



**Universitatea Națională de
Știință și Tehnologie
Politehnica București**

Facultatea TRANSPORTURI

ȘCOALA DOCTORALĂ TRANSPORTURI

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

**SUSTAINABLE MARITIME TRANSPORT THROUGH OPTIMIZATION OF
CONSUMPTION**

**TRANSPORT MARITIM DURABIL PRIN OPTIMIZAREA
CONSUMURILOR**

Conducător științific

Prof.dr.mat.ec.Doina Eufrosina CARP

Doctorand

ing. Dragoș FILIMON

COMISIA DE DOCTORAT

Președinte: Prof. dr. ing. Mihaela POPA ,
Universitatea “POLITEHNICA” din București

**Conducător
de doctorat:** Prof. dr. mat.ec. Doina Eufrosina CARP
Universitatea “POLITEHNICA” din București

Membrii:

1. Prof. dr. ing. Eugen ROȘCA
Universitatea “POLITEHNICA” din București
2. Prof. dr. ing. Leonard DOMNIȘORU
Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați
3. Conf. dr. ing. Gheorghii BĂTRÂNCA
Universitatea Maritimă din Constanța

București 2023

CUPRINS

1. INTRODUCERE	2
1.1 Actualitatea și oportunitatea tezei de doctorat	2
1.2 Obiectivele tezei	2
1.3 Situația actuală	3
2. TRANSPORT MARITIM SUSTENABIL	6
2.1 Rolul OMI (IMO).....	6
2.2 Transportul maritim durabil	7
3. ROLUL CONSUMULUI ÎN INDUSTRIA MARITIMĂ	10
3.1 Sustenabilitatea porturilor turistice, studiu de caz	12
3.2 Cadrul de cercetare.....	14
4 . MODELE DE OPTIMIZARE	19
4.1 Algoritm de optimizare a acostării ambarcațiunilor	20
4.2 Optimizarea vitezei navei folosind algoritmul backtracking	26
5. EFICIENȚA ENERGETICĂ ÎN OPERAȚIUNILE DE TRANSPORT MARITIM	36
5.1 Optimizare sistem energetic pentru o navă pasageri, studiu de caz	37
5.2 Rezultate.....	40
CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII.....	41
BIBLIOGRAFIE.....	42

1. INTRODUCERE

1.1 ACTUALITATEA ȘI OPORTUNITATEA TEZEI DE DOCTORAT

Globalizarea economiei mondiale a generat cantități mari de mărfuri ce trebuiau a fi transportate, dezvoltând transportul maritim în ultimii douăzeci de ani. Avantajul transportului maritim nu se bazează pe viteza de transport, ci pe capacitatea uriașă de transport.

Din lucrările științifice analizate în lucrare, am identificat mai mulți factori care vor influența traiectoria transportului maritim și dezvoltarea sa durabilă. Se anticipează că transportul maritim se va extinde cu 2,4% în 2023 și va menține o rată de creștere de peste 2% între 2024 și 2028. Cu toate acestea, sectorul se confruntă cu obstacole în materie de sustenabilitate, inclusiv emisii, poluare, impactul schimbărilor climatice și reglementări stricte. Sectorul se confruntă cu provocări de reglementare, o digitalizare greoaie, cu norme în continuă schimbare și incertitudini geopolitice. Creșterea costurilor generate de reglementări și de investițiile în tehnologie reprezintă o provocare, privită cu reținere de către companiile maritime.

1.2 OBIECTIVELE TEZEI

Având în vedere nevoia de dezvoltare sustenabilă a transportului maritim, teza de doctorat intitulată "*Transport maritim durabil prin optimizarea consumurilor*" adoptă o abordare holistică asupra factorilor ce determină *consumurile*, în contextul variat al sustenabilității. Astfel, sustenabilitatea integrează multiple componente ce pot fi optimizate individual, majoritatea reflectându-se sub diverse forme de consum.

Cu aspirația de a contribui la diversificarea și identificarea de noi metode pentru dezvoltarea durabilă a transportului maritim, în această lucrare am stabilit următoarele obiective:

- analizarea cercetărilor actuale referitoare la sustenabilitate și identificarea componentelor cheie ce susțin creșterea acesteia,
- înțelegerea detaliată a rolului entităților reglementatoare din industria transportului maritim și a măsurilor adoptate în favoarea sustenabilității,
- identificarea tipurilor de consum și alegerea direcțiilor de optimizare,
- realizarea unui studiu de caz privind porturile turistice românești de la Marea Neagră, evaluând indicatori de sustenabilitate, identificând neajunsuri și posibilități de optimizare,
- aplicarea algoritmului de alocare la cheu, în contextul eficientizării activității porturilor turistice,
- explorarea potențialului de aplicare a algoritmului backtracking pentru optimizarea vitezei de deplasare a unei nave destinate aprovizionării platformelor maritime din perimetrul românesc al Mării Negre,

- optimizarea consumului energetic pentru sistemul de iluminat al unei nave de pasageri, studiu de caz .

1.3 SITUAȚIA ACTUALĂ

Transportul maritim reprezintă metoda cea mai rentabilă și eficientă de a transporta volume mari de mărfuri, având un rol important în propulsarea economiei globale.

Totuși, chiar dacă este eficient , acesta întâmpină dificultăți în direcția sustenabilității, prin impactul produs său asupra mediului, utilizarea resurselor și emisiile pe care le produce. Dependența de combustibilii fosili, are consecințe semnificative asupra mediului prin gaze cu efect de seră și emisii de poluanți. Aceste observații evidențiază necesitatea de a implementa rapid măsuri care să îndrume industria maritimă pe o cale mai sustenabilă, reducând astfel impactul negativ asupra mediului și asigurând viabilitatea pe termen lung.

Conform Conferinței Națiunilor Unite pentru Comerț și Dezvoltare (UNCTAD, 2022), volumul transporturilor a înregistrat o creștere semnificativă în 2021, ajungând la un total de 11 miliarde de tone (figura 1).

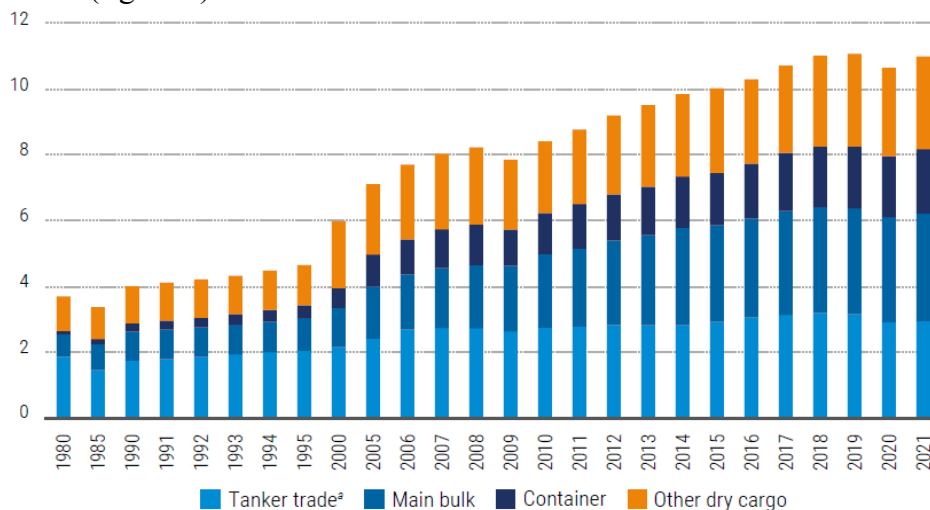


Figura 1. Comerțul maritim internațional pe tipuri de mărfuri anual, în miliarde de tone încărcate (Sursa: UNCTAD, 2022)

Creșterea rapidă a sectorului maritim și natura sa operațională aduc o amprentă de mediu substanțială. În ciuda faptului că, în prezent, transportul maritim este responsabil pentru 2-3 % din emisiile globale de CO₂, proiecțiile sugerează că dacă nu se iau măsuri , acesta ar putea reprezenta în 2050 până la 17% din totalul emisiilor anuale de CO₂ (ITF Transport Outlook, 2019).

Transportul maritim implică diferite costuri , care sunt de fapt o formă de **consumuri** când, spre exemplu, se referă la utilizarea resurselor, cheltuielile cu forța de muncă sau cheltuielile operaționale. Relația dintre durabilitatea transportului maritim și consum se extinde dincolo de dimensiunile de conservare a mediului, deoarece aceasta încorporează atât aspecte sociale cât și economice.

Din punct de vedere social, adoptarea unor practici de consum durabil în sectorul transportului maritim are potențialul de a îmbunătăți condițiile de muncă și bunăstarea generală a

navigatoarelor și a comunităților locale implicate. Consumatorii pot contribui la promovarea unor operațiuni de transport maritim etice și responsabile din punct de vedere social prin susținerea companiilor care acordă prioritate practicilor de muncă echitabile, salariilor decente și mediilor de lucru sigure. Acești factori au potențialul de a spori bunăstarea membrilor echipajului, de a atenua cazurile de exploatare prin muncă și de a promova respectarea normelor internaționale de muncă în sectorul maritim.

Încurajarea sustenabilității în cadrul industriei transportului maritim are capacitatea de a stimula inovarea și de a contribui în mod pozitiv la expansiunea economică globală. Promovarea metodelor de transport durabil poate stimula cererea de produse pe piață, determinând companiile să investească în cercetare și inovare pentru dezvoltarea de tehnologii mai prietenoase cu mediul.

Provocările și oportunitățile în materie de durabilitate în sectorul maritim au fost un punct central al cercetării științifice în domeniu.

În cadrul lucrării am selectat spre analiză studii necesare atingerii obiectivelor de cercetare care subliniază necesitatea stringentă ca transportul maritim să evolueze în mod continuu spre sustenabilitate:

- Benamara et al. (2019) evidențiază rolul transportului maritim în realizarea dezvoltării durabile, subliniind numeroasele sale fațete, de la eficiența energetică la sistemele bazate pe reguli.
- Koilo (2019) discută provocările de sustenabilitate ale industriei maritime, inclusiv impactul de mediu și socio-economic.
- Singh et al. (2020) evidențiază eforturile de modernizare a transportului maritim prin actualizarea cadrului juridic și al infrastructurii.
- Wang et al. (2020) au analizat rapoartele de sustenabilitate ale principalilor actori din domeniul maritim, propunând un cadru care descrie angajamentul în evoluție al industriei față de sustenabilitate. Constatările lor evidențiază motivele variate și eforturile de sustenabilitate din industria maritimă.
- Papandreou et al. (2021) accentuează necesitatea ca sectorul maritim să reducă emisiile de sulf și de CO₂, prezentând inițiativele de sustenabilitate existente ca modele pentru o adoptare mai largă a industriei.
- Rolul planificării spațiului marin (MSP) în consolidarea sustenabilității sociale maritime câștigă tot mai mult teren. Deși se concentrează în mod tradițional asupra aspectelor legate de guvernare și de mediu, studii recente, precum cele realizate de Saunders et al. (2019) și Frederiksen et al. (2021), subliniază necesitatea de a încorpora elemente de sustenabilitate socială, inclusiv în procesul decizional democratic și valorile socio-culturale.
- Karakasnaki et al. (2023) oferă o perspectivă empirică asupra responsabilității sociale, identificând cinci componente de bază: fizică, funcțională, sănătate, cultură și comunicare. Constatările lor sugerează că pavilioanele navelor nu influențează percepțiile navigatorilor cu privire la aceste componente, oferind perspective politice și manageriale pentru îmbunătățirea bunăstării și sustenabilității navigatorilor.
- De Kat și Mouawad (2019) aprofundează transportul maritim sustenabil prin intervenții tehnologice, de la lubrifierea cu aer până la proiectarea optimizată a navelor.

- Gourdon (2019) examinează reciclarea navelor, dezvăluind impactul negativ al acestora asupra mediului și implicațiile pentru diversitatea speciilor și sănătatea umană.
- Psarafitis et al. (2019) compară eficiența limitării vitezei și a taxei de buncheraj în reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, concluzionând că, deși limitele de viteză se bucură de un anumit sprijin, acestea sunt mai puțin eficiente decât taxele de buncheraj.
- Dintre cei trei piloni ai sustenabilității, cercetările s-au axat predominant pe elementul de mediu, în special în ceea ce privește navele maritime și infrastructura portuară (Lee et al. ,2019)
- Ukić et al. (2021) clasifică impactul activităților nautice asupra mediului, arătând că transportul maritim este un domeniu de cercetare activă, peste alte sectoare.

Se observă că numărul de publicații științifice din ultimii 5 ani ce tratează subiectul impactului transportului maritim asupra mediului este în creștere. Acest lucru poate fi ilustrat prin căutarea în Web of Science Core Collection și centralizarea datelor.

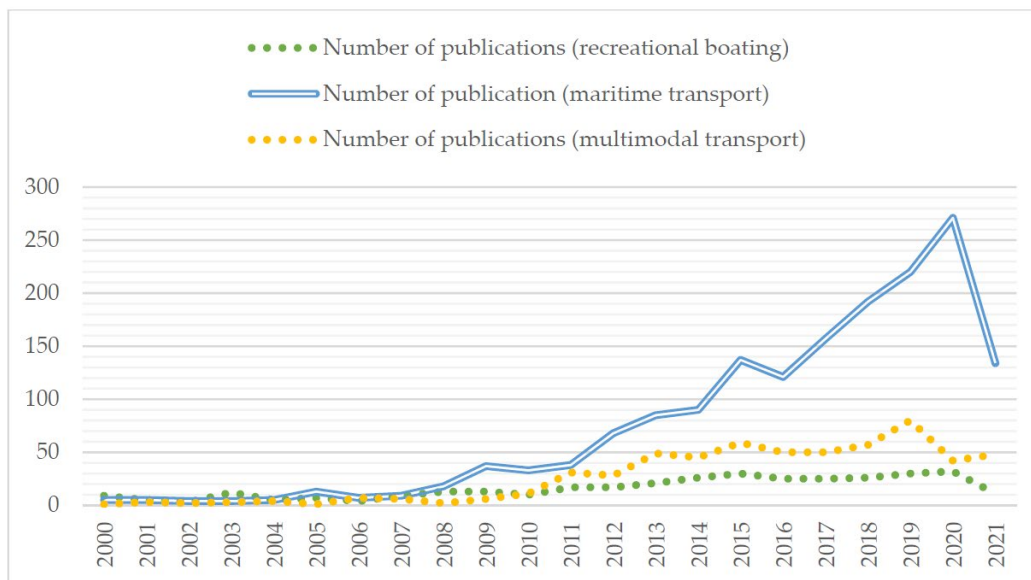


Figura 2 Numărul de studii de cercetare care implică transportul maritim în comparație cu navigația de agrement și transportul multimodal. (Source: Ukić et al.,2021)

Așadar , abordarea sustenabilității trebuie să se facă holistic deoarece fiecare element de îmbunătățire poate afecta în mod negativ alte aspecte. Cercetarea poate duce la alegerea celor mai eficiente metode de optimizare care să aduca beneficii viitoare solide.

2. TRANSPORT MARITIM SUSTENABIL

2.1 ROLUL OMI (IMO)

Organizația Maritimă Internațională (OMI) este o agenție specializată a Organizației Națiunilor Unite însărcinată cu reglementarea transportului maritim mondial ce joacă un rol important în reglementarea și promovarea unor practici de transport maritim sigure și sustenabile la nivel mondial.

OMI reglementează toate aspectele tehnice ale transportului maritim internațional, prin 53 de tratate, susținute de sute de coduri și ghiduri, care acoperă întreaga durată de viață a navelor comerciale, de la livrare până la dezmembrare.

Cele trei categorii principale de convenții adoptate de OMI sunt:

1. Convenții de siguranță maritimă (MSC) adoptate de OMI pentru a promova siguranța vieții pe mare și pentru a proteja mediul marin prin intermediul unor standarde, norme și regulamente privind proiectarea, construcția, echipamentul, echipajul și exploatarea navelor comerciale.
2. Convențiile de prevenire a poluării marine sunt tratate internaționale stabilite pentru prevenirea și reducerea poluării marine.
3. Convențiile privind răspunderea și despăgubirea în domeniul maritim au rolul esențial de a stabili un cadru juridic cuprinzător pentru stabilirea răspunderii și asigurarea unei despăgubiri adecvate în cazul accidentelor maritime, în special al pagubelor provocate de poluarea cu hidrocarburi.

