de propulsie corelate cu sistemul de transport naval

Din analiza datelor statistice privind transportul naval rezultă tendința accentuată de specializare a navelor după tipul mărfurilor transportate și de încadrare într-un sistem de transport specific, determinat de navlul existent și de liniile de navigație deservite [29].

În prima fază se realizează un studiu din care, pentru condițiile de transport impuse, se obțin datele cu care se poate formula tema de proiectare.

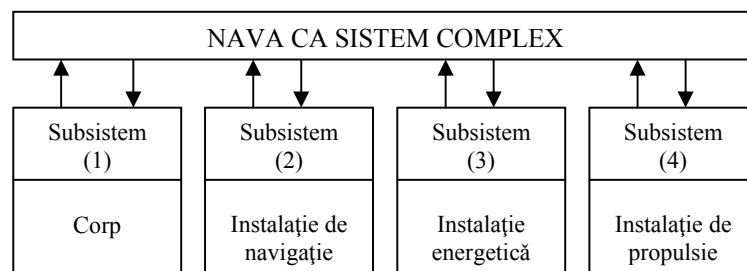


Figura 1.10. Nava și subsistemele componente [29]

Aprecierea eficienței unui sistem de transport naval se face după următoarele criterii:

- Criterii economice în care, cu o pondere importantă intră și randamentul conversiei de energie în instalația energetică a navei;
- Criteriile siguranței funcționale a navei și a subsistemelor ei;
- Criteriile sanitare și de confort pentru personalul navigant și pasageri.
- Criterii de poluare a mediului aerian și marin.

Capitolul 2

REGIMURILE DE FUNCȚIONARE ALE MOTOARELOR CU ARDERE INTERNĂ

Regimurile de funcționare stabilesc puterea, turația nivelul solicitărilor mecano-termice, consumul de combustibil, intensitatea procesului de uzură, deci și fiabilitatea motorului cu ardere internă, mai ales în cazul în care motorul funcționează la regimuri cvasistaționare sau nestaționare.

Stabilirea exactă a acestor caracteristici, în funcție de regimul de funcționare al motorului cu ardere internă este dificilă și de aceea se utilizează și rezultatele obținute prin generalizarea datelor experimentale culese până în prezent, rezultate care permit corecția nivelului solicitărilor stabilite eventual cu anumite programe de calcul și simulare.

Alegerea rațională a regimului poate fi realizată, mai exact, folosind fie metoda statistică a probabilității regimurilor care apar în funcționarea motoarelor cu ardere internă, fie metoda termoeconomică pentru minimizarea costului energiei produse (lei/kWh) sau a transportului de mărfuri (lei/tonkm).

2.2. Regimurile de funcționare ale motoarelor cu ardere internă navale

Instalațiile de propulsie cu motoare cu aprindere prin comprimare sunt montate pe toate tipurile de nave, începând de la șalupe, având puteri instalate de numai câțiva zeci de kW până la cele mai mari nave de transport ca: petroliere, mineraliere, port-containere, etc.

Datorită avantajelor tehnice și economice pe care le prezintă sistemele de propulsie cu motoare cu aprindere prin comprimare, atât numărul navelor dotate cu astfel de instalații, cât și puterea motoarelor navale a evoluat continuu, în prezent aceste instalații devenind preponderente în propulsia navală [35].

Regimurile de funcționare ale motoarelor cu aprindere prin comprimare sunt caracterizate de sarcină și turatie cât și de legea de variație a sarcinii, turatiei și a celorlalți parametri indicați, efectiv, în timpul funcționării motorului.

Pentru motoarele navale principale, cu aprindere prin comprimare aplicate pe navele comerciale, se impune cerința asigurării funcționării instalației de propulsie într-un timp cât mai lung până la reparația capitală, ceea ce interzice exploatarea motorului între regimul nominal și cel de suprasarcină și impune exploatarea între regimul de exploatare și regimul de exploatare la putere minimă a motorului.

2.3. Caracteristica de elice și regimurile de funcționare ale motorului

Motoarele navale actuale cu aprindere prin comprimare funcționează la regimuri variabile de putere și turatie, ceea ce atrage după sine, schimbarea parametrilor indicați, efectiv, ce caracterizează regimul de funcționare al motorului. Dependența grafică a parametrilor ce caracterizează funcționarea motoarelor cu aprindere prin comprimare funcție de unii dintre parametri considerați independenți, reprezintă caracteristicile motoarelor cu aprindere prin comprimare.

La motoarele navale cu aprindere prin comprimare, funcție de parametrul de funcționare considerat drept variabilă independentă, se disting următoarele caracteristici:

- a) caracteristici de viteză la care drept variabilă independentă este turația motorului, n și care poate fi:
 - caracteristica externă;
 - caracteristici de turații parțiale:
 - ✓ caracteristica de mers în gol;

- ✓ caracteristica pe elice.
 - b) caracteristici de sarcină la care drept variabilă independentă se admite sarcina motorului (putere, presiune medie indicată);
 - c) caracteristica de regulator care caracterizează influența instalației de comandă și reglare a consumului de combustibil asupra funcționării motoarelor cu aprindere prin comprimare;
 - d) caracteristici limită care dau regimurile limită de exploatare ale motoarelor cu aprindere prin comprimare;
 - e) caracteristici de reglaj, care permit stabilirea influenței unor parametri de funcționare importanți (unghiul de avans la injecție, presiunea de injecție, presiunea maximă de ardere, P_z , temperatura gazelor arse evacuate, T_g , etc) asupra funcționării optime a motoarelor cu aprindere prin comprimare, caracteristici ce folosesc în cercetările experimentale ale motorului la standul de probe;
 - f) caracteristici comune pentru motoarele cu aprindere prin comprimare supraalimentate;
 - g) caracteristicile complexe sau universale ale motoarelor cu aprindere prin comprimare.
- Cea mai importantă pentru mașinile navale principale este **caracteristica de elice**.

2.3.1. Diagrama de încărcare a motorului cu aprindere prin comprimare

Caracteristica de elice

Relația dintre puterea motorului și turația elicei este dată, pentru cazul elicei cu pas fix EPF, prin relația:

$$P_e = c \cdot n^3 \quad (2.26)$$

unde P_e este puterea de propulsie a motorului; n – turația motorului; c – constantă.

2.4. Concluzii

Modul de variație a principalilor parametri ai motorului este determinat de regimul de funcționare al acestuia, la turație constantă și puteri diferite.

Astfel modificarea puterii motorului se obține prin modificarea cantității combustibilului injectată în cilindru pentru un ciclu motor. La reducerea puterii trebuie să fie redusă cantitatea de combustibil injectată pentru un ciclu, c_c , ceea ce conduce la scurtarea procesului de injecție, în deosebi în domeniul puterilor reduse.

Motoarele navale actuale cu aprindere prin comprimare funcționează pe regimuri variabile de putere și turație, ceea ce atrage după sine, schimbarea parametrilor indicați, efectivi, ce caracterizează regimul de funcționare al motorului.

Regimul de funcționare al motorului de propulsie, depinde de: tipul navei, condiții de navigație, construcția corpului navei, tipul propulsorului și al modului de transmitere a energiei de la motor la propulsor, încărcarea navei și starea carenei.

Motoarele de propulsie funcționează în diferite condiții de exploatare determinate de starea tehnică navei și a instalației de propulsie precum și de factori externi, care au o influență asupra funcționării.

Pentru aprecierea indicilor tehnico-economici ai motoarelor, care funcționează în diferite condiții, se folosesc caracteristicile funcționale. Prin aceste caracteristici se stabilesc dependențele funcționale între parametri principali ale motoarelor navale și factorii care influențează funcționarea lor. În ansamblul lor condițiile de exploatare, reliefate prin indicatorii de putere, economicitate, poluare și altele, caracterizează regimul de funcționare al motorului naval de propulsie.

Capitolul 3

TERMOECONOMIA INSTALAȚIILOR ENERGETICE NAVALE CU MOTOARE CU ARDERE INTERNĂ

Instalațiile energetice ale navelor actuale sunt instalații complexe, destinate pentru transformarea energiei combustibililor în energie termică, mecanică și electrică, necesare pentru satisfacerea nevoilor tuturor consumatorilor navei. Nu se vor considera instalațiile energetice nucleare și cele cu turbine.

3.1. Indici tehnici ai instalațiilor de propulsie navale

Indicii tehnici și termoeconomici s-au introdus pentru a caracteriza instalațiile de propulsie și pentru a avea o bază de comparație între ele, din punct de vedere constructiv și respectiv din punct de vedere al gradului de folosire a căldurii dezvoltate în instalație [1,35].

Se folosesc indici tehnici și termoeconomici absoluți și relativi:

- Indici tehnici utilizați sunt:

- ✓ indici de putere;
- ✓ indici de gabarit;
- ✓ indici de greutate.

Pierderile care însoțesc funcționarea elicei în instalația de propulsie se împart convențional în două părți:

- pierderi de energie în elice considerată izolată de corpul navei (elicea funcționează în apă liberă, fără a exista interacțiunea elice-corpul navei);
- pierderi de energie cauzate de interacțiunea elicei cu corpul navei.

Pierderile de energie în elicea funcționând în apă liberă, sunt introduse de răsucirea vânei de apă și de vâscozitatea apei care conduce la apariția forțelor de frecare între straturi.

Între corpul navei, propulsor și motorul termic principal există o interdependență, care influențează indicii tehnici și termoeconomici ai instalației energetice navale și asupra indicilor economici de exploatare a navei.

Dimensiunile de gabarit ale compartimentului de mașini depind de tipul și mărimea instalației de propulsie și de amplasarea compartimentului de mașini pe navă și anume compartimentul de mașini se poate amplasa:

- ✓ la pupa navei;
- ✓ la prova navei;
- ✓ la mijlocul navei;
- ✓ între pupa și mijlocul navei numită amplasare intermediară a compartimentului de mașini.

La navele de transport actuale se folosește amplasarea compartimentului de mașini la pupa și amplasarea intermediară, prezentând avantajul principal al unei linii de arbori mai scurte, și de aici, greutatea mai mică a instalației de propulsie și pierderi mecanice mai mici în linia de arbori.

La proiectarea instalației de propulsie se caută să se micșoreze dimensiunile de gabarit ale compartimentului de mașini în scopul măririi dimensiunilor magaziiilor pentru transportat mărfuri și sporirii spațiilor pentru pasageri, ținând însă cont de prescripțiile registrelor de clasificare care reglementează mărimile trecerilor din compartimentul de mașini, în vederea unei exploatări comode și sigure a instalației energetice a navei.

În scopul micșorării dimensiunilor de gabarit ale compartimentului de mașini, se utilizează motoare principale rapide prevăzute cu instalații auxiliare care le deservesc în funcționare, amplasate pe acestea, reducându-se astfel lungimea tubulaturilor, gabaritul și greutatea instalațiilor.

3.2. Analiza termoeconomică a proceselor din instalațiile energetice cu motoare cu ardere internă

Instalațiile energetice cu motoare cu ardere internă prelucrează energia chimică a combustibililor transformând-o în lucru mecanic tehnic în urma unor procese gazo-termodinamice ciclice.

Se impune ca atât în faza de proiectare cât și în faza de exploatare a instalației energetice cu motoare cu ardere internă să fie formulate probleme de optimizare termoeconomică cu acceptarea unor criterii de performanță corespunzătoare, legate de costurile (specifice) de producție, de exploatare pentru activitățile utile realizate de instalațiile pe care se assemblează instalația energetică cu motoare cu ardere internă [24].

În vederea realizării unui management performant al proiectării și fabricării instalației energetice cu motoare cu ardere internă cu diverse destinații sau a exploatării instalației energetice cu motoare cu ardere internă cu diverse destinații se impune rezolvarea următoarelor probleme:

- ✓ analiza exergetică a proceselor din instalația energetică cu motoare cu ardere internă;
- ✓ analiza termoeconomică (exergo-economică) a instalației energetice cu motoare cu ardere internă, cu considerarea prețurilor de cost ale elementelor componente;
- ✓ organizarea lucrărilor de proiectare, fabricație, montare, reparare, întreținere și exploatare a instalației energetice cu motoare cu ardere internă cu diverse destinații.

3.2.1 Analiza economică a ansamblului în care funcționează instalația energetică cu motoare cu ardere internă în funcție de specificul sau destinația lui

Toate aceste probleme trebuiesc formulate și rezolvate avându-se în vedere fluxurile de exergie care intervin, în conformitate cu formularea principiului doi al termodinamicii aplicat proceselor ireversibile care apar la nivel macroscopic în instalația energetică cu motoare cu ardere internă.

În instalațiile energetice cu motoare cu ardere internă de diverse destinații au loc procese complexe: mecanice; gazodinamice; hidrodinamice; electromagnetice; chimice; termodinamice; tribologice, de control, monitorizare, comandă de la distanță și automatizare; Acestea sunt însoțite de pierderi de energie însemnate, deteriorări ale stării tehnice, cu scăderea indicilor siguranței în funcționare, și consumuri de materii prime, materiale și forța de muncă care necesită cheltuieli corespunzătoare [45].

Considerând numai sistemul instalația energetică cu motoare cu ardere internă în cadrul oricărui sistem economic mai complex, în care se exploatează și instalația energetică cu motoare cu ardere internă, se pune problema optimizării acesteia pe baza criteriilor economice și ecologice.

Analiza energetică a proceselor din instalația energetică cu motoare cu ardere internă poate fi analizată după metode de analiză termodinamică a proceselor din sisteme termodinamice care evoluează în acestea [98].

Din categoria funcțiilor caracteristice (potențialelor termodinamice) face parte și exergia, rezultând ca urmare, analiza exergetică a proceselor din sistemul termodinamic.

În analiza termoeconomică a instalației energetice cu motoare cu ardere internă trebuie realizate analize ale prețurilor de cost implicate de proiectarea, fabricarea, montarea și exploatarea instalației energetice cu motoare cu ardere internă.

Optimizarea termoeconomică a instalației energetice cu motoare cu ardere internă se realizează pe baza unei formulări a problemei de optimizare, cu sau fără restricții și pe baza metodelor matematice de optimizare actuale.

3.2.2. Analiza exergetică a proceselor din instalațiile energetice cu motoare cu ardere internă

Considerând motorul cu ardere internă ca un subsistem închis într-un spațiu de control se pune problema stabilirii bilanțului exergetic al acestuia cu determinarea fluxurilor de exergie care intră, a fluxurilor de exergie care ies și a pierderilor exergetice datorate ireversibilităților interne și externe, funcție de parametri independenți ce caracterizează regimurile de funcționare ale motorului.

Pentru regimurile de funcționare în instalația energetică cu motoare cu ardere internă se definește și un criteriu de performanță al acestor procese, așa cum se cunoaște a fi randamentul exergetic al motorului determinat de consumul specific efectiv de combustibil, fluxul de exergie distrus, fluxul de exergie pierdut.

Din cele prezentate rezultă că pentru o analiză exergetică completă, cu realizarea optimizării criteriilor de performanță ale motoarelor cu ardere internă, se impune considerarea dependențelor funcționale între criteriile de performanță și variabilele independente reliefate și impunerea condițiilor privind restricțiile în funcționarea motorului așa cum sunt: concentrația produselor poluante, nivelul zgomotului și vibrațiilor, siguranța în funcționare, restricții impuse de norme interne și internaționale referitoare la sistemul tehnic pe care se aplică instalația energetică cu motoare cu ardere internă [41].

Cauzele principale ale pierderilor de exergie sunt: arderea-pentru motor, evacuarea gazelor în atmosferă-pentru caldarina, pierderile de caldură către mediu pentru turbosufianta, respectiv transferul de caldură la diferență finită de temperatura pentru racitoare, pierderi prin frecare, prin amestec, admisie și evacuare.

3.2.3. Bilanțul exergetic

Pe baza noțiunii de exergie, care reprezintă partea de energie transformabilă în lucru mecanic (energie ordonată) în procese termodinamice reversibile, considerând sursa rece mediul exterior, se pot analiza procesele termodinamice macroscopice reale (ireversibile), punându-se în evidență pierderile exergetice provocate de ireversibilitatea proceselor [84].

În vederea realizării analizei exergetice a proceselor din instalația energetică cu motoare cu ardere internă trebuie să se stabilească:

- exergiile diverselor sisteme termodinamice;
- exergiile energiilor transferate între diverse sisteme termomecanice;
- pierderile de exergie (distrugerile exergetice) ce însoțesc diverse procese ireversibile macroscopice, interne și externe din sistemul termodinamic.

Desfășurarea reală a proceselor de lucru ale unui motor este însoțită de apariția unor pierderi suplimentare care afectează negativ economicitatea și puterea motorului.

$\pi_{la_s}, \pi_{l_R}, \pi_{la_M}, \pi_{le_M}, \pi_{le_T}$ - reprezintă pierderile cauzate de ireversibilitatea laminării agentului la aspirația aerului în suflantă, în răcitor, la admisia aerului în motor, la evacuarea gazelor din motor și la evacuarea gazelor din turbină [84].

$\pi_{ir_{ar}}$ - pierderea cauzată de ireversibilitatea procesului de ardere;

$$\pi_{ir_{ar}} = (1 + \alpha \cdot L_0) \cdot R \cdot T_0 \cdot \frac{1}{k-1} \cdot \ln \lambda \cdot \rho^k \quad (3.40)$$

α - coeficientul de exces de aer;

$T_0 [K]$ - temperatura mediului ambiant;

$R [J/kg \cdot grd]$ - constanta agentului termic;

k - exponentul adiabatic al agentului termic;

λ - raportul de creștere a presiunii în arderea izocoră; ρ - raportul de creștere a volumului în arderea izobară;

L_0 [kg_{aer} / kg_{comb}] - aerul minim necesar arderii combustibilului;

$\pi_{ir_{ba}}$ - pierderile cauzate de ireversibilitatea proceselor de admisie baleiaj;

$$\pi_{ir_{ba}} = \beta \cdot \alpha \cdot L_0 \cdot R \cdot T_0 \cdot \frac{k_a}{k_a - 1} \cdot \ln \frac{T_a}{T_2} \quad (3.41)$$

T_a [K] - temperatura amestecului inițial la sfârșitul proceselor de schimbare al gazelor și începutul comprimării;

T_2 [K] - temperatura aerului la ieșirea din răcitorul suflantei;

β - coeficientul de baleiaj;

k_a - exponentul adiabatic al aerului;

π_{ir_s}, π_{ir_T} - pierderile cauzate de ireversibilitatea proceselor de comprimare a aerului în suflantă și respectiv de destindere a gazelor în turbină;

$$\pi_{ir_s} = \beta \cdot \alpha \cdot L_0 \cdot R \cdot T_0 \cdot \left(\frac{k_a}{k_a - 1} \cdot \ln \frac{T_S}{T_0} - \ln \frac{p_S}{p_1} \right) \quad (3.42)$$

T_S [K] - temperatura aerului refulat de suflantă;

p_S [bar] - presiunea de supraalimentare;

p_1 [bar], T_1 [K] - presiunea, temperatura de aspirație a aerului în suflantă;

$$\pi_{ir_T} = (1 + \beta \cdot \alpha \cdot L_0) \cdot R \cdot T_0 \cdot \left(\ln \frac{p_t}{p_3} - \frac{k}{k-1} \cdot \ln \frac{T_t}{T_{eT}} \right) \quad (3.43)$$

p_3 [bar] - presiunea de evacuarea gazelor din turbină;

T_{eT} [K] - temperatura de evacuarea gazelor din turbină;

T_t [K], p_t [bar] - temperatura, presiunea din amonte turbinei;

π_{ir_e} - pierderea cauzată de ireversibilitatea procesului de evacuare a gazelor din motor;

$$\pi_{ir_e} = (1 + \alpha \cdot L_0) \cdot R \cdot T_0 \frac{k}{k-1} \cdot \ln \frac{T_e}{T_r} \quad (3.44)$$

T_e [K] - temperatura gazelor de evacuare liberă și forțată înainte de deschiderea supapei de admisie;

T_r [K] - temperatura gazelor reziduale din cilindru;

$\pi_{ir_{\Delta T_{eb}}}$ - pierderea datorită ireversibilității transferului de căldură la diferență finită variabilă de temperatură în răcitor:

$$\pi_{ir_{\Delta T_{eb}}} = R \cdot T_0 \cdot \left[(\beta - 1) \alpha \cdot L_0 \frac{k}{k-1} \cdot \ln \frac{T_t}{T_b} - (1 + \alpha \cdot L_0) \frac{k}{k-1} \ln \frac{T_e}{T_t} \right] \quad (3.45)$$

T_b [K] - temperatura gazului la sfârșitul procesului de destindere;

Caracteristicile navei petrolier la care am participat în perioada de probe în iulie 2007

În timpul marșului au fost realizate numeroase operațiuni de reglare, măsurători și teste.

A fost reglat motorul, măsurată puterea lui și vibrațiile; au fost executate probe de anduranță și nautice, a fost urmărită funcționarea tuturor instalațiilor.

Petrolierul este echipat cu o singură elice, propulsia navei fiind asigurată de un motor Diesel MAN B&W (6S 50 MC-C) cu 6 cilindri, puterea motorului 9480[kW], turația motorului 127[rot/min]; viteza navei 15.38[Nd], deadweight-ul în apa de mare este de 37000 tdw. Nava este dotată cu trei Diesel generatoare (651.101, 651.102, 651.103) fiecare având câte șase cilindri în linie (Model 23/30H MAN B&W HOLEBY), puterea 960 kW, turația 900(rot/min).



Figura 3.1. Motorul care echipează nava

Constructorul execută o cursă de probă la plină încărcătură, nava fiind balastată cu apă de mare, la pescajul de 10,50 [m].

Echipajul navei este constituit din 31 persoane.

- Caracteristicile navei:

- Lungimea de construcție a navei 179,96[m],
- Lățime 32,20[m],
- Înălțime 16,50[m],

- Motorul are următoarele caracteristici principale [37]

- -puterea efectivă $P_e=9480$ [kW];
- -turația $n=127$ [rot/min];
- -numărul de cilindri $i=6$;
- -alejazul cilindrului $D=500$ [mm]
- -cursa pistonului $S=2$ [m];

$$p_e=19,018[\text{bar}], v_{pm}=8.46[m/\text{sec}];$$

- Cilindreea unitară a motorului: $V_s = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S = 0,393[\text{m}^3]$;

- Volumul total: $V_t = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot V_s = 0,428[\text{m}^3]$;

- Volumul camerei de ardere: $V_m = \frac{V_s}{\varepsilon - 1} = 0,036[\text{m}^3]$;

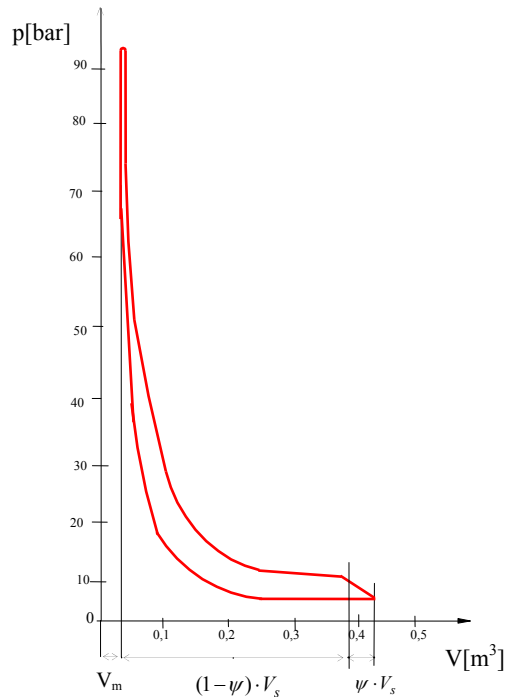


Figura 3.2. Diagrana indicată a motorului

În tabelul 3.1. sunt prezentate rezultatele obținute pentru pierderile cauzate de ireversibilitatea proceselor de lucru ale motorului care echipează nava.

