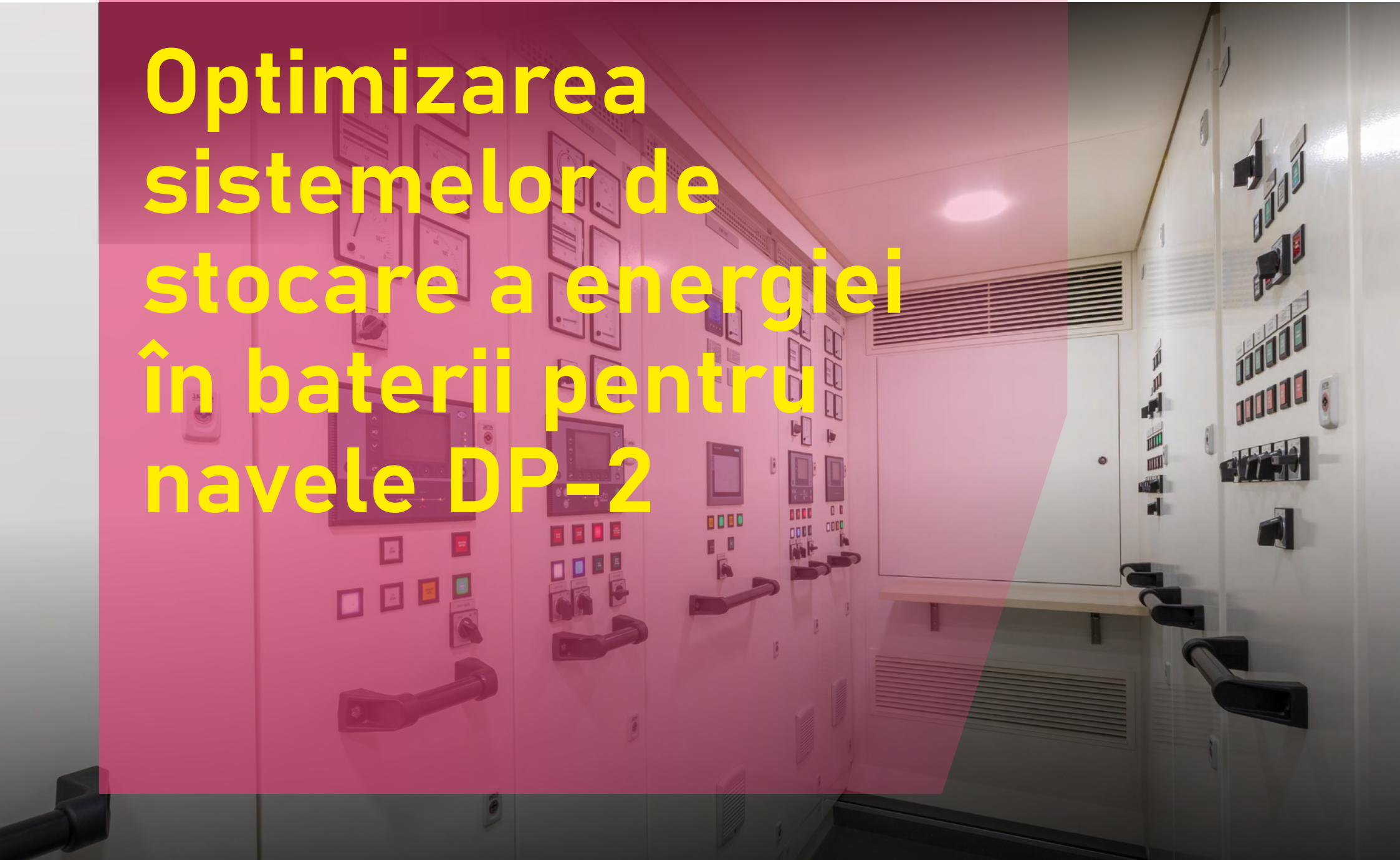


# Optimizarea sistemelor de stocare a energiei în baterii pentru navele DP-2



## O abordare dovedită pentru reducerea costurilor, extinderea duratei de viață a bateriei și maximizarea rentabilității investiției