Cea mai recentă sesiune a Comitetului pentru protecția mediului marin (MEPC) din 2023, cunoscută sub numele de MEPC 80, a dus la revizuirea politicii existente privind gazele cu efect de seră (GES). Această strategie actualizată prezintă o abordare extrem de ambițioasă pentru atenuarea emisiilor de gaze cu efect de seră din sectorul transportului maritim internațional. OMI a adoptat o strategie ambițioasă de decarbonizare a transportului maritim internațional până în 2050, prin îmbunătățirea eficienței energetice, adoptarea de combustibili cu emisii zero și stabilirea de obiective incrementale.

Tabel 1: Strategia actualizată pentru reducerea GES, IMO MEPC 80 (2023)

Niveluri de ambiție	Descriere	Țintă de reducere	Termen limită
1	Revizuirea cerințelor de proiectare în materie de eficiență energetică a navelor, cât și îmbunătățirea eficienței energetice pentru navele noi	-	-
2	Reducerea emisiilor de CO ₂ pe unitatea de transport	minim 40% față de 2008	2030
3	Creșterea gradului de utilizare a noilor tehnologiilor, a combustibililor și energiei cu emisii de GES zero sau aproape zero	minim 5% (cu obiectivul de a atinge 10%) din energia utilizată în transportul maritim	2030

4	Vârfurile emisiilor de GES	emisii nete zero la gaze cu efect de seră	2050
5	Reducerea emisiilor anuale totale de GES	minim 20% față de 2008 (obiectivul fiind de 30%)	2030
6	Reducerea emisiilor anuale totale de GES	minim 70% față de 2008 (obiectivul fiind de 80%)	2040

Pentru a atinge aceste obiective, se vor lua următoarele măsuri:

1. OMI va depune eforturi pentru a îmbunătăți eficiența energetică și a reduce intensitatea emisiilor de dioxid de carbon ale transportului maritim.
2. OMI va promova utilizarea combustibililor cu emisii zero, cum ar fi hidrogenul și amoniacul, precum și a altor combustibili alternativi.
3. OMI va încuraja dezvoltarea și implementarea de noi tehnologii, cum ar fi captarea și stocarea carbonului și propulsia asistată de vânt.
4. OMI va promova utilizarea unor măsuri operaționale, cum ar fi reducerea vitezei și îmbunătățirea planificării călătoriilor, pentru a reduce emisiile.
5. OMI va colabora cu guvernele, industria și alte părți interesate pentru a sprijini cercetarea și dezvoltarea de noi tehnologii și combustibili.
6. OMI va continua să monitorizeze și să evalueze eficacitatea politicilor și măsurilor sale de reducere a emisiilor de GES generate de transportul maritim.

Aceste măsuri fac parte dintr-o strategie etapizată pentru a atinge obiectivele ambițioase de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră generate de transportul maritim. Tranziția industriei către combustibili și tehnologii cu emisii zero va necesita investiții semnificative și colaborare între guverne, industrie și alte părți interesate.

2.2 TRANSPORTUL MARITIM DURABIL

Structura conceptului de sustenabilitate în industria maritimă a fost propusă de numeroși cercetători, tema comună și acceptată are la bază trei piloni. Cei trei piloni sunt la randul lor formați din activități specifice care se intersectează și contribuie împreună la construirea conceptului de durabilitate. Pilonii reprezintă latura economică, impactul de mediu și latura socială, între care trebuie să se formeze un echilibru.

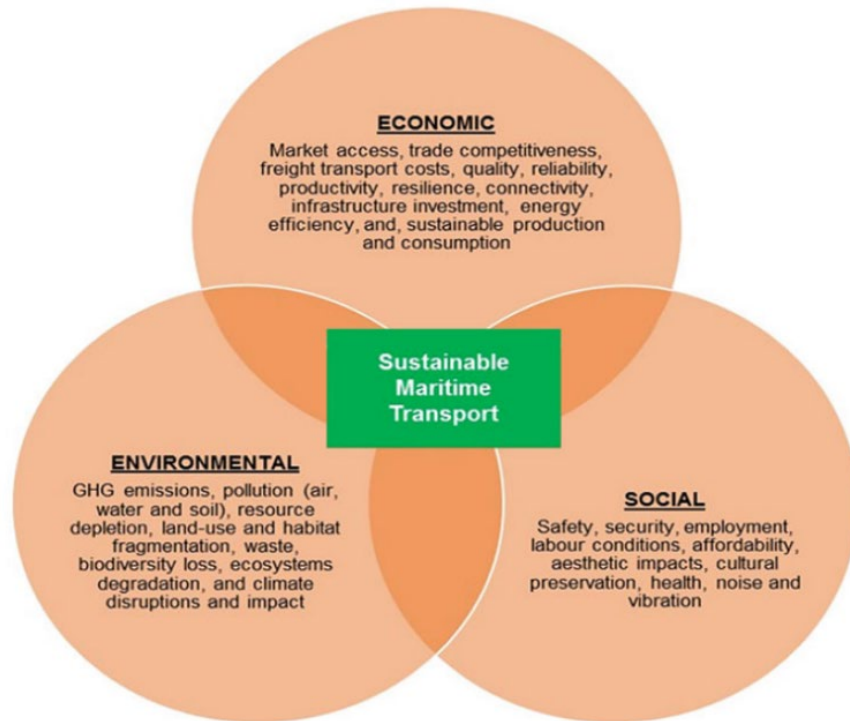


Figura 3. Conceptul de durabilitate în industria maritimă (Sursa: Benamara et al. 2019)

Studiul literaturii a arătat că, cercetările s-au axat predominant pe elementul de mediu, în special în ceea ce privește navele maritime și infrastructura portuară (Lee et al. ,2019). Pentru a oferi o bună înțelegere a conceptului de sustenabilitate în domeniul transportului maritim, este imperativ să se analizeze toți cei trei piloni fundamentali ai sustenabilității, și anume aspectele de mediu, sociale și economice.

Dimensiunea de mediu se concentrează în primul rând pe atenuarea impactului ecologic al sectorului industrial, cuprinzând reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, prevenirea poluării marine și conservarea biodiversității.

Dimensiunea socială cuprinde responsabilitatea de a proteja bunăstarea și securitatea navigatorilor, de a milita pentru practici de muncă echitabile și de a se implica activ în comunitățile locale afectate de operațiunile maritime.

Pilonul economic pune un accent puternic pe necesitatea companiilor să fie profitabile și eficiente, luând în același timp în considerare viabilitatea sectorului pe termen lung. Este posibil să se stabilească o imagine completă a sustenabilității transportului maritim prin investigarea acestor caracteristici interdependente.

Pentru a evalua impactul de mediu , OMI a cerut efectuarea de studii pentru cuantificarea emisiile produse de transportul maritim.

Până în prezent, au fost publicate patru studii OMI privind gazele cu efect de seră.

Tabel 2. Studii IMO (Sursa: Autorul)

Anul	Rezoluție/Document	Anul de referință	Cantități rezultate
2000	Primul studiu OMI privind emisiile de gaze cu efect de seră	1996	1,8% din totalul emisiilor antropice globale de CO ₂
2009	Al doilea studiu OMI privind emisiile de gaze cu efect de seră	2007	880 milioane de tone (2,7% din totalul emisiilor antropice globale de CO ₂)
2014	Al treilea studiu OMI privind emisiile de gaze cu efect de seră	2012	796 milioane de tone (2,2% din totalul emisiilor antropice globale de CO ₂)
2020	Al patrulea studiu OMI privind emisiile de gaze cu efect de seră	2018	1076 milioane de tone (2,89% din totalul emisiilor antropice globale de CO ₂)

Transportul maritim internațional a generat 2,7-3% din emisiile antropice globale de CO₂ în perioada 2012-2018, fiind determinat în principal de emisiile provenite din voiaje comerciale.

Chiar dacă transportul pe apă produce cele mai mici emisii, din păcate, emisiile de CO₂ ale flotei mondiale merg în direcția greșită, crescând an de an (figura 4). Această tendință conduce impactul global al industriei maritime asupra mediului într-o direcție total greșită, cu o creștere de 24% între 2012 și 2022, din cauza mai multor factori.

Creșterea volumelor de mărfuri transportate și a dimensiunilor navelor fără creșteri proporționale ale eficienței, creșterea vitezei și a gradului de utilizare a navelor, limitele măsurilor tehnice și operaționale, tranziția minimă către combustibili cu emisii reduse de dioxid de carbon și îmbătrânirea flotei mondiale au contribuit la această situație.

Un alt motiv este reprezentat de instabilitatea economică, companiile fiind reticente în a mai construi nave noi și investi masiv în dezvoltarea tehnologică. Nesiguranța lanțului de aprovizionare global atrage acțiuni rezervate din partea investitorilor.

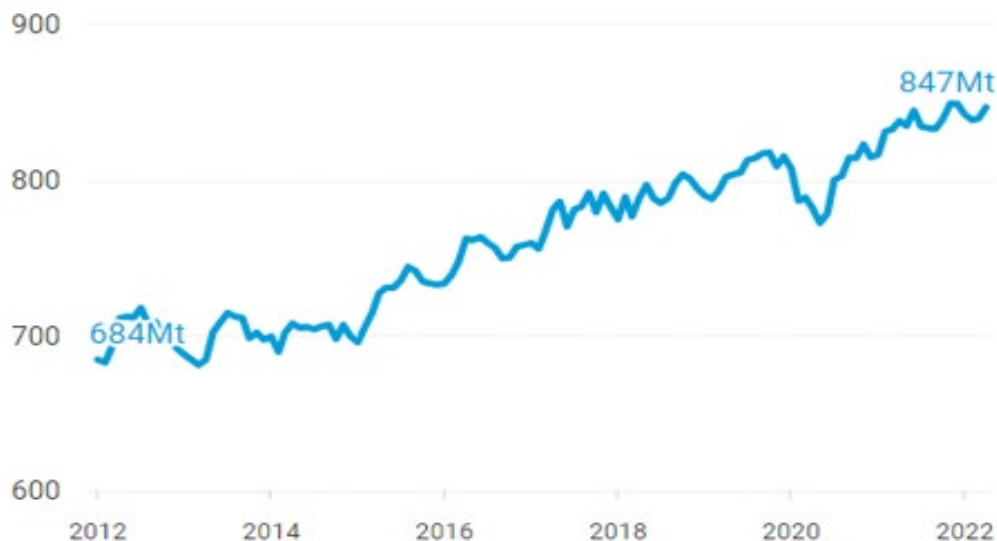


Figura 4. Emisiile de CO₂ (Sursa: UNCTAD pe baza datelor furnizate de Marine Benchmark, 2023)

Implementarea de măsuri pentru controlul emisiilor de CO₂ și găsirea de metode pentru eficientizarea flotei sunt esențiale pentru o dezvoltare viitoare sustenabilă a transportului maritim. Îmbunătățirile eficienței energetice, scăderea consumului și optimizările operaționale s-au dovedit insuficiente până în prezent în fața creșterii globale a sectorului.

Este impetuos necesar de a se găsi și implementa rapid soluții de reducere a emisiilor din transportul maritim. În opinia mea, aceste soluții trebuie particularizate de la caz la caz. Chiar dacă există companii puternice ce beneficiază de fonduri și pot accesa tehnologii de ultimă generație, sunt multe altele care nu au capacitate suficientă de a construi nave noi sau a moderniza pe cele actuale. De aceea, consider că implementarea de soluții alternative cum sunt algoritmi sau modele matematice poate fi eficientă din punct de vedere a costurilor de implementare și poate ajuta conservarea mediului marin.

3. ROLUL CONSUMULUI ÎN INDUSTRIA MARITIMĂ

În timp ce exploatarea unei nave implică în primul rând consumul de combustibil și energie, este important de menționat că există și alte forme de consum. Obiectivul acestui capitol este de a identifica tipologii de consumuri în transportul maritim.

Cunoașterea caracteristicilor acestor consumuri reprezintă fundația pentru implementarea metodelor de optimizare și pentru o evaluare corectă și eficientă a rezultatelor. Astfel, prin înțelegerea profundă a consumului în transportul maritim, se poate trasa calea către soluții mai eficiente și sustenabile în acest sector.

Definirea sustenabilității drept o legătură funcțională a intrărilor și ieșirilor poate oferi o modalitate cantitativă de abordare și măsurare :

$$S = \frac{\sum_{j=1}^m Y_j}{\sum_{i=1}^n X_i} \quad (1)$$

unde:

S reprezintă sustenabilitatea utilizării resurselor,

X_i unde i=1,2,...,n, reprezintă utilitățile în sens Von Neumann-Morgenstern (care sunt aditive) tuturor tipurilor de intrări (ex. de tip resurse),

Y_j unde j=1,2,...,m, reprezintă utilitățile (care sunt aditive) în sens Von Neumann-Morgenstern a tuturor tipurilor de ieșiri (ex. de tip emisii).

Raportul dintre ieșiri și intrări servește ca o reprezentare simplificată a sustenabilității. Cu cât un sistem poate produce mai multe ieșiri cu mai puține intrări, cu atât este mai durabil și mai eficient. Dacă însă ieșirile sunt emisii nocive, atunci așteptarea este ca acestea să se diminueze.

În timp ce funcția obiectiv oferă o direcție clară, sustenabilitatea în lumea reală implică constrângeri. Acestea pot fi legate de disponibilitatea resurselor, de reglementările de mediu sau de considerente sociale. Intrările pot reprezenta resurse precum materii prime, energie, forță de muncă sau capital în timp ce ieșirile pot reprezenta produsele, serviciile sau valoarea generată de sistem.

Formulara prezentată este o funcție cu un singur obiectiv, dar durabilitatea necesită adesea echilibrarea mai multor obiective. De exemplu, o companie ar putea dori să maximizeze atât profitul, cât și respectarea mediului, care uneori pot fi în contradicție una cu cealaltă. Factori precum viabilitatea pe termen lung a resurselor, impactul social (de exemplu, practicile de muncă echitabile) și externalitățile de mediu (de exemplu, poluarea) ar putea să nu fie surprinse doar de raportul producție/introducere.

Sustenabilitatea nu se referă doar la eficiența resurselor. Percepțiile, așteptările și alinierea valorilor părților interesate joacă un rol crucial. De exemplu, o companie poate avea un raport ridicat între producție și intrări, dar poate fi percepută ca fiind nesustenabilă din cauza impactului negativ asupra comunității. De asemenea pot fi introduse variabile suplimentare pentru a ține cont de deșeuri, produse secundare sau alte consecințe neintenționate ale unui proces. Acest lucru ar oferi o viziune mai cuprinzătoare a sustenabilității.

Tabelul 3 oferă o privire asupra diverselor modele de consum din industria transportului maritim, evidențiind atât relevanța economică, cât și impactul asupra mediului. Pentru ca transportul maritim să fie considerat cu adevărat durabil, este esențial să încercăm obținerea unui randament maxim cu un aport minim posibil .