Tabel 3.1. Pierderile cauzate de ireversibilitatea proceselor de lucru ale motorului care echipează petrolierul

Nr. Crt	Denumirea parametrilor	Notație	U.M.	Formula de calcul	Rezultate
1.	Pierderile cauzate de ireversibilitatea proceselor de ardere	$\pi_{ir_{ar}}$	[MJ/kg cb]	$(1 + \alpha \cdot L_0) \cdot R \cdot T_0 \cdot \frac{1}{k-1} \cdot \ln \lambda \cdot \rho^k$	7,67
		$\bar{\pi}_{ir_{ar}}$	[%]	$\frac{\pi_{ir_{ar}}}{H_i} \cdot 100$	18,0562
2.	Pierdere datorită ireversibilității transferului de căldură între aer și mediul ambiant în răcitorul TS	π_{q_R}	[MJ/kg cb]	$\beta \cdot \alpha \cdot L_0 \cdot R \cdot \frac{k_a}{k_a - 1} \cdot \left(T_S - T_2 - T_0 \cdot \ln \frac{T_S}{T_2} \right)$	0,206
		$\bar{\pi}_{q_R}$	[%]	$\frac{\pi_{q_R}}{H_i} \cdot 100$	0,485
3.	Pierderile cauzate de ireversibilitatea proceselor de evacuare din turbină	π_{qe_T}	[MJ/kg cb]	$(1 + \beta \cdot \alpha \cdot L_0) \cdot R \cdot T_0 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \left(\frac{T_{e_T}}{T_0} - 1 - \ln \frac{T_{e_T}}{T_0} \right)$	8,598
		$\bar{\pi}_{qe_T}$	[%]	$\frac{\pi_{qe_T}}{H_i} \cdot 100$	20,23
4.	Pierderile cauzate de ireversibilitatea proceselor de comprimare a aerului în suflantă	π_{ir_S}	[MJ/kg cb]	$\beta \cdot \alpha \cdot L_0 \cdot R \cdot T_0 \cdot \left(\frac{k_a}{k_a - 1} \cdot \ln \frac{T_S}{T_0} - \ln \frac{p_S}{p_1} \right)$	0,79
		$\bar{\pi}_{ir_S}$	[%]	$\frac{\pi_{ir_S}}{H_i} \cdot 100$	1,855
5.	Pierderile cauzate de ireversibilitatea proceselor de destindere a aerului în turbină	π_{ir_T}	[MJ/kg cb]	$(1 + \beta \cdot \alpha \cdot L_0) \cdot R \cdot T_0 \cdot \left(\ln \frac{p_t}{p_3} - \frac{k}{k-1} \cdot \ln \frac{T_t}{T_{e_T}} \right)$	0,254
		$\bar{\pi}_{ir_T}$	[%]	$\frac{\pi_{ir_T}}{H_i} \cdot 100$	0,598

6.	Pierderile cauzate de ireversibilitatea proceselor de admisie-baleiaj	$\pi_{ir_{ba}}$	[MJ/kg cb]	$\beta \cdot \alpha \cdot L_0 \cdot R \cdot T_0 \cdot \frac{k_a}{k_a - 1} \cdot \ln \frac{T_a}{T_2}$	0,542
		$\overline{\pi}_{ir_{ba}}$	[%]	$\frac{\pi_{ir_{ba}}}{H_i} \cdot 100$	1,275
7.	Pierderile cauzate de ireversibilitatea procesului de evacuare a gazelor din motor	π_{ir_e}	[MJ/kg cb]	$(1 + \alpha \cdot L_0) \cdot R \cdot T_0 \cdot \frac{k}{k - 1} \cdot \ln \frac{T_e}{T_r}$	1,290
		$\overline{\pi}_{ir_e}$	[%]	$\frac{\pi_{ir_e}}{H_i} \cdot 100$	3,036
8.	Pierdere datorită ireversibilității transferului de căldură la diferență finită variabilă de temperatură între gazele evacuate din motor și aerul de baleiaj	$\pi_{ir_{\Delta T_{eb}}}$	[MJ/kg cb]	$R \cdot T_0 \cdot \left[(\beta - 1) \alpha \cdot L_0 \cdot \frac{k}{k - 1} \cdot \ln \frac{T_i}{T_b} - (1 + \alpha \cdot L_0) \cdot \frac{k}{k - 1} \cdot \ln \frac{T_e}{T_i} \right]$	0,155
		$\overline{\pi}_{ir_{\Delta T_{eb}}}$	[%]	$\frac{\pi_{ir_{\Delta T_{eb}}}}{H_i} \cdot 100$	0,365
9.	Pierderile cauzate de ireversibilitatea laminării agentului la aspirația aerului în suflantă	$\pi_{l_{a_S}}$	[MJ/kg cb]	$\beta \cdot \alpha \cdot L_0 \cdot R \cdot T_0 \cdot \ln \frac{1}{1 - \psi_1}$	0,024
		$\overline{\pi}_{l_{a_S}}$	[%]	$\frac{\pi_{l_{a_S}}}{H_i} \cdot 100$	0,058
10.	Pierderile cauzate de ireversibilitatea laminării agentului la aspirația aerului în răcitor	π_{l_R}	[MJ/kg cb]	$\beta \cdot \alpha \cdot L_0 \cdot R \cdot T_0 \cdot \ln \frac{1}{1 - \psi_2}$	0,049
		$\overline{\pi}_{l_R}$	[%]	$\frac{\pi_{l_R}}{H_i} \cdot 100$	0,116
11.	Pierderile cauzate de ireversibilitatea laminării agentului la admisia aerului în motor	$\pi_{l_{a_M}}$	[MJ/kg cb]	$\beta \cdot \alpha \cdot L_0 \cdot R \cdot T_0 \cdot \ln \frac{1}{1 - \psi_a}$	0,049
		$\overline{\pi}_{l_{a_M}}$	[%]	$\frac{\pi_{l_{a_M}}}{H_i} \cdot 100$	0,116
12.	Pierderile cauzate de ireversibilitatea laminării agentului la evacuarea gazelor din motor	$\pi_{l_{e_M}}$	[MJ/kg cb]	$(1 + \beta \cdot \alpha \cdot L_0) R \cdot T_0 \ln \frac{1}{1 - \psi_e}$	0,129
		$\overline{\pi}_{l_{e_M}}$	[%]	$\frac{\pi_{l_{e_M}}}{H_i} \cdot 100$	0,304
13.	Pierderile cauzate de ireversibilitatea laminării agentului la evacuarea gazelor din turbină	$\pi_{l_{e_T}}$	[MJ/kg cb]	$(1 + \beta \cdot \alpha \cdot L_0) R \cdot T_0 \ln \frac{1}{1 - \psi_3}$	0,025
		$\overline{\pi}_{l_{e_T}}$	[%]	$\frac{\pi_{l_{e_T}}}{H_i} \cdot 100$	0,060

- Randamentul exergetic al motorului:

$$\eta_t = 1 - \sum_{j=1}^{13} \pi_j = 0,509; \quad \eta_t = 50,9 \% \quad (3.46)$$

- Randamentul exergetic al arderii:

$$\eta_{E_{ar}} = 1 - \pi_{ir_{ar}} = 0,8194; \quad \eta_{E_{ar}} = 81,84 \% \quad (3.47)$$

- Randamentul exergetic al ciclului:

$$\eta_{E_{cl}} = \frac{\eta_t}{\eta_{E_{ar}}} = 0,6522; \quad \eta_{E_{cl}} = 61,86 \% \quad (3.48)$$

- Căldura cedată de gazele evacuate din turbina mediului ambiant este dată de:

$$q_{e_T} = (1 + \beta \cdot \alpha \cdot L_0) \cdot R \cdot T_0 \cdot \frac{k}{k - 1} \cdot \left(\frac{T_{e_T}}{T_0} - 1 \right) = 19,9 \text{ [MJ/kg}_{\text{comb}}]; \quad (3.49)$$

$$\bar{q}_{eT} = \frac{q_{eT}}{H_i} \cdot 100 = 46,91 \% ; \quad (3.50)$$

- Caldura cedată de aer în răcitorul suflantei este dată de:

$$q_R = \beta \cdot \alpha \cdot L_0 \cdot R \cdot \frac{k_a}{k_a - 1} \cdot (T_S - T_2) = 0,916 \text{ [MJ/kg}_{\text{comb}}] ; \quad (3.51)$$

$$\bar{q}_R = \frac{q_R}{H_i} \cdot 100 = 2,155 \% \quad (3.52)$$

$$\bar{q}_{eT} = \frac{q_{eT}}{H_i} \cdot 100 = 46,91 \% ; \quad (3.53)$$

- Valoarea căldurii cedate mediului ambiant este:

$$\bar{q}_o = \bar{q}_{eT} + \bar{q}_R = 49,067 \% \quad (3.54)$$

În figura 3.3. este prezentat bilanțul exergetic al ciclului motorului cu ardere internă care echipază nava.

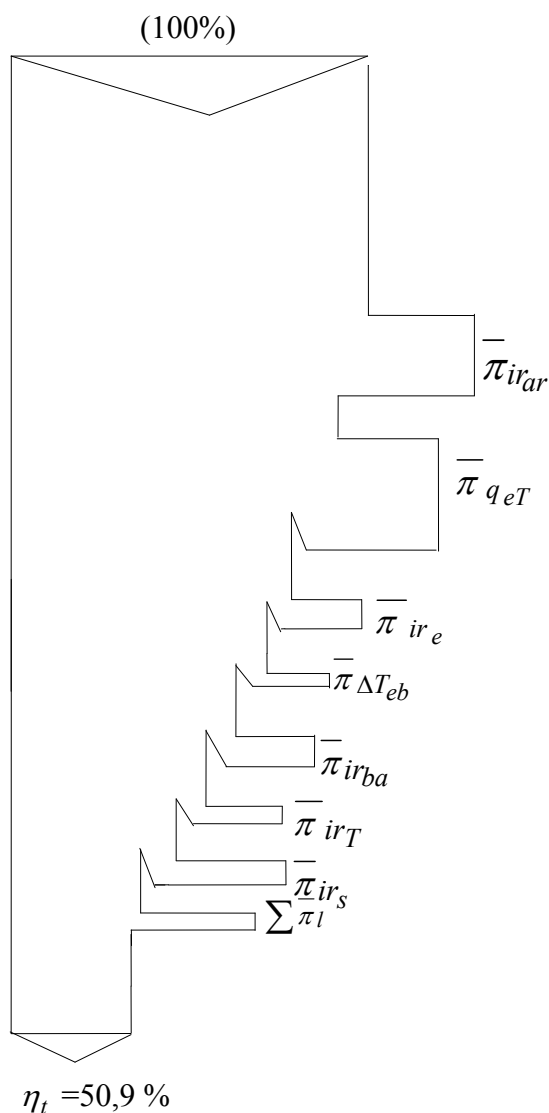


Figura 3.3. Bilanțul exergetic al ciclului motorului cu ardere internă

Capitolul 4

INTERACȚIUNEA DINTRE NAVĂ ȘI INSTALAȚIA DE PROPULSIE

Funcționarea reală a elicei în pupa navei are loc în curent neuniform, perturbat de corp.

În zona dârei de vârtejuri din pupa navei se formează un contracurent, care se deplasează în sensul de mișcare a navei și care poartă numele de siaj.

La deplasarea navei în mediul fluid elicea aspiră apa din fața sa, măbind viteza curentului și determinând o scădere a presiunii în fața discului elicei [27]. Apare o forță suplimentară de presiune, orientată în sens contrar mișcării navei, care conduce la creșterea rezistenței la înaintare.

În fazele preliminare de proiectare literatura de specialitate recomandă o serie de formule aproximative și diagrame pentru estimarea coeficienților de siaj și suucțiune [76].

4.1. Estimarea rezistenței la înaintare a navei petrolier

Rezistența la înaintare este una dintre cele mai importante calități de navigație, de care depinde puterea instalației de propulsie.

Asupra unei nave care se deplasează cu viteza constantă, v , acționează rezultanta forțelor hidro-aerodinamice, R_t .

Forțele hidro-aerodinamice se datoresc presiunilor și tensiunilor tangențiale care acționează pe suprafețele imerse și emerse ale corpului aflat în mișcare și sunt influențate de o serie de factori: formele corpului, valoarea vitezei navei, direcția curgerii față de planul diametral, zona de deplasare a navei (la suprafața apei, sau în imersiune, în canale înguste, sau la adâncimi limitate), prezența vântului, valurilor, sau a curenților marini, acoperirea carenei cu alge și scoici, modificarea asietei și a pescajului.

Pentru studiul instalației de propulsie, când se analizează mai multe variante de dimensiuni principale și coeficienți de formă, apare necesitatea existenței unei metode de estimare a puterii de propulsie necesară.

În continuare se va prezenta metoda stabilită de J.Holtrop și G.GJ.Mennen pentru determinarea rezistenței la înaintare a navei [12].

Avantajul acestei metode constă în aceea că se poate programa ușor în vederea realizării unui program de optimizare.

Rezistența la înaintare a unei nave în apă a fost subdivizată în următoarele componente:

$$R_t = R_F(1 + k_1) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A \text{ [N]} \quad (4.16)$$

în care:

- R_F - este rezistența de frecare;
- $1 + k_1$ - factorul de formă care face legătura între rezistența de vâscozitate a corpului în corelare cu rezistența de frecare R_F ;
- R_{APP} - rezistența apendincilor;
- R_W - rezistența de val;
- R_B - rezistența de presiune adițională a bulbului în apropierea suprafeței apei;
- R_{TR} - rezistența de presiune adițională a pupei tăiate;
- R_A - rezistența de corelare model navă (corecția de rugozitate).

4.1.1. Estimarea factorilor de propulsie

Caracteristicile navei petrolier pe care s-au făcut unele determinări, sunt prezentate în tabelul 4.1.

Tabel 4.1. Datele Navei

Denumirea	U.M.	Valoare
L _{max} - lungimea navei	[m]	179,960
L _{WL} - lungimea la linia de plutire	[m]	178,880
L _{pp} - lungimea între perpendiculare	[m]	172
B - lățimea maximă	[m]	32,2
D _{construcție} - înălțimea de construcție	[m]	16,5
T _i - pescajul	[m]	10,5
Δ - deplasamentul în apa de mare	[t]	50262,4
∇ - volumul carenei	[m ³]	48744,0
D _w - deadweight-ul	[t]	37000
nr. Echipaj	membri	31

Rezistența la înaintare a navei petrolier, considerată în analiză este calculată pentru regimul de viteză $v = 15,38$ [Nd] și turația de $n = 127$ [rot/min].

Observație: Rezultatele obținute din calcul sunt foarte apropiate de rezultatele probelor de bazin (tabelul 4.6).

Rezistența totală la înaintare R_t [kN]

Tabel 4.6. Rezistența la înaintare a navei

Nr. crt.	Viteza [Nd]	R_t (balast) [kN]	R_t (plină încărcare) [kN]
1.	11,00	253,260	326,150
2.	12,00	310,990	390,400
3.	13,00	380,850	463,870
4.	13,57	430,000	504,186
5.	14,00	466,380	541,370
6.	14,87	560,000	619,075
7.	15,00	573,420	636,780
8.	15,38	637,000	677,525
9.	16,00	696,440	753,360

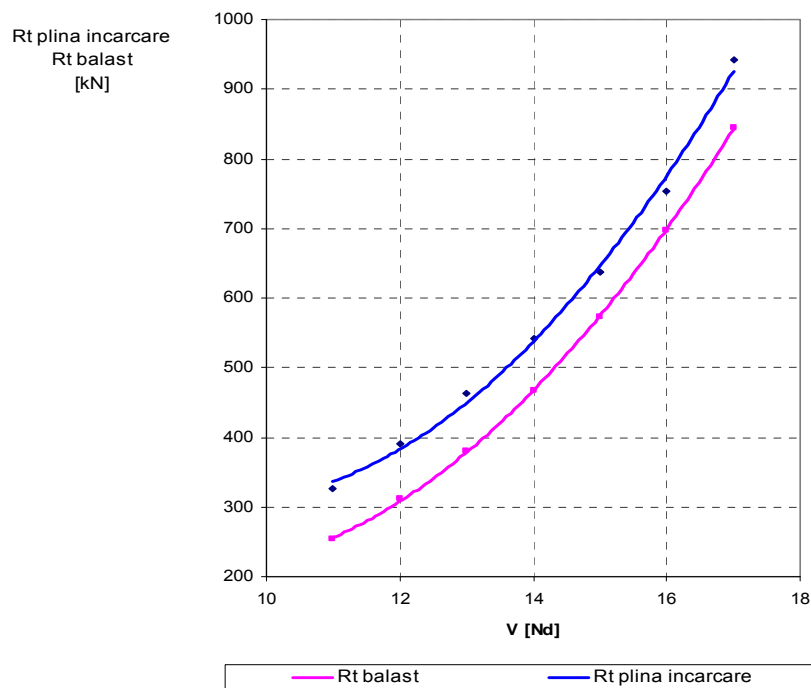


Figura 4.1. Rezistența la înaintare (din teste de bazin efectuate)

În figura 4.1. este reprezentată rezistența la înaintare a navei în funcție de viteza navei pentru cele două situații de navigație

4.1.2. Verificarea elicei la cavitație

Apariția cavitației intense pe elicea navală poate conduce la scăderea performanțelor, la eroziune cavitațională, la zgomote și la vibrații [76].

Verificarea la cavitație în cele două condiții de navigație (balast și plină încărcătură) este prezentată în continuare (figura 4.2 și 4.3).

- la navigația în balast elicea nu cavitează

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
71									
72									
73	VERIFICAREA ELICEI LA CAVITATIE								
74									
75	Trebuie sa respecte relatia:								
76	$\theta = A_E/A_O = 0.567 \geq 0.560$								
77									
78	$\rho = 1025$		kg/m ³						
79	$f = 1.3$		coeficient empiric, intre (1,3 ... 1,6)						
80	$K_C = 0.260$		caracteristica cavitacionala, citita din diagr./pag. 212						
81	$p_s = p_0 - p_d = 111696$		N/m ² , presiunea hidrostatica absoluta la varful superior al palelor elicei						
82	$p_0 = 101337$		N/m ²						
83	$p_d = 1707$		N/m ²	la t = 20 grade, din tabel 6.12/pag.214					
84	$h_a = 4.100$		m						
85									
86	ELICEA NU CAVITEAZA!								
87									
88									

Figura 4.2. Foaie de calcul Excel pentru verificarea elicei la cavitație la navigația în balast

- -la navigația cu plină încărcătură elicea nu cavitează

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
71									
72									
73	VERIFICAREA ELICEI LA CAVITATIE								
74									
75	Trebuie sa respecte relatia:								
76	$\theta = A_E/A_O = 0.599 \geq 0.453$								
77									
78	$r = 1025$		kg/m ³						
79	$f = 1.3$		coeficient empiric, intre (1,3 ... 1,6)						
80	$k_c = 0.26$		caracteristica cavitacionala, citita din diagr./pag. 212						
81	$p_s = 146260$		N/m ² , presiunea hidrostatica absoluta la varful superior al palelor elicei						
82	$p_0 = 101337$		N/m ²						
83	$p_d = 1707$		N/m ²	la t = 20 grade, din tabel 6.12/pag.214					
84	$h_a = 7.600$		m						
85									
86	ELICEA NU CAVITEAZA!								
87									
88									

Figura 4.3. Foaie de calcul Excel pentru verificarea elicei la cavitație la navigația cu plină încărcătură

4.3. Calculul puterii necesară pentru acționarea elicei

Pentru o instalație de propulsie cu transmisie directă și motor pincipal reversibil [88], se consideră schema prezentată în figura 4.4.

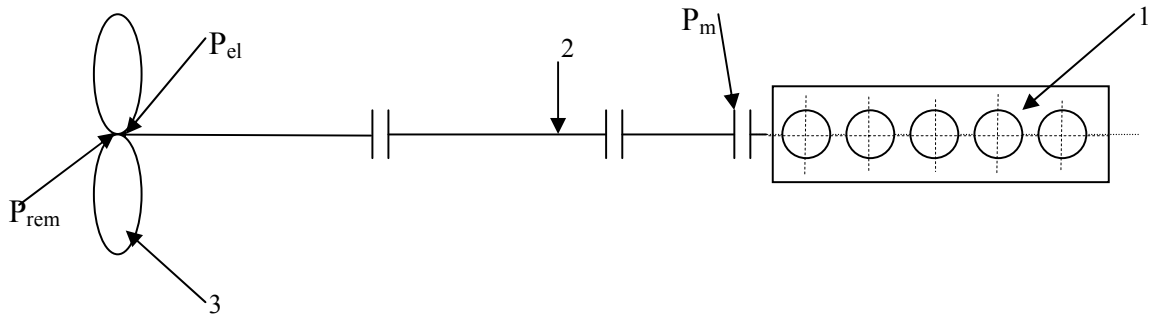


Figura 4.4. Schema de calcul a puterii motorului la o instalație de propulsie cu transmisie directă cu motor de propulsie reversibil și elice cu pas fix [88]

Elementele componente din figura 4.4:

- 1 - motor de propulsie;
- 2 - linie de arbori;
- 3 - elice cu pas fix.

Puterea de remorcă a navei:

$$P_{rem} = R_t \cdot v \text{ [kW]} \quad (4.85)$$

- R_t [kN] - rezistența totală la înaintare a navei;
- v [m/s] - viteza de deplasare a navei.

Expresia randamentului de propulsie este:

$$\eta_{pr} = \frac{P_{rem}}{P_{el}} \quad (4.86)$$

- P_{el} - este puterea necesară pentru acționarea elicei:

$$P_{el} = M_{el} \cdot \omega = M_{el} \cdot \frac{\pi \cdot n}{30} \text{ [kW]} \quad (4.87)$$

- M_{el} [kNm] - momentul efectiv de rotire a elicei;
- n [rot/min] - turația elicei.