Sankarshan Durgaprasada,<sup>a,1</sup> Zoran Malbašić<sup>b</sup>, Marjan Popov<sup>a</sup>, Aleksandra Lekić<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Delft University of Technology, Faculty of EEMCS, Delft, The Netherlands

<sup>b</sup>Alewijnse, Krimpen aan den IJssel, Netherlands

### Rezumat

În această cercetare este prezentată o abordare economică pentru încorporarea sistemelor de stocare a energiei în baterii (BESS) pe navele DP-2. Lucrarea tratează dezvoltarea unui cadru de optimizare a bateriilor pentru dimensionare optimă și reglarea energiei debitului (BOOSTER) pentru punerea în practică a rezultatelor cercetării prin optimizarea dimensiunii bateriei, a alegerii tehnologiei și a programării generării de energie, luând în considerare degradarea bateriei. Douăsprezece dimensiuni de baterii sunt analizate pe baza a trei indicatori cheie de performanță: rentabilitatea investiției, perioada de recuperare a investiției și anii de profitabilitate. O programare liniară mixtă (MILP) este dezvoltată pentru a opera sistemul de gestionare a energiei și a puterii navei într-un mod eficient din punct de vedere al consumului de combustibil și economic. Studiul ia în considerare două profiluri de încărcare ale unei nave DP-2 care operează în apropierea Taiwanului și a Mării Nordului.

Concluziile noastre subliniază importanța luării în considerare a costurilor de deținere a bateriei, sub forma costului de producție a energiei și a prețului combustibilului, rezultând o durată de viață mai lungă a bateriei și un randament al investiției mai mare. Cercetarea propune, de asemenea, o matrice de operare BESS care oferă operatorilor de nave informații valoroase despre utilizarea BESS pentru beneficii economice. Această matrice traduce analizele și procesul decizional în acțiuni tangibile care pot fi implementate în operațiuni în timp real. Pe baza constatărilor, sistemele energetice pot fi optimizate pentru un viitor durabil, care să beneficieze operatorii de nave și părțile interesate din industrie.

*Cuvinte cheie:* Li-ion, Sistem de stocare a energiei bateriei (BESS), Motor diesel, MILP, Dimensionare optimă, economie de combustibil.

### 1. Introducere

Începând cu 2018, industria maritimă este responsabilă pentru 1056 milioane de tone de CO<sub>2</sub> în emisii de gaze cu efect de seră [1]. Comparativ cu cele 962 de milioane de tone de CO<sub>2</sub> generate în 2012, aceasta reprezintă o creștere de 9,3%. Emisiile provenite din transportul maritim, ca procent din totalul emisiilor antropogene, au crescut de la 2,76% în 2012 la 2,89% în 2018. Obiectivul publicului mondial de a reduce la minimum emisiile de gaze cu efect de seră are un impact semnificativ asupra proiectării și funcționării infrastructurii de transport în prezent. În 2018, Comitetul pentru Protecția Mediului Marin (mEPC72) al Organizației Maritime Internaționale a aprobat primul plan de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră provenite din transportul maritim global. Această strategie OMI prezintă o viziune amplă asupra decarbonizării, obiective de reducere a gazelor cu efect de seră până în 2050, o listă de acțiuni pe termen scurt, mediu și lung pentru atingerea acestor obiective, obstacole în calea atingerii obiectivelor și acțiuni de sprijin pentru depășirea acestora, precum și criteriile pentru evaluarea viitoare. Activitățile menționate mai sus sunt rezumate în [2].