Tabel 3. Exemple de consumuri (Sursa: Autorul)

Categorii	Caracteristici	Impact
Consumul de energie	Transportul maritim a consumat peste 250 de milioane de tone de combustibil în 2018. Reducerea consumului de combustibil prin eficiența energetică este crucială pentru costuri și decarbonizare	Poate duce la pierderi economice semnificative și la potențiale întreruperi ale lanțului de aprovizionare Nu admit ruptură de stoc
Materiale și resurse	Construcția, întreținerea și exploatarea navelor necesită cantități mari de oțel, aluminiu, cupru, lubrifianți, vopsele și alte materii prime. Adoptarea unor abordări de economie circulară pentru reutilizarea materialelor poate spori durabilitatea	Poate întârzia reparațiile esențiale sau construcția de noi nave, ceea ce ar duce la creșterea costurilor și la ineficiență operațională Partial, se accepta ruptură de stoc.
Consumul de apă	Apa este vitală la bordul navelor. Îmbunătățirea eficienței și producerii, poate contribui la optimizarea utilizării apei dulci	Un scenariu cu rezerve zero ar fi catastrofal Nu admit ruptură de stoc
Consumul de alimente	Echipajul și pasagerii de pe nave consumă cantități mari de provizii. Evitarea risipei și gestionarea durabilă a aprovizionării și a lanțurilor de aprovizionare pot reduce amprenta ecologică.	Poate prezenta riscuri directe pentru sănătatea echipajului și a pasagerilor Partial, se accepta ruptură de stoc
Consumatorism și deșeuri	Navele de croazieră generează volume mari de deșeuri de consum. Pasagerii contribuie, de asemenea, în mod semnificativ la consumul de energie și de apă la bord. Promovarea schimbării comportamentului este importantă.	În unele cazuri, pot aduce pierderi de venituri, cum ar fi transportul de pasageri.
Servicii ecosistemice	Dragarea, poluarea fonică subacvatică, deversările de deșeuri și dezvoltările infrastructurii portuare consumă serviciile naturale ale ecosistemelor costiere.	Consumul excesiv de servicii ecosistemice ar putea duce la daune ecologice pe termen lung, care ar putea fi ireversibile.

3.1 SUSTENABILITATEA PORTURILOR TURISTICE, STUDIU DE CAZ

Un port de agrement sau port turistic, denumit și „marină”, este un tip de port utilizat în principal de ambarcațiuni de agrement și este asociat cu turismul nautic, parte integrantă a transportului maritim, având un rol important la nivel local.

În literatura de specialitate, pentru litoralul Mării Negre, nu există date clare cu privire la amploarea dezvoltării turismului nautic, dar se recunoaște că acesta se dezvoltă și necesită o analiză care să arate dimensiunea și impactul acestor activități (Luković, 2012). Scopul acestui capitol este de a studia impactul activităților acestor porturi și practicile sustenabile utilizate.

Necesitatea cercetării se impune având în vedere lipsa actuală a unor date complete privind practicile porturilor de agrement din România și amploarea generală a acestei industrii.

Un argument suplimentar pentru utilitatea acestei cercetări apare deoarece există o inițiativă în conformitate cu planul național de dezvoltare strategică care vizează modernizarea și dezvoltarea de noi porturi turistice pe litoralul Mării Negre (CJC., 2022).

Efectuarea unei evaluări amănunțite a operațiunilor actuale ale porturilor de agrement românești existente, evaluarea impactului acestora asupra mediului și identificarea domeniilor care necesită îmbunătățiri pot ghida dezvoltarea durabilă a noilor porturi de agrement.

Din punct de vedere istoric, porturile de agrement au fost mai puțin în atenția cercetătorilor decât porturile comerciale, acestea din urmă incluzând adesea porturile de agrement într-o anumită zonă de operare. Cu toate acestea, porturile de agrement capătă din ce în ce mai multă importanță datorită impactului economic pozitiv generat de sectorul navigației de agrement, acolo unde există dotările necesare.

Existența porturilor de agrement nu trebuie ignorată din discuția despre sustenabilitatea transportului maritim deoarece și acestea pot contribui la poluarea maritimă în zonele lor de operare și pot afecta atât schimbările climatice, cât și sănătatea locuitorilor din zona de coastă.

În Tabelul 4, sunt prezentate mai multe moduri în care porturile de agrement se integrează în rețeaua de transport maritim.

Tabel 4. Rolul porturilor de agrement în cadrul MTS general. (Sursa : Autorul)

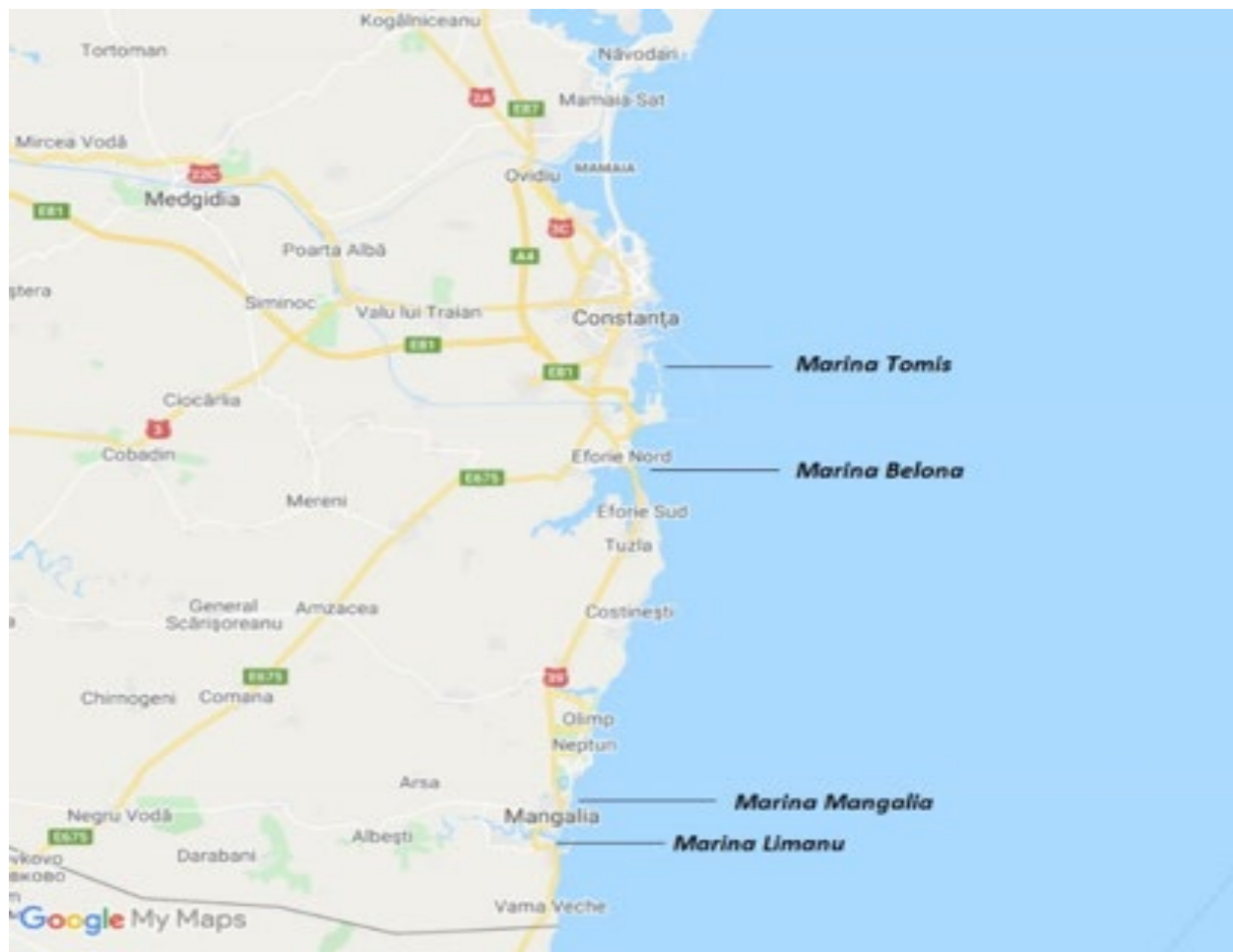
Rol	Descriere
Transport	Acționează ca noduri pentru transportul local pe apă în unele comunități de coastă și insulare, oferind inclusiv servicii precum feriboturile și taxiurile pe apă
Facilități pentru navigația costiera	Oferă puncte de acostare și service pentru bărci de agrement, cum ar fi iahturi, bărci cu vele și ambarcațiuni personale Oferă infrastructură pentru operațiuni precum alimentarea cu combustibil, întreținerea bărcilor și eliminarea deșeurilor
Industria turismului și a timpului liber	Situate în destinații turistice, contribuie la economia locală prin deservirea turiștilor care închiriază bărci pentru agrement. Pot găzdui, de asemenea, ambarcațiuni de turism pentru vizitarea obiectivelor turistice
Industria pescuitului	Servesc ca porturi de acostare pentru navele de pescuit comercial la scară mică Oferă servicii precum gheață, momeală, combustibil, reparații pentru bărci și un loc de descărcare a capturilor
Protecția mediului	Se implică în activități de promovare a practicilor de navigație curată Gestionează eliminarea deșeurilor pentru a preveni poluarea și, uneori, participă la proiecte de restaurare a habitatelor
Concursuri și regate	Găzduiesc concursuri de yachting la care participă ambarcațiuni rapide cu vele.

Am efectuat un studiu privind analiza nivelului de dezvoltare a porturilor turistice din zona de coastă românească a Mării Negre și implicațiile acestora pentru furnizarea durabilă a unui transport de agrement de calitate. Rezultatele au fost publicate în jurnalul MDPI, *Sustainability*.15(10):7979, (2023).

În România, există aproximativ 11300 de ambarcațiuni și mai multe porturi turistice interioare mici, precum și patru porturi dezvoltate la Marea Neagră (Publications Office of the European Union, 2016).

Porturile de agrement studiate sunt: Portul Tomis (Constanța), Belona (Eforie Nord), Mangalia și Limanu.

Figura 5. Porturile de agrement studiate (Sursa:Autorul)



Caracteristicile porturilor de agrement studiate cum ar fi nivelul dotărilor, locație, conexiunea cu marea, ponton amenajat/dane, tipuri de locuri de acostare sunt prezentate în Tabelul 5.

Tabel 5. Caracteristicile marinelor românești (Sursa: Autorul)

PORT Caracteristica	Tomis Constanța	Belona Eforie Nord	Mangalia	Portul Limanu
Nivelul de echipament	Standard, cu utilități de bază, dar înconjurat de restaurante și hoteluri private.	Standard cu utilități de bază și restaurant	Standard cu utilități de bază	Semi-avansat cu oferte de agrement: hotel, restaurant și bar, teren de sport, sală de conferințe.
Locație	Urban	Lângă plajă cu acces rutier	Urban	La distanță, cu acces rutier
Intrare	Intrarea portuară	Intrare bazin	Intrare portuară	Intrarea prin canal
Tipuri de locuri de acostare	Pupa la ponton cu prova ancorată la geamandură sau lângă ponton	Pupa la cheu, prova ancorată la ancoră sau geamandură	De-a lungul cheiurilor, dane duble	Pupa la ponton, ancorate, geamanduri

3.2 CADRUL DE CERCETARE

Analizând studii similare în domeniul transportului maritim costier din alte regiuni și având în vedere că niciun studiu din literatura de specialitate nu abordează practicile sustenabile aplicate de porturile de agrement din România, s-a optat pentru o abordare calitativă/cuantitativă.

Cadrul de analiză pregătit este prezentat în figura 6. Datele utilizate au fost date colectate pe baza unui chestionar, sau din discuții directe cu reprezentanți ai celor patru porturi de agrement studiate și ai administrațiilor maritime locale, sau din datele publice referitoare la această activitate.

Chestionarul a fost propus cu scopul de a obține informații care să acopere principiile de bază ale dezvoltării durabile și s-a referit la:

- Politicile de gestionare a deșeurilor;
- Utilizarea surselor de energie regenerabilă și a echipamentelor eficiente din punct de vedere energetic;
- Impactul local;
- Forța de muncă și resursele umane;
- Certificările relevante ale industriei.

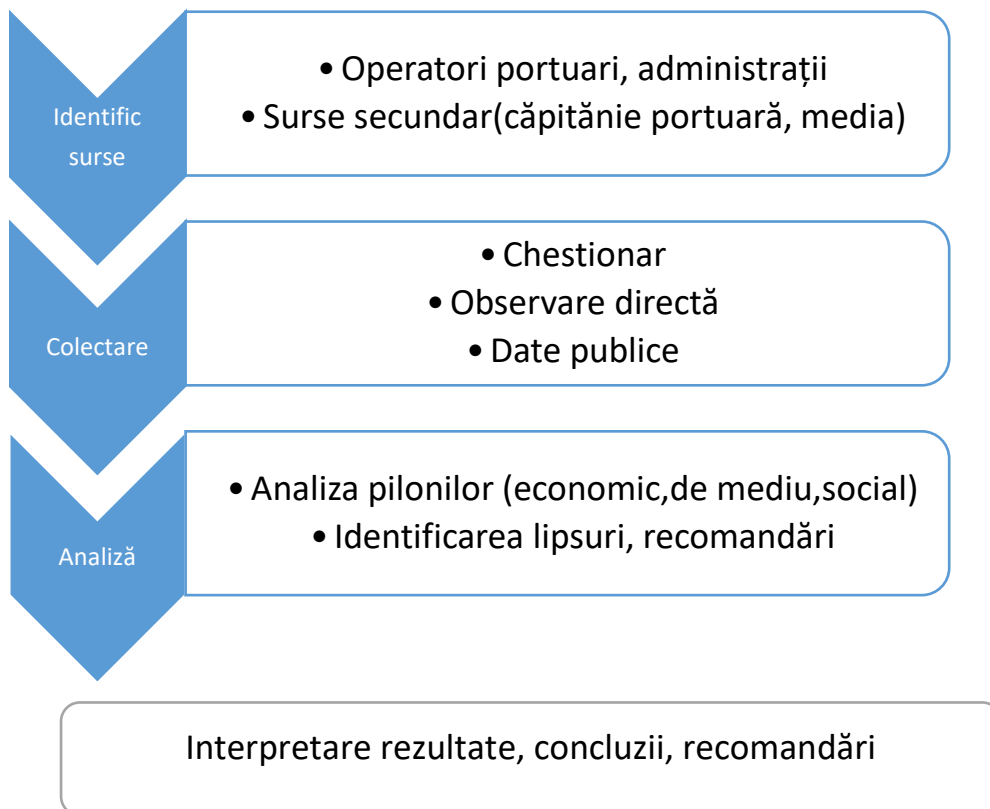


Figura 6. Cadrul de cercetare (Sursa: Autorul)

În ultimii 20 de ani, în România s-a înregistrat o rată de creștere în ceea ce privește turismul nautic. După cum se arată în figura 7, putem observa că, din 2014 până în 2019, a existat o creștere de 65% a numărului de ambarcațiuni acostate în regiunea de sud în porturile de agrement Mangalia și Limanu, iar acest lucru reprezintă o tendință pozitivă. Chiar și în timpul pandemiei, mulți au ales ambarcațiunile personale în locul cazării în camere sau a altor tipuri de turism.

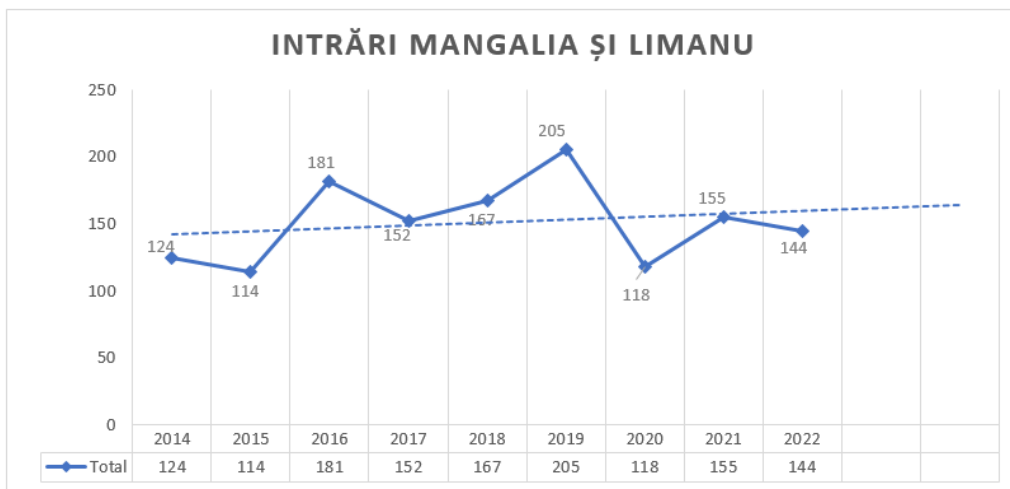


Figura 7. Traficul ambarcațiuni Limanu și Mangalia (Sursa: Autorul)

Pentru a evalua performanțele porturilor a fost utilizat un set cuprinzător de caracteristici, luând în considerare cei trei piloni ai sustenabilității. Metodele de cugere de date au fost: observarea directă, analiza chestionarului, colectarea de date din presă precum și din surse publice ale administrațiilor locale. Pentru evaluarea numărului de ambarcațiuni au fost folosite date de la Căpitania Mangalia, iar acolo unde a fost posibil din surse online care au monitorizat sistemele AIS ale ambarcațiunilor (marinetraffic.com).