În cazul instalațiilor de propulsie cu transmisie directă, motorul de propulsie este cuplat direct cu linia de arbori și deci, raportul de transmisie $i_{tr} = 1$ și în consecință, $n_{el} = n_{mot} = n$ (figura 4.4)[88].

$$\eta_{pr} = \frac{R_t \cdot v}{M_{el} \cdot \frac{\pi \cdot n}{30}} \quad (4.88)$$

- T - împingerea totală a elicei;

- $w = \frac{\Delta v}{v} = \frac{v - v_A}{v}$ - coeficientul de siaj; v_A - viteza apei în discul elicei;

$$\frac{T \cdot v_A}{M_{el_0} \cdot \omega} = \eta_0 \quad (4.90)$$

- η_0 - randamentul elicei în apa liberă; t - coeficientul de sucțiune;

$$\frac{1-t}{1-w} = \eta_H \quad (4.91)$$

- Puterea necesară pentru acționarea elicei va fi:

$$P_{el} = \frac{P_{rem}}{\eta_{pr}} = \frac{R_T \cdot v}{\eta_0 \cdot \eta_H \cdot \eta_R} \quad (4.92)$$

- Puterea motorului la flanșa de cuplare cu linia de arbori va fi:

$$P_m = \frac{P_{el}}{\eta_{la}} = \frac{P_{rem}}{\eta_{pr} \cdot \eta_{la}} = \frac{R_T \cdot v}{\eta_0 \cdot \eta_H \cdot \eta_R \cdot \eta_{la}} \text{ [kW]} \quad (4.93)$$

- η_{la} - reprezintă randamentul liniei de arbori și cuantifică pierderile prin frecare care au loc în lagărele liniei de arbori (lagărele intermediare și lagărele arborelui portelice) [12,76].

4.4. Concluzii

Rezistența la înaintare a navei este una dintre cele mai importante calități de navigație de care depinde puterea instalației de propulsie. Rezistența la înaintare a fost determinată prin metoda Holtrop și Menen, care se poate programa ușor în vederea optimizării formelor navei considerând cele șase componente : frecare, apendici, valul, bulbul, pupa și adițională.

Au fost estimați factorii de propulsie iar rezultatele obținute prin calcul pentru nouă viteze au fost foarte apropiate de rezultatele probelor de bazin (tabelul 4.6 și figura 4.1).

În completare a fost verificată elicea la cavitație pentru regimurile de marș considerată (diferă viteza , navă încărcată și balast).

Având rezistența la înaintare s-a determinat puterea necesară la flanșa motorului, considerând randamentele de propulsie, elicei, liniei de arbori, ținând cont că unele randamente depind de viteza navei. Rezistența la înaintare, randamentul elicei și puterea motorului au fost reprezentate grafic în funcție de viteză și de încărcătură.

Figura 4.6. prezintă dependența puterii de remorcare, puterea necesară pentru acționarea elicei, puterea motorului de propulsie și rezistența la înaintare față de viteza navei (plină încărcătură).

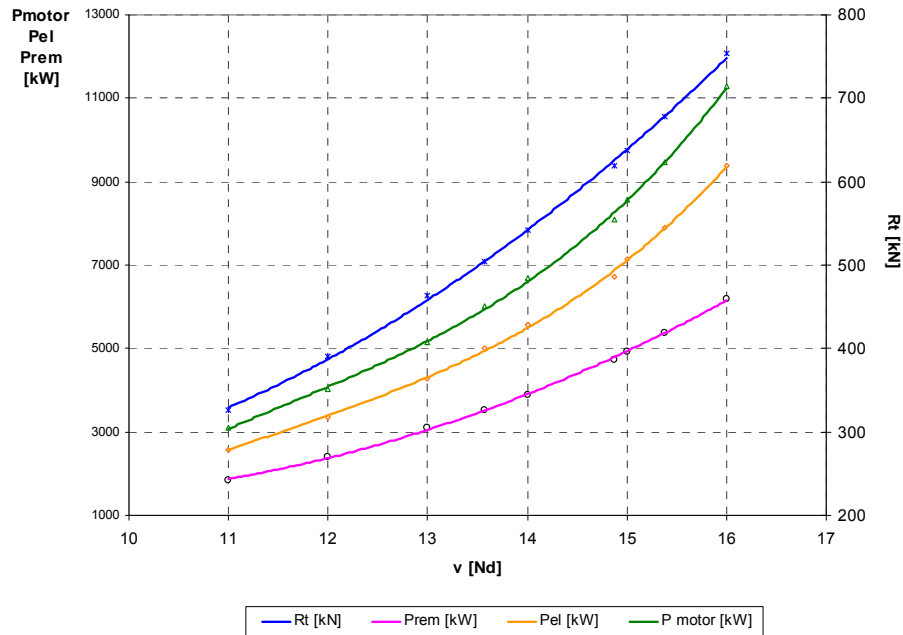


Figura 4.6. Dependența puterii de remorcare, puterea necesară pentru acționarea elicei, puterea motorului de propulsie și rezistența la înaintare în funcție de viteza navei (plină încărcătură)

Figura 4.8. prezintă puterea de remorcare a navei, puterea necesară pentru acționarea elicei și puterea motorului (navă balastată).

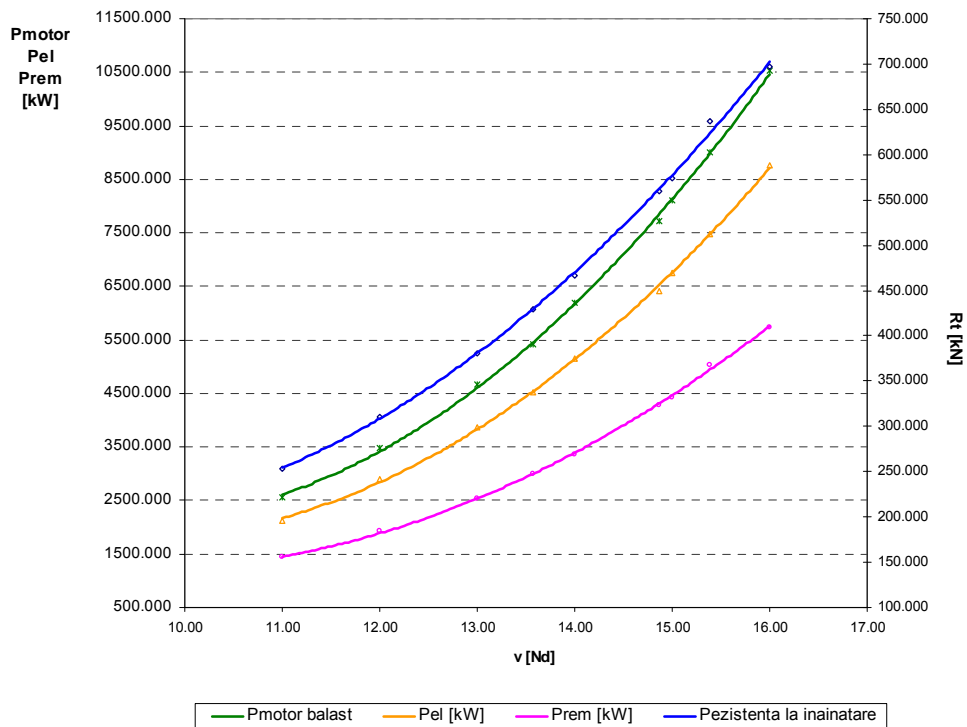


Figura 4.8. Puterea de remorcare a navei, puterea necesară pentru acționarea elicei și puterea motorului (navă balastată)

Capitolul 5

OPTIMIZAREA TERMEOECONOMICĂ A INSTALAȚIILOR ENERGETICE CU MOTOARE CU ARDERE INTERNĂ

Optimizarea termoeconomică a instalațiilor energetice cu motoare cu ardere internă constă în găsirea soluțiilor optime sau optimale ale proceselor termomecanice din instalația energetică cu motoare cu ardere internă prin maximizarea sau minimizarea unor funcții obiectiv, unor criterii de optimizare, eventual cu admiterea unor compromisuri acceptate tot pe criterii economice.

Optimizarea proceselor termomecanice din instalațiile energetice cu motoare cu ardere internă se realizează cu metode matematice specifice.

Problemele de optimizare economică ale proceselor termodinamice din instalația energetică cu motoare cu ardere internă conduc, în general, la optimizarea sistemelor generate de sisteme de ecuații diferențiale ordinare, ce constituie obiectivul controlului optimal și al programării dinamice [98].

Optimizarea termoeconomică se ocupă cu minimizarea costurilor, incluzând și costurile implicate de ineficiența termodinamică.

Criteriile de optimizare stau la baza formulării problemei de optimizare [17].

Criteriile de optimizare pot fi economice (investiția totală de capital, costurile nivelizate anuale totale, profitul net nivelizat anual, recuperarea investiției), tehnologice (eficiența termodinamică, timpul de producere, rata producției, fiabilitatea, greutatea totală, etc) și de mediu (natura, cantitatea și vitezele de emisie de poluanți).

Criteriile de optimizare se pun în competiție pentru că poate fi realizată optimizarea completă, cu respectarea optimului tuturor criteriilor de optimizare.

Se acceptă un criteriu de optimizare primar, care măsoară performanța - costul nivelizat total anual al produselor sistemului, iar celelalte criterii sunt tratate drept restricțiile problemei sau parametri (returnarea investiției, fiabilitatea, performanțe de mediu, etc).

Modelul matematic al optimizării reprezintă formularea optimizării și constă din:

- ✓ funcții obiectiv, care vor fi maximizate sau minimizate;
- ✓ restricții de tip egalitate;
- ✓ restricții de tip inegalitate.

Funcția obiectiv depinde de variabilele independente sau dependente.

5.1. Analiza termoeconomică a proceselor din instalația energetică cu motoare cu ardere internă

Pentru a formula corect problemele optimizării termoeconomice a instalațiilor energetice cu motoare cu ardere internă trebuie făcută o analiză economică a acestora.

Pentru realizarea cu succes a proiectului unei instalații termice se cer să se estimeze costurile majore implicate (ex: investițiile totale de capital, costurile combustibilului (ale fluidelor de lucru), cheltuielile de exploatare, de reparare și costurile produselor finale) considerând diverse presupuneri și predicții referitoare la domeniile economic, tehnologic, legislativ și folosind tehnicile din ingineria economică.

Trebuie să se contureze deci considerațiile economice pentru:

- ✓ estimarea costurilor de investiții capitale;
- ✓ calcularea costurilor principale de producție prin evaluarea realistă a influenței, a creșterii costurilor, a stabilirii costurilor, a costurilor de depreciere a produselor, a costurilor pentru achitarea taxelor și finanțarea uzinei.

Realizarea proiectului este determinată în cea mai mare parte de costul produselor finite.

Prețul de piață al produsului este dat, în general, nu numai de costul de producție ci și de alți factori precum: profitul dorit, cerința pieții, oferta, competiția, poluarea, dispozițiile legale, și subvențiile în domeniu.

În proiectarea sistemelor termice suntem interesați în primul rând de costurile de producție iar de folosirea prețurilor de piață este interesată compania pentru produsele societății.

Estimarea bună a costului este un factor cheie în succesul realizării proiectului planificat. Estimările de cost trebuie să fie făcute în timpul tuturor stadiilor proiectului pentru a obține o bază în vederea luării deciziilor în fiecare stadiu.

Estimarea costului se face pe baza unei scheme a procesului tehnologic (fluxului tehnologic), în care să se prevadă fluxurile, stările termodinamice, cantitățile și condițiile cerute materialelor, precum și necesarul de echipament și operațiile unitare specifice [82].

În contrast cu costurile combustibilului (fluidelor folosite) și a cheltuielilor de exploatare și reparații, care sunt continue și au caracter repetitiv, investiția totală de capital se realizează o singură dată.

Capitalul necesar pentru achiziționarea teritoriului, construcțiilor necesare, alimentarea cu necități, achiziționarea și instalația mașinilor și echipamentelor pentru realizarea instalației energetice cu motoare cu ardere internă formează investițiile fixe de capital.

Investiția fixă de capital se referă la costurile totale care se realizează într-un timp foarte scurt.

Investiția totală de capital este suma dintre investiția fixă de capital și de alte cheltuieli.

Analiza termoeconomică a instalațiilor energetice cu motoare cu ardere internă constă în combinarea analizei termodinamice (exergetice) cu analiza economică, pe baza costurilor care intervin în proiectarea, fabricarea și exploatarea acestora.

În cazul când analiza termodinamică se referă la o analiză exergetică, atunci combinarea celor două metode de analiză conduce la analiza exergoeconomică.

Analiza termoeconomică sau exergoeconomică a unui produs, în anumite condiții, permite să se stabilească metodele de îmbunătățire a întregii activități necesare producerii și exploatarei instalației energetice cu motoare cu ardere internă.

Obiectivele analizei termoeconomice sunt:

- calculul separat al costurilor pentru un produs realizat de societatea comercială;
- înțelegerea procesului de formare a costurilor în societate comercială;
- optimizarea variabilelor specifice pentru un produs;
- optimizarea variabilelor specifice pentru întreaga societate comercială (companie).

Pentru o instalație energetică cu motoare cu ardere internă, produsă de către o companie, se poate stabili prețul de producție, avându-se în vedere studiul procesului de producție, cu evaluarea tehnologiilor adoptate plecând de la proiectare până la obținerea produsului final.

În exploatarea instalației energetice cu motoare cu ardere internă se realizează schema fluxurilor costurilor, pe baza costurilor unității de exergie pentru subsistemele acesteia și întreaga instalație. Se au în vedere particularitățile constructive și funcționale ale instalației energetice cu motoare cu ardere internă.

În general pentru o instalație energetică cu motoare cu ardere internă distingem subsistemele:

- motorul cu ardere internă;
- consumatorul (consumatorii);
- mecanismele și instalațiile auxiliare ale instalației energetice cu motoare cu ardere internă.

La instalațiile energetice cu motoare cu ardere internă, cu diverse destinații trebuie avute în vedere subsistemele specifice din componența acestora.

Capitolul 6

OPTIMIZAREA REGIMURILOR DE EXPLOATARE ALE INSTALAȚIILOR DE PROPULSIE NAVALE

Optimizarea sistemului de exploatare are obiective economice și de siguranță, în raport cu care se determină numărul și tipul navelor aferent societății de exploatare, capacitatea de transport, viteza prescrisă, dotările acestora, parametrii care rezultă din analiza funcției obiectivă după un criteriu economic (optimizarea profitului), cu restricțiile impuse de normele de siguranță a exploatării.

Optimizarea navei ca subsistem al sistemului de exploatare urmărește determinarea parametrilor de exploatare (forme, putere, consum de combustibil) în condițiile în care funcția obiectiv stabilită pentru navă atinge valorile extreme corespunzătoare pentru parametrii stabiliți prin optimizarea sistemului de exploatare în care se încadrează nava.

Considerând nava definită ca subsistem al sistemului de exploatare, prin caracteristicile principale (capacitate, viteză, autonomie, etc), se pune problema stabilirii parametrilor de formă, energetici și funcționali care determină condițiile optime de operare pentru nava dată. Parametrii energetici și funcționali rezultă din analiza regimurilor de navigație considerate reprezentative pentru exploatarea navei în condițiile impuse de sistemul de transport considerat.

Optimizarea elicei are o importanță mare în îmbunătățirea performanțelor navei, deoarece mare parte din energia stocată la bord, sub formă de combustibil, se consumă pentru propulsie.

Optimizarea funcționării elicei se face în doua situații:

- în cazul instalației de propulsie cu elice cu pas fix, când singurul parametru ajustabil este turația;
- în cazul elicei cu pas reglabil când optimizarea funcționării elicei poate fi realizată prin ajustarea simultană a doi parametri funcționali: turația și pasul [29].

Cazul elicei cu pas fix (EPF)

Elicea cu pas fix permite modificarea performanțelor de propulsie prin ajustarea unui singur parametru funcțional: turația elicei. Domeniul de modificare a turației pentru maximizarea randamentului elicei este limitat, pe de o parte datorită vitezei de marș, impusă din condiția de optim a sistemului de transport naval, pe de altă parte de motor, care are domeniul turațiilor admise pentru funcționarea fără restricții, riguros controlat și definit de fabricantul motorului. Optimizarea regimului funcțional al elicei cu pas fix se va face în faza de proiectare prin adoptarea “elicei optime” cu parametrii stabiliți numai la regimul considerat reprezentativ, aceștia ieșind din domeniul optim dacă regimul de exploatare se modifică.

Optimizarea elicei în faza de proiectare se poate face pe două căi: utilizând modele analitice de proiectare sau prin folosirea diagramelor experimentale.

În primul caz se utilizează programul de proiectare a elicei care permite definirea completă a geometriei elicei pentru anumite date de intrare: împingerea și condițiile cinematice în care funcționează elicea. Programul se introduce într-o procedură de optimizare care urmărește obținerea randamentului maxim a elicei impunându-se: împingerea, viteza și diametrul, și modificându-se turația, până când se atinge valoarea maximă a randamentului. Se obține astfel “turația optimă” pentru condițiile date, cu care se alege motorul.

Cazul elicei cu pas reglabil (EPR)

Modificarea pasului în timpul funcționării oferă posibilitatea adaptării regimului funcțional al motorului la condițiile de navigație și la caracteristica carenei, prin modificarea a doi parametri: turația și pasul, ceea ce face posibilă atingerea oricărui punct din domeniul admis de funcționare a motorului, putându-se obține regimuri optime, după criteriul randamentului maxim, pentru sistemul propulsor-motor care formează instalația de propulsie.

Problema optimizării sistemului de propulsie implică două obiective: primul se referă la adoptarea unui propulsor în care conversia energetică să se facă cu randament maxim, ceea ce necesită alegerea elicei cu pas reglabil optim pentru regimul reprezentativ de exploatare a navei. Al doilea obiectiv constă în adaptarea parametrilor ajustabili ai elicei cu pas reglabil astfel ca regimul optim la sistemului să fie menținut în orice condiții de exploatare.

Primul obiectiv poate fi atins considerând elicea cu pas reglabil ca orice elice cu pas fix funcționând în condiții date de regimul reprezentativ de exploatare, pentru care se determină, după metodele prezentate la optimizarea elicelor cu pas fix, diametrul optim D_{opt} când se impune turația la liniile de arbori cu antrenare directă, sau turația optimă n_{opt} , la liniile de arbori cu reductor, când este dat diametrul, iar pasul care rezultă din diagrame definește raportul de pas constructiv $(P/D)_k^{opt} \equiv \theta_k^{opt}$, cu care se execută elicea cu pas reglabil [29].

Pentru realizarea celui de-al doilea obiectiv este necesară stabilirea legilor de comandă a parametrilor funcționali ajustabili ai elicei cu pas reglabil pentru a atinge regimul optim de funcționare pentru ansamblul motor-propulsor. În acest sens este necesară stabilirea domeniului optim de funcționare pentru sistemul navă-elice-motor, după un criteriu stabilit printr-o funcție obiectiv impusă. Amplasarea punctului de funcționare al instalației de propulsie în domeniul optim, pentru o anumită structură a sistemului și pentru un regim definit de exploatare a navei, implică modificarea parametrilor ajustabili care sunt: turația elicei, pasul definit prin raportul de pas ($P/D \equiv \theta$) și cantitatea de combustibil injectată pe ciclu (c_c), concretizată prin parametrul “u” (umplerea) proporțional cu c_c , deci un cuplu motor M_m , în așa fel încât să se realizeze condiția de optim concretizată prin atingerea extremului funcției obiectiv impuse.

6.1. Optimizarea regimurilor de exploatare ale instalațiilor de propulsie navale pe baza consumului minim de combustibil

Instalațiile de propulsie navale actuale, în cea mai mare parte, au în componență lor motoare cu aprindere prin comprimare. Regimurile de exploatare ale acestor instalații energetice sunt, de regulă, cvasistaționare, fiind date de caracteristicile mecanice statice de funcționare ale motorului de propulsie, transmisiei de putere, consumatorului de putere și de pozițiile organelor de comandă ale acestora.

Se pune problema optimizării regimurilor de exploatare ale instalației de propulsie navală pe baza consumului specific efectiv minim de combustibil, prin stabilirea pozițiilor optime ale organelor de comandă, controlate manual sau de un calculator de proces de la bordul navei [88].

- Caracteristicile mecanice principale de funcționare ale transmisiei de putere
Acele caracteristici la regimuri termice optime sunt date de dependențele:

$$\eta_{tr} = \eta_{tr}(n, i_{tr}, P_e) \quad (6.17)$$

- η_{tr} - randamentul total al transmisiei de putere;
- $i_{tr} = n/n_{el}$ - raportul de transmisie al transmisiei de putere;
- n_{el} , [rot/min] - turația arborelui de ieșire al transmisiei de putere (turația elicei).

Caracteristicile mecanice de funcționare ale propulsorului (elicei) în apă liberă, sunt date de dependențele [88]:

$$T = \rho n_{el}^2 D^4 K_T(\lambda_p, H/D, A/A_d, z) \text{ [kN]}, \quad (6.18)$$

$$M_t = \rho n_{sel}^2 D^5 K_Q(\lambda_p, H/D, A/A_d, z) \text{ [kNm]}, \quad (6.19)$$

$$\eta_{el} = \eta_{el}(\lambda_p, H/D, A/A_d, z), \text{ [kN]}, \quad (6.20)$$

- v_A - viteza de avans [m/s];

- n_{el} - [rot/s] - turația elicei;
- A/A_d - raportul de disc al elicei;
- D_{el} [m] - diametrul exterior al elicei;
- ρ [kg/m³] - densitatea apei în care funcționează elicea;
- H/D - pasul relativ al elicei;
- z - numărul de pale ale elicei;
- T , [kN] - forța de împingere a elicei care funcționează în apă liberă;
- M_t [kNm] - cuplul consumat de elice, care funcționează în apă liberă;
- K_T - coeficientul de împingere a elicei care funcționează în apă liberă;
- K_Q - coeficientul momentului de torsiune a elicei care funcționează în apă liberă.