De la succesul coplesitor al primului feribot complet electric „The Ampere” în 2015, alte 70 de astfel de feriboturi au demonstrat profitabilitate în Norvegia [3]. Experiența arată că 127 din 180 de feriboturi sunt considerate a fi profitabile fie cu funcționare pe baterie, fie cu funcționare hibridă [4]. Rezultatele de succes din industria feriboturilor din Norvegia arată că tehnologiile de propulsie electrică și hibridă pentru transportul maritim sunt fezabile din punct de vedere tehnic și viabile din punct de vedere comercial. Prin urmare, se întreprind încercări de a investiga modul în care alte tipuri de nave, în afară de feriboturi, pot fi electrificate.

Obiectivele principale ale acestei lucrări sunt de a oferi un sistem de baterii optimizat corespunzător, pentru a asigura funcționarea eficientă a sistemului energetic și pentru a oferi cea mai solidă justificare comercială posibilă. Studiul se concentrează pe o navă DP-2 care operează în Marea Nordului și Taiwan. Lucrarea investighează perspectiva modernizării navei cu un sistem de baterii pentru a-l transforma într-un sistem hibrid.

\*Corresponding author

Email address: durgaprasadsankarshan1998@gmail.com (Sankarshan Durgaprasad)

Preprint submitted to Elsevier

November 20, 2024



Retrofitarea navelor cu BESS este de obicei efectuată de integratori de sisteme electrice. Prin urmare, este necesar să se analizeze diferite soluții. Dimensionarea optimă a sistemului de stocare a energiei în baterii se face luând în considerare 12 soluții diferite de baterii de la 2 furnizori europeni de baterii. Aceste soluții includ diferite tehnologii de baterii, cum ar fi baterii Li-ion de înaltă putere sau de înaltă energie sau o combinație a ambelor.

Pentru operatorii de nave, integrarea BESS are mai multe beneficii operaționale. Capacitatea de a opera motoare diesel în puncte mai înalte sau mai eficiente pentru a maximiza performanța acestora este un avantaj semnificativ, în special pentru majoritatea navelor. Sistemele de baterii pot acționa, de asemenea, ca un „generator virtual” în cazul navelor DP-2 în modul DP, eliminând necesitatea de a opera numeroase generatoare la niveluri de funcționare scăzute sau ineficiente. Pe lângă economisirea de combustibil, această abordare reduce timpul de funcționare al motoarelor diesel și costurile de întreținere aferente.

Hibridizarea navelor nu se termină la integrarea unui sistem de baterii de dimensiuni optime. Sistemul existent de gestionare a energiei (PMS) și sistemul de gestionare a energiei (EMS) trebuie, de asemenea, modernizate pentru a funcționa eficient. În această lucrare se propune o metodologie BOOSTER (Optimizare a Bateriei pentru Dimensionare Optimă și Regularea Energiei de Debit).

BOOSTER încorporează funcționarea unui sistem de gestionare optimizat care funcționează pe baza prețului combustibilului și a costului de debit energetic (ETC) al sistemului de baterii. Autorii acestei lucrări se concentrează pe analiza potențialelor soluții hibride pentru navele DP-2 care utilizează baterii Li-ion. Contribuția acestei lucrări se realizează prin combinarea următoarelor elemente:

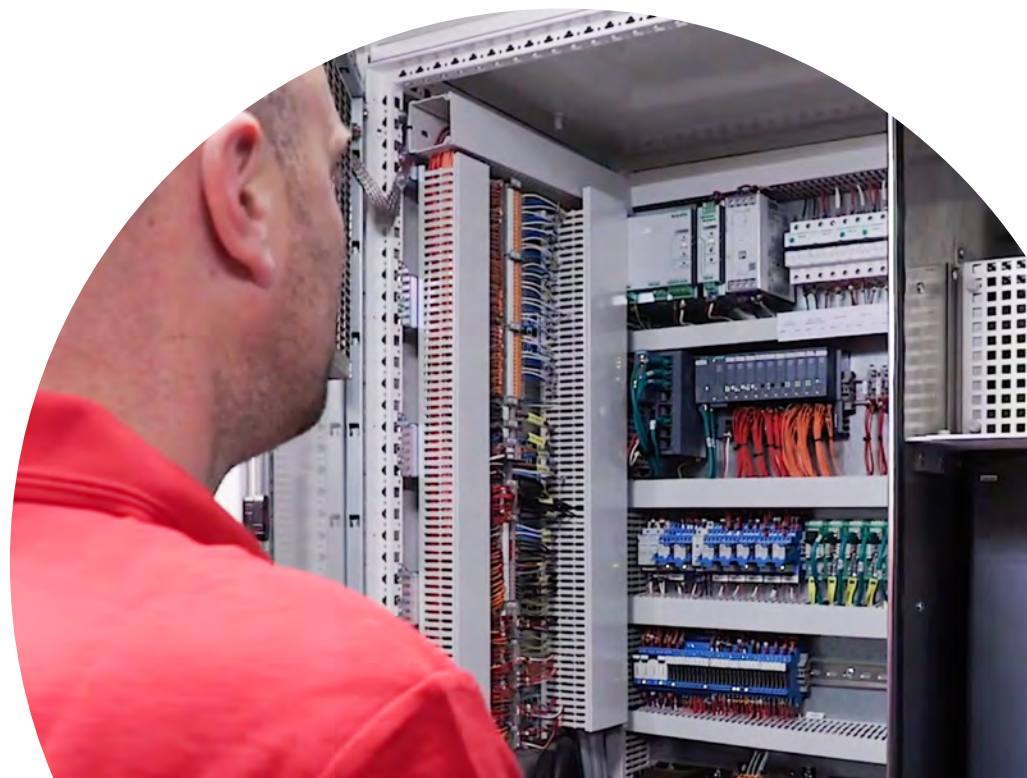
1. Se propune o metodologie numită BOOSTER pentru a analiza diferite tipuri și dimensiuni de baterii pentru o navă DP-2. Analiza examinează două funcții cheie ale bateriei: facilitarea funcționării optime și servirea ca rezervă în operațiunile DP. Aceasta se realizează utilizând un model MILP care vizează minimizarea consumului de combustibil. Durata de viață a bateriei este calculată luând în considerare utilizarea și îmbătrânirea calendaristică. Economii la întreținerea motorului diesel sunt evaluate prin analizarea timpului minim înainte de revizie (MTBO) al motorului diesel.
2. Cel mai bun sistem de baterii este apoi ales pe baza a 3 parametri cheie de performanță și operat într-un mod eficient din punct de vedere economic, modelul MILP luând în considerare suplimentar ETC-ul bateriei.  
Acest lucru asigură că bateria este utilizată numai atunci când este avantajoasă din punct de vedere economic, nu doar pentru a economisi combustibil. Sunt evaluate trei scenarii diferite de preț al combustibilului.
3. Pentru a susține această operațiune economică, este furnizată o matrice operațională BESS ca îndrumare pentru operatorii de nave și sistemele de management energetic.

Aceste contribuții oferă o abordare holistică pentru evaluarea fezabilității unui sistem de baterii pentru o navă DP și traduc operațiunea economică în pași acționabil prin intermediul matricei operaționale BESS propuse. Contribuțiile menționate evidențiază următoarele noutăți ale acestei lucrări:

1. Spre deosebire de metodele actuale de ultimă generație care dimensionează componentele și le determină numărul pe baza tehnicilor de optimizare, metodologia propusă se bazează pe un spațiu de proiectare derivat din experiența inginerescă și realism. Această abordare asigură soluții mai practice și fezabile, adaptate aplicațiilor din lumea reală.
2. Studiul încorporează în mod unic MTBO în analiza sa, care nu este luat în considerare în mod obișnuit în alte studii ale navelor DP-2. În plus, evaluează mentenanța pe baza debitului de energie și a modului în care este utilizat motorul diesel, mai degrabă decât doar pe baza orelor de funcționare. Această evaluare cuprinzătoare include ETC în funcția

- obiectiv, simplificând procesul de optimizare prin evitarea optimizării multi-obiectiv și exprimarea obiectivelor în aceleași unități de cost.
3. Metodologia și modelul propuse oferă o abordare holistică, luând în considerare atât factorii tehnici, cât și cei economici într-un cadru combinat. Această simplitate și combinare reprezintă o contribuție inovatoare la simplificarea procesului de optimizare și la aplicarea acestuia în scenarii practice.