Ramura transportului nautic de agrement face parte din ansamblul sistemelor maritime de transport și poate fi evaluată conform principiului sustenabilității definit în capitolul 2. Acest principiu trebuie adaptat la specificul marinelor. Astfel am generat o listă de elemente relevante specifice activității studiate alese pe baza celor trei principii generale de sustenabilitate, economic, de mediu și social (figura 8).

Elementele alese au fost analizate statistic în raport cu datele culese, rezultatele fiind prezentate grupat în tabele.

Economic	Mediu	Social
<ul style="list-style-type: none"> • Locuri acostare • Suprafața acvatoriului • Lungimea maximă a ambarcațiunii permisă • Tip de administrare • Facilități ambarcațiuni 	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentare apă dulce • Alimentare combustibil • Utilizare surse regenerabile • Energie electrică • Colectare gunoi • Sisteme de desalinizare • Clectare apă de ploaie • Echipamente antipoluare • Certificări • Natură 	<ul style="list-style-type: none"> • Conexiune internet • Spații de cazare • Organizare evenimente • Acces, parcare • Recenzii • Incluziune • Aplicație mobilă

Figura 8. Caracteristica de durabilitate (Sursa: Autorul)

În ceea ce privește suprafața de apă utilizabilă, Mangalia are cea mai mare suprafață cu 41% (17 ha) din suprafața totală de apă utilizabilă în toate cele patru locații, urmată de Tomis cu 14% (6 ha), Limanu cu 9% (3 ha) și Eforie Belona cu 2% (1 ha), așa cum se arată în tabelul 6. Lungimea maximă permisă a ambarcațiunilor variază, de asemenea, de la o locație la alta, cu 24m permisă în Limanu și Tomis, 18 m permisă în Mangalia și 12 m permisă în Eforie Belona (Tabel 6).

Tabel 6. Caracteristicile economice (Sursa:Autorul)

Caracteristici	Tomis	Eforie Belona	LifeHarbour Limanu	Mangalia
Număr locuri (B)	300	60	140	146
Suprafața acvatoriu (W)	60 ha	10 ha	30 ha	170 ha
Raport W/B	200	167	214	1164
Lungime maximă permisă	24 m	12 m	24 m	18 m
Management	PPr	PPr	Pr	P

În ceea ce privește gestionarea, Eforie Belona și Tomis sunt gestionate de un parteneriat public-privat (PPr), reprezentând 50% din locații, în timp ce Limanu și Mangalia sunt gestionate de un management privat (P) și, respectiv, public (Pr). Acest lucru ar putea indica faptul că Eforie, Limanu și Tomis ar putea fi mai mult axate pe furnizarea de servicii de calitate pentru clienții lor. În schimb, Mangalia are un alt tip de management, care poate avea priorități diferite și se poate concentra pe diferite aspecte ale funcționării portului de agrement.

Tabel 7. Facilități de mediu (Sursa:Autorul)

Caracteristici	Tomis	Eforie Belona	LifeHarbour Limanu	Mangalia
Surse apă	Y	Y	Y	Y
Facilități combustibil	N	N	N	N
Surse regenerabile	N	N	N	N
Conexiune electrică mal	Y	Y	Y	Y
Colectare gunoi	Y	Y	Y	Y
Colectare ulei, balast	N	Y	Y	N
Echipament MARPOL	N	N	Y	Y
Desalinizare,colectare ploaie	N	N	N	N
Facilități reparații	Y	N	Y	N
Natura, suprafețe verzi	Y	N	Y	N
ISO14001	N	N	N	N
Blue Flag	N	N	N	N

Y-disponibile; N- indisponibile

În toate locațiile sunt disponibile alimentare cu apă și cu energie electrică la mal. Toate locațiile au acces la rețeaua de alimentare cu energie electrică de la țărm pentru energia electrică furnizată de compania locală de electricitate. Deșeurile și gunoiul, acolo unde sunt colectate, sunt livrate ulterior companiilor locale de reciclare. Utilizarea surselor de energie regenerabilă (RES) și a sistemelor de desalinizare și de recuperare a apei de ploaie nu sunt disponibile în nicio locație. Niciunul dintre porturile de agrement studiate nu dispune de instalații omologate pentru aprovizionarea cu combustibil (Tabel 7).

Mangalia și LifeHarbour Limanu dispun de sisteme de eliminare a uleiului uzat și a apei de balast, precum și de echipamente de prevenire a poluării. Tomis și LifeHarbour Limanu oferă servicii de întreținere a bărcilor și dispun de spații verzi. La data studiului, nicio locație nu avea certificări de mediu ISO14001 sau Blue Flag.

Pe baza acestor date, se poate concluziona că disponibilitatea anumitor servicii variază de la o locație la alta, iar unele locații au un set de servicii mai cuprinzător decât altele. Lipsa aprovizionării cu combustibil, utilizarea surselor de energie regenerabilă și certificările de mediu pot fi domenii care pot fi îmbunătățite în toate locațiile. Prezența echipamentelor de eliminare a deșeurilor și de prevenire a poluării este importantă pentru siguranța și protecția mediului. Disponibilitatea serviciilor de întreținere a ambarcațiunilor și a spațiilor verzi poate fi un factor care atrage navigatorii în anumite locații.

Tabel 8. Caracteristici sociale. (Sursa: Autorul)

Caracteristici	Tomis	Eforie Belona	LifeHarbour Limanu	Mangalia
Conexiune internet, WiFi	N	Y	Y	N
Locuri recreere	Y	Y	Y	N
Organizare evenimente	Y	Y	Y	Y
Urban	N	Y	N	Y
Acces stradal, parcare	Y	Y	Y	Y
Aplicație mobilă	N	N	N	N
CCTV	N	Y	Y	N
Acces rampa, macara	Y	Y	Y	N
Recenzii *	4.5	4.3	4.6	4.7

* Date colectate Google; Y-disponibil; N- Indisponibil

În urma cercetării, a fost efectuată o analiză **SWOT** privind activitatea porturilor de agrement și dezvoltarea turismului nautic.

Tabel 9. ANALIZA SWOT (Sursa: Autorul)

<p>Puncte forte</p> <p>Potențial ridicat datorită creșterii interesului pentru turismul nautic</p> <p>Atracții naturale</p> <p>Proximitatea față de zone urbane dezvoltate și sigure</p> <p>Un bogat patrimoniu cultural și istoric</p> <p>Facilități de cazare și catering</p> <p>Infrastructură bună</p> <p>Accesibilă dinspre Marea Neagră și Dunăre</p> <p>Școli de navigație și organizații de evenimente</p>	<p>Puncte slabe</p> <p>Capacitate limitată de cazare a navelor mari</p> <p>Lipsa de muncitori calificați</p> <p>Informarea insuficientă a turiștilor cu privire la oferte</p> <p>Lipsa unei strategii clare și definite pentru dezvoltarea turismului nautic</p> <p>Lipsa de certificări</p> <p>Lipsește dezvoltarea IT, cum ar fi aplicații pentru rezervări, date în timp real</p>
<p>Oportunități</p> <p>Potențial neexploatat</p> <p>Apropierea de Delta Dunării și de căile navigabile interioare</p> <p>Implicarea agențiilor de turism</p> <p>Găzduirea de regate internaționale</p> <p>Dezvoltarea serviciilor auxiliare (reparații de ambarcațiuni, vânzări de echipamente, întreținere)</p> <p>Organizarea de excursii tematice, observarea delfinilor, scuba diving</p>	<p>Amenințări</p> <p>Nu există suficientă conștientizare a importanței turismului nautic</p> <p>Impactul factorilor politici, al corupției și al birocrăției</p> <p>Impactul unor potențiale crize sanitare sau al instabilității politice</p> <p>Apropierea de zonele de conflict din Marea Neagră (Ucraina)</p> <p>Lipsa unei strategii clare de dezvoltare</p>

Cercetarea evidențiază lacunele în ceea ce privește politica sustenabilă de dezvoltare a porturilor de agrement din România, oferind recomandări esențiale pentru a îmbunătăți durabilitatea lor ecologică, socială și economică.

Din studiul realizat se desprind următoarele:

- Din punct de vedere ecologic, este vital ca porturile de agrement să adopte politici stricte de combatere a poluării și de protejare a ecosistemului costier, cu măsuri potențiale care includ sisteme de gestionare a deșeurilor, adoptarea de energie regenerabilă și orientări de construcție ecologice.
- Pe plan social, interesul crescând pentru activitățile recreative maritime sugerează că dezvoltarea porturilor de agrement poate stimula turismul, aducând beneficii economiilor locale și îmbunătățind calitatea generală a vieții.
- Din punct de vedere economic, porturile de agrement prezintă un potențial semnificativ de atragere a investițiilor, de stimulare a industriilor conexe și de generare de locuri de muncă.
- Aceste informații au scopul de a ghida dezvoltarea intensivă și extensivă a turismul de agrement precum și dezvoltarea durabilă a litoralului românesc al Mării Negre, armonizând creșterea lui cu atributele geografice unice ale regiunii.

4 . MODELE DE OPTIMIZARE

Cercetările Operaționale (OR) au avut ca punct de pornire chiar o problema de transport maritim (problema lui Koopmans) de utilizare la maxim a capacității de transport naval al flotei aliaților, cu scopul de a reduce timpul de expunere a navelor la pericolul reprezentat de submarinele germane, în cel de-al doilea război mondial. Conexiunea acestui domeniu matematic cu transporturile este dată și de dezvoltarea problemei clasice de transport drept caz particular al problemei de programare liniară. Mai mult, s-au dezvoltat instrumente și tehnici cantitative pentru modelarea sistemelor complexe de transport cu scopul optimizării performanțelor acestora.

Operațiunile maritime implică incertitudini substanțiale din cauza condițiilor meteorologice, a fluctuației cererii, a dinamicii lanțului de aprovizionare, a fluctuației prețurilor și a disponibilității resurselor.

Utilizarea algoritmilor de optimizare în industria maritimă este astăzi mai relevantă ca niciodată. Acest lucru se datorează, în primul rând, îmbătrânirii continue a flotei, ceea ce face dificilă aderarea la politicile actuale de mediu prin adoptarea de noi tehnologii pentru actuala flotă. Exista, de asemenea, un real blocaj în domeniul construcției de noi nave, deoarece costurile acestora sunt uriașe și se amortizează greu, deci ele trebuie utilizate o perioadă îndelungată iar cercetarile în domeniul noilor surse de energie sunt în derulare.

Pe baza revizuirii din 2022 a Conferinței Națiunilor Unite pentru Comerț și Dezvoltare, în 2021 vârsta medie a flotei mondiale de nave, a fost:

- de 21 de ani pentru nave port-container,
- de 27 de ani pentru vrachiere și
- de 30 de ani pentru petroliere.

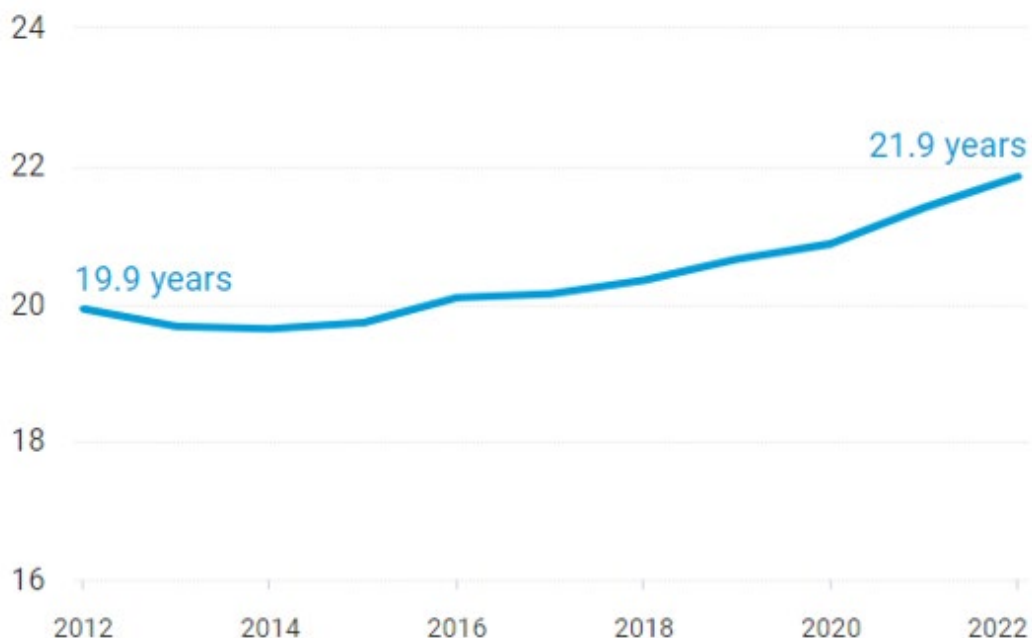


Figura 9. Vârsta medie a flotei mondiale (Sursa: UNCTAD,2022)

4.1 ALGORITM DE OPTIMIZARE A ACOSTĂRII AMBARCAȚIUNILOR

Studiul de caz prezentat în capitolul trei, a permis identificarea unor probleme cu care se confrunta administrațiile marinelor, iar aglomerarea portuară în sezon maxim este o problemă.

Porturile de agrement din România nu dispun de un program specializat de acostare și nici de o interfață cu alte platforme software, pentru eficientizarea acostării. În realitate, ambarcațiunile trebuie să ia legătura din timp cu portul de agrement pentru a vedea dacă pot acosta acolo. Deși această abordare poate fi utilă în perioadele de activitate redusă, în timpul verii însă, când există aglomerări, proprietarii de ambarcațiuni pot anunța marina de câte zile de staționare au nevoie, iar marina poate alocă locurile de acostare în mod eficient pe baza cererilor de acostare astfel încât să nu existe timpi de așteptare din cauza indisponibilității unui loc la cheu. Spre deosebire de modalitatea de organizare a danelor specializate pentru transportul de mărfuri sau de persoane, cu delimitare riguroasă, ambarcațiunile ancorează la mal cu pupa (spatele) și nu longitudinal, în spații înguste.

Din acest motiv facilitatea oferită lor se numește dană continuă. O altă particularitate este dimensiunea redusă a acvatoriului (a bazinului portuar) ceea ce nu permite asigurarea unei zone în care să se realizeze așteptarea intrării la cheu și deci și conectarea la facilitățile portuare. Aceste motive au impus adaptarea algoritmilor existenți pentru dană continuă la particularitățile marinelor și astfel am realizat un model de coordonare a sosirii ambarcațiunilor într-un port de agrement fără timpi de așteptare a primirii în port.

Scenariul este elaborat pentru programarea în 15 zile (360 ore) a zece iahturi la cheiul nr.1 al portului de agrement Constanța - Tomis. Dimensiunile acestora precum și numărul de zile de staționare la cheu sunt transmise la operator de ambarcațiune, deci sunt cunoscute. Lungimea

cheiului este de 30 m. Obiectivul este de a optimiza programarea intrării navelor pentru a nu avea timp de așteptare la intrarea în port și el se realizează în două etape (Tabelul 10).