Caracteristica rezistenței la înaintare a navei este dată de relația:

$$R = (\xi_f + \xi_w + \xi_v + \xi_{ap} + \xi_{aer}) \frac{\rho \cdot v^2 \cdot \Omega \cdot 10^{-3}}{2} \text{ [kN]} \quad (6.21)$$

- $\xi_f = \xi_f(Re)$ - coeficientul rezistenței de frecare;
- $Re = \frac{v \cdot L}{\nu}$ - numărul Reynolds;
- ν [m²/s] - coeficientul de vâscozitate cinematică al apei în care se deplasează nava;
- $\xi_w = \xi_w(Fr, L/B, B/d, c_B, H_{apa}/d)$ - coeficientul rezistenței de val;
- $Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L}}$ - numărul Froude;
- ξ_v - coeficientul rezistenței de formă;
- ξ_{ap} - coeficientul rezistenței apendicilor navei;
- $\xi_{aer} = \xi_{aer}(T_v, \theta_v)$ - coeficientul rezistenței aerului;
- v [m/s] - viteza de înaintare a navei;
- L, B, D_{constr}, T_j , [m] - lungimea, lățimea, înălțimea de construcție și pescajul navei;
- Ω [m²] - aria suprafeței carenei navei proiectată în secțiunea maestră;
- c_B - coeficientul de finețe bloc al navei;
- H_{apa} , [m] - adâncimea senalului navigabil;
- T_v [m/s] - viteza vântului;
- θ_v - unghiul dintre direcția de înaintare a navei și direcția vântului.

Interacțiunea dintre elice și corpul navei la funcționarea instalațiilor de propulsie se evaluează prin mărimea adimensională:

$$\eta_{corp} = \frac{1-t}{1-w} \quad (6.22)$$

- $t = \frac{\Delta T}{T} = \frac{T - T_e}{T} = t\left(J, \frac{H}{D}\right)$ - coeficientul de sucțiune;
- $w = \frac{\Delta v}{v} = \frac{v - v_a}{v} = w\left(J, \frac{H}{D}\right)$ - coeficientul de siaj;
- T_e [kN] - împingerea efectivă realizată de elice;

În cazul exploatării instalației de propulsie navală. cu motor cu aprindere prin comprimare date, variabilele independente ale problemei de optimizare a consumului specific efectiv minim de combustibil c_e sunt: $v, d, \frac{H_{apa}}{d}, T_v, \theta_v, \theta_{carma}$ (θ_{carma} - unghiul de bandare a cârmei instalației de guvernare a navei).

Cunoscând $R = R\left(v, d, \frac{H_{\text{apa}}}{d}, T_v, \theta_v, \theta_{\text{carma}}\right)$ determinată după date oferite de

bazinele de încercări a carenelor sau din calcule, pentru domeniile de variație a variabilelor independente, se poate obține, prin dezvoltare în funcții independente polinomiale și aplicarea metodei abaterii pătratice minime, expresia analitică aproximativă optimă a dependenței.

Metoda de optimizare

$$\left[1 - t\left(J, \frac{H}{D}\right)\right] \cdot k_1\left(J, \frac{H}{D}\right) \cdot \rho \cdot n_{el}^2 \cdot D^4 \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta = R\left(v, d, \frac{H_{\text{apa}}}{d}, T_v, \theta_v, \theta_{\text{carma}}\right) \quad (6.25)$$

- α - unghiul de înclinare a liniei de arbori în raport cu planul orizontal;
- β - unghiul de înclinare a liniei de arbori în raport cu planul diametral al navei;

$$c_e = c_e(n, y_k) = c_e\left(v, d, \frac{H_{\text{apa}}}{d}, \frac{H}{D}, T_v, \theta_v, \theta_{\text{carma}}, i_{tr}, \eta_a, i_{mot}\right) \quad (6.31)$$

Pentru navigația în condiții date, dependența (6.31) devine:

$$c_e = c_e\left(v, \frac{H}{D}, n\right) \quad (6.33)$$

care se optimizează, în sensul găsirii valorilor optime

$$\begin{cases} v = v_{\text{optim}} \\ \frac{H}{D} = \left(\frac{H}{D}\right)_{\text{optim}} \\ n = n_{\text{optim}} \end{cases} \quad (6.34)$$

$$c_e = (c_e)_{\min} \quad (6.35)$$

Pentru aceasta se va rezolva sistemul de ecuații diferențiale:

$$\begin{cases} \frac{\partial c_e}{\partial v} = 0 \\ \frac{\partial c_e}{\partial \left(\frac{H}{D}\right)} = 0 \\ \frac{\partial c_e}{\partial n} = 0 \end{cases} \quad (6.36)$$

Prin rezolvarea sistemului de ecuații diferențiale rezultă n_{optim} , $\left(\frac{H}{D}\right)_{\text{optim}}$, $(v)_{\text{optim}}$, v_{optim} .

Modelul fizico-matematic al problemei de optimizare a regimurilor de exploatare a instalației de propulsie navală cu motor cu aprindere prin comprimare și algoritmele corespunzătoare pot fi implementate pe un calculator de proces, care supraveghează exploatarea instalațiilor și determină regimul optim considerând restricțiile de navigație.

Pentru instalația energetică de propulsie cu motoare cu ardere internă folosite pe mijloacele de transport apare raționala alegerea costurilor specifice în exploatare, în perioada de viață a acestora. Pentru instalația de propulsie navală dotată cu motoare cu ardere internă, de o structură dată, drept variabile independente se consideră cele care dau regimuri de exploatare ale acesteia, la rândul lor date de caracteristicile funcționale ale motorului cu ardere internă, caracteristicile transmisiei de putere, caracteristicile consumatorului.

6.1.1. Consumul de combustibil după caracteristica de elice

În figura 6.2. este diagrama de încărcare a motorului, dată în documentația tehnică a navei [37].

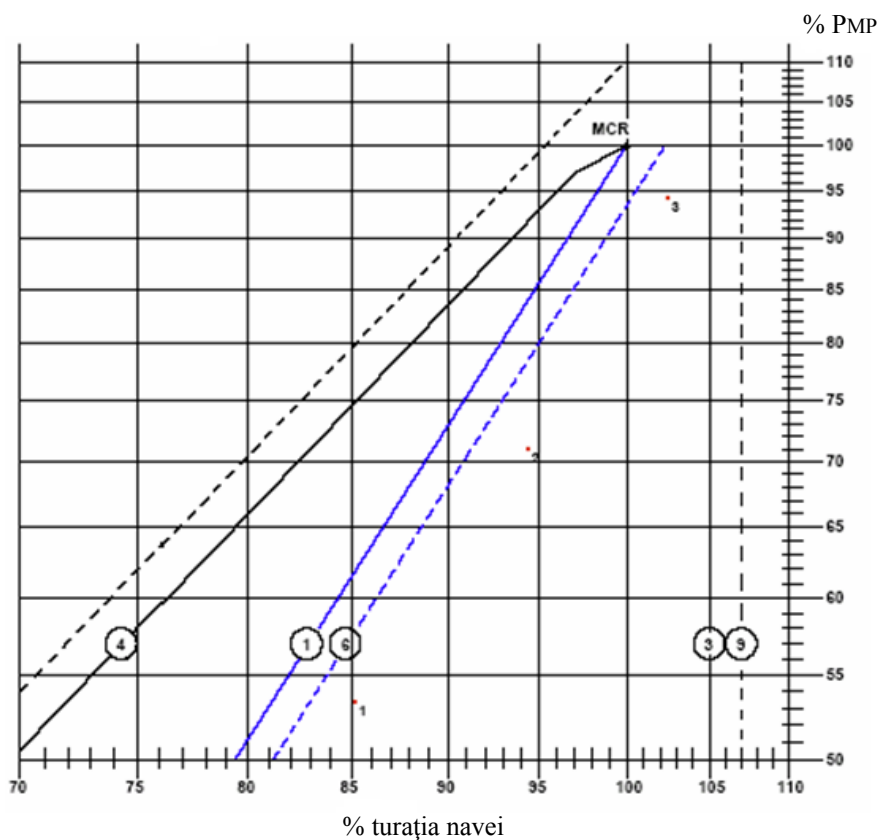


Figura 6.2. Diagrama de încărcare a motorului (din documentația tehnică a navei)

În general puterea motorului de propulsie navală după caracteristica de elice se poate scrie ca fiind dată de relația generală:

$$P_{MP} = c \cdot n^3 \quad (6.37)$$

În figura 6.3. este puterea motorului la arborele intermediar unde au fost făcute măsurătorile (PB) și turația navei (pentru plină încărcare și balast) în funcție de viteza navei.

Distribuția de presiuni este neuniformă, atât de-a lungul coardei profilului, cât și de-a lungul razei elicei, fapt ce conduce la apariția variațiilor mari de presiune, în special în zona vârfului palelor.

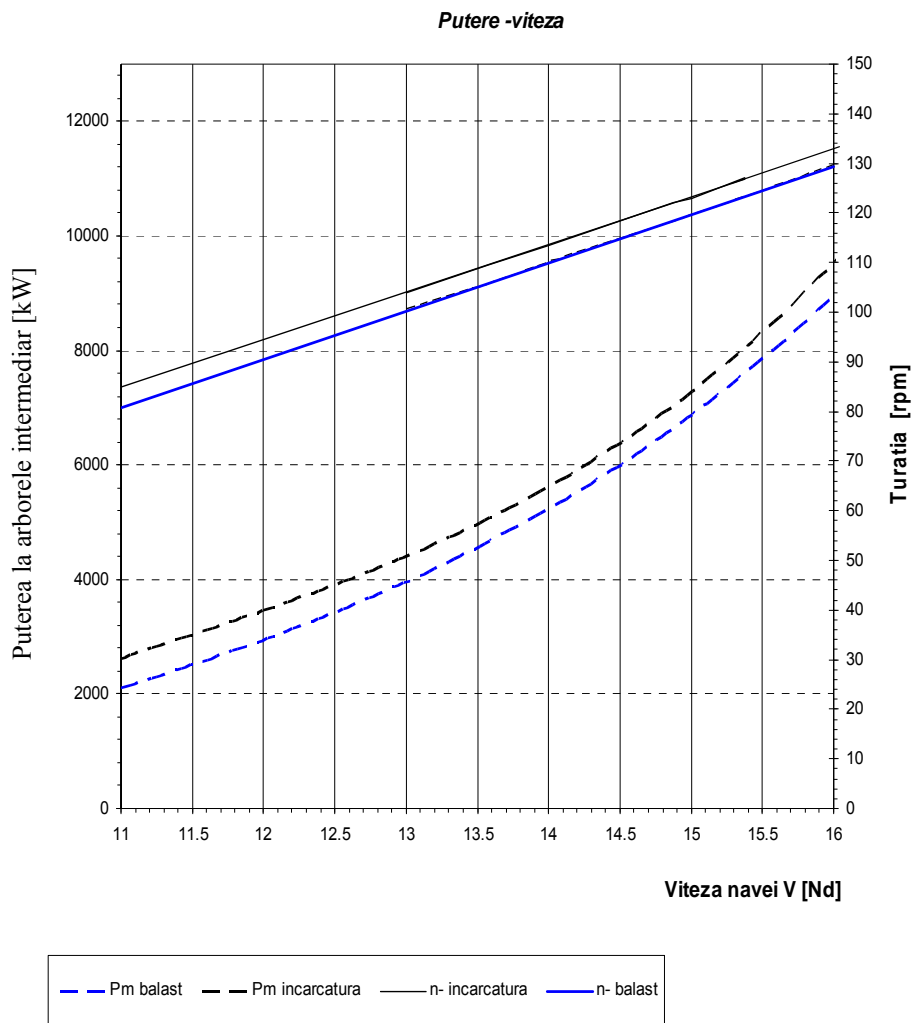


Figura 6.3. Puterea la arborele intermediar unde s-au făcut măsurătorile
(din probele efectuate pe navă în marș)

În tabelul 6.1. este prezentată puterea motorului ($P_{MP,m}$), pentru regimurile de funcționare analizate (nava încărcată) conform diagramei de încărcare a motorului furnizată de firma producătoare [37].

Tabel 6.1. Puterea motorului principal (plină încărcare)

Nr.crt.	n_m [rot/min]	v_m [Nd]	$P_{MP,m}$ [kW]
1.	84,80	11,00	3105
2.	94,38	12,00	4019
3.	103,96	13,00	5150
4.	109,42	13,57	6029
5.	113,54	14,00	6684
6.	121,87	14,87	8090
7.	123,12	15,00	8572
8.	127,00	15,38	9480
9.	132,70	16,00	11276

În tabelul 6.2. este puterea motorului ($P_{MP,b}$), pentru regimurile de funcționare analizate (nava balastată).

Tabel 6.2. Puterea motorului principal (navă balastată)

Nr. Crt.	n_b [rot/min]	v_b [Nd]	$P_{MP,b}$ [kW]
1.	80.86	11.00	2559.399
2.	90.55	12.00	3473.100
3.	100.50	13.00	4660.829
4.	105.50	13.57	5428.743
5.	110.00	14.00	6203.134
6.	118.20	14.87	7713.290
7.	119.50	15.00	8102.370
8.	123.30	15.38	8996.876
9.	129.50	16.00	10520.574

În figura 6.7. este reprezentată puterea motorului de propulsie (plină încărcătură și balast) în funcție de viteza navei.

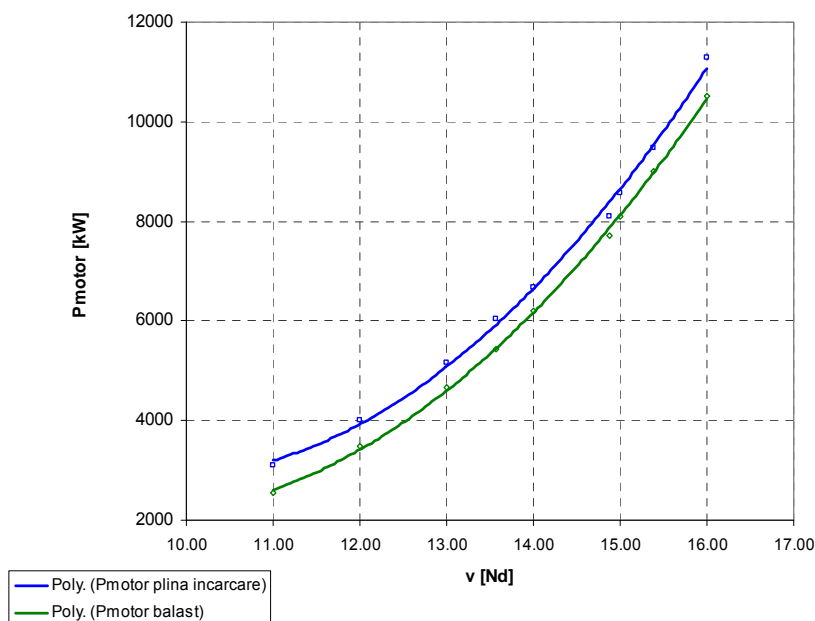


Figura 6.7. Puterea motorului de propulsie (plină încărcătură și balast)

6.1.2. Consumul specific efectiv de combustibil al motorului

Consumul specific efectiv de combustibil al motorului c_e [kg/kWh] se calculează cu relația:

$$c_e = \frac{C_h}{P_e} \text{ [kg/kWh]} \quad (6.38)$$

- Consumul orar de combustibil $C_h = C_h(n,h)$; dat în documentația tehnică a navei [37].
- h este poziția cremalierii pompei de injecție

Tabel 6.3. Consumul orar de combustibil

Navă balastată			Navă încărcată		
P_{MPb}	n_b	Ch_b	$P_{MP,m}$	n_m	Ch_m
[kW]	[rot/min]	[kg]	[kW]	[rot/min]	[kg]
2559,399	80,865	481,000	3105	84,80	589,000
3473,100	90,553	644,500	4019	94,38	753,000
4660,829	100,500	856,000	5150	103,96	955,000
5428,743	105,500	989,300	6029	109,42	1107,388
6203,134	110,000	1122,309	6684	113,54	1221,000
7713,290	118,200	1380,403	8090	121,87	1472,000
8102,370	119,500	1420,300	8572	123,12	1528,800
8996,876	123,300	1560,109	9480	126,76	1725,600
10520,574	129,500	1847,850	11276	132,70	2100,000

În tabelul 6.4. - Consumul specific efectiv de combustibil după caracteristica de elice (plină încărcare), pentru câteva din regimurile de funcționare analizate.

Rezistența la înaintare a navei $R = f(T_j)$, nava încărcată are pescajul $T_j = 10,5$ m.

Tabel 6.4. Consumul specific efectiv de combustibil după caracteristica de elice (plină încărcare)

Nr. Crt.	n_m [rot/min]	v_m [Nd]	R_t [kN]	$P_{MP,m}$ [kW]	$C_{h,m}$ [kg]	$CS_{MP,p,m}$ [kg/kWh]
1.	84,80	11,000	326,150	3105	589,000	0,1897167
2.	94,38	12,000	390,400	4019	753,000	0,1873529
3.	103,96	13,000	463,870	5150	955,000	0,1854240
4.	109,42	13,570	504,186	6029	1107,388	0,1836671
5.	113,54	14,000	541,370	6684	1221,000	0,1826765
6.	121,87	14,870	619,075	8090	1472,000	0,1819503
7.	123,12	15,000	636,780	8572	1528,800	0,1783555
8.	127,00	15,380	677,525	9480	1725,600	0,1820312
9.	132,70	16,000	753,360	11276	2100,000	0,1862362

În figura 6.10. este reprezentat consumul specific efectiv de combustibil după caracteristica de elice (plină încărcare)

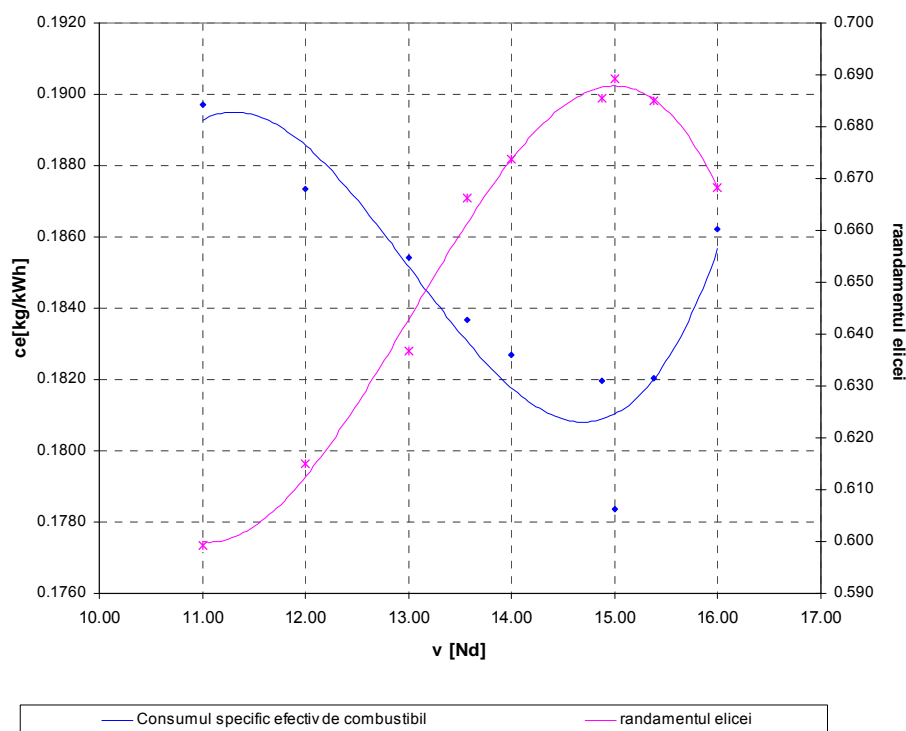


Figura 6.10. Consumul specific efectiv de combustibil după caracteristica de elice (plină încărcare)

Consumul minim de combustibil $CS_{MP,p,m} = 0,1783555$ [kg/kWh], a fost obținut pentru regimul de funcționare cu turația: $n_m = 123,12$ [rot/min] și viteza: $v_m = 15$ [Nd], nava având rezistența la înaintare $R_t = 636,780$ [kN].

În tabelul 6.5. - Consumul specific efectiv de combustibil după caracteristica de elice (navă balastată). Rezistența la înaintare a navei $R = f(T_j)$, nava balastă are pescajul $T_j = 7$ m.

Puterea motorului de propulsie, consumul efectiv de combustibil, au fost calculate în funcție de viteza navei, turația motorului, pescajul navei.

Tabel 6.5. Consumul specific efectiv de combustibil după caracteristica de elice (navă balastată)

Nr. Crt.	n_b [rot/min]	v_b [Nd]	R_t [kN]	$P_{MP,b}$ [kW]	$C_{h,b}$ [kg/h]	$CS_{MP,p,b}$ [kg/kWh]
1.	80,865	11,00	253,260	2559,399	481,000	0,187935
2.	90,553	12,00	310,990	3473,100	644,500	0,185569
3.	100,500	13,00	380,850	4660,829	856,000	0,183658
4.	105,500	13,57	430,000	5428,743	989,300	0,182234
5.	110,000	14,00	466,380	6203,134	1122,309	0,180926
6.	118,200	14,87	560,000	7713,290	1380,403	0,178964
7.	119,500	15,00	573,420	8102,370	1420,300	0,175294
8.	123,300	15,38	637,000	8996,876	1560,109	0,173406
9.	129,500	16,00	696,440	10520,574	1847,850	0,175642

Consumul minim de combustibil $c_e = 0,173406$ [kg/kWh], a fost obținut pentru regimul de funcționare cu turația: $n_b = 123,300$ și viteza: $v_b = 15,38$ [Nd], nava având rezistența la înaintare $R_t = 637,000$ [kN].

6.2. Optimizarea regimurilor de exploatare ale instalațiilor de propulsie navală pe baza costului specific minim al transportului

Beneficiul navei e proporțional cu cantitatea de produse transportate în unitatea de timp, deci e direct proporțional cu viteza de deplasare a navei dar în același timp crește costul combustibilului consumat pentru transport. Trebuie avut în vedere condițiile pieței mondiale care se află într-o continuă creștere.

Nava trebuie analizată din punct de vedere economic pentru determinarea regimului de funcționare al motoarelor de propulsie la care trebuie să navigheze petrolierul, astfel încât să transporte o cantitate mare de marfă cu costuri cât mai mici.

6.2.1. Determinarea numărului voiaje efectuate de petrolier

Veniturile aduse de nava petrolier, a carei eficiență o analizez, depind în mod direct de cantitatea de marfă transportată, de prețul de transport, de distanța pe care este transportată marfa (durata de voiaj).

Durata unui voiaj

Dacă nava se deplasează cu viteza de serviciu calculez durata unui voiaj cu următoarea relație:

$$\tau_{\text{voiaj}} = \tau_1 + (\tau_2) + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + \tau_6 + \tau_7 + \tau_8 + \tau_9 \quad [h] \quad (6.39)$$

- τ_1 [h] - este timpul afectat formalităților vamale în portul de origine [91].
- τ_2 [h] - timpul de încărcare în portul de origine (balastare).

Operațiunea de balastare se începe în timpul descărcării, de regulă la câteva ore după începerea descărcării (funcție de rata de descărcare), cam atunci când s-a descărcat aproximativ un sfert până la o treime din marfă.