Părțile lucrării sunt structurate după cum urmează. O prezentare generală a literaturii existente care acoperă metodele de optimizare pentru implementarea BESS la nave, degradarea bateriilor și întreținerea generatorului motorului diesel (DG) este discutată în secțiunea 2. O scurtă prezentare generală a navei DP-2 existente este oferită în secțiunea 3. Secțiunea 4 prezintă metodologia, formulează problema MILP și detaliază cazurile simulate. Rezultatele problemei de optimizare atât pentru Taiwan, cât și pentru Marea Nordului sunt prezentate în secțiunea 5, printr-o linie de soluții optime și este prezentat un caz de afaceri viabil cu BOOSTER. În cele din urmă, secțiunea 6 oferă observații finale.





## 2. Implementarea și optimizarea BESS (Build-to-Storage System - Sistem de stocare a energiei)

*2.1. Funcționarea optimă a sistemului de management al navei și dimensionarea bateriei* Optimizarea dimensionării sistemului de stocare a energiei (EMS) și a sistemului de stocare a energiei pentru nave a fost explorată în detaliu în literatura de specialitate. De exemplu, în [5], autorii au utilizat programarea liniară și pătratică pentru a optimiza dimensionarea sistemului de captare și stocare a energiei din carbon și a EMS-ului navei. Importanța combinării captării carbonului și a BESS a fost evidențiată pentru a reduce emisiile de gaze cu efect de seră cu 10% până la 60%, cu o creștere corespunzătoare a costurilor operaționale de 6,8%. În [6], programarea neliniară a fost utilizată pentru a optimiza BESS-ul de la bordul navei, unde autorii au împărțit profilul operațional în diferite moduri și au luat în considerare fluxul de putere reactivă. Dimensiunea optimă a DG-urilor pentru diferite stări de funcționare a fost determinată folosind tehnica Branch and Bound în [7]. Această abordare poate fi, de asemenea, extinsă pentru a determina dimensiunea ideală a unui BESS. Optimizarea cuprinzătoare a dimensionării EMS-ului navei și a BESS a fost efectuată în [8] folosind cadrul OBLIVION, care ia în considerare constrângerile de siguranță, modurile de funcționare ale navei, analiza sensibilității și degradarea bateriei. Autorii folosesc debitul de energie pentru a prezice durata de viață a bateriei și pentru a limita energia care curge prin sistemul bateriei pe durata sa de viață. Programarea neliniară cu numere întregi mixte (MINLP) a fost utilizată în [9] și [10] pentru a examina planificarea eficientă a sistemului navei, funcționarea

și dimensionarea bateriei. Programarea dinamică a fost utilizată în [11] și [12] pentru economisirea de combustibil prin optimizarea generatorului, vitezei și distanței.

În cele din urmă, [11] a obținut puterea optimă luând în considerare un BESS prin variația vitezei navei și [12] a prezentat un model de programare matematică multi-obiectiv pentru dispecerizarea optimizată a energiei, luând în considerare emisiile, bilanțul energetic și constrângerile tehnice. Optimizarea meta-euristică utilizează mai multe metode de optimizare, inclusiv Optimizarea Roiului de Particule (PSO), Algoritmi Genetici (GA), NSGA II și Algoritmi Sinusoidali și Cosinusoidali Îmbunătățiți (ISCA). În [13], PSO este utilizat pentru a optimiza programarea generatoarelor diesel într-o navă de asistență offshore bazată pe curent continuu, rezultând un consum de combustibil redus cu 307 tone anual în comparație cu o arhitectură de curent alternativ. Autorii din [14] utilizează un PSO modificat bazat pe fuzzy pentru a modela un sistem de management al energiei pentru feribot, care se concentrează pe reducerea emisiilor și a costurilor de operare. În [15], GA este utilizat pentru a rezolva o problemă neliniară cu numere întregi mixte care minimizează costul de generare a energiei prin optimizarea capacității instalate a navei și a sarcinilor pompei. Autorii iau în considerare, de asemenea, eficiența operațională a generatorului în ceea ce privește factorul de putere și procentul de încărcare, ceea ce nu a fost făcut în studiile anterioare. Aceste tehnici de optimizare utilizează diverse tactici de gestionare a energiei pentru a îndeplini restricțiile și a atinge