Tabel 10. Structura algoritmului de alocare (Sursa: Autorul)

ETAPA	REZOLVARE	ALGORITM	OBSERVAȚII
1	Gasirea timpilor de sosire astfel încât să nu se aștepte pentru ancorare	Algoritm dinamic de alocare continua (BAP)	VARIANTĂ adaptată de autor
2	Identificarea posibilei localizări a unei ambarcațiuni în diagrama spațiu-timp	Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP)	VARIANTĂ adaptată de autor

Formularea matematică a problemei conform Lee, et al. (2010), constă în minimizarea funcției obiectiv :

$$F = \sum_{i=1}^N w_i * (c_i - a_i) \quad (2)$$

cu restricțiile :

$$\begin{cases} u_j - u_i - p_i - (\sigma_{ij} - 1) * T \geq 0 & \forall 1 \leq i, j \leq N, i \neq j & (3) \\ v_j - v_i - s_i - (\sigma_{ij} - 1) * S \geq 0 & \forall 1 \leq i, j \leq N, i \neq j & (4) \\ \sigma_{ij} + \sigma_{ji} + \delta_{ij} + \delta_{ji} \geq 1 & \forall 1 \leq i, j \leq N, i \neq j & (5) \\ \sigma_{ij} + \sigma_{ji} \leq 1 & \forall 1 \leq i, j \leq N, i \neq j & (6) \\ \delta_{ij} + \delta_{ji} \leq 1 & \forall 1 \leq i, j \leq N, i \neq j & (7) \\ p_i + u_i = c_i & \forall 1 \leq i \leq N & (8) \\ a_i \leq u_i \leq (T - p_i) & u_i \in R^+, \forall 1 \leq i \leq N & (9) \\ 0 \leq v_i \leq (S - s_i) & v_i \in R^+, \forall 1 \leq i \leq N & (10) \\ \sigma_{ij} \in \{0,1\}, \delta_{ij} \in \{0,1\} & \forall 1 \leq i, j \leq N, i \neq j & (11) \end{cases}$$

unde :

S - lungimea pontonului

T - lungimea orizontului de planificare

N - numărul total de iahturi care sosesc N=10

p_i – timpul de serviciu i , $1 \leq i \leq N$

s_i – lățimea ambarcațiunii i , $1 \leq i \leq N$

a_i – timpul de sosire i , $1 \leq i \leq N$

și variabilele :

w_i – coeficient de importanță i , $1 \leq i \leq N$

u_i – momentul de acostare i , $1 \leq i \leq N$

v_i – poziția inițială la cheu i , $1 \leq i \leq N$

c_i – momentul de plecare al ambarcațiunii i , $1 \leq i \leq N$

$\sigma_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{dacă nava } i \text{ se află complet la stânga navei } j \text{ în diagrama spațiu-timp} \\ 0 & \text{în caz contrar} \end{cases}$

$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{dacă nava } i \text{ se află complet sub nava } j \text{ în diagrama spațiu-timp} \\ 0 & \text{în caz contrar} \end{cases}$

Având în vedere că :

- Timpul total disponibil este de 15 zile, adică 360 de ore ($T=360$)

- Locurile de acostare sunt continue de-a lungul unui cheu de 30 m lungime ($S=30$)

- Toate navele acostează direct la cheu pentru a fi conectate la utilități.

- Importanța depinde de lățimea ambarcațiunii:

$w_i=1$ dacă $s_i < 5$ m , și $w_i=2$ dacă $s_i \geq 5$ m (pentru aceste nave este nevoie de asistență pentru acostare)

- Cum u_i - fiind ora de sosire, putem considera că $u_i < a_i$, ceea ce înseamnă că timpul de acostare nu este egal cu timpul de sosire.

Algoritmul va genera planul de servicii pentru nave într-un mod care să minimizeze timpul total pe care navele îl vor petrece în port.

Dar timpul din port are două componente: așteptarea intrării la dana și durata servirii, care, în cazul acestor nave de agreement este durata pe care nava intenționează să o petreacă în port (nu este variabilă și este comunicată încă din etapa de organizare a voiajului).

Pentru studiul de caz prezentat și valorile descrise în Tabelul 11, modelul va fi actualizat după cum urmează :

- Datorită faptului că portul de agrement Constanța - Tomis are un bazin de acostare limitat, care este adesea aglomerat de trafic, momentul sosirii devine egal cu timpul de acostare, ceea ce înseamnă că $u_i = a_i$, pentru $i = 1..10$
- Timpul serviciului de acostare este anunțat de către velier, iar c_i este egal cu durata șederii.
- Necunoscutele sunt momentele $a_i = u_i$

Funcția obiectiv devine :

$$F = \sum_{i=1}^N w_i * (c_i - a_i) \quad (12)$$

iar restricțiile se transformă în:

$$a_j - a_i - p_i - (\sigma_{ij} - 1) * 360 \geq 0 \quad \forall 1 \leq i, j \leq N, i \neq j \quad (13)$$

$$v_j - v_i - s_i - (\sigma_{ij} - 1) * 30 \geq 0 \quad \forall 1 \leq i, j \leq 10, i \neq j \quad (14)$$

$$p_i + a_i = c_i \quad \forall 1 \leq i \leq 10 \quad (15)$$

$$a_i = u_i \leq (360 - p_i) \quad u_i \in R^+, \forall 1 \leq i \leq 10 \quad (16)$$

$$0 \leq v_i \leq (30 - s_i) \quad v_i \in R^+, \forall 1 \leq i \leq 10 \quad (17)$$

$$\sigma_{ij} \in \{0,1\}, \quad \delta_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall 1 \leq i, j \leq 10, i \neq j \quad (18)$$

În concluzie, sistemul de constrângeri al programului de programare liniară generat de studiul de caz constă în:

- A_{10}^2 inegalități de tip (4.32), total 45;
- A_{10}^2 inegalități de tip (4.33), total 45;
- inegalități de tip (4.34),(4.35) și (4.36), total 30.

Astfel, matricea de constrângeri A are 120 de rânduri corespunzătoare constrângerilor și 10 coloane generate de variabilele $u_i = a_i$. Soluția găsită cu ajutorul programului MATLAB, instrucțiunea linprog a fost trecută în coloana (3) a Tabelului 11.

Tabel 11. Mărimile care intervin în problemă

Yacht	Lățime (s_i)	Timp de acostare (a_i) ore	Timp de serviciu (p_i)		Timp plecare (c_i) ore	Importanța w_i
			ore	zile		
1	4	6	144	6	150	1
2	4,3	8	168	7	176	1
3	3,4	9	72	3	81	1
4	5	10	216	9	226	2
5	4,5	90	96	4	186	1
6	5,5	200	72	3	272	2
7	4	224	96	4	320	1
8	3,5	172	72	3	244	1
9	4,2	180	24	1	204	1
10	3,4	240	48	2	288	1

Pentru a calcula s_i și a amplasa ambarcațiunile trebuie să se țină seama de următoarele:

- Distanța inițială dintre cheu și prima ambarcațiune este de 2m, ce înseamnă că $v_1 = 2$.
- Distanța dintre două ambarcațiuni trebuie să fie de 1,5 m pentru a permite spațiul de manevră și, de asemenea, pentru a monta baloanele de protecție.

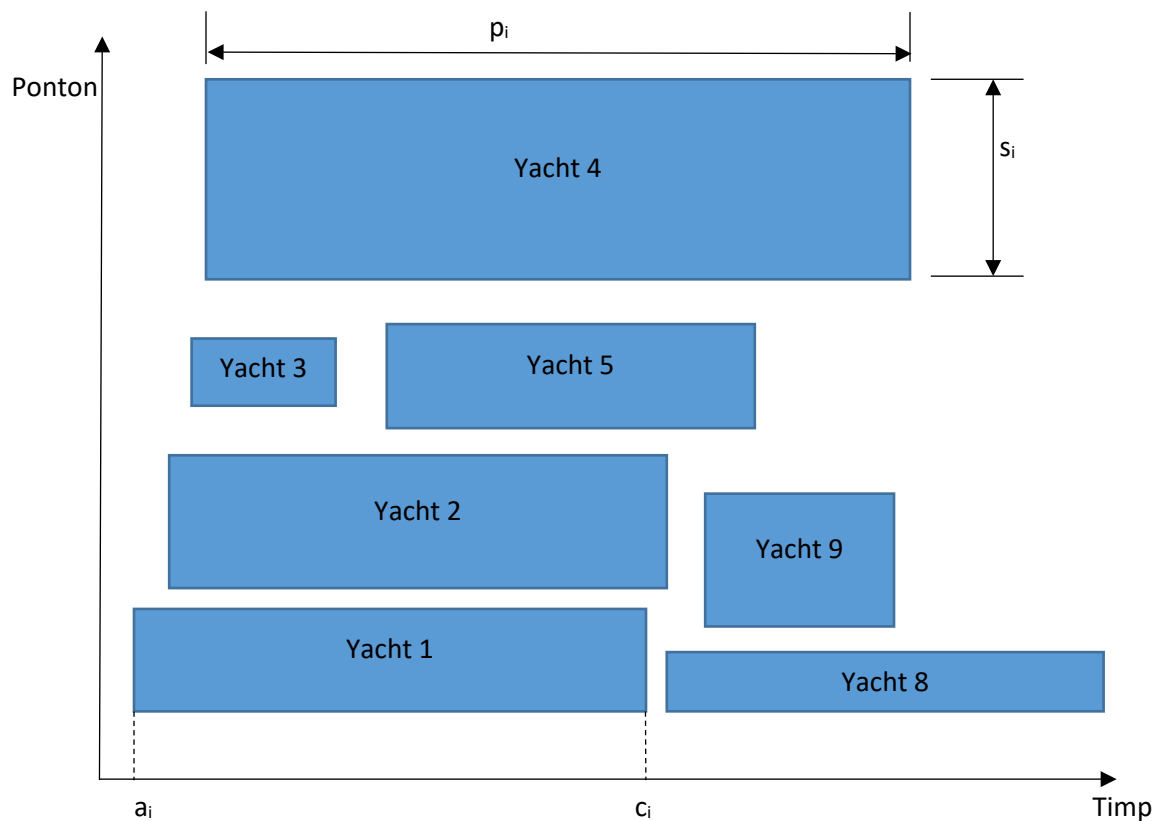
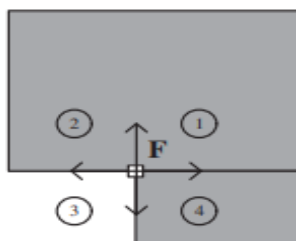


Figura 10. Diagrama spațiu-timp pentru alocare continuă (Sursa:Autorul)

Ambarcațiunile A6, A7 și A10 nu au putut fi plasate. Pentru a identifica posibilele locații pentru acestea, se utilizează atât importanța vaselor rămase, cât și dreptunghiul ABCD definit în diagrama spațiu-timp.

Nodurile E, F, G, H, I, J, K, L, B, C definesc spațiul gol (V) în care ar putea fi poziționate vasele 6 și 7, 10.

Vectorii asociați nodurile conform Lee, (2010), sunt construiți atribuind pentru fiecare nod vectorii din $R \times R \times R \times R$ care descriu starea celor patru cadrane pe care un reper cartezian cu



originea în nod le-ar forma.

Dacă cadranul este ocupat i se alocă valoarea 0 deoarece nu oferă loc ce ar putea fi ocupat sau se depășește frontiera domeniului și nu s-ar putea utiliza facilitatea de neocupare fără a viola restricțiile problemei și 1 dacă este neocupat.

Rezulta astfel E: (1, 1,1, 0) ; F: (1, 0, 1, 1) ; G: (0, 0, 0, 1) ; H: (0, 1, 1, 1) ; I: (1, 1, 0, 1,) ; J: (1, 0, 0, 0) ; K: (1,1, 0,1) ;L: (1, 0, 0, 0).

Se formează cinci clase de vectori, in funcție de suma componentelor, (ex clasa C1 conține doar vectorii J și L).

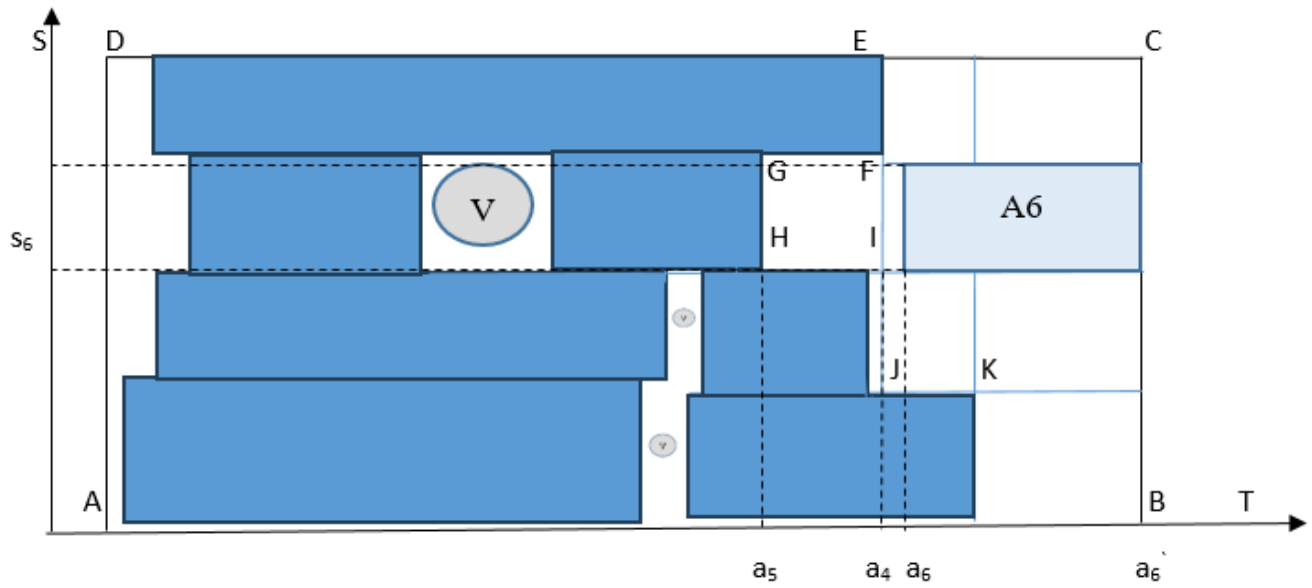


Figura 11. Poziția lui A6 (Sursa: Autorul)

Pentru ambarcațiunea A6, acostarea la ponton va fi cea din Figura 11 :

- grinda $s_6 = 5,5$ m
- segmentul $a_6 - a_6'$ este egal cu timpul petrecut în port care este de 72h începând de la a_6 (determinat de IJ) deci = 204h

Disponerea finală este cea din Figura 12 și domeniul de căutare BLKJIHGFEC acceptă toate ambarcațiunile la orele indicate de rularea algoritmului din Etapa 1.

Această metodă permite planificarea sosirilor într-o marină direct, fără așteptare și fiind făcută în avans dă posibilitate și ambarcațiunilor să își realizeze rotația porturilor pe care și le propune cu minimizarea timpilor de așteptare.