În prima parte se va balasta prin diferența de nivel urmând ca atunci cand balastul începe sa intre din ce în ce mai încet, să se pornească pompa (pompele) de balast. Conform cerintelor actuale, se interzice presarea tancurilor de balast pe timpul cat nava se afla în port.

Operațiunea de presare a tancurilor (operațiune făcută în scopul eliminarii suprafețelor libere precum și în scopul schimbarii unei părți din balast sau chiar total) va avea loc imediat după plecarea din port. Acolo unde legislația prevede deja, înainte de sosire se va schimba întreg balastul cu apa de balast luată în apropierea zonei unde se afla portul de încărcare (în scopul evitării contaminării apelor locale cu microorganismele existente în zona în care s-a luat balastul și care ar putea afecta fauna și flora locală).

În timpul exploatării unei nave pot apare diverse situații când, ca urmare a ambarcării incorecte a mărfii la bord, a umplerii asimetrice a tancurilor de balast sau ca urmare a consumului de combustibil din tancurile aflate într-un bord sau altul, nava își modifică asieta.

Înclinarea transversală și longitudinală înrăutățește deplasarea navei, funcționarea instalațiilor, mașinilor și mecanismelor îngreunează deservirea.

În afara de aceasta, instalația de balast este folosită pentru a creea pescajul necesar navigației fără marfă în condițiile respectării stabilității, precum și pentru a creea la pupa navei pescajul necesar funcționării propulsorului în condiții cât mai bune.

Instalațiile de balast sunt instalații care reglează asieta transversală, asieta longitudinală și pescajul mediu. Instalația de balast asigură deplasarea centrului de greutate al navei în jos, pentru a o aduce la stabilitatea și asietă dorită prin ambarcarea sau debarcarea balastului constituit din apă de mare. Nava dispune de instalații centralizate de balastare, pentru corectarea asietei transversale și longitudinale și pentru reglarea stabilității transversale.

Timpul afectat formalităților vamale în portul de origine se suprapune cu timpul de încărcare în portul de origine și dacă este mai mic atunci nu se ia în considerare.

- τ_3 - timpul de marș spre portul de destinație:

$$\tau_3 = \frac{R}{v_b} \text{ [h]} \quad (6.41)$$

- v_b [Nd] - viteza de marș a navei pentru cursa de la portul de origine la portul de destinație.
- R [Mm] = 4600 este distanța parcursă între extremele rutei;
- v_b [Nd] - viteza de serviciu a navei;

- τ_4 [h] - este timpul afectat formalităților vamale în portul de destinație[130].
- τ_5 [h]- timpul de descărcare în portul de destinație (debalastare);

$$\tau_5 = \tau_2$$

- τ_6 - timpul de încărcare în portul de destinație;
- τ_7 [h] - timpul de marș spre portul de origine:

$$\tau_7 = \frac{R}{v} \text{ [h]} \quad (6.43)$$

- τ_8 [h] - timpul de descărcare în portul de origine;
- τ_9 [h] - timp manevre port;

Petrolierul execută cursa Constanța - Abadan (Iran), nava petrolier pleacă balastată cu apa de mare.

- Numărul de ore de funcționare a motoarelor principale pe durata unei curse:

$$\tau_{CMP} = \frac{R}{v_m} + \frac{R}{v_b} \text{ [h]}; \quad (6.46)$$

- Numărul de ore de funcționare a motoarelor auxiliare:

$$\tau_{CMA} = \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + \tau_6 + \tau_7 + \tau_8 + \tau_9 \text{ [h]} \quad (6.47)$$

Deci durata unui voiaj este τ_{voiaj} [zile]:

$$\tau_{voiaj} = \sum_1^9 \tau_i / 24 \text{ [zile]} \quad (6.48)$$

- N_V - numărul de voiaje anuale:

$$N_V = \frac{Z_E}{\tau_{voiaj}} \text{ [zile]} \quad (6.49)$$

$Z_E = 310$ zile - număr de zile de exploatare pe an; restul timpului este destinat pentru lucrări de reparații întreținere.

Pentru executarea lucrărilor de întreținere și reparații este necesară în unele cazuri scoaterea navei din apă, pe doc sau pe uscat, adică ridicarea navei pe cala, operația numită andocare. După ridicare, în primul rând se execută carenajul adică curățirea. Se verifică învelisul, executându-se reparații sau înlocuiri de table. Se execută controlul și repararea liniei de arbori, se controlează și se repară instalația de guvernare. De asemenea se verifică și se repară appendicele.

Durata unui voiaj considerând aceeași viteză pentru nava în balast și nava încărcată este prezentat în tabelul 6.6.

Tabel 6.6. Durata unui voiaj

Nr. Crt.	Denumirea parametrilor	Notatie	U.M.	Rezultate		
				balast	încărcătură	voiaj
1.	Viteza de serviciu a navei	v	[Nd]	15		
2.	Turația motorului	n	[rot/min]	$n_b = 119,5$	$n_m = 123,12$	
3.	Distanța parcursă între extremele ale rutei	R	[Mm]	4600	4600	9200
4.	Timpul afectat formalităților vamale în portul de origine	τ_1	[h]	$\tau_{b,1} = 48$	$\tau_{m,1} = 0$	48,000
5.	Timpul de încărcare în portul de origine	τ_2	[h]	$\tau_{b,2} = 9,87$	$\tau_{m,2} = 0$	9.870
6.	Timpul de marș spre portul de destinație	τ_3	[h]	$\tau_{b,3} = 306,667$	$\tau_{m,3} = 0$	306,667
7.	Timpul afectat formalităților vamale în portul de destinație	τ_4	[h]	$\tau_{b,4} = 0$	$\tau_{m,4} = 24$	24,000
8.	Timpul de descărcare în portul de destinație	$\tau_5 = \tau_2$	[h]	$\tau_{b,5} = 0$	$\tau_{m,5} = 9,87$	9,870
9.	Timpul de încărcare în portul de destinație	τ_6	[h]	$\tau_{b,6} = 0$	$\tau_{m,6} = 11$	11,000
10.	Timpul de marș spre portul de origine	τ_7	[h]	$\tau_{b,7} = 0$	$\tau_{m,7} = 306,667$	306,667
11.	Timpul de descărcare în portul de origine	τ_8	[h]	$\tau_{b,8} = 0$	$\tau_{m,8} = 16$	16
12.	Timp manevre port	τ_9	[h]	$\tau_{b,9} = 3$	$\tau_{m,9} = 3$	6
13.	Numărul de ore de funcționare a motarelor principale	$\tau_{C,MP}$	[h]	306,667	306,667	613,334
14.	Numărul de ore de funcționare a motarelor auxiliare	τ_{MA}	[h]	$\tau_{MA,b} = 357,667$	$\tau_{MA,m} = 370,537$	728,204
15.	Durata unui voiaj	τ_{voiaj}	[zile]	14,903	15,439	30,342

6.2.2. Determinarea capacității utile de încărcare a navei

Motorul principal al unei nave este consumatorul principal de combustibil și producătorul major de energie la bordul navelor.

În scopul îmbunătățirii economicității instalației de propulsie a navei se utilizează pentru motoarele Diesel principale combustibil greu din păcură sulfuroasă, în special la motoarele Diesel lente și chiar la motoarele Diesel semirapide.

Rezervele (combustibil, ulei, alimente, apă) ambarcate depășesc consumurile de la bord, deci sunt suficiente.

Dacă cantitatea de apă potabilă din tanc nu asigură necesarul, restul de apă se va asigura cu ajutorul unui desalinizator. Este prevăzut și un distilator de apă tehnică cu un debit de $(10 \div 12)[t]$ la 24 de ore. Se mai poate face aprovizionarea la capătul cursei.

Capacitatea utilă de încărcare $C_{utilă}$:

$$C_{utilă} = D_{WS} - (m_{e,tot} + m_{com,R} + m_{ulei,R} + m_{apa,R} + m_{a\ lim,R}) = 35323[t] \quad (6.88)$$

6.3. Costul specific al transportului

Sistemul de propulsie al navei trebuie să funcționeze în deplină siguranță, cu cheltuieli cât mai reduse, astfel încât costul specific al transportului să fie cât mai mic.

Cheltuieli de întreținere și exploatare

Cheltuielile de întreținere și exploatare a navei se calculează ca o sumă de cheltuieli, după relația de mai jos:

$$Ch_{v,totale} = Ch_{v,sal} + Ch_{v,CAS} + Ch_{v,P_s} + Ch_{v,amort} + Ch_{v,rep} + Ch_{v,apa} + Ch_{v,Suez} + Ch_{v,CL} + Ch_{v,asig} + Ch_{v,com} + Ch_{v,div} + Ch_{v,alte}; \quad (6.89)$$

$Ch_{v,totale}$ [€/voiaj] - costul total al transportului pe voiaj;

$$Ch_{an,totale} = Ch_{an,sal} + Ch_{an,CAS} + Ch_{an,P_s} + Ch_{an,amort} + Ch_{an,rep} + Ch_{an,apa} + Ch_{an,Suez} + Ch_{an,CL} + Ch_{an,asig} + Ch_{an,com} + Ch_{an,div} + Ch_{an,alte}; \quad (6.90)$$

$Ch_{an,totale}$ [€/an] - costul total al transportului pe an;

➤ Componentele cheltuielilor de întreținere și exploatare:

1.) Cheltuieli pentru salariile echipajului C_s

Fondul de salariu se calculează:

$$Ch_{v,sal} = nr_{echipaj} \cdot \tau_{voiaj} \cdot s \quad [€/voiaj] \quad (6.91)$$

$$Ch_{an,sal} = Ch_{v,sal} \cdot N_v \quad [€/an] \quad (6.92)$$

- τ_{voiaj} - durata voiajului;
- $nr_{echipaj} = 31$ membri;
- $s = 73,3$ [€/zi]- salariul mediu al unui membru;

2.) Contribuția pentru asigurări sociale CAS

$$Ch_{v,CAS} = 30\% \cdot Ch_{v,sal} \quad [€/voiaj] \quad (6.93)$$

$$Ch_{an,CAS} = Ch_{v,CAS} \cdot N_v \quad [€/an] \quad (6.94)$$

3.) Cheltuieli portuare și de agentie

Cheltuielile portuare și de agenție se calculează cu relația [130]:

$$Ch_{v,P_s} = L \cdot B \cdot D_{construcție} \cdot 0,001 \cdot 0,232 \cdot \tau_{ps} \quad [€/voiaj] \quad (6.95)$$

$$Ch_{an,P_s} = Ch_{v,P_s} \cdot N_v \quad [€/an] \quad (6.96)$$

- $L = 179,96$ [m] - lungimea navei;
- $B = 32,20$ [m] - lățimea navei;
- $D_{construcție} = 16,50$ [m] - înălțimea de construcție [37]
- τ_{ps} - timpul în care se plătesc taxele portuale și de agenție:

$$\tau_{ps} = (\tau_{m4} + \tau_{m5} + \tau_{m6}) \quad [h] \quad (6.97)$$

- τ_5 [h] - timpul de descărcare în portul de destinație (debalastare);
- τ_6 [h] - timpul de încărcare în portul de destinație;
- τ_4 [h] - timpul afectat formalităților vamale în portul de destinație;

4.) Cota de amortisment

$$Ch_{v,amort} = (Preț_{navă} / D_{viața}) \cdot (\tau_{voiaj} / 365) \quad [€] \quad (6.98)$$

- $Preț_{navă} = 40.000.000$ [€] - prețul navei
- $D_{viața}$ - durata de viață a navei = 25 ani [88]
- τ_{voiaj} - durata voiajului;

5.) Cheltuieli pentru reparații revizii și materiale de întreținere

$$Ch_{v,rep} = 0,015 \cdot Preț_{navă} \cdot (\tau_{voiaj} / 365) \quad [€/voiaj] \quad (6.100)$$

$$Ch_{an,rep} = 0,015 \cdot Preț_{navă} \quad [€/an] \quad (6.101)$$

6.) Cheltuieli ambarcare apă

$$Ch_{v,apa} = V_{apa} \cdot Preț_{apa} \cdot 2 \quad [€/voiaj] \quad (6.102)$$

$$Ch_{an,apa} = Ch_{v,apa} \cdot N_v \quad [€/an] \quad (6.103)$$

- $V_{apa} = 28$ [m³] - volumul apei ambarcate;
- $Preț_{apa} = 1,5$ [€/m³] - prețul apei;
- $Ch_{v,apa} = f(N_v)$

7.) Cheltuieli pentru traversarea canalului Suez

Taxele pentru traversarea canalului Suez diferă în funcție de tipul navei, iar în cazul petrolierelor, diferă și de faptul dacă acestea navigă în balast sau cu marfă, precum și de deadweightul navei [130].

$$Ch_{an,Suez} = Ch_{v,Suez} \cdot N_v \quad [€/an] \quad (6.104)$$

8.) Cheltuieli combustibili și lubrifianți [88], se calculează cu următoarea relație:

$$Ch_{v,CL} = (C_{MP,p,m} + C_{MP,p,b}) + (C_{MP,m,m} + C_{MP,m,b}) + C_{MA,m} + C_{MP,u,EC,voiaj} + C_{MA,u,EC,voiaj} \quad [€/voiaj] \quad (6.105)$$

$$Ch_{an,CL} = Ch_{v,CL} \cdot N_v \quad [€/an] \quad (6.106)$$

- $(C_{MP,p,m} + C_{MP,p,b}) + (C_{MP,m,m} + C_{MP,m,b})$ - costul combustibilului pentru motorul de propulsie;

- $C_{MP,u,EC,voiaj}$ - costul uleiului pentru motorul de propulsie;
- $C_{MA,m}$ - costul combustibilului pentru motoarele auxiliare;
- $C_{MA,u,EC,voiaj}$ - costul uleiului pentru motoarele auxiliare;

Pentru a evalua cuantumul acestor cheltuieli trebuie să ținem seama de faptul că pe durata unui voiaj, nava are mai multe situații de navigație, iar motorul principal (MP) și mașinile auxiliare (DG) nu funcționează tot timpul la aceeași încărcare.

- Consumul de combustibil al motorului de propulsie(păcura):
 - consumul de combustibil al motorului de propulsie (păcura) [t/voiaj];
 - *încărcătură*

$$m_{MP,p,m,v} = 1.05 \cdot CO_{MP,p,m} \cdot \tau_{C,MP} \cdot 10^{-3} \quad (6.107)$$

- *balast*

$$m_{MP,p,b,v} = 1.05 \cdot CO_{MP,p,b} \cdot \tau_{C,MP} \cdot 10^{-3} \quad (6.108)$$

$$m_{MP,p,an} = (m_{MP,p,m,v} + m_{MP,p,b,v}) \cdot N_v \quad (6.109)$$

- $m_{MP,p,m,v}$ - consumul de combustibil al motorului de propulsie (plină încărcare);
- $m_{MP,p,b,v}$ - consumul de combustibil al motorului de propulsie (balast);
- $m_{MP,p,an}$ - consumul de combustibil al motorului de propulsie pe an (păcura).

- Consumul de combustibil al motorului de propulsie (motorina):

- *încărcătură*

$$\dot{m}_{MP,m,m} = 0,15 \cdot CO_{MP,p,m} \cdot \tau_c \cdot 10^{-3} \quad (6.110)$$

- *balast*

$$\dot{m}_{MP,m,b} = 0,15 \cdot CO_{MP,p,b} \cdot \tau_c \cdot 10^{-3} \quad (6.111)$$

$$m_{MP,m,an} = (\dot{m}_{MP,m,m} + \dot{m}_{MP,m,b}) \cdot N_v \quad (6.112)$$

- $m_{MP,m,an}$ - consumul de combustibil al motorului de propulsie(motorina) [t/an];

Pentru motoarele auxiliare

- a.) În marș

$$P_{MA,1} = \mu_{MA,1} \cdot P_{e,MA} \cdot 2 \text{ [kW]} \quad (6.113)$$

- $\mu_{MA,1} = 0,47$ - coeficientul de încărcare a motoarelor auxiliare (în marș)

$$\dot{m}_{MA,C,1} = P_{MA,1} \cdot CS_{MA,C} \text{ [kg/h]} \quad (6.114)$$

- $\dot{m}_{MA,C,1}$ - consumul orar de combustibil a motoarelor auxiliare (în marș)

- $CS_{MA,C}$ -consumul specific de combustibil al motoarelor auxiliare;

$$\tau_{MA,m,1} = \tau_{m,7} + \tau_{b,3} \text{ [h]} \quad (6.115)$$

- $\tau_{MA,m,1}$ - numărul orelor de funcționare a motoarelor auxiliare (în marș)

$$CC_{MA,1} = \dot{m}_{MA,C,1} \cdot \tau_{MA,m,1} \cdot 10^{-3} \text{ [t]} \quad (6.116)$$

- $CC_{MA,1}$ - consumul de combustibil a motoarelor auxiliare (în marș)

b.) Marș încărcare marfă

$$P_{MA,2} = \mu_{MA,2} \cdot P_{e,MA} \cdot 2 \quad [\text{kW}] \quad (6.117)$$

- $\mu_{MA,2} = 0,495$ - coeficientul de încărcare a motoarelor auxiliare

$$\dot{m}_{MA,C,2} = P_{MA,2} \cdot CS_{MA,C} \quad [\text{kg/h}] \quad (6.118)$$

- $\dot{m}_{MA,C,2}$ - consumul orar de combustibil a motoarelor auxiliare

$$\tau_{MA,m,2} = \tau_{m,i} + \tau_{b,i} \quad [\text{h}] \quad (6.119)$$

- $\tau_{MA,m,2}$ - numărul orelor de funcționare a motoarelor auxiliare

- $\tau_{m,i}$ - timp de funcționare a motoarelor auxiliare (plină încărcătură)

- $\tau_{b,i}$ - timp de funcționare a motoarelor auxiliare (balast)

$$CC_{MA,2} = \dot{m}_{MA,C,2} \cdot \tau_{MA,m,2} \cdot 10^{-3} \quad [\text{t}] \quad (6.120)$$

- $CC_{MA,2}$ - consumul de combustibil a motoarelor auxiliare

c.) Manevra prin stâmtori

$$P_{MA,3} = \mu_{MA,3} \cdot P_{e,MA} \cdot 2 \quad [\text{kW}] \quad (6.121)$$

- $\mu_{MA,3} = 0,625$ - coeficientul de încărcare a motoarelor auxiliare

$$\dot{m}_{MA,C,3} = P_{MA,3} \cdot CS_{MA,C} \quad [\text{kg/h}] \quad (6.122)$$

- $\dot{m}_{MA,C,3}$ - consumul orar de combustibil a motoarelor auxiliare

$$\tau_{MA,m,3} = \tau_{m,s} + \tau_{b,s} \quad [\text{h}] \quad (6.123)$$

- $\tau_{MA,m,3}$ - numărul orelor de funcționare a motoarelor auxiliare

- $\tau_{m,s}$ - timp de funcționare a motoarelor auxiliare (plină încărcătură)

- $\tau_{b,s}$ - timp de funcționare a motoarelor auxiliare (balast)

$$CC_{MA,3} = \dot{m}_{MA,C,3} \cdot \tau_{MA,m,3} \cdot 10^{-3} \quad [\text{t}] \quad (6.124)$$

- $CC_{MA,3}$ - consumul de combustibil a motoarelor auxiliare

d.) Staționare cu încărcare

$$P_{MA,4} = \mu_{MA,4} \cdot P_{e,MA} \cdot 2 \quad [\text{kW}] \quad (6.125)$$

- $\mu_{MA,4} = 0,420$ - coeficientul de încărcare a motoarelor auxiliare

$$\dot{m}_{MA,C,4} = P_{MA,4} \cdot CS_{MA,C} \quad [\text{kg/h}] \quad (6.126)$$

- $\dot{m}_{MA,C,4}$ - consumul orar de combustibil a motoarelor auxiliare

$$\tau_{MA,m,4} = \tau_{m,6} + \tau_{b,2} \quad [\text{h}] \quad (6.127)$$

- $\tau_{MA,m,4}$ - numărul orelor de funcționare a motoarelor auxiliare

$$CC_{MA,4} = \dot{m}_{MA,C,4} \cdot \tau_{MA,m,4} \cdot 10^{-3} \quad [\text{t}] \quad (6.128)$$

- $CC_{MA,4}$ - consumul de combustibil a motoarelor auxiliare

e.) Staționare cu descărcare

$$P_{MA,5} = \mu_{MA,5} \cdot P_{e,MA} \cdot 2 \quad [\text{kW}] \quad (6.129)$$

- $\mu_{MA,5} = 0,8$ - coeficientul de încărcare a motoarelor auxiliare

$$\dot{m}_{MA,C,5} = P_{MA,5} \cdot CS_{MA,C} \quad [\text{kg/h}] \quad (6.130)$$

- $\dot{m}_{MA,C,5}$ - consumul orar de combustibil a motoarelor auxiliare

$$\tau_{MA,m,5} = \tau_{m,5} + \tau_{b,8} \quad [\text{h}] \quad (6.131)$$

- $\tau_{MA,m,5}$ - numărul orelor de funcționare a motoarelor auxiliare

$$CC_{MA,5} = \dot{m}_{MA,C,5} \cdot \tau_{MA,m,5} \cdot 10^{-3} \quad [\text{t}] \quad (6.132)$$

$CC_{MA,5}$ - consumul de combustibil al motoarelor auxiliare

$CS_{MA,C}$ - consumul specific de combustibil al motoarelor auxiliare = 0,180 [kg/kW.h];

▪ Consumul de combustibil a motoarelor auxiliare pe voiaj:

$$CC_{MA,total} = CC_{MA,1} + CC_{MA,2} + CC_{MA,3} + CC_{MA,4} + CC_{MA,5} \quad (6.133)$$

▪ Consumul de combustibil a motoarelor auxiliare anual:

$$CC_{MA,total,an} = CC_{MA,total} \cdot N_v \quad (6.134)$$

În tabelul 6.10. sunt prezentate rezultatele obținute pentru consumul de combustibil al mașinilor auxiliare pentru mai multe situații de navigație.