obiectivele de optimizare, rezultând o convergență îmbunătățită și soluții optime. Autorii [16] utilizează algoritmul ISCA, care dă rezultate mai optime decât alți algoritmi evolutivi.

O tehnică descrisă în [17] utilizează optimizarea pe două straturi pentru a îmbunătăți procesul decizional privind investițiile și dimensionarea. Bucla interioară utilizează MILP, iar bucla exterioară utilizează NSGA-II. Aceasta a fost aplicată pentru modernizarea unei nave de transfer al echipajului, reducând la minimum costurile de investiții, operare și combustibil. Autorii au luat în considerare diferite costuri ale bateriei și combustibilului, prezentându-și concluziile printr-un front Pareto. O abordare de optimizare pe două straturi a fost propusă într-un studiu similar [18]. Stratul exterior, utilizând NSGA-II, estimează costurile cheltuielilor de capital suportate. În schimb, stratul interior vizează optimizarea EMS pentru a minimiza cheltuielile operaționale. Conform rezultatelor, implementarea unui BESS singur poate reduce emisiile cu 10%, dar o celulă de combustie și o conexiune la țarm sunt necesare pentru a obține o reducere suplimentară. Tabelul 1 rezumă alte studii de optimizare care iau în considerare optimizarea EMS-PMS și dimensionarea stocării. Modelul utilizat în această lucrare folosește MILP datorită disponibilității unor rezolvitori maturi, a performanței sale previzibile și a asigurării atingerii unui optim global.

## 2.2. Degradarea și optimizarea bateriei

Șase aspecte esențiale trebuie luate în considerare la modernizarea unei baterii pe o navă. Acestea includ prețul, siguranța și caracteristicile fizice, cum ar fi dimensiunea și greutatea, precum și performanța de funcționare a bateriei, care cuprinde capacitatea, puterea și durata de viață. Importanța fiecărui factor variază în funcție de aplicație. În industria maritimă, capacitatea și puterea nominală a bateriei afectează autonomia și viteza navei, în timp ce durata de viață și costul determină cheltuielile asociate cu instalarea și funcționarea. Există două tipuri principale de baterii utilizate în industria maritimă: nichel-mangan-cobalt (NMC) și fosfat de litiu-fier (LFP). O listă de furnizori de baterii maritime a fost atașată materialului suplimentar. Bateriile NMC oferă o energie specifică mai mare, dar au un cost mai mare, în timp ce bateriile LFP au o putere specifică mai mare, siguranță și o durată de viață mai lungă [28],[29],[30].

Prin urmare, este crucial să se determine tehnologia și furnizorul potrivit, deoarece acestea vor dicta constrângerile modelului de optimizare. În această lucrare, literatura analizată se limitează la bateriile LFP și NMC.