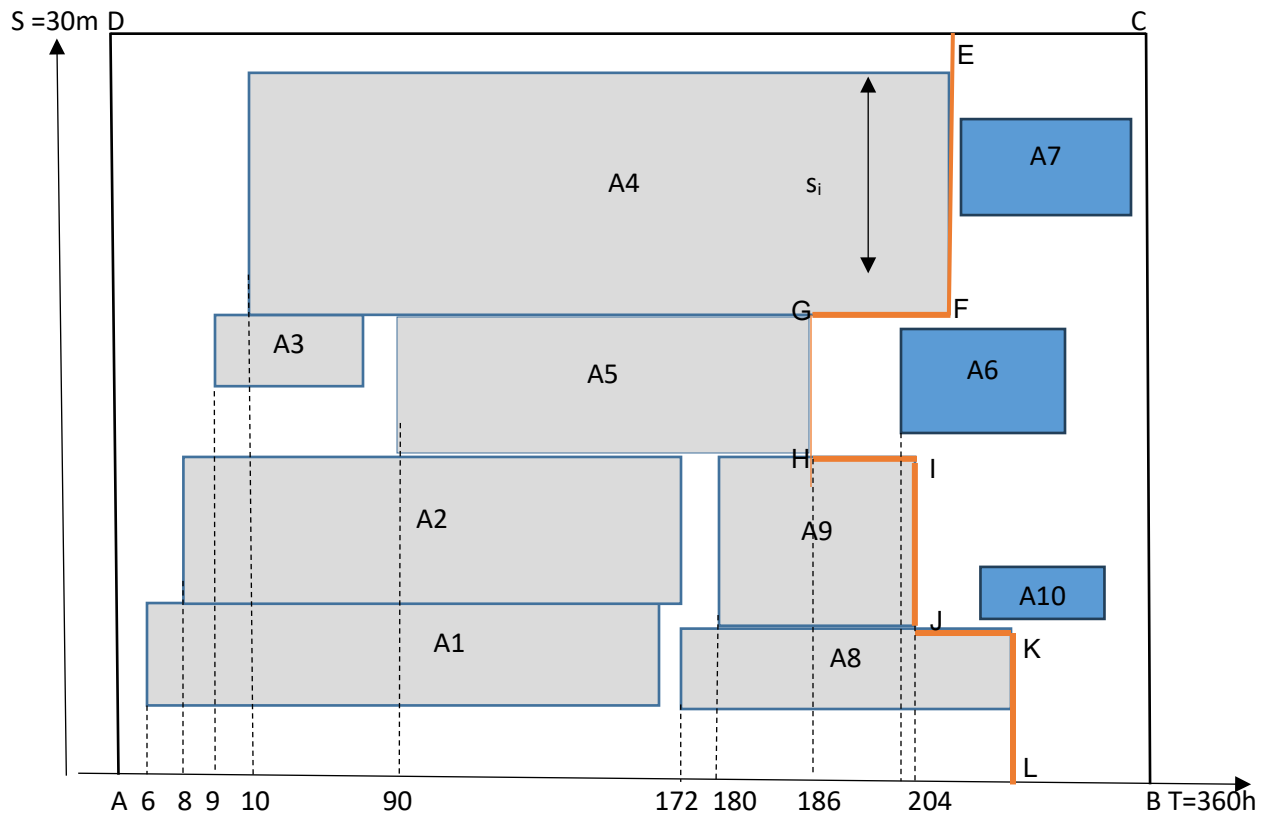


Figura 12. Dispunere finală

Utilitatea aplicării algoritmului modificat rezultă din:

1. Așteptările generează îngreunarea velierelor cu resurse care s-ar consuma în timpul lor, deoarece nefiind conectate la utilitățile oferite de port, consumurile s-ar face din provizii
2. Staționarea prelungită cu așteptare generează poluare suplimentară care ar afecta calitatea aerului din localitățile în preajma cărora marinele se află.

4.2 OPTIMIZAREA VITEZEI NAVEI FOLOSIND ALGORITMUL BACKTRACKING

În domeniul transportului maritim, optimizarea consumului de combustibil rămâne o preocupare primordială, în special pentru navele maritime și chiar cele din domeniul offshore.

Având în vedere peisajul actual al pieței, există o îmbătrânire a flotei inclusiv pentru nave offshore multifuncționale, cum ar fi chiar și remorcherele, care pot fi utilizate în diferite roluri, inclusiv pentru a oferi suport platformelor. În timp ce studiile se concentrează pe dezvoltarea de noi sisteme și tehnologii avansate de propulsie, cum ar fi propulsia electrică hibridă, este

important să se înțeleagă relevanța continuă și avantajele potențiale ale optimizării procesului operațional al navelor mai vechi.

Studiul de caz prezintă și detaliază un algoritm backtracking adaptat pentru optimizarea consumului de combustibil al unui remorcher care operează ca navă de asistență/alimentare a platformei (MPSV). Obiectivul principal este de a discerne viteza optimă care ar duce la un consum minim de combustibil, respectând în același timp constrângerile operaționale.

Backtracking este un algoritm de căutare sistematică a tuturor combinațiilor posibile într-un spațiu de soluții. O soluție parțială este definită de o combinație de variabile care satisfac un set de constrângeri. Algoritmul extinde progresiv o soluție parțială spre o soluție completă, în care toate variabilele sunt alocate. Toate combinațiile intermediare sunt testate pentru a completa constrângerile problemei și alocarea optimă. Ori de câte ori testul eșuează, algoritmul revine la cea mai recentă soluție parțială fezabilă. Algoritmul se termină atunci când toate variabilele sunt alocate cu succes.

Metodologie :

O navă de aprovizionare a platformelor (PSV) este utilizată pentru a transporta bunuri și personal de la o instalație portuară la diferite structuri offshore, cum ar fi platformele de foraj sau platformele de producție. În mod obișnuit, călătoria este considerată o buclă închisă și asigură un transport circular cu opriri multiple. Călătoria implică diferite regimuri de viteză care variază de la viteza maximă la zero în situații în care platformele solicită timpi de așteptare, sau din motive de siguranță.

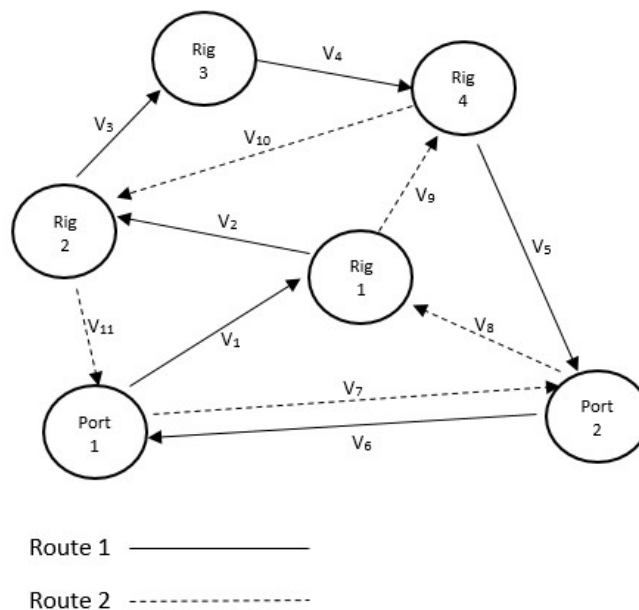


Figura 13. Rutele potențiale ale navelor și opțiunile de viteză. (Sursa: Autor)

Fiecare segment al călătoriei poate fi împărțit în segmente mai mici, în funcție de restricțiile de viteză din zona de navigație respectivă.

Model matematic:

Obiectivul problemei este de a minimiza consumul total de combustibil :

$$m_f = \sum_{i=0}^{n-1} m_f(s_i, s_{i+1}) \quad (19)$$

unde,

m_f - reprezintă masa totală de combustibil folosit

s_i - segmentul de voiaj

t_i - ora de plecare

Masa de combustibil arsă m_f a fiecărui segment de traseu este evaluată prin integrarea numerică a debitului masic de combustibil în funcție de timp, așa cum se arată în ecuația :

$$m_{f s_i}^{s_{i+1}} = \int_{t_i}^{t_j} m_f(t) dt \quad (20)$$

Dacă N este numărul total de segmente care formează călătoria, atunci masa totală M este egală cu :

$$M = \sum_{i=1}^N m_f s_i^{s_{i+1}} \quad (21)$$

unde se presupune că nava călătorește din punctul x_i la momentul t_i la punctul x_{i+1} la momentul t_{i+1} , iar consumul total al călătoriei M va fi suma maselor de combustibil pentru fiecare segment.

În acest studiu, optimizarea consumului de combustibil este considerată ca funcție obiectiv. Consumul de combustibil al unei nave poate fi calculat prin înmulțirea debitului de combustibil cu timpul în care se consumă combustibilul.

$$FC = F \cdot t \quad (22)$$

unde,

FC = consumul de combustibil [kg]

F = debitul masic [kg/h]

T = timp [h]

Se adaugă o constrângere de timp, având în vedere că durata călătoriei nu trebuie să depășească valoarea \bar{T} .

$$\sum_{i=1}^N t_i(v_i, \Delta v_i) \leq \bar{T} \quad (23)$$

Asupra unei nave care se deplasează cu viteza constantă, v , acționează rezultanta forțelor hidro-aerodinamice. Rezistența la înaintare a navei este proiecția rezultantei forțelor hidro-aerodinamice care acționează asupra navei, pe direcția vitezei de deplasare (Obreja et al.,2003). Calculul pierderii de viteză a navei în diferite condiții meteorologice (vânt și mare) se bazează pe metoda Kwon, care poate fi utilizată pentru simplitatea sa și datorită specificului unei nave de aprovizionare în călătoriile de coastă (Kwon,2008).

$$\frac{\Delta V}{V_1} 100\% = C_\beta C_U C_{form} \quad (24)$$

$$\Delta V = V_1 - V_2 \quad (25)$$

$$V_1 = F_n \sqrt{L_{pp} g} \quad (26)$$

unde:

F_n = numărul Froude (număr adimensional folosit în dinamica fluidelor pentru a compara inerția fluxului cu un câmp extern)

ΔV = pierderea de viteză a navei [m/s],

V_1 = viteza navei în apă calmă [m/s],

V_2 = viteza navei în condițiile meteorologice selectate [m/s],

C_β = coeficientul de reducere a direcției de viteză, care depinde de direcția vremii și de numărul Beaufort BN,

C_U = coeficientul de reducere a vitezei, care depinde de coeficientul de bloc al navei CB, de condițiile de încărcare și de numărul Froude F_n ,

C_{form} = coeficientul de formă a corpului navei, care depinde de tipul de navă, de numărul Beaufort BN și de deplasarea navei D (t),

BN - numărul Beaufort (adimensional)

Calculul coeficienților este descris în tabelele următoare :

Tabel 12. Coeficientul de rducere la vreme C_β

Direcție	Unghi β	Coeficient de reducere C_β
Din Prova	$0 - 30^0$	$C_\beta = 1$
Travers prova	$30^0 - 60^0$	$C_\beta = \frac{1.7 - 0.03((BN - 4)^2)}{2}$
Travers pupa	$60^0 - 150^0$	$C_\beta = \frac{0.9 - 0.06((BN - 6)^2)}{2}$

Din pupa	150° – 180°	$C_{\beta} = \frac{0.4 - 0.03((BN - 8)^2)}{2}$
----------	-------------	--

Tabel 13. Coeficient pierdere viteză C_U

Coeficient bloc C_B	Încărcare	Reducere viteză C_U
0.55	Normal	$1.7 - 1.4F_n - 7.4(F_n)^2$
0.60	Normal	$2.2 - 2.5F_n - 9.7(F_n)^2$
0.65	Normal	$2.6 - 3.7F_n - 11.6(F_n)^2$
0.70	Normal	$3.1 - 5.3F_n - 12.4(F_n)^2$
0.75	Maximă sau normal	$2.4 - 10.6F_n - 9.5(F_n)^2$
0.80	Maximă sau normal	$2.6 - 13.1F_n - 15.1(F_n)^2$
0.85	Maximă sau normal	$3.1 - 18.7F_n - 28.0(F_n)^2$
0.75	Balast	$2.6 - 12.5F_n - 13.5(F_n)^2$
0.80	Balast	$3.0 - 16.3F_n - 21.6(F_n)^2$
0.85	Balast	$3.4 - 20.9F_n - 31.8(F_n)^2$

Tabel 14. Coeficient C_{form}

Tipul navei și încărcare	Coeficient C_{form}
Toate navele (cu excepția navelor de containere) încărcate la maxim	$0.5BN + \frac{BN^{6.5}}{2.7\Delta^{2/3}}$
Toate navele (cu excepția navelor container) în balast	$0.7BN + \frac{BN^{6.5}}{2.7\Delta^{2/3}}$
Containere în condiții normale de încărcare	$0.5BN + \frac{BN^{6.5}}{2.2\Delta^{2/3}}$

În funcție de scara BN, viteza și condițiile de navigație de-a lungul traseului variază pentru fiecare segment al călătoriei.

Aplicație numerică:

Pentru a ilustra optimizarea vitezei navei cu ajutorul algoritmului de urmărire inversă, folosim un drum de navă ca în Figura 14.

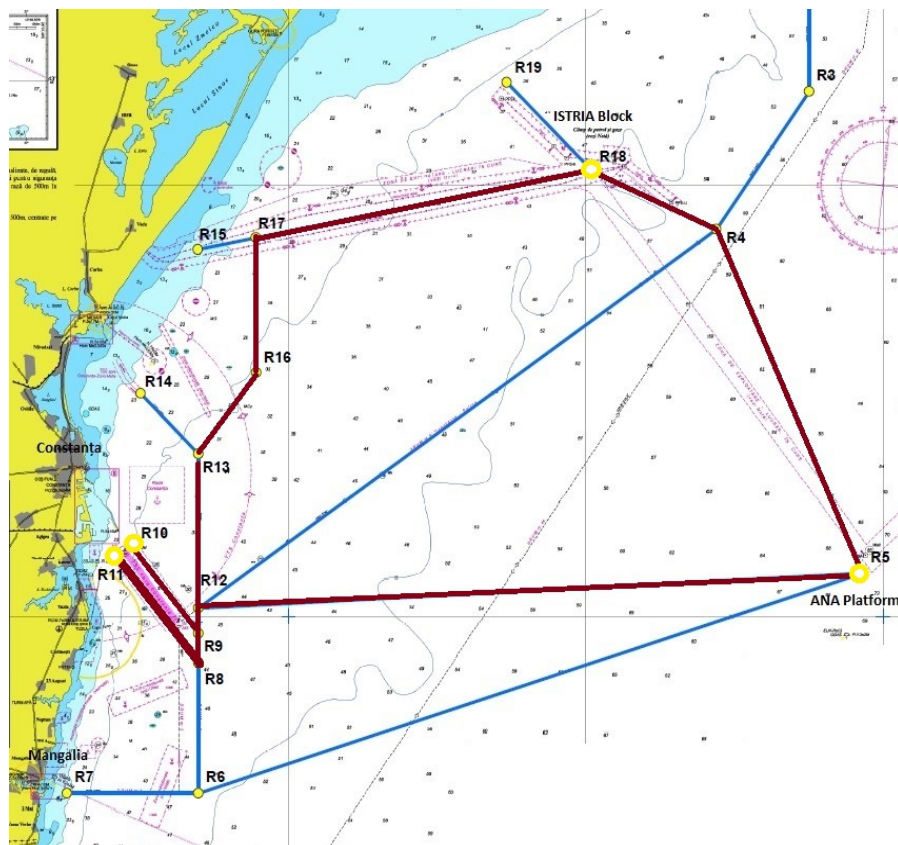


Figura 14. Rute și puncte de reper recomandate (Sursa: Autor)

Segmenetele de drum au următoarele proprietăți :

Segment	Distanța (Nm)
R11 - R8	13.17
R8 - R9	2.9
R9 - R12	2.47
R12 - R13	14.96
R13 - R16	9.83
R16 - R17	13.06
R17 - R18	34.59
R18 - R4	13.86
R4 - R5	36.5
R5 - R12	67.35
R12 - R9	2.47
R9 - R10	10.93

Caracteristicile de deplasare a le navei sunt trecute în tabelul 15, poziția levierului reprezentând alegerea treptei de viteză.

Tabel 15. Caracteristici de deplasare (Sursa: Autorul)

Poziția levierului (%)	Viteza (kts)	Consumul (l/h)	Consumul (l/Nm)
5	3.2	48.64	15.2
15	5.1	94.86	18.6
25	6.5	131.95	20.3
35	7.9	194.34	24.6
45	9	241.2	26.8
55	9.9	289.47	29.24
65	10.8	347.22	32.15
75	11.4	411.08	36.06
80	11.9	495.03	41.59
85	12.3	544.64	44.28
90	12.6	582.49	46.23
95	12.8	628.73	49.12
100	13.0	688.87	52.99

Pentru verificarea algoritmului au fost alese 10 scenarii.