Tabel 6.10. Consumul de combustibil al mașinilor auxiliare

Situații de navigație	Parametri	U.M.	Rezultate		Voiaj
			Balast	încărcătură	
a.) în marș	$P_{MA,1}$	[kW]	721,92	721,92	
	$\mu_{MA,1}$		0,470	0,470	
	$\tau_{MA,m,1}$	[h]	306,667	306,667	613,334
	$\dot{m}_{MA,C,1}$	[kg/h]	129,946	129,946	
	$CC_{MA,1}$	[t]	39,850	39,850	79,700
b.) în marș cu încălzire marfă	$P_{MA,2}$	[kW]	760,32	760,32	
	$\mu_{MA,2}$		0,495	0,495	
	$\tau_{MA,m,2}$	[h]	10,000	10,000	20
	$\dot{m}_{MA,C,2}$	[kg/h]	136,858	136,858	
	$CC_{MA,2}$	[t]	1,369	1,369	2,738
c.) în manevră, prin stâmtori	$P_{MA,3}$	[kW]	960,000	960,000	
	$\mu_{MA,3}$		0,625	0,625	
	$\tau_{MA,m,3}$	[h]	7,5	7,5	15,000
	$\dot{m}_{MA,C,3}$	[kg/h]	172,800	172,800	
	$CC_{MA,3}$	[t]	1,296	1,296	2,592
d.) staționare cu încărcare	$P_{MA,4}$	[kW]	645,120	645,120	
	$\mu_{MA,4}$		0,420	0,420	
	$\tau_{MA,m,4}$	[h]	9,870	11,000	20,870

	$\dot{m}_{MA,C,4}$	[kg/h]	116,122	116,122	
	$CC_{MA,4}$	[t]	1,146	1,277	2,423
e.) staționare cu descărcare	$P_{MA,5}$	[kW]	1228,8	1228,8	
	$\mu_{MA,5}$		0,800	0,800	
	$\tau_{MA,m,5}$	[h]	0,000	25,870	25,870
	$\dot{m}_{MA,C,5}$	[kg/h]	221,184	221,184	
	$CC_{MA,5}$	[t]	0	5,722	5,722
Consum combustibil pentru motoarele auxiliare pe voiaj	$CC_{MA,total}$	[t/voiaj]	43,661	49,514	93,175
Consum combustibil pentru motoarele auxiliare anual	$CC_{MA,total,an}$	[t/an]			951,969

În tabelul 6.11. sunt prezentate rezultatele obținute pentru consumul de ulei pentru motorul principal pe voiaj și anual.

Tabel 6.11. Consum ulei motor principal MP

Nr. Crt.	Denumirea parametrilor	Notație	U.M.	Rezultate		Voiaj
				balast	încărcătură	
1.	Puterea motorului de propulsie	P_{MP}	[kW]	8102,370	8571,644	
2.	Numărul de ore de funcționare a motorului principal	$\tau_{C,MP}$	[h]	306,667	306,667	
3.	Consum specific ulei pentru ungerea generală a MP	$CS_{MP,u,UG}$	[g/kW.h]	0,176	0,176	
4.	Consum specific ulei pentru ungerea cilindrilor MP	$CS_{MP,u,UC}$	[g/kW.h]	1,100	1,100	
5.	Consumul orar de ulei pentru ungerea generală	$\dot{m}_{MP,u,UG}$	[kg/h]	1.283	1,358	
6.	Consumul orar de ulei ungerea cilindrilor motorului	$\dot{m}_{MP,u,UC}$	[kg/h]	8,021	8,486	
7.	Consumul orar de ulei motor principal	$\dot{m}_{MP,u}$	[kg/h]	9,305	9,844	
8.	Consum ulei - pe voiaj	$C_{MP,u,v}$	[t/voiaj]	2,853	3,019	5,872
9.	Consum ulei anual	$C_{MP,u,an}$	[t/an]			59,994

În tabelul 6.12. sunt prezentate rezultatele obținute al consumului de ulei pentru motoarele auxiliare în diferite situații de navigație.

Tabelul 6.12. Consumul de ulei pentru motoarele auxiliare

Situații de navigație	Parametri	U.M.	Rezultate		Voiaj
			balast	încărcătură	
a.) în marș	$P_{MA,1}$	[kW]	721,92	721,92	
	$\tau_{MA,m,1}$	[h]	306,667	306,667	
	$\dot{m}_{MA,u,1}$	[kg/h]	0,722	0,722	
	$CU_{MA,1}$	[kg/voiaj]	221,389	221,389	
b.) în marș cu înălțare marfă	$P_{MA,2}$	[kW]	760,32	760,32	
	$\tau_{MA,m,2}$	[h]	10,000	10,000	
	$\dot{m}_{MA,u,2}$	[kg/h]	0,760	0,760	

	$CU_{MA,2}$	[kg/voiaj]	7,603	7,603	
c.) în manevră, prin stâmtori	$P_{MA,3}$	[kW]	960,000	960,000	
	$\tau_{MA,m,3}$	[h]	7,5	7,5	
	$\dot{m}_{MA,u,3}$	[kg/h]	0,960	0,960	
	$CU_{MA,3}$	[kg/voiaj]	7,2	7,2	
d.) staționare cu încărcare	$P_{MA,4}$	[kW]	645,120	645,120	
	$\tau_{MA,m,4}$	[h]	9,870	11,000	
	$\dot{m}_{MA,u,4}$	[kg/h]	0,645	0,645	
	$CU_{MA,4}$	[kg/voiaj]	6,367	7,096	
e.) staționare cu descărcare	$P_{MA,5}$	[kW]	1228,8	1228,8	
	$\tau_{MA,m,5}$	[h]	0	25,870	
	$\dot{m}_{MA,u,5}$	[kg/h]	1,229	1,229	
	$CU_{MA,5}$	[kg/voiaj]	0,000	31,789	
Consumul ulei pe voiaj pentru M.A	$CU_{MA,voiaj}$	[t/voiaj]	0,243	0,275	0,518
Consumul ulei pentru M.A anual	$CU_{MA,an}$	[t/an]	5,289		

În conformitate cu consumurile de combustibil și ulei analizate anterior, vom avea următoarele cheltuieli:

- ❖ Cost combustibil greu motor principal:
- ❖ Cost combustibil motorină motor principal:
- ❖ Cost motorină motoare auxiliare:
- ❖ Cost ulei motor principal:
- ❖ Cost ulei motorare auxiliare.

În tabelul 6.13. sunt prezentate cheltuielile pentru combustibili și lubrifianților

Tabel 6.13. Cost combustibili și lubrifianți

Nr. Crt.	Denumirea parametrilor	U.M.	Notație	Rezultate		Voiaj
				balast	încărcătură	
1.	Cost combustibil greu motor principal	[€/voiaj]	$C_{MP,p}$	107428,367	115635,069	
2.	Cost combustibil motorină motor principal	[€/voiaj]	$C_{MP,m}$	23749,490	25563,768	
3.	Cost combustibil motorină motoare auxiliare	[€/voiaj]	$C_{MA,m}$	17634,548	19998,675	
4.	Costul uleiului pentru motorul de propulsie	[€/voiaj]	$C_{MP,u,EC}$	17120,761	18112,363	
5.	Costul uleiului pentru motoarele auxiliare	[€/voiaj]	$C_{MA,u,EC}$	1455,356	1650,464	
6.	Cheltuieli combustibili și lubrifianți pe voiaj	[€/voiaj]	$Ch_{v,CL}$	167388,522	180960,340	348348,862
7.	Cheltuieli combustibili și lubrifianți	[€/an]	$Ch_{an,CL}$	3559080,323		

9.) Cheltuieli pentru asigurarea navei

Navele nu pot fi concepute cu un grad absolut de securitate datorită diversității și complexității situațiilor de navigație [76].

Apariția situațiilor periculoase de navigație poate avea urmări nedorite, atât pentru structura navei, cât și pentru ansamblul performanțelor sale hidrodinamice.

Integritatea structurală și siguranța hidrodinamică constituie principalele componente ale conceptului de siguranță globală a navei.

Riscurile principale la care este supusă nava sunt: inundarea, incendiul și explozia, pierderea propulsiei, pierderea capacității de guvernare, ruperea structurală și răsturnarea navei. Fiecare dintre aceste riscuri trebuie studiat în mod individual, în scopul evitării consecințelor negative asupra siguranței globale a navei [125].

$$Ch_{an,asig} = 0,5\% \cdot Pr_{et_{nava}} \text{ [€/an]} \quad (6.169)$$

10.) Cheltuieli comune (pentru protecția muncii, uniforme, deplasări, servicii sociale, pregătiri cadre). Dacă pentru fiecare membru al echipajului admit o sumă anuală de 300[€], atunci volumul acestor cheltuieli va fi de:

$$Ch_{an,com} = Ch_{v,com} \cdot 300 \text{ [€/an]} \quad (6.171)$$

11.) Cheltuieli diferite

$$C_{an,div} = 0,0004 \cdot Pr_{et_{nava}} \text{ [€/an]} \quad (6.173)$$

12.) Alte taxe [Ch_{alte}]

Tarife port (valabile pentru navele sosite în port începând cu data de 01.01.2012) [130]

Tariful de acces în port - se aplica la TB-ul navei, pentru fiecare intrare în port, în funcție de tipul navei și diferențiat pe grupe de TB.

$$TB = (0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} \cdot V) \cdot V = 16933,401 \text{ [130]}$$

$$V = 0,9 \cdot L \cdot B \cdot T_j = 57367,649$$

- L = 179,96 [m] - lungimea navei;
- B = 32,20 [m] - lățimea navei;
- T_j = 10,5 [m] - pescaj;

$$Ch_{an,alte} = Ch_{v,alte} \cdot N_v \text{ [€/an]} \quad (6.175)$$

◇ Costul specific al transportului [88]:

$$CS_{T,v} = \frac{Ch_{v,totale}}{G \cdot 2R} \text{ [€/tMm]} \quad (6.176)$$

- G[t] - cantitatea de produse transportate într-o cursă;
- $Ch_{v,totale}$ [€/voiaj] - costul total al transportului pe voiaj;
- R[Mm]- distanța parcursă între extremele rutei;

◇ Costul specific al transportului (anual):

$$CS_{T,an} = \frac{Ch_{an,totale}}{G \cdot 2R \cdot N_v} \text{ [€/tMm]} \quad (6.177)$$

- $Ch_{an,totale}$ [€/an] - costul total al transportului pe an;
- $CS_{T,an}$ [€/tmM] - costul specific al transportului anual;
- $Ch_{an,totale} = f(v, R_t)$;

- R_t [kN] - rezistența la înaintere a navei;
 - v [Nd] – viteza de serviciu a navei;
 - $N_v = f(v, R_t, R, G)$ - numărul de voiaje anuale;
- Consider R și G constante; $N_v = f(v)$;
- ✧ Costul specific al transportului se calculează:

$$CS_{T,an} = Ch_{an,totale} \cdot \frac{1}{G \cdot 2R \cdot N_v} \quad (6.178)$$

Pentru nave costul specific, exprimat în lei/tonă milă, sau în lei/pasager milă, reprezintă indicele prin care se poate aprecia și compara economicitatea unei nave în funcție de regimurile de funcționare ale motorului de propulsie sau față de o altă navă de același tip.

Costul specific al transportului a fost calculat pentru regimurile de funcționare ale navei pentru cursa balastată și regimurile de funcționare a navei la plină încărcare. Pentru calcul a fost folosită aplicația software EES (Engineering Equation Solver) (anexe).

În tabelul 6.15. sunt prezentate rezultatele obținute pentru costul specific al transportului la regimul de funcționare al navei cu viteza $v_b=15$ Nd, $n_b=119,5$ [rot/min] (balast) și $v_m=15$ Nd, $n_m=123,120$ [rot/min](plină încărcătură).

Tabel 6.15. Rezultate obținute pentru regimul de funcționare al navei cu viteza $v=15$ Nd

Nr. Crt.	Denumirea parametrilor	Notație	U.M.	Rezultate		voiaj	anual
				balast	încărcătură		
1.	Viteza de serviciu a navei	v	[Nd]	15	15		
2.	Turația motorului	n	[rot/min]	119,500	123,12		
3.	Durata voiajului	τ_{voiaj}	[zile]	14,903	15,439	30,342	
4.	Fondul anual pentru retribuție	Ch_{sal}	[€]	33863,582	35082,103	68945,685	704413,000
5.	Contribuția pentru asigurări sociale	Ch_{CAS}	[€]	10159,075	10524,631	20683,705	211323,900
6.	Cheltuieli portuare și de agentie	Ch_{P_s}	[€]	0	995,313	995,313	10169,044
7.	Timpul în care se plătesc taxele portuale și de agenție	τ_{ps}	[h]	0	44,870	44,870	458,433
8.	Cota anuală de amortisment	Ch_{amort}	[€]	65327,245	67677,930	133005,175	1600000,000
9.	Cheltuieli pentru reparații revizii și materiale de întreținere	Ch_{rep}	[€]	24497,717	25379,224	49876,941	600000,000
10.	Cheltuieli ambarcare apă	Ch_{apa}	[€]	42,000	42,000	84,000	858,222
11.	Cheltuieli pentru traversarea canalului Suez	Ch_{Suez}	[€]	107300,000	129500,000	236800,000	2419368,217
12.	Cheltuieli combustibili și lubrifianți	Ch_{CL}	[€]	167388,522	180960,340	348348,862	3559054,753
13.	Cheltuieli pentru asigurarea navei	Ch_{asig}	[€]	8165,906	8459,741	16625,647	200000,000
14.	Cheltuieli comune	Ch_{com}	[€]	379,715	393,378	773,093	9300,000
15.	Cheltuieli diferite	Ch_{div}	[€]	653,272	676,779	1330,052	16000,000
16.	Alte taxe plătite	Ch_{alte}	[€]	13156,248	13156,248	26312,496	268832,843
17.	Cheltuielile totale de întreținere și exploatare (Costul total al transportului)	Ch_{totale}	[€]	430933,282	472847,687	903780,969	9599319,979
18.	Numărul de voiaje efectuate anual	N_v	[voiaje]				10,217
19.	Costul specific al transportului	CS_T	[€/tmM]			0,00278111	0,00289118

În figura 6.12. este reprezentat costul specific al transportului (pe voiaj și anual), cheltuielile totale de întreținere și exploatare anuale pentru regimul de funcționare al navei cu viteza $v_b=15$ Nd, $n_b=119,5$ [rot/min] (balast) și $v_m=15$ Nd, $n_m=123,120$ [rot/min](plină încărcătură).

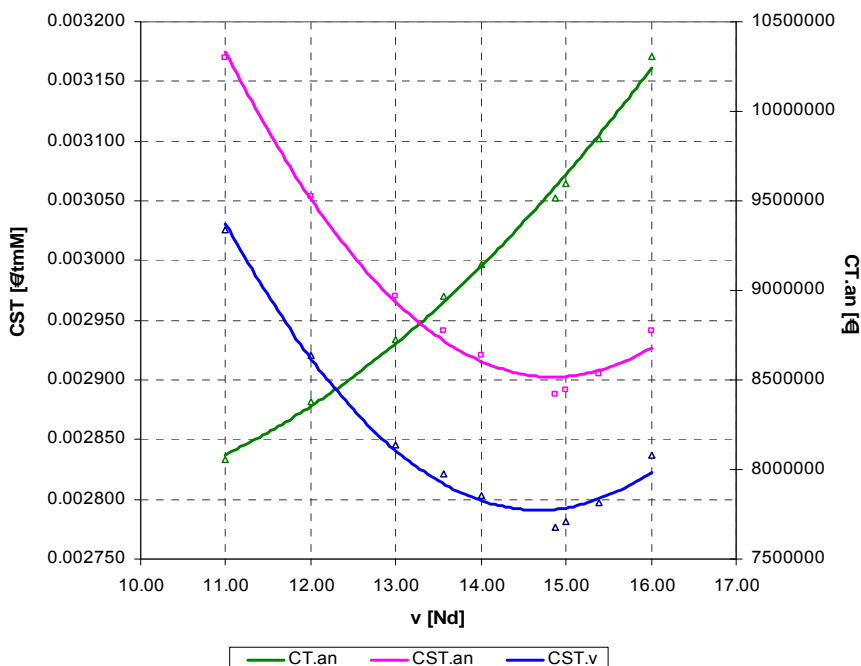


Figura 6.12. Variația costului specific al transportului și cheltuielile totale de întreținere și exploatare anuale pentru regimul de funcționare a navei cu viteza $v=15$ Nd

În tabelul 6.17. sunt prezentate rezultatele obținute pentru: costul specific al transportului anual, cheltuielile totale de întreținere și exploatare, numărul de voiaje efectuate de navă anual.

Tabel 6.17. Costul specific al transportului anual

Nr. Crt.	Balast	Încărcătură		$Ch_{an, totale}$ [€/an]	$CS_{T.an}$ [€/tmM]	N_v [voiaje/an]
		v_m [Nd]	n_m [rot/min]			
1.	$v_b=11$ $n_b=80,865$	11,00	84,800	7007095,995	0,002757	7,821
		12,00	94,380	7336775,805	0,002675	8,440
		13,00	103,960	7701031,109	0,002620	9,045
		13,57	109,420	7946967,295	0,002606	9,384
		14,00	113,540	8126775,009	0,002595	9,637
		14,87	121,870	8511407,357	0,002583	10,140
		15,00	123,120	8592641,262	0,002588	10,220
		15,38	127,000	8842954,751	0,002609	10,430
		16,00	132,700	9307849,029	0,002657	10,780
2.	$v_b=12$ $n_b=90,553$	11,00	84,800	7187547,143	0,002828	7,821
		12,00	94,380	7517795,320	0,002741	8,440
		13,00	103,960	7880329,925	0,002681	9,045
		13,57	109,420	8123837,634	0,002664	9,384
		14,00	113,540	8305282,206	0,002652	9,637
		14,87	121,870	8686051,024	0,002636	10,140
		15,00	123,120	8768611,118	0,002641	10,220
		15,38	127,000	9015814,350	0,002660	10,430

		16,00	132,700	9479503,000	0,002706	10,780
3.	$v_b=13$ $n_b=100,5$	11,00	84,800	7423912,732	0,002921	7,821
		12,00	94,380	7748183,794	0,002825	8,440
		13,00	103,960	8109597,263	0,002759	9,045
		13,57	109,420	8352549,279	0,002739	9,384
		14,00	113,540	8530764,981	0,002724	9,637
		14,87	121,870	8910122,143	0,002704	10,140
		15,00	123,120	8991063,577	0,002708	10,220
		15,38	127,000	9239515,007	0,002726	10,430
		16,00	132,700	9703704,106	0,002770	10,780
4.	$v_b=13,570$ $n_b=105,500$	11,00	84,800	7571323,529	0,002979	7,821
		12,00	94,380	7896290,67	0,002879	8,440
		13,00	103,960	8253624,181	0,002808	9,045
		13,57	109,420	8495875,243	0,002786	9,384
		14,00	113,540	8674823,42	0,002770	9,637
		14,87	121,870	9051814,174	0,002747	10,140
		15,00	123,120	9133831,573	0,002751	10,220
		15,38	127,000	9381869,97	0,002768	10,430
		16,00	132,700	9843829,797	0,002810	10,780
5.	$v_b=14$ $n_b=110$	11,00	84,800	7721275,892	0,003038	7,821
		12,00	94,380	8044397,546	0,002933	8,440
		13,00	103,960	8400590,423	0,002858	9,045
		13,57	109,420	8642250,696	0,002834	9,384
		14,00	113,540	8818881,86	0,002816	9,637
		14,87	121,870	9193506,205	0,002790	10,140
		15,00	123,120	9276599,57	0,002794	10,220
		15,38	127,000	9524224,933	0,002810	10,430
		16,00	132,700	9983955,488	0,002850	10,780
6.	$v_b=14,870$ $n_b=118,200$	11,00	84,800	8008472,789	0,003151	7,821
		12,00	94,380	8329640,418	0,003037	8,440
		13,00	103,960	8682765,609	0,002954	9,045
		13,57	109,420	8922803,648	0,002926	9,384
		14,00	113,540	9097603,623	0,002905	9,637
		14,87	121,870	9470299,940	0,002874	10,140
		15,00	123,120	9552175,004	0,002877	10,220
		15,38	127,000	9798766,649	0,002891	10,430
		16,00	132,700	10257200,586	0,002928	10,780
7.	$v_b=15$ $n_b=119,500$	11,00	84,800	8056762,533	0,003170	7,821
		12,00	94,380	8376266,657	0,003054	8,440
		13,00	103,960	8729794,807	0,002970	9,045
		13,57	109,420	8968545,977	0,002941	9,384
		14,00	113,540	9144579,201	0,002920	9,637
		14,87	121,870	9516432,229	0,002888	10,140
		15,00	123,120	9599319,979	0,002891	10,220

		15,38	127,000	9846218,303	0,002905	10,430
		16,00	132,700	10302741,44	0,002941	10,780
8.	$v_b=15,38$ $n_b=123,300$	11,00	84,800	8214339,592	0,003232	7,821
		12,00	94,380	8532601,693	0,003111	8,440
		13,00	103,960	8882639,699	0,003022	9,045
		13,57	109,420	9121020,407	0,002991	9,384
		14,00	113,540	9298032,756	0,002969	9,637
		14,87	121,870	9668009,751	0,002934	10,140
		15,00	123,120	9751386,162	0,002937	10,220
		15,38	127,000	9995352,074	0,002949	10,430
		16,00	132,700	10453376,55	0,002984	10,780
9.	$v_b=16$ $n_b=129,500$	11,00	84,800	8532035,276	0,003357	7,821
		12,00	94,380	8845271,765	0,003225	8,440
		13,00	103,960	9194208,133	0,003128	9,045
		13,57	109,420	9432068,244	0,003093	9,384
		14,00	113,540	9604939,866	0,003067	9,637
		14,87	121,870	9974459,958	0,003027	10,140
		15,00	123,120	10053523,08	0,003028	10,220
		15,38	127,000	10297009,02	0,003038	10,430
		16,00	132,700	10754646,79	0,003070	10,780

6.4. Concluzii

Valoarea minimă a costului $CS_{T,an} = 0,002472$ [€/tmM], a fost obținută la regimul de funcționare a navei cu viteza $v_b=11$ Nd, turația motorului $n_b=80.865$ [rot/min] (balast) și $v_m=14,87$ Nd, $n_m=121,87$ [rot/min](plină încărcătură).

În figura 6.13. este reprezentat costul specific al transportului pe voiaj.

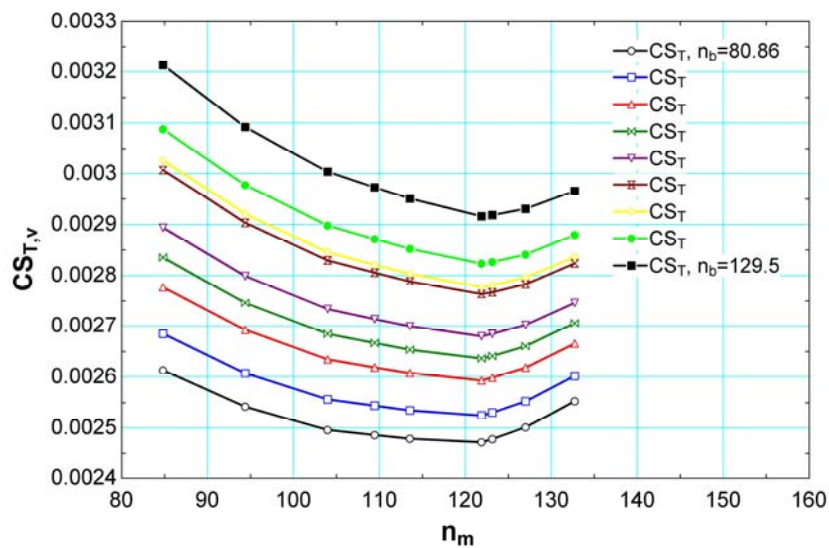


Figura 6.13. Costul specific al transportului pe voiaj

Pentru regimul de funcționare a navei în balast cu viteză $v_b=11$ Nd, turația motorului $n_b=80,865$ [rot/min] și regimul pentru plină încărcătură cu viteză $v_m=14$ Nd, turația $n_m=113,54$ [rot/min] a rezultat costul specific minim al transportului $CS_{T.an} = 0,002595$ [€/tmM], nava efectuând un număr de 9,637 voiaje an. (anexa 2).

Costul specific minim al transportului $CS_{T.an} = 0,002583$ [€/tmM] a rezultat la regimul de funcționare a navei cu viteza $v_b=11$ Nd, turația motorului $n_b=80.865$ [rot/min] (balast) și $v_m=14,87$ Nd, $n_m=121,87$ [rot/min] (plină încărcătură); nava efectuând un număr de 10,140 voiaje/an; costul total al transportului este $Ch_{an,total} = 8511407,357$ [€/an] (figura 6.14).

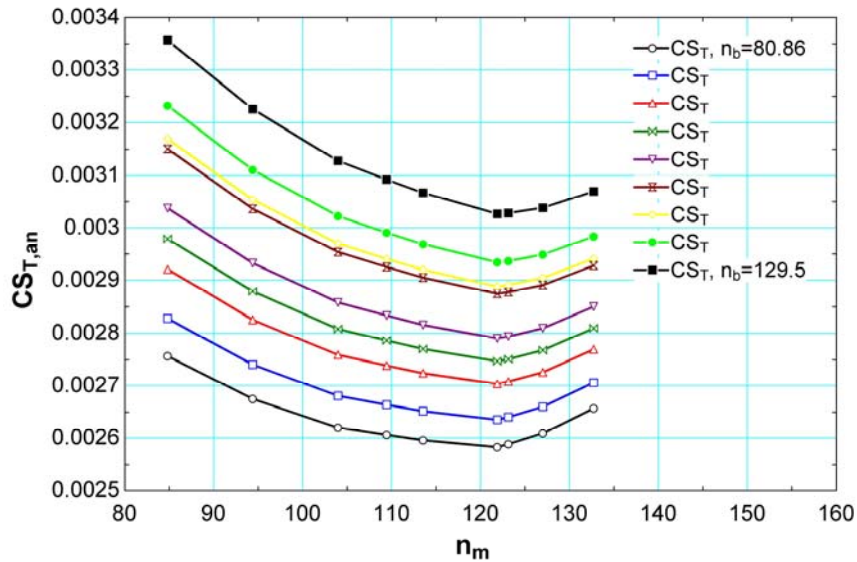


Figura 6.14. Costul specific al transportului anual

În figura 6.15. este prezentat costul specific al transportului anual pentru diferite regimuri de funcționare ale navei în funcție de viteza navei (rezultatele în tabelul 6.18).

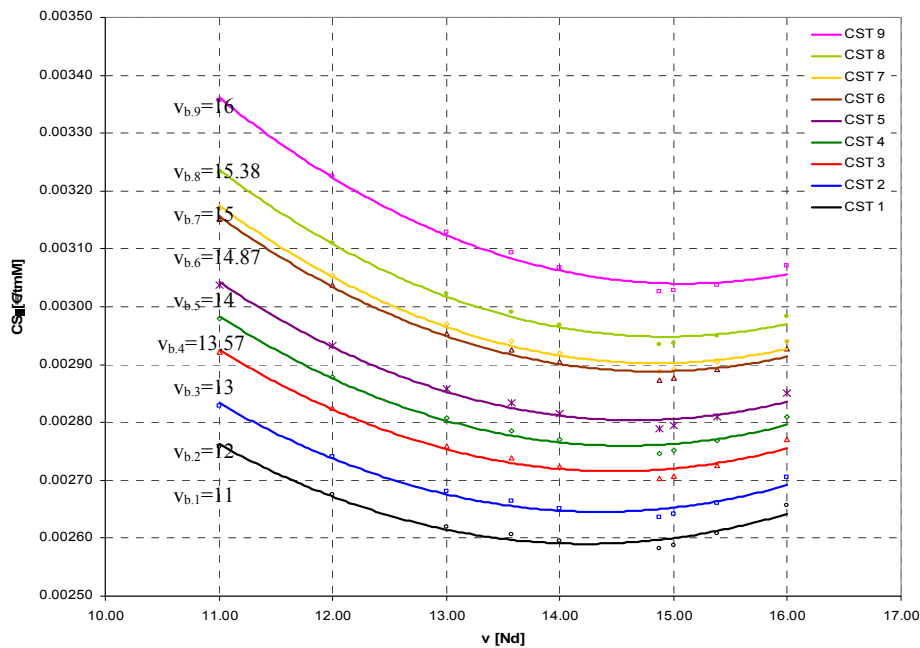


Figura 6.15. Variația costului specific al transportului pentru diferite regimuri de funcționare ale navei în funcție de viteza navei

Cheltuielile de întreținere și exploatare anuale reprezintă: $Ch_{sal} = 8,27\%$; $Ch_{CAS} = 2,48\%$; $Ch_{Ps} = 0,12\%$; $Ch_{amort} = 18,80\%$; $Ch_{rep} = 7,05\%$; $Ch_{apa} = 0,01\%$; $Ch_{Suez} = 28,21\%$; $Ch_{CL} = 29,28\%$; $Ch_{asig} = 2,35\%$; $Ch_{com} = 0,109\%$; $Ch_{div} = 0,188\%$; $Ch_{alte} = 3,13\%$, din costul total al transportului.

Cheltuielile combustibililor și lubrifianților reprezintă cea mai mare pondere (29.28%) din costul total al transportului (figura 6.16).

În figura 6.16. sunt prezentate cheltuielile de întreținere și exploatare anuale.

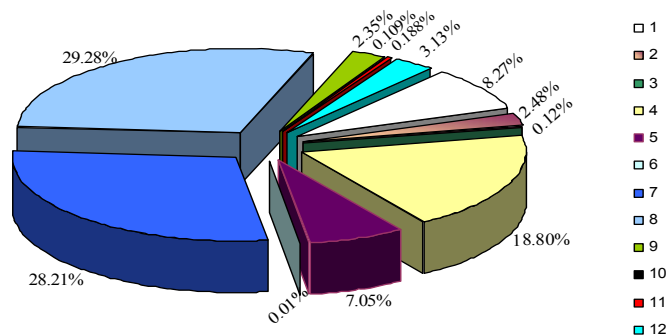


Figura 6.16. Ponderea costurilor

1- Ch_{sal} ; 2- Ch_{CAS} ; 3- Ch_{Ps} ; 4- Ch_{amort} ; 5- Ch_{rep} ; 6- Ch_{apa} ; 7- Ch_{Suez} ; 8- Ch_{CL} ;
9- Ch_{asig} ; 10- Ch_{com} ; 11- Ch_{div} ; 12- Ch_{alte}

Pe baza calculelor efectuate pentru durata voiajului, numărul de voiaje efectuate de navă pe an (capitolul 6), rezultă ponderea timpilor necesari pentru efectuarea voiajului: timpul de marș 85.47%, timpul afectat formalităților vamale 8.39%, timpul de staționare (încărcare/decărcare marfă) 5.44%, timp manevre port 0.70% (figura 6.17).

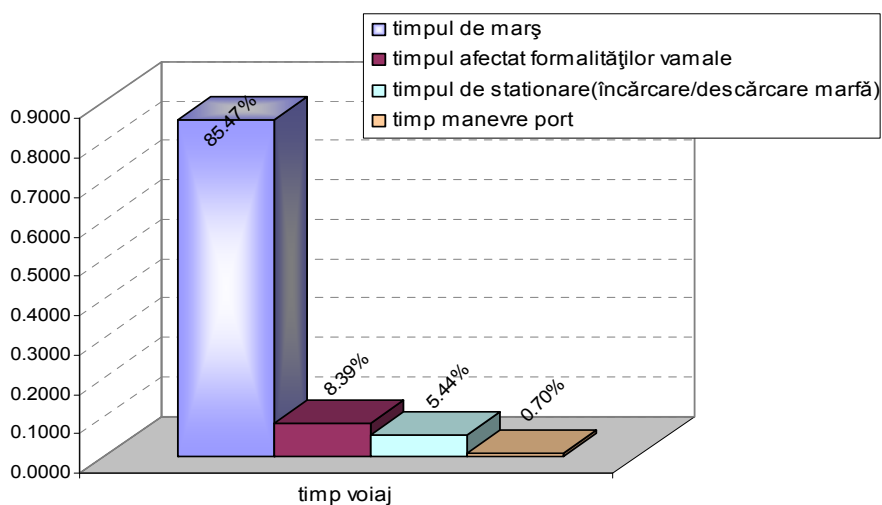


Figura 6.17. Timpii necesari pentru efectuarea voiajului

Capitolul 7

CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

7.1. Concluzii

În exploatare, nava trebuie să realizeze parametrii pentru care a fost proiectată și construită, îndeplinind astfel toate condițiile de competitivitate sub aspect tehnic și economic.

Motoarele de propulsie funcționează în diferite condiții de exploatare determinate de încărcătură, starea tehnică navei și a instalației de propulsie precum și de factori externi, care au o influență asupra funcționării.

Condițiile de exploatare, reliefate prin indicatorii de putere, economicitate, poluare și altele, caracterizează regimul de funcționare al motorului naval de propulsie.

A fost calculat costul specific al transportului pentru navigația la regimuri diferite de funcționare pe întreaga cursă.

Regimul de funcționare a navei încărcate (conform pașaportului navei) este la viteza de $v_m = 15.38$ Nd, și turația $n_m = 127$ [rot/min], puterea motorului la flansa de cuplare $P_{MP,m} = 9480$ kW, pentru care a rezultat costul specific minim al transportului $CS_{T,an} = 0.002609$ [€/tmM]; iar din calculul de optimizare a rezultat costul specific minim al transportului $CS_{T,an} = 0.002583$ [€/tmM] la viteza de $v_m = 14.87$ Nd, turația motorului $n_m = 121.87$ [rot/min], puterea motorului $P_{MP,m} = 8090.123$ kW, nava efectuând un număr de voiaje 10.140 voiaje pe an.

Pentru celelalte regimuri de funcționare analizate pentru cursa balastată ($v_b = 13$ Nd, $v_b = 14$ Nd, $v_b = 14.87$ Nd, $v_b = 15$ Nd, $v_b = 15.38$ Nd, $v_b = 16$ Nd), a rezultat costul specific minim al transportului $CS_{T,an} = 0.002583$ [€/tmM] la regimul de funcționare a navei cu plină încărcătură cu $v_m = 14.87$ Nd, $n_m = 121.87$ [rot/min].

Cheltuielile totale de întreținere și exploatare variază în funcție de viteza navei, de consumul și costul combustibililor și lubrifianților.

Cheltuielile combustibililor și lubrifianților reprezintă 29.28% din cheltuielile totale de întreținere și exploatare ale navei (figura 6.16).

În special consumul de combustibil este cel care determină în principal costul specific, a cărui minim înseamnă de fapt consumul specific de combustibil minim al instalației de propulsie navală, pentru care trebuie găsite mărimile de comandă optime care asigură astfel regimurile optime de funcționare.

Dacă se alege alt traseu fără Canalul Suez unde taxele sunt mari, crește beneficiul navei.

Ținând cont atât de rezultatele obținute în urma analizei consumului de combustibil, cât și de rezultatele obținute în urma efectuării calculului economic, dintre regimurile de funcționare analizate, cel mai rentabil este ca nava să funcționeze cu viteza $v_m = 14.87$ [Nd] (plină încărcătură) și $v_b = 11$ Nd (navă balastată); petrolierul transportând o cantitate mare de marfă cu costuri mici.

Pe baza calculelor efectuate pentru durata voiajului a rezultat că ponderea timpilor necesari pentru efectuarea voiajului este: timpul de marș: 85.47%, timpul afectat formalităților vamale: 8.39%, timpul de staționare (încărcare/decărcare marfă): 5.44%, timp manevre port: 0.7% (figura 6.17).

Dacă timpul de funcționare a navei crește, beneficiul anual va fi mai mare.

Optimizarea făcută este fără restricții, dar dacă sunt restricții în funcție de ele se poate stabili care este regimul de funcționare optim.

Punctul de optimizare "O" (prezentat în capitolul 2, figura 2.7) este plasat pe linia 1 a diagramei de încărcare iar puterea optimizată poate fi de la 85% la 100% din puterea din punctul MCR (puterea nominală maximă continuă).

Făcând o comparație cu punctul de optimizat "O", punctul optim găsit în urma calculelor este plasat pe linia 1 a diagramei de încărcare a motorului, puterea optimizată este la aproximativ 85.34% din puterea din punctul MCR ($P_{MP,m} = 9480$ kW la MCR).

Trebuie să ținem seama de faptul că pe durata unui voiaj, nava are mai multe situații de navigație, iar motorul principal și mașinile auxiliare nu funcționează tot timpul la aceeași încărcare.

Trebuie luat în considerare faptul că după un anumit timp de navigație, pe carena navei apar depuneri care conduc la o elice hidrodinamic grea, fiind cerut un surplus de putere pentru propulsia navei.

Beneficiul navei este direct proporțional cu viteza, fiind legat de aceasta prin volumul de produse transportate în unitatea de timp, ținând cont de condițiile pieții mondiale în continuă schimbare.

Nava devine cu atât mai rentabilă cu cât se află mai mult timp în navigație pe mare, fie în deplasare spre portul de ambarcare a produselor, fie în deplasare spre portul de destinație iar timpii de staționare în porturi pentru reparații și așteptare a comenzilor să fie cât mai mici.

Nava e mai eficientă cu cât timpul de voiaj al navei, este mai mare în comparație cu timpul de staționare al navei. De aici și necesitatea ca nava în marș să se deplaseze cu o viteză economică pentru ca nava să realizeze condiția de mai sus.

Motoarele navale actuale cu aprindere prin comprimare funcționează pe regimuri variabile de putere și turație, ceea ce atrage după sine, schimbarea parametrilor indicați, efectivi, ce caracterizează regimul de funcționare al motorului.

Regimul de funcționare al motorului, de propulsie, depinde de: tipul navei, condiții de navigație, construcția corpului navei, tipul propulsorului și al modului de transmitere a energiei de la motor la propulsor.

Pentru realizarea unor calcule corecte privind regimurile de funcționare ale instalației de propulsie trebuiesc cunoscute rezultatele încercărilor de bazin pentru rezistența la înaintare; tipul, caracteristicile și performanțele elicei; pescajul; caracteristicile constructive ale corpului navei; caracteristicile motorului principal.

Metodologia folosită pentru determinarea costului specific minim al transportului poate fi aplicată, ținând cont de caracteristicile specifice, și altor tipuri de nave de transport mărfuri.

Observație: Calculul a fost făcut pentru nava curată. Pentru alte valori ale rezistenței la înaintare se poate face un calcul asemănător.

7.2. Contribuții personale

Pentru petrolierul la care am participat în perioada de probe (iulie 2007), au fost aduse următoarele contribuții:

- ✓ stabilirea regimurilor de funcționare ale motoarelor navale de propulsie după caracteristica de elice, considerând diagrama de încărcare a motorului, limitele domeniului, punctele caracteristice din diagramă pentru diverse condiții de navigație și stări ale carenei (capitolul 2);

- ✓ precizarea metodelor și parametrilor necesari pentru întocmirea unei analize termoeconomice a unei instalații energetice, cu întocmirea bilanțului exergetic. Astfel au fost calculate pierderile exergetice pentru un motor cu ardere internă, exemplul numeric fiind pentru motorul Diesel MAN B&W, determinându-se randamentele exergetice ale arderii, motorului și ciclului;

- ✓ estimarea rezistenței la înaintare a unei nave petrolier prin metoda J.Holtrop și G.GJ.Mennen (tabel 4.6. și figura 4.1);

✓ determinarea performanțelor de propulsie ale navei; determinarea puterii necesare pentru acționarea elicei, puterea de remorcare, puterea la flanșa motorului pentru regimurile de funcționare analizate cu nava în balast sau încărcată; s-a ținut cont și de variația randamentului elicei în funcție de turație (capitolul 4);

✓ verificarea elicei la cavitație pentru navigația în balast și navigația cu încărcătură (program Excel);

✓ determinarea consumului specific efectiv de combustibil al motorului de propulsie după caracteristica de elice, pentru mai multe regimuri de funcționare și marș; a rezultat o viteză optimă de 15 Nd la nava încărcată cu un consum specific minim de 0,17835 kg/kWh și o viteză optimă de 15,38 Nd la nava balastată cu un consum specific minim de 0,1734 kg/kWh;

✓ stabilirea metodologiei de determinare a duratei unui voiaj (nouă tipuri de timpi) și a numărului de voiaje anual, în funcție de rută (pe baza programului de calcul Engineering Equation Solver).

✓ determinarea capacității utile de încărcare a navei ținând cont de rezervele de combustibil, ulei, apă, etc;

✓ determinarea regimului optim de funcționare al instalației de propulsie pentru realizarea costului specific minim de transport pe ruta de navigație considerată supus optimizării pe baza unui program de calcul în Engineering Equation Solver.

✓ pe baza rezultatelor obținute de la capitolul 6 a rezultat ponderea timpilor necesari pentru efectuarea voiajului (timpul de marș: 85,47%, timpul afectat formalităților vamale: 8,39%, timpul de staționare (încărcare/descărcare marfă): 5,44%, timp manevre port: 0,7%);

✓ determinarea costului specific minim al transportului anual pentru diferite regimuri de funcționare ale navei, numărul de voiaje efectuate de navă anual. Cheltuielile combustibililor și lubrifianților reprezintă cea mai mare valoare (29,28%) din costul total al transportului anual.

✓ au fost trasate grafice care evidențiază variația diferitelor mărimi și anume: consumul de combustibil greu pentru motorul principal la diferite regimuri de funcționare (balast și plină încărcătură), rezistența la înaintare a navei, randamentul elicei în funcție de viteză a navei; costul specific al transportului.

Direcții viitoare de cercetare

Cercetările ar putea fi continuate considerând diverse tipuri de mărfuri, diverse rute de transport, diverse tipuri de nave.

Direcțiile viitoare de cercetare ar constitui în compararea instalației de propulsie cu diverse tipuri de motoare cu ardere internă.

Analiza regimului de funcționare a motoarelor cu ardere internă cu transmisie electrică la elice.

Bibliografie

- [1.] Alexandru, C.- Mașini și instalații navale de propulsie, Editura Tehnica, Bucuresti, 1991.
- [2.] Andrei G., Ionita I., Musat S., Slatineanu L, Teti R.,- Asigurarea calității, Editura Fundatiei Universitare, "Dunarea de Jos" din Galati, 1999.
- [3.] Antell, G. - Economics.Institutions & Analysis, Amsco School Publ., New York, 1985.
- [4.] Antony, J. - Design of Experiments for Engineers and Scientists, Publisher: Butterworth-Heinemann, 2003.
- [5.] Aramă, C., Grunwald, B., - Motoare cu ardere internă. Procese și caracteristici, Editura Tehnică, București, 1966.
- [6.] Bațaga N., Burnete N. - Motoare cu ardere internă, vol 1 și 2, Universitatea Tehnica din Cluj Napoca, Facultatea de Mecanică, 1995.
- [7.] Barbu, V. - Metode matematice in optimizarea sistemelor diferentiale, Editura Academiei Romane, Bucuresti, 1989.
- [8.] Baxter, B. - Naval Architecture, Exemples and Theory Griffin London, 1967.
- [9.] Bejan, A., Moran M. J. - Thermal Design and Optimization, John Wiley and Sons, New York, 1996.
- [10] Bejan, A. - Advanced Engineering Thermodynamics, New York, Wiley, 1988.
- [11] Beziris, A., Bamboi, G. - Transportul maritim, probleme tehnice si de exploatare, Editura Tehnica, Bucuresti 1988.
- [12] Bidoaie I., Sarbu N., Chirica I., Ionaș O.- Indrumar de proiectare pentru teoria navei, Universitatea Dunarea de Jos, Galati, 1986.
- [13] Bidoaie I. - Teoria navei, Statica Navei, Universitatea Dunarea de Jos, Galati, 1985.
- [14] Bisio, C. - Exergy efficiency of some kindsof heat exchangers, ECOS'95, Istambul, 1995.
- [15] Budovan L. - Teoria Navei, Universitatea din Craiova, Colegiul Universitar Drobeta Turnu Severin, 2000.
- [16] Buneci, M.R.- Metode de optimizare, curs studenti, Targu Jiu, 2007.
- [17] Buneci M.R. - Optimizări, Editura Academica Brâncuși, Târgu Jiu, 2008.
- [18] Burciu S. M., - Motoare cu ardere internă cu piston, Procese termodinamice, supraalimentare caracteristici de funcționare și instalații, Editura EUROPLUS, 2006.
- [19] Burciu S. M., - Acționări cu motoare cu ardere internă, volumul I, Editura BREN, 2003.
- [20] Burciu S. M., **Caraghiulea M.** - Motoare cu ardere internă cu piston, Procese termodinamice, supraalimentare și caracteristici de funcționare, îndrumar de proiectare, Galați University Press, 2008.
- [21] Buzbuchi, N. - Motoare navale, vol I, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1996.
- [22] Calin S., Tertişco, Dumitrache M. - Optimizări în automatizări industriale, Editura Tehnică, Bucuresti 1979.
- [23] Carabogdan, I. - Instalații termice industriale, Editura Tehnică, Bucuresti 1986.
- [24] Carabogdan, I. - Metode de analiza a proceselor si sistemelor termoenergetice, Editura Tehnică, Bucuresti 1989.
- [25] Carabulea, A., Carabogdan, I. - Metode de bilanțuri energetice reale și optime, Editura Academiei, 1982.
- [26] Câmpian V., Vulpe V., Ciolan GH., Enache V., Preda I., Câmpian O. - Automobile, Universitatea din Brasov, 1989.
- [27] Ceangă, V. - Instalații navale de bord, curs studenți, Universitatea Dunărea de Jos, Galați, 1993.
- [28] Ceangă, V. - Automatizări navale, Note de curs, Universitatea Dunărea de Jos, Galați, 1997.
- [29] Ceangă, V., Mocanu C. I., Teodorescu C, - Dinamica sistemelor de propulsie, Editura Didactică și Pedagogică, Bucuresti, 2003.