Scenariu	Durata voiaj [h]	Condiții meteo	Deplasament (tone)
Scenariul 1	18	Navă încărcată complet cu combustibil, scara meteo BN =1	700.46
Scenariul 2	18	Navă complet încărcată cu combustibil, scara meteo BN =2	700.46
Scenariul 3	20	Navă complet încărcată cu combustibil, scara meteo BN =3	700.46
Scenariul 4	24	Navă complet încărcată cu combustibil, petrol, provizii și 50t de marfă la bord, scara meteo BN =1	811.91
Scenariul 5	24	Navă complet încărcată cu combustibil, ulei, provizii și 50t de marfă la bord, scara meteo BN =2	811.91
Scenariul 6	24	Navă complet încărcată cu combustibil, ulei, provizii și 50t de marfă la bord, scara meteo BN =3	811.91
Scenariul 7	22	Navă încărcată până la pescajul maxim admisibil, scara meteo BN =2	839.19
Scenariul 8	22	Navă încărcată până la pescajul maxim admisibil, scara meteo BN =3	839.19
Scenariul 9	19	Navă încărcată cu 50% combustibil, scara meteo BN =2	743.42
Scenariul 10	19	Navă încărcată cu 50% combustibil, BN =3	743.42

Voyage Condition	Engine speed [kts]					
	R11-R8	R8-R17	R17-R18	R18-R5	R5-R12	R12-R10
1	9.90	10.80	9.90	9.90	9.90	9.90
2	10.80	11.40	11.40	11.40	10.80	11.40
3	12.80	12.60	12.80	12.60	12.60	12.60
4	9.90	10.80	9.90	9.90	9.90	9.90
5	10.80	11.40	11.40	11.40	10.80	11.40
6	12.60	12.60	12.80	12.60	12.60	12.60
7	10.80	11.40	11.40	11.40	10.80	11.40
8	12.60	12.60	12.80	12.60	12.60	12.60
9	10.80	11.40	11.40	11.40	10.80	11.40
10	12.80	12.80	12.60	12.60	12.60	12.60

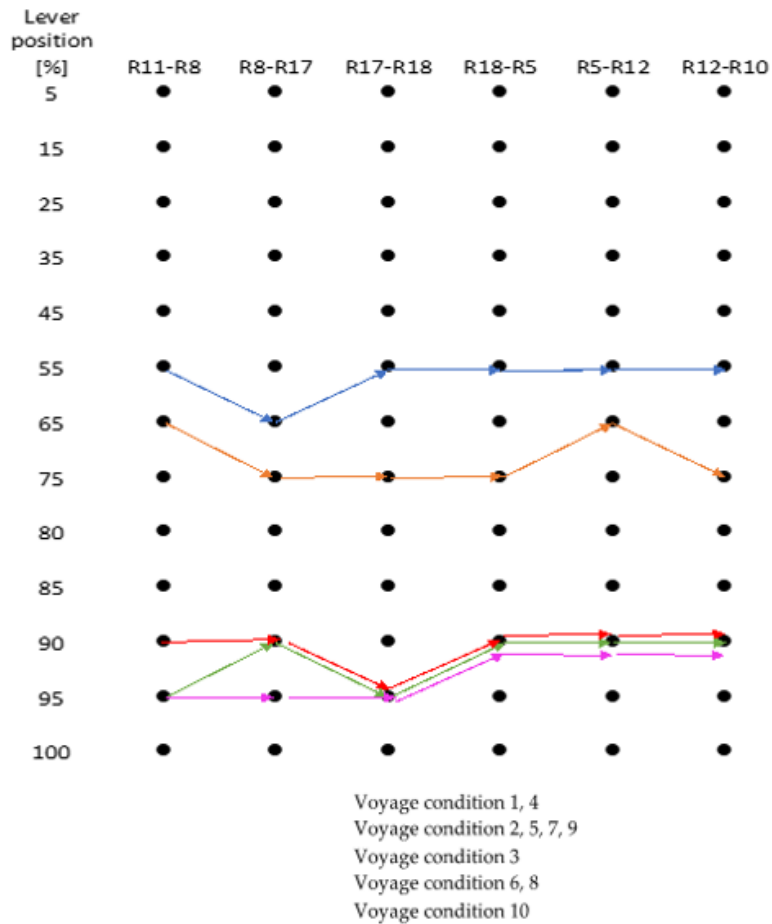
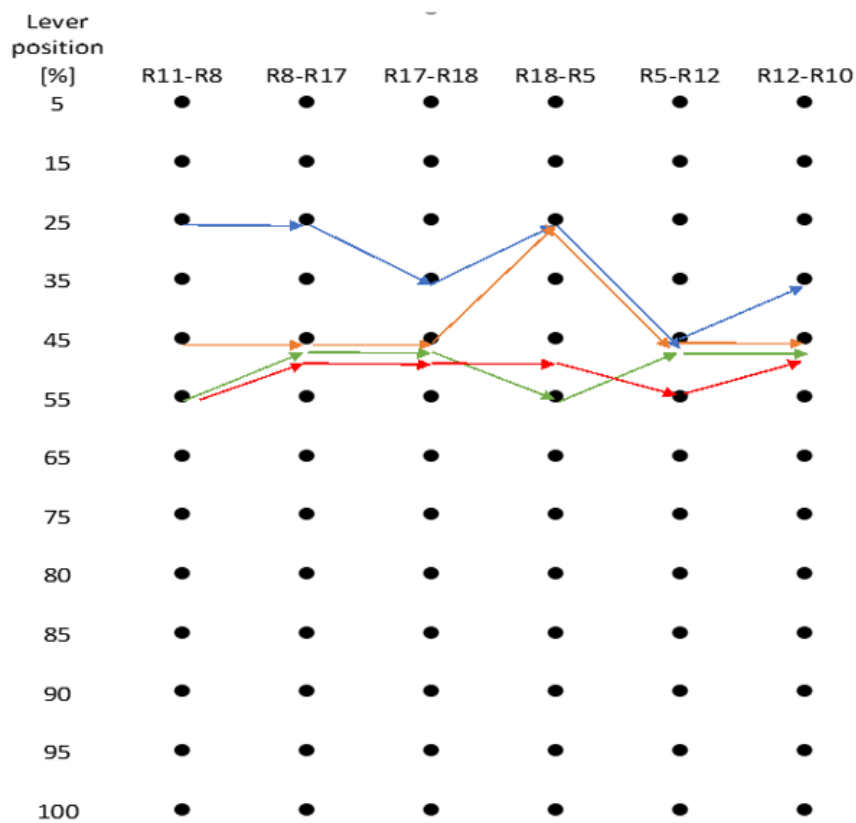


Figura 15. Optimizarea vitezei/levierului pentru timpul de deplasare $T = 24$ h (Sursa:Autorul)

Voyage condition	Engine speed [kts]					
	R11-R8	R8-R17	R17-R18	R18-R5	R5-R12	R12-R10
1	6,50	6,50	7,90	6,50	9,00	7,90
2	9,00	9,00	9,00	6,50	9,00	9,00
3	9,90	9,00	9,00	9,90	9,00	9,00
4	6,50	6,50	7,90	6,50	9,00	7,90
5	9,00	9,00	9,00	6,50	9,00	9,00
6	9,90	9,00	9,00	9,00	9,90	9,00
7	9,00	9,00	9,00	6,50	9,00	9,00
8	9,90	9,00	9,00	9,00	9,90	9,00
9	9,00	9,00	9,00	6,50	9,00	9,00
10	9,90	9,00	9,00	9,00	9,90	9,00



Voyage condition 1, 4
 Voyage condition 2, 5, 7, 9
 Voyage condition 3
 Voyage condition 6, 8, 10

Figura 16. Optimizarea vitezei/levierului pentru timpul de deplasare $T = 32$ h (Sursa: Autorul)

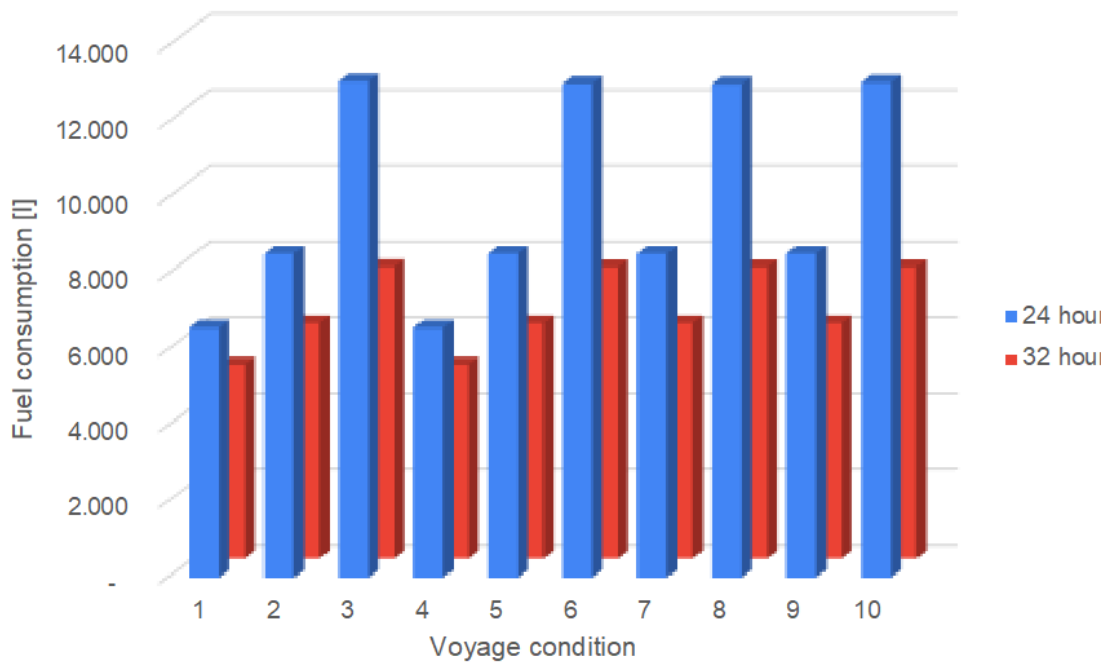


Figura 17. Consumul de combustibil pentru diferite condiții de călătorie și limite de timp de deplasare (Sursa: Autorul)

Rezultatele (figura 17), evidențiază compromisurile dintre viteză și consumul de combustibil pentru două limite de timp de călătorie: 24 de ore (figura 15) și 32 de ore (figura 16).

În timp ce vitezele mai mari permit tranzite mai rapide, acestea au drept cost un consum mai mare de combustibil. Poziția levierului influențează în mod direct turația motorului. Pozițiile de nivel mai ridicate conduc la turații mai mari ale motorului. De exemplu, în condiția 1, poziția pârghiei de 55% corespunde unei turații a motorului de 9,90 noduri, în timp ce în condiția 3, o poziție a pârghiei de 95% corespunde unei turații a motorului de 12,80 noduri.

5. EFICIENȚA ENERGETICĂ ÎN OPERAȚIUNILE DE TRANSPORT MARITIM

Organizația Maritimă Internațională (OMI) a pus în aplicare mai multe măsuri de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră (GES) provenite din transportul maritim, recunoscând contribuția semnificativă a sectorului la emisiile globale.

Principalele măsuri includ:

- Indicele de proiectare a eficienței energetice (EEDI)
- Indicator operațional de eficiență energetică (EEOI)
- Planul de gestionare a eficienței energetice a navelor (SEEMP)
- Indicele de eficiență energetică a navelor existente (EEXI)
- Indicatorul de intensitate a carbonului (IIC)
- Sistem obligatoriu de colectare a datelor privind consumul de combustibil

Aceste măsuri fac parte din "Strategia inițială a OMI privind GES", adoptată în 2018, care vizează reducerea intensității carbonului din transportul maritim internațional cu cel puțin 40% până în 2030 și reducerea emisiilor anuale totale de GES generate de transportul maritim internațional cu cel puțin 50% până în 2050, comparativ cu 2008, continuând în același timp să depună eforturi în vederea eliminării lor totale.

Tabel 16. Posibile optimizări tehnologice (Sursa: Autorul)

Tehnologie	Descriere	Beneficii	Dezavantaje
Reducere viteză	Operarea navelor la viteze reduse	Reduce consumul de combustibil	Creșterea timpului de voiaj
Sisteme de lubrifiere cu aer	Pomparea aerului sub corpul navei	Reduce frecarea dintre corpul navei și apă	Instalare specială, costuri
Recuperarea căldurii reziduale	Captarea și reutilizarea căldurii generate de motoarele navelor.	Transformă energia risipită în energie electrică	Complexitate în implementare, costuri de instalare
Pânze tip rotor	Pânze cilindrice de mari dimensiuni care se rotesc pe verticală folosind efectul Magnus.	Oferă propulsie suplimentară	Necesită spațiu, costuri de instalare și mentenanță
Integrarea energiei solare și eoliene	Încorporarea de panouri solare și turbine eoliene.	Completează necesarul de energie	Variabilitatea sursei de energie, costuri de instalare, necesită spațiu
Combustibili alternativi	Utilizarea unor alternative mai puțin poluante la combustibilii marini tradiționali.	Ardere mai curată, reducând semnificativ emisiile de carbon și sulf.	Accesibilitate, cost, necesitatea unor infrastructuri de alimentare
Propulsie electrică și hibridă	Nave cu motoare electrice, fie complet electrice, fie hibride.	Reduce sau elimină emisiile în funcție de tipul de propulsie.	Costuri inițiale ridicate, limitări în autonomie
Sisteme de gestionare a	Sisteme care monitorizează și	Asigură eficiența maximă a sistemelor de producție și	Complexitate, costuri de implementare și

energiei	optimizează consumul de energie al navei.	consum	mentenanță
Acoperiri îmbunătățite Antifouling Coatings	Acoperiri care împiedică dezvoltarea organismelor pe corpurile navelor.	Reduce rezistența la înaintare cauzată de creșterea organismelor	Costuri de aplicare, posibila necesitate de reînnoire periodică
Designul corpului navei	Optimizarea formei corpului navei pentru o rezistență minimă la apă.	Eficiență îmbunătățită a combustibilului, emisii mai reduse	Costuri de proiectare și implementare, potențiale compromisuri în alte arii
Proiectarea elicei	Proiecte avansate, cum ar fi elicele contra-rotative și aripioarele de acoperire a capului elicei.	Eficiență crescută a propulsiei, consum redus de combustibil	Costuri de proiectare și fabricație, potențiale compromisuri în performanță

Având în vedere componentele sustenabilității definite în capitolul trei și potențialele soluții tehnologice, am efectuat un studiu de caz la o navă transportatoare de pasageri, unde prin înlocuirea sistemelor de control pentru iluminat am căutat reducerea consumului energetic al navei. În funcție de regimul de lucru al navei am obținut economii semnificative care variază între 3.64% și 11.57%

5.1 OPTIMIZARE SISTEM ENERGETIC PENTRU O NAVĂ PASAGERI

Sistemul energetic al navei cuprinde producerea, distribuția și totalitatea consumatorilor.

Iluminatul este o sursă importantă de consum de energie electrică pe navele de pasageri, cu un potențial ridicat de economisire.

Înlocuirea lămpilor, a balasturilor și a corpurilor de iluminat de tip vechi este cea mai frecventă strategie de modernizare a iluminatului, cu un mare potențial de economisire. Prin trecerea la tehnologii de iluminat mai eficiente din punct de vedere energetic, se poate economisi o cantitate considerabilă de energie (Mahlia,2005). Studiul realizat de (Trifunovic et al.,2009) a arătat un potențial de economisire a energiei de până la 27% în sectorul rezidențial și 30% în sectorul comercial.

Metoda de cercetare utilizată în această analiză este o combinație între un studiu de caz și o analiză comparativă (Figura 18). Studiul de caz sa efectuat pe un vas de croazieră construit în 1997, examinând sistemul său actual de iluminat și potențialul de îmbunătățire a eficienței energetice. Studiul este fundamentat în contextul creșterii prețurilor la combustibil și al provocărilor pe care acestea le prezintă pentru operatorii de nave de croazieră , în paradigma sustenabilității transportului maritim.