- [30] Ceangă, V., Popovici, J.S. - Calculul elicei, Editura Academiei Romane București, 1990.
- [31] Ciolan, Ghe., Preda, I., Pereș, Ghe. - Cutii de viteze pentru automobile, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1989.
- [32] Dancea, I. - Metode de optimizare, Editura Dacia, 1976.
- [33] Danescu Al. - Termotehnica și mașini termice, Editura Didactica și Pedagogică, București, 1985.
- [34] Dumitru, Gh. - Motoare cu ardere internă: procese termodinamice, caracteristici mecanice de funcționare și supraalimentare, Ministerul Educației și Învățământului, Universitatea din Galați 1987.
- [35] Dumitru, Gh. - Mașini și instalații de propulsie navale, vol 1 și 2, Universitatea din Galați, 1979.
- [36] Dumitru, Gh. - Procese termodinamice, caracteristici mecanice de funcționare și supraalimentare, Universitatea din Galați, 1987.
- [37] Documentația tehnică a navei 37000 tdw.
- [38] Efficiency, Costs, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems and First International Conference on Applied Thermodynamics, vol II, Edited by: Aksel Ozturk and Yalcin A. Gogus, July 4-6, 2001.
- [39] Florea, T. - Motoare navale, cicluri teoretice și reale, studiu energetic, Constanța, 1994.
- [40] Frațilă, Gh. - Calculul și construcția automobilelor, Editura Didactică și Pedagogică, București 1977.
- [41] Gogan, A. - Thermo-Economic analysis and optimization of marine cogeneration systems, Teză de doctorat, Galați, 2000.
- [42] Gogan, A. - An application of the thermoeconomic analysis method to the structural optimization of marine thermal systems, ECOS 2000 Congress, Twente 2000.
- [43] Gogan, A., Ionita, I. - „Comparație exergetică a instalațiilor navale de generare a aburului ce utilizează energia termică reziduală, respectiv combustibil, Conferința Națională de Termotehnică, Pitești, 29-30 mai 1998.
- [44] Gogan, A., Ionita, I. - Determinarea termoeconomică a costului energiei mecanice de propulsie navală, Conferința Națională de Termotehnică, Pitești, 29-30 mai 1998.
- [45] Gogan, A. - Thermoeconomic analysis used for the structural optimization of thermal marine systems, Advanced in Energy Studies, Porto Venere Workshop 2000.
- [46] Gorianu M., - Automobile și autoblindate, Editura Academiei Militare, București 1980.
- [47] Grunwald B.- Teoria, Calculul și construcția motoarelor pentru autovehicule rutiere, Editura Didactica și Pedagogică, București, 1980.
- [48] Guldhammer, H.E., Harvald Sv.Aa. - Ship Resistance-Effect of Form and Principal Dimensions. Akademisk Forlag, Copenhagen, 1974.
- [49] Henry Klintorp. - Engine choice and aspects of installation, Head of Marine Installation Dept, 1982.
- [50] Henshall S.H. - Medium and high speed diesel engines for marine use, The Institute of Marine Engineers, Stephen's Bristol Press, 1976.
- [51] Hlacoic E., - Metode moderne de calcul a costurilor, Editura Polirom, Iași 1999.
- [52] Hodge, B.K. - Analysis and design of energy systems, Prentice Hall, New Jersey, 1990.
- [53] Holtrop J., Mennen G. J. - An Approximate Power Prediction method, International Shipbuilding Progress, 1982.
- [54] Holtrop J.- A Statistical Re-Analysis of Resistance and Propulsion Data International Shipbuilding Progress, 1984.
- [55] Humphreys, K., Wellman P. - Basic Cost Engineering, 2nd ed, Marcel Dekker, Inc, New York, 1987.
- [56] Ioniță, I., Jimbu, A. - Instalații navale de bord. Elemente de calcul și exploatare, Editura Tehnică, București 1986.

- [57] Ilioi C. - Probleme de optimizare și algoritmi de aproximare a soluțiilor, Editura Academiei Romane, București 1980.
- [58] Internațional Shipbuilding Process Marine Technology Quarterly, 2006.
- [59] Jones, S., LNG Markt looks at Power alternatives, The Motor Ship, May 2002.
- [60] Jones, S., Low Load Economy PTI, The Motor Ship, September 2002.
- [61] Journal of Ship Research, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2006.
- [62] Klaus Ebbeken, Ladislau Possler, Mihai Ristea - Calculatia si Managementul Costurilor, Editura Teora, Bucuresti 2000.
- [63] Kotas, T.J. - The exergy method of thermal plant analysis, Butterworths, London, 1985.
- [64] Krause, A., Tsatsaronis, G. - Thermodynamic and exergoeconomic evaluation of the humid-air turbine cycle, Taies'97, Beijing 1997.
- [65] Kubicki, J. - Economic aspects of safety in construction, equipment, manning and operation of the vessels, ICTS'97 Proceedings, Portoroz 1997.
- [66] Domnișorul, L. - Dinamica navei, Editura Tehnică, București 2001.
- [67] Maftai, N. -Eficiența economică a activității de construcții navale, Galați 1991.
- [68] Maier V. - Mecanica și Construcția navei, Editura Tehnică, București, 1989.
- [69] Manolache L. - Nave Tehnice, Universitatea Dunarea de Jos, Galati, 1982.
- [70] Marine Technology Society, Journall Scientific & Technical Diving, 2001.
- [71] Marusciac I. - Metode de rezolvare a problemelor de programare neliniară, Editura Dacia-Cluj, 1973.
- [72] Munteanu, V. - Automobile de teren și mașini blindate pe roți, Editura Academiei Militare, București 1972.
- [73] Munteanu, S.D. - Motoare cu ardere internă, Editura Academiei Militare, București, 1974.
- [74] Năstase C. - Calculul și Construcția navei, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1964.
- [75] Năstăsioiu, S. - Turbomașini și acționări pentru autovehicule, Universitatea din Brașov 1980.
- [76] Obreja D., Manolache L., Popescu G. - Bazele proiectării preliminare a navei, Editura Academica, Galati, 2003.
- [77] Peligrad, N. - Cuplaje hidraulice și convertizoare hidraulice de cuplu, Editura Tehnică București, 1985.
- [78] Popa, Al. - Locomotive și automotoare cu motoare termice, Editura Didactică și Pedagogică, București 1978.
- [79] Popa, Al. - Comanda și reglarea automată a autovehiculelor de tracțiune feroviară Editura CFR, București 1974.
- [80] Popa, Al., Nichita, GH., Tregubleac St. - Contribuții la studiul funcționării în comun a motorului diesel cu transformatorul hidraulic, Buletinul I.P.B. 1972.
- [81] Popovici O., Alexandru I., Domnisoru L. - Construcția, Amenajarea și Exploatarea Navei, Universitatea Dunarea de Jos, Galati, 1991.
- [82] Proceedings of ECOS'01, Efficiency, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems and First International Conference on Applied Thermodynamics, vol II, Edited by: Istanbul Technical University, 2001.
- [83] Pruiu, A., - Instalații energetice navale, Editura Muntenia și Leda, Constanța, 2000.
- [84] Radenco, V. - Termodinamică tehnică și mașini termice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1976.
- [85] Radenco, V. - Criterii de optimizare a proceselor termice, Editura Tehnică, București, 1977.
- [86] Renius, K.TH.G. Sauer: Kettenwandler in Traktorgetrieben, Continuously variable chaidrives in tractor-transmissions, VDI Berichte 878, S.277-292, Dusseldorf, VDI-Verlag 1991.
- [87] Rusu C.- Nave speciale, Elemente de proiectare, Constanța, 1997.

- [88] Simionov, M. - Instalații de propulsie navală, Galati University Press, 2009.
- [89] Simionov, M. - Cazane de abur navale, Editura Didactică și Pedagogică, București 2006.
- [90] Simionov, M. - Dinamica mașinilor navale, vol 1, Editura EVRIKA, Brăila, 2000.
- [91] Simionov, M.- Instalații de propulsie navale.Linii de arbori, Editura Evrika, Brăila, 2001.
- [92] Stancu - Minasian, I.M., - Programarea stocastica cu mai multe funcții obiectiv, Editura Academiei Romane, Bucuresti, 1980.
- [93] Schneekluth H. and Bertram V. - Ship Design for Efficiency and Economy, Oxford Boston Johannesburg Melbourne New Delhi Singapore, 2009.
- [94] Schonnenbeck, G.u.J. Heinrich: Continuously variable Chain drives for High Torque Application. Paper presented at “Motion and Power Transmissions”, Hiroshima/ Japan, Nov. 1991.
- [95] MC Programme Engine Selection Guide MAN B&W Diesel A/S Two- stroke Engines 2nd Edition February 1992.
- [96] Tabacu, I - Considerații asupra condițiilor de determinare a rapoartelor transmisiilor mecanice in trepte utilizate la autoturisme, R.I.A nr 1/1990.
- [97] Tecușu, N., Nițescu, Gh. - Tractoare și automotoare, Editura Didactică și Pedagogică, București 1977.
- [98] Tudor Sajin, - Termoeconomie, Editura ALMA MATER, Bacău 2002.
- [99] Turcoiu, T. - Comanda, supravegherea și protecția motorului naval, Editura Tehnică, București, 1984.
- [100] The MC Engines Exhaust Gas Data and Waste Heat Recovery Systems, Total Economy, October 1985.
- [101] The Motor Ship, Waste management is a grey area for owners, 2001.
- [102] Untaru M., Frațilă Gh., Poțincu Gh., Seitz N., Tabacu I., Pereș Gh., Macarie T. Calculul și construcția automobilelor, Editura Didactică și Pedagogică, București 1982.
- [103] Untaru M., Poțincu Gh., Stoicescu A., Tabacu I., Pereș Gh. - Dinamica autovehiculelor pe roți, Editura Didactică și Pedagogică, București 1981.
- [104] Untaru M., Campian V., Ionescu E., Pereș Gh., Ciolan Gh., Tudor I., Campian O. Dinamica autovehiculelor, Universitatea Brașov, 1988.
- [105] Untaru M., Campian V., Seitz N., Pereș Gh., vulpe V., Ciolan Gh., Enache V., Tudor I., Filip N., Campian O. - Construcția și calculul autovehiculelor, Universitatea Brașov, 1989.
- [106] Urdăreanu T., Vasiliu C., Gorianu M., Canță P. - Propulsia și circulația autovehiculelor cu roți, Editura Științifică și Enciclopedică, București 1987.
- [107] Zăgănescu I., Popa Al., Taran Traian, - Transmisii hidraulice la locomotive diesel, Editura Transporturilor, Bucuresti 1970.
- [108] **CARAGHIULEA Mariana (Lupchian Mariana)**, - Thermoeconomic optimization of the operation regimes of the marine propulsion systems with internal combustion engines, The Annals of “Dunărea de Jos” University, Fasc. VI, ISSN 1221-4558, pg.65-69, 2004.
- [109] **Caraghiulea Mariana (Lupchian Mariana)**, - Thermoeconomic optimization of the energetic plant with internal combustion engines by using linear programming methods, Bacau, 2005.
- [110] **Caraghiulea Mariana**, - The linear optimization problem for energetic plants designing with internal combustion engines”, The Annals of “Dunarea de Jos” University of Galati, 2006.
- [111] **Caraghiulea Mariana (Lupchian Mariana)**, - Formulating thermoeconomic optimization problems for the energetic plant with internal combustion engines applied on ship, METIME, Galati, 2007.
- [112] **Caraghiulea Mariana (Lupchian Mariana)**, - Thermoeconomic optimization of the energetic plant with internal combustion engines by using stochastic programming methods, OPROTEH, Bacău, 2007.

- [113] **Caragiulea Mariana (Lupchian Mariana)**, - Wording of the nonlinear optimization problem for energetic plant designing with internal combustion engines, Ploiesti, 2007.
- [114] **Caragiulea Mariana (Lupchian Mariana)**, - Solving method for optimization problem by nonlinear programming, Universitatea Tehnică Gh. Asachi, Iași, 2008.
- [115] **Caragiulea Mariana (Lupchian Mariana)**, - Thermoeconomic optimization for a naval propulsion plants with internal combustion engines by using nonlinear programming methods, Universitatea Tehnică Gh. Asachi, Iași, 2008.
- [116] **Caragiulea Mariana**, - Exergetic analysis of a naval propulsion plant with internal combustion engine, Brasov 2009.
- [117] **Caragiulea Mariana (Lupchian Mariana)**, - Study on estimation of resistance to the submission on oil tanker of 37000 tdw, OPROTEH, Bacău 2009.
- [118] **Caragiulea Mariana (Lupchian Mariana)**, - Study the economic efficiency of the marine propulsion systems, METIME, Galați 2009.
- [119] **Caragiulea Mariana (Lupchian Mariana)**, - Economic analysis of naval propulsion plants,- The Annals of „Dunarea de Jos” University of Galați 2009.
- [120] **Caragiulea Mariana (Lupchian Mariana)**, - Wording of the linear optimization problem for energetic plants designing with internal combustion engines, COMAT, Brasov, 2010.
- [121] **Lupchian Mariana**, - The profit made by a oil tanker after a voyage, CIEI 2011, The 8th International Conference On Industrial Power Engineering, Aprilie 14-25, ISSN 2069 - 9905, ISSN-L 2069-9905, 2011, Bacău.
- [122] **Lupchian Mariana**, - Balance of losses caused by the irreversibility of the working processes of naval propulsion plant”, the Annals of “Dunarea de Jos” University of Galati, Fascicle IX Metallurgy And Materials Science, Special ISSUE, ISSN 1453-083X, 2011.
- [123]***Colecția de reviste - The Motor Ship, 2004-2008.
- [124]***Colecția de reviste - Diesel & Gas Turbine Worldwide, 1980-1990.
- [125]***Germanischer Lloyd, Rules for the Classification and Construction of Seagoing Steel Ships, Machinery Electrical Plant Refrig. Installations, 1973 Edition.
- [126]***Registrul Naval Roman, Reguli pentru clasificarea și construcția navelor maritime, Bucuresti, 1995.
- [127]***Engine Selection Guide Two-Stroke MC/MC-C Engines, 5th Edition February 2000
- [128]***MAN B&W Diesel A/S, S50MC-C Project Guide, 6th Edition January 2009.
- [129]***SULZER, General Technical Data for RTA Marine Diesel Engines, Sulzer Brother Limited, Wintertour, Switzerland, 1982.
- [130] <http://www.portofconstantza.com>
- [131] <http://www.rna.ro/servicii/certificari/certificare%20ism.pdf>
- [132] <http://www.mandiesel.com/files/news/files0f3859/P254-04-04.pdf>
- [133] <http://www.manbw.dk/documents/s50c.pdf> - ghid motor
- [134] <http://www.ship-technology.com/contractors/propulsion/loher/>
- [135] <http://www.vk.od.ua/marinelibrary.com>
- [136] <http://www.stiinta/arhitectura-constructii/INSTALATIA-DE-BALAST2219232023.php>

Lista lucrărilor publicate

Carti publicate

1. Burciu S. M., **Caraghiulea (Lupchian) Mariana**, *Motoare cu ardere internă cu piston, Procese termodinamice, supraalimentare și caracteristici de funcționare*, îndrumar de proiectare, Galați University Press, 2008.

Publicații în reviste de specialitate

Publicații ISI:

1. Uzunianu, K., **Lupchian Mariana (Caraghiulea)**, *Modeling the thermoeconomic analysis of the marine propulsion system*. Recent Researches in Automatic Control and Electronics. Proceedings of 14th International Conference on Automatic Control, Modelling & Simulation (ACMOS' 12), Saint Malo & Mont Saint Michel, France, April 2- 4, 2012, ISBN 978-1- 61804-080-0, pp.148 – 153, 2012.
<http://www.wseas.us/conferences/2012/france/ProgramSaintMalo.pdf>
2. Uzunianu, K., **Lupchian Mariana (Caraghiulea)**, *Determining the number of trips made by a vessel loaded at different operating regimes of the propulsion engine*. Advances in Fluid Mechanics & Heat & Mass Transfer – 10th WSEAS International Conference on Heat transfer, Thermal Engineering and Environment (HTE '12), Istanbul. Turkey, August 21 -23, 2012, ISSN 2227-4596, ISBN 978-1-61804-114-2, pp. 129-133.
<http://www.wseas.org/multimedia/conferences/2012/Istanbul/Program.pdf>
3. **Lupchian Mariana (Caraghiulea)**, *Determination of optimum operating regime for a naval power plant based on minimum fuel consumption*, Conference- New face of TMCR, Proceedings of 16th International Conference Modern Technologies, Quality and Innovation, volume I, 4-26 May, Iasi-Chisinau-Belgrade, ISSN 2069-6736, ModTech 2012, included in Index to Scientific & Technical Proceedings of Thomson Scientific – Institute for Scientific Information, ISI Proceedings.

Lucrări publicate în reviste categoria B+ (Reviste indexate BDI):

1. **Lupchian Mariana (Caraghiulea)**, *The profit made by a oil tanker after a voyage*, CIEI 2011, Proceedings of the International Conference On Industrial Power Engineering the 8-th Edition,, “VASILE ALECSANDRI” UNIVERSITY OF BACĂU, Alma Mater Publishing House, BACĂU – ROMÂNIA, aprilie 14-25, ISSN-L 2069-9905, Bacau 2011.
2. **Lupchian Mariana (Caraghiulea)**, *Balance of losses caused by the irreversibility of the working processes of naval propulsion plant*, The Annals of ”Dunarea de Jos” University Of Galati, Fascicle IX Metallurgy And Materials Science, Special ISSUE, ISSN 1453-083X, 2011 (B+),
<http://www.fmet.ugal.ro/Anale.htm>.
3. **Lupchian Mariana (Caraghiulea)**, *Optimization of operating regimes of naval propulsion plants based on minimum cost of transport*, Constanța Maritime University Annals, volumul 16, pag 151, ISSN 1582-3601, Editura Nautica, 2011. (B+), <http://www.cmu-edu.eu/anale/revistaonline>.
4. **Caraghiulea Mariana**, *Study on estimation of resistance to the submission on oil tanker of 37000 tdw*, Modelling And Optimization In The Machines Building Field, Issue: MOCM - Number 16, Volume II (2010), ISSN: 1224-7480 (B+),
<http://pubs.ub.ro/?pg=revues&rev=mocm>, indexata BDI.

5. **Caraghiulea Mariana**, *Wording of the linear optimization problem for energetic plants designing with internal combustion engines*, 3rd International Conference, "Advanced Composite Materials Engineering", COMAT 2010, 27- 29 October 2010, MOCM-ISSUE-NO16-Volumul II, Brasov 2010.
6. **Caraghiulea Mariana**, *Exergetic Analysis of a Naval Propulsion Plant With Internal Combustion Engine*, Proceedings of The Internationally Attended National Conference on Thermodynamics, May 21-22, 2009, Volume 2, Section C, pag 311, ISSN 2065-2119, ISBN 978-973-598-524-0, Brasov 2009 (B+).
7. **Caraghiulea Mariana**, *Thermoeconomic Optimization for a Naval Propulsion Plants with Internal Combustion Engines by Using Nonlinear Programming Methods*, Buletinul Institutului Politehnic din Iasi, publicat de Universitatea Tehnică Gh. Asachi, Iasi, Fasc. 2, Secția Construcții de Mașini, pag 41-48, ISSN 1011-2855, 2008, Iași (B+), http://www.cm.tuiasi.ro/docs/CM%20fasc%202_2008%20engleza.pdf.
8. **Caraghiulea Mariana**, *Solving method for optimization problem by nonlinear programming*, Bulletin of the Polytechnic Institute of Jassy, Published by THE TECHNICAL UNIVERSITY "GH. ASACHI" OF JASSY, Fasc. 2, Secția Construcții de mașini, pag 35-40, ISSN 1011-2855, 2008, Iași(B+).
http://www.cm.tuiasi.ro/docs/CM%20fasc%202_2008%20engleza.pdf
9. **Caraghiulea Mariana**, *Thermoeconomic optimization of the energetic plant with internal combustion engines by using stochastic programming method*, Modelling And Optimization In The Machines Building Field, MOCM –number 13, volume II, ISSN: 1224-7480, 2007, Bacău, <http://pubs.ub.ro/?pg=revues&rev=mocm>, indexata BDI

Articole publicate în volumele unor manifestări științifice internaționale/naționale:

1. **Lupchian Mariana (Caraghiulea)**, *Determination of propulsion system components on board a tanker ship*, THE 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED CONCEPTS IN MECHANICAL ENGINEERING, Section 4, Automotive and Internal Combustion Engines, June 14-15, 2012, Iași, Romania.
2. **Caraghiulea Mariana**, *Study the economic efficiency of the marine propulsion systems*, METIME, 3rd International Conference on Thermal Engines and Environmental Engineering, June 4-6, Secțiunea 2, Galați, 2009.
3. **Caraghiulea Mariana**, *Economic analysis of naval propulsion plants*, Anale, pag 70, Universitatea "Dunarea de Jos" Galați, Fasc. VI, 2009.
4. **Caraghiulea Mariana**, *Automatic ajustment of level products pollution to make outside by energetic plant with internal combustion engines*, Conferința Națională de Termotehnică cu participare internațională, Editia a XVI-a, 31 mai-1 iunie 2007, volumul 1, pag 59-62, ISSN 1843-1992, "Termotehnica Schimb de căldura și Aplicații", Ploiesti 2007.
5. **Caraghiulea Mariana**, *Wording of the nonlinear optimization problem for energetic plant designing with internal combustion engines*, Conferinta Națională de Termotehnică cu participare internațională, Editia a XVI-a, "Termotehnică Schimb de caldură și Aplicații", 31 mai-1 iunie, volumul 1, pag 53-58, ISSN 1843-1992, Ploiești 2007.
6. **Caraghiulea Mariana**, *Formulating thermoeconomic optimization problems for the energetic plant with internal combustion engines applied on ship*, 2nd International Conference on Thermal Engines and Environmental Engineering METIME Galati, pag 293-298, volumul 2, 2007.
7. **Caraghiulea Mariana**, *The liniar optimization problem for energetic plants designing with internal combustion engines*, The Annals of "Dunărea de Jos" University, Fasc. VI, ISSN 1221-4558, pag.65-68, 2006.
8. **Caraghiulea Mariana**, *Thermoeconomic optimization of the energetic plant with internal combustion engines by using linear programming methods*, Conferința Națională de Termotehnică, Bacău, 2005.

9. **Caragiulea Mariana**, *Thermoeconomic optimization of the operation regimes of the marine propulsion systems with internal combustion engines*, The Annals of “Dunărea de Jos” University, Fasc. VI, ISSN 1221-4558, pg.65-69, 2004.
10. Prof.dr.ing.DUMITRU Gheorghe, **Caragiulea Mariana**, *Optimizarea termoeconomică a regimurilor de funcționare ale instalațiilor energetice cu motoare cu ardere internă*, Conferința de Termotehnică, pag 167-174, Reșița, mai 2003.