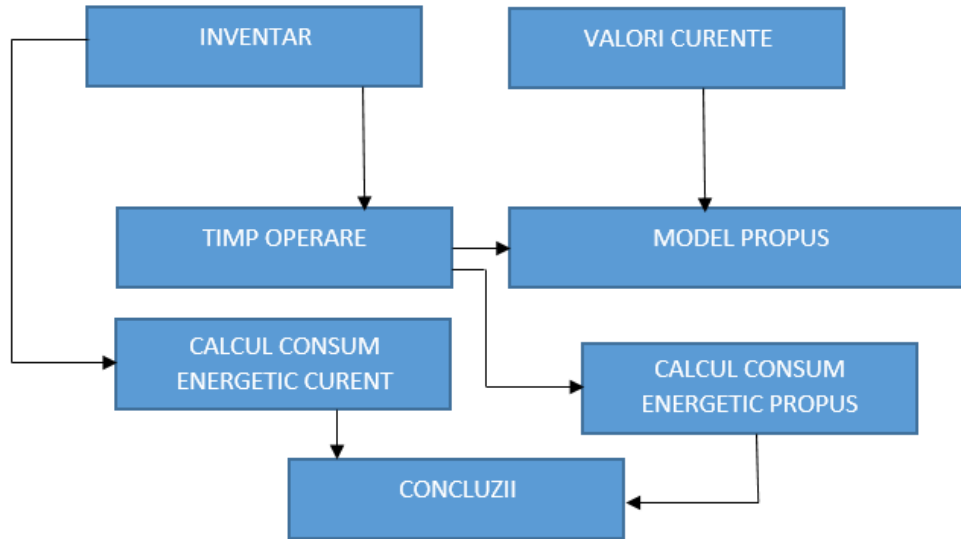


Figura 18. Cadrul de cercetare (Sursa:Autorul)

Parametrii navei :

Propulsie	HV Diesel Electric
Gross Net (International)	83,338 t
Net (International)	59,472 t
Putere totală	57,600 kW
Viteză croazieră	22 knots
Tensiune nominală	6.600 V
Frecvență/pf	60Hz/0.8
Număr total lămpi	9669
Putere iluminat - watti	261971

Metodologia este extrem de practică și aplicată, concentrându-se asupra provocărilor din lumea reală și a soluțiilor potențiale în contextul unui caz specific. Aceasta combină elemente de analiză comparativă, analiză a eficienței energetice, calculul emisiilor de CO₂ și pleacă de la cercetarea studiilor de caz pentru a oferi o înțelegere cuprinzătoare a potențialului de îmbunătățire a eficienței energetice în sistemele de iluminat ale navelor de croazieră. Sistemele de control al iluminatului sunt înlocuite cu modele ECG (electronice) în locul cele CCG (convenționale).

Tabel 17. Diferențe între ECG și CCG (Sursa: Autor)

Parametru	ECG (balast electronic)	CCG (balast electromagnetic)
Eficiență energetică	Mare (cu până la 30% mai eficient decât balasturile magnetice)	Scăzută
Costuri	Costuri inițiale mai mari, dar costuri operaționale mai mici datorită eficienței energetice	Costuri inițiale mai mici, dar costuri operaționale mai mari din cauza eficienței energetice mai scăzute
Principiul de lucru	Funcționează la frecvențe înalte (20Hz - 60Hz), eliminând pâlparea și bâzâitul	Funcționează la o frecvență joasă (60 Hz), ceea ce poate provoca pâlparea și bâzâieli vizibile
Durata de viață de lucru	Durată de viață mai lungă datorită generării mai mici de căldură și tehnologiei avansate	Durată de viață mai scurtă din cauza generării mai mari de căldură și a tehnologiei mai vechi
Tehnologie	Avansat, utilizează componente electronice	Mai vechi, utilizează tehnologia transformatorului cu miez magnetic și bobină
Distorsiunea armonică totală (THD)	THD mai mic (<10%), ceea ce duce la mai puține probleme de calitate a energiei electrice	THD mai mare (20% - 50%), poate duce la probleme de calitate a energiei electrice
Factorul de putere	Ridicat (aproape de 1), ceea ce indică o utilizare eficientă a energiei electrice	Inferioară (mai mică de 1), ceea ce indică o utilizare mai puțin eficientă a energiei electrice
Generarea de căldură	Generare mai mică de căldură datorită eficienței energetice ridicate	Producție mai mare de căldură din cauza eficienței energetice scăzute
Nivelul de zgomot	Funcționare mai silențioasă datorită funcționării cu frecvență înaltă	Funcționare mai zgomotoasă datorită funcționării la frecvență joasă
Compatibilitate cu sistemele de reglare a intensității luminoase	În general, este mai compatibil cu sistemele de reglare a intensității luminoase, dar depinde de un anumit model.	În general, mai puțin compatibil cu sistemele de reglare a intensității luminoase, dar depinde de un anumit model.

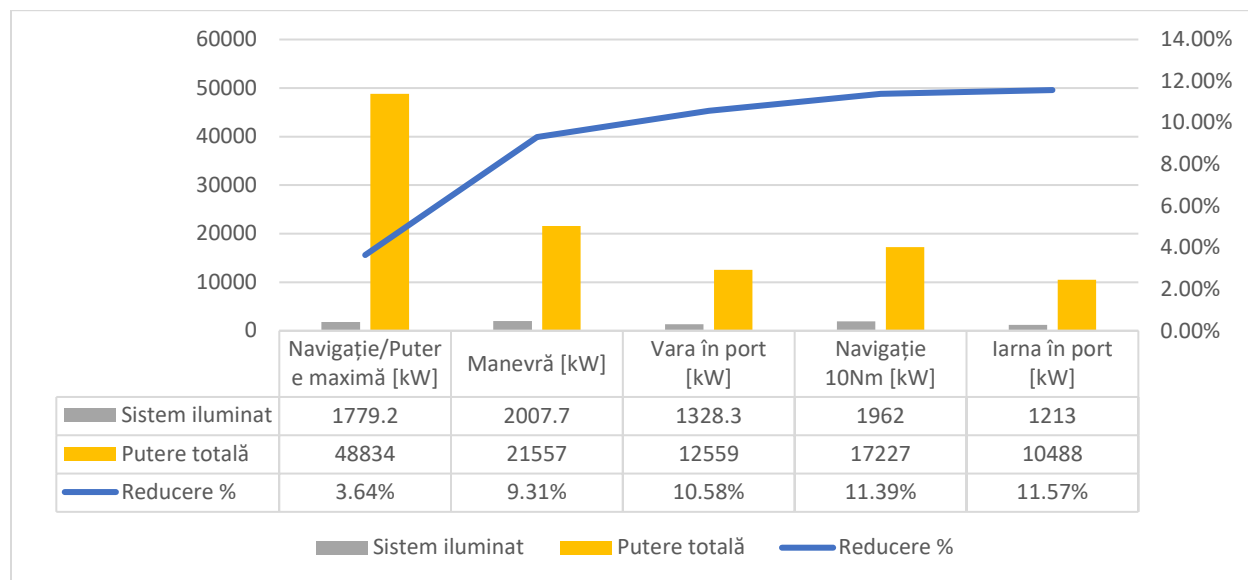


Figura 19. Balanța de consum energetic iluminat (Sursa: Autor)

5.2 REZULTATE

Înlocuirea echipamentelor de control învechite cu ECG-uri contemporane în sala motoarelor și în zonele echipajului a dus la o economie de energie semnificativă de 31,2%. Această economie a fost amplificată la 49,69% prin modernizarea completă a sistemului de iluminat în alte zone publice. Astfel de economii de energie se traduc direct în reducerea consumului de combustibil, presupunând că sursa de energie a navei provine în principal din combustibil. Consumul redus de combustibil înseamnă emisii reduse de CO₂, ceea ce ar diminua numitorul din formula EEDI. Constatările sunt în concordanță cu actualele cercetări, care au constatat că, prin modernizarea cu ECG, este posibil să se obțină o reducere a consumului de energie între 17 și 40%.

Procentul de energie consumată din iluminat: Sistemul de iluminat al navei reprezintă aproximativ 11% din consumul total de energie al acesteia, atât în port, cât și la viteze de croazieră. Prin urmare, dacă consumul de energie al sistemului de iluminat poate fi redus cu aproximativ 49,69%, acest lucru se traduce prin:

$$\text{Reducere de energie} = 0.4969 \cdot 0.11 = 0.054659 \text{ sau } 5.4659\%$$

O reducere de 5% a consumului de energie ca urmare a modernizării sistemului de iluminat înseamnă o reducere similară de 5% a emisiilor, având în vedere că emisiile navei sunt direct proporționale cu consumul de energie (presupunând proprietăți constante ale combustibilului), ceea ce ar reduce numitorul din formula EEDI, ceea ce ar duce la o valoare EEDI mai favorabilă (mai mică).

Acest lucru demonstrează beneficiile potențiale ale modernizării și modernizării sistemelor de pe nave pentru a obține o mai mare eficiență energetică și pentru a se alinia la obiectivele EEDI.

În concluzie, modernizarea sistemului de iluminat și înlocuirea vechilor echipamente de control cu ECG-uri poate juca un rol semnificativ în îmbunătățirea eficienței energetice a unei nave, făcând-o mai conformă cu standardele EEDI.

CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII

Transportul maritim este rentabil și eficient dar prezintă provocări notabile în materie de durabilitate. Studiul cercetărilor actuale și starea de fapt a industriei arată ca flota mondială este îmbătrânită.

Deși IMO reglementează coerent industria și este focalizat pe dezvoltare sustenabilă, măsurile sunt implementate greu și companiile sunt reticente în a investi. Motivele sunt date de instabilitatea geopolitică, conflictele armate, impactului economic post-pandemic, bariere tehnologice sau lipsa fondurilor.

Prin abordarea holistică problema sustenabilității poate fi gestionată optimizând factorii constituenți având în vedere relațiile de cauzalitate. Lucrarea arată că industria maritimă este angajată în mod activ în îmbunătățirea practicilor durabile și înțelege necesitatea de a reduce impactul asupra mediului și poluarea.

Studiile de caz, aplicațiile efectuate și prezentate în lucrare, pot contribui la dezvoltarea sustenabilă a transportului maritim. Astfel:

- Studiul efectuat la nivel local asupra marinelor românești a arătat interesul în creștere pentru acest tip de transport nautic de agrement, numărul ambarcațiunilor și vizitelor fiind pe un trend pozitiv. Studiul umple un vid în literatura de specialitate comparativ cu situația țărilor învecinate. Pentru o dezvoltare durabilă, analiza indicatorilor selectați a evidențiat deficiențele ce trebuie adresate.
- Explorarea metodelor de optimizare bazate pe modele matematice din domeniul cercetărilor operaționale prin implementarea unui model de optimizare în porturi turistice, poate eficientiza programarea și alocarea ambarcațiunilor la cheu. Metoda poate reduce timpurile de așteptare, limita riscul producerii de aglomerări portuare, evita accidentele sau poluarea mediului prin deversarea de substanțe poluante datorate capacității limitate de stocare a acestora. Acest tip de algoritm poate fi rezolvat și prin algoritmi genetici și poate fi implementat într-o aplicație mobilă care va contribui la digitalizarea transportului nautic.
- Pentru navele aflate în exploatare și puțin eficiente energetic, la care îmbunătățirea tehnologică este greu de realizat, am propus o metoda de optimizare a drumului navei prin algoritmul backtracking. Acest algoritm permite alegerea unei configurații de viteze optime având în vedere restricțiile impuse de starea vremii și fereastra de timp. Astfel se obțin reduceri de consum de combustibil și emisii de gaze cu efect de seră, crescând randamentul operațional și minimizând impactul asupra mediului.
- Eficiența energetică este unul dintre factorii care pot duce la reducerea drastică a emisiilor atmosferice de la nave. O metodă adaptabilă la navele de pasageri mai puțin eficiente, este înlocuirea sistemelor de control al iluminatului. În studiul de caz am arătat că în anumite condiții de exploatare a navei, energia consumată poate ajunge până la aproape 12% din totalul puterii produse la bord. În urma calculului bilanțului energetic a rezultat că o înlocuire cu sisteme de control electronice poate aduce reduceri de 5.5% din totalul energiei produse de navă, ceea ce este semnificativ.

BIBLIOGRAFIE

1. Bellman, R. (1966). Dynamic programming. *Science*, 153(3731), 34-37.
2. Benamara, H., Hoffmann, J., & Youssef, F., (2019). Maritime Transport: the sustainability Imperative. In Springer eBooks (pp. 1–31). https://doi.org/10.1007/978-3-030-04330-8_1
3. Carp, D., Filimon D. (2020). About the foundations of mathematical modeling. Prelegeri CRIFST / ed.: Alexandru S. Bologa, Anca Constantin. - Constanța : Ex Ponto, 2020 ISBN 978-606-598-848-4
4. CJC, Dezvoltare durabila | Consiliul Județean Constanța. (n.d.). Retrieved from <http://www.cjc.ro/sectiune.php?s=247>
5. Frederiksen, P., Morf, A., Von Thenen, M., Armoškaitė, A., Luhtala, H., Schiele, K. S., Hansen, H. S. (2021). Proposing an ecosystem services-based framework to assess sustainability impacts of maritime spatial plans (MSP-SA). *Ocean & Coastal Management*, 208, 105577. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105577>
6. Gourdon, K. (2019). Ship recycling. *OECD Science, Technology and Industry Policy Papers*. <https://doi.org/10.1787/397de00c-en>
7. Karakasnaki, M., Pantouvakis, A., & Vlachos, I. (2023). Maritime social sustainability: Conceptualization and scale development. *Transportation Research Part D-transport and Environment*, 121, 103804. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103804>
8. Koilo, V. (2019). Sustainability issues in maritime transport and main challenges of the shipping industry. *Environmental Economics*, 10(1), 48–65. [https://doi.org/10.21511/ee.10\(1\).2019.04](https://doi.org/10.21511/ee.10(1).2019.04)
9. Kwon YJ (2008) Speed loss due to added resistance in wind and waves. *Nav Archit* 3:14–16
10. Lee, D., Chen, J. H., & Cao, J. X. (2010). The continuous Berth Allocation Problem: A Greedy Randomized Adaptive Search Solution. *Transportation Research Part E-logistics and Transportation Review*, 46(6), 1017–1029. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2010.01.009>
11. Lee, P. T., Kwon, O. K., & Ruan, X. (2019). Sustainability challenges in maritime transport and logistics industry and its way ahead. *Sustainability*, 11(5), 1331. <https://doi.org/10.3390/su11051331>
12. Luković, T. (2012). Nautical tourism and its function in the economic development of Europe. In *InTech eBooks*. <https://doi.org/10.5772/38058>
13. T. M. I. Mahlia, M. F. M. Said, H. H. Masjuki, and M.R. Tamjis,(2005) “Cost-benefit analysis and emission reduction of lighting retrofits in residential sector,” *Energy and Buildings*, vol.37, no. 6, pp. 573–578,
14. Obreja C.D., Manolache L., Popescu G., Bazele proiectării preliminare a navei, Editura ACADEMICA, Galați, 2003.
15. Papandreou, A., Koundouri, P., & Papadaki, L. (2020). Sustainable shipping: levers of change. In *Environment & policy*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56847-4_10
16. Publications Office of the European Union. (2016). Study on specific challenges for a sustainable development of coastal and maritime tourism in Europe : final report.

Retrieved from <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ab0bfa73-9ad1-11e6-868c-01aa75ed71a1>

17. Psaraftis, H. N. (2019). Speed Optimization vs Speed Reduction: the Choice between Speed Limits and a Bunker Levy. *Sustainability*, 11(8), 2249. <https://doi.org/10.3390/su11082249>
18. Saunders, F., Gilek, M., & Tafon, R. V. (2019). Adding People to the Sea: Conceptualizing social sustainability in Maritime Spatial Planning. In Springer eBooks (pp. 175–199). https://doi.org/10.1007/978-3-319-98696-8_8
19. Singh, S., & Sengupta, B. (2020). Sustainable Maritime transport and Maritime informatics. In Progress in IS. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50892-0_6
20. J. Trifunovic, J. Mikulovic, Z. Djuric, M. Djuric, and M. Kostic, (2009) “Reductions in electricity consumption and power demand in case of the mass use of compact fluorescent lamps,” *Energy*, vol. 34, no. 9, pp. 1355–1363
21. Wang, S., Meng, Q., & Liu, Z. (2013). Bunker consumption optimization methods in shipping: A critical review and extensions. *Transportation Research Part E-logistics and Transportation Review*, 53, 49–62. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2013.02.003>.