Tabelul 1: Alte studii de optimizare a navelor

Referinta	Metoda	Dimensionare ES
[16]	ISCA	FC, BS
[19]	Fmincon	SC
[20]	MO-PSO	SC,BS,FW,MES
[21]	MO-DEA	BS
[22]	ISCA	FC,BS
[23]	NLP,MILP	BS
[24]	Fara info	BS
[25]	IO	BS
[26]	Bazat pe reguli	BS
[27]	MINLP	BS

FC - Pilă de combustie, BS - Sistem de baterii (chimic), SC - Super-condensator, FW - Volant, MES - Stocarea energiei magnetice, MO - Obiectiv multiplu, DEA - Algoritm de evoluție diferențială, IO - Optimizare pe intervale, ISCA - Algoritmi îmbunătățiți de sinus și cosinus

Degradarea bateriei poate fi clasificată în îmbătrânire ciclică și îmbătrânire calendaristică. Îmbătrânirea ciclică a sistemului de baterii se referă la degradarea și pierderea ulterioară a capacității bateriei din cauza ciclurilor repetate de funcționare a bateriilor. Mai multe studii au fost efectuate privind modelarea sistemelor de baterii pentru NMC în [31], [32] și baterii LFP în [33], [34], [35]. Au fost efectuate mai multe studii privind impactul ratei C și a degradării de la daune (DoD) asupra duratei de viață a bateriei. În special, studiul din [31] a analizat 21 de baterii și cinci rate C diferite, în timp ce [32] a examinat 12 baterii și 4 rate C. În ambele studii, s-a constatat că rata C afectează grav bateriile NMC. Pe de altă parte, [34] și [35] au analizat trei baterii cu 2 rate C și, respectiv, 200 de baterii cu 4 rate C și au concluzionat că, pentru bateriile LFP, factorul critic de degradare este DoD și nu rata C sub 4C. Autorii [33] au efectuat o analiză similară pe o baterie pe parcursul a 4500 de cicluri la trei rate C diferite și au ajuns la concluzii similare.

Luarea în considerare a acestor variații atunci când se modelează problema de optimizare sau se stabilește dimensiunea adecvată a bateriei este esențială.

Îmbătrânirea calendaristică a bateriei se referă la degradarea care are loc indiferent de ciclurile sistemului bateriei. Cercetarea privind îmbătrânirea calendaristică a fost un domeniu major de interes în domeniul vehiculelor electrice. Acest lucru se datorează faptului că bateriile acestora rămân inactive mai mult de 90% din timp, așa cum se indică în [36]. Autorii acestui studiu au analizat amănunțit impactul ciclării și al îmbătrânirii calendaristice asupra a 258 de celule pentru două tipuri diferite de baterii NMC. Autorii [37] efectuează teste pentru îmbătrânirea calendaristică cu 3 tipuri diferite de celule, și anume celule nichel-cobalt-aluminiu (NCA), NMC și LFP. Temperatura de depozitare a afectat îmbătrânirea calendaristică în 16 niveluri de stare de încărcare (SOC), dar SOC nu a redus în mod constant capacitatea. Regiunile de platou au fost găsite la 20-30% SOC. Bateriile NMC și NCA s-au degradat semnificativ la 60% SOC, în timp ce bateriile LFP au făcut acest lucru la 70%. În industria maritimă, modul DP este utilizat în mod obișnuit, încărcând bateriile la un nivel ridicat de stare de funcționare (SOC) pentru a acționa ca generatoare de rezervă în timpul defecțiunii sistemului. Există mai multe metode de încorporare a degradării bateriei în modelul de optimizare matematică, așa cum se arată în Tabelul 2.

Diverse tehnici au fost sugerate pentru modelarea precisă la nivel de celulă/modul în [38], [41] și [39]. Cu toate acestea, obținerea parametrilor necesari pentru aceste modele de la furnizorii de BESS poate fi dificilă, ceea ce face dificilă modelarea pentru modernizare în timpul integrării sistemelor. În [40], se utilizează o metodă de programare liniară pentru sistemele de alimentare off-grid, luând în considerare costul per kWh în modelul de optimizare și numărul de cicluri până la defecțiune. Autorii [42] limitează numărul total de cicluri pe care bateria le poate efectua pe baza unui număr fix de cicluri pe durata sa de viață, atingând în același timp aceeași cantitate de penetrare a energiei regenerabile. În [43], autorii oferă o soluție mai economică pentru o perioadă de 10 până la 15 ani, luând în considerare costul degradării BESS și costurile de investiții asociate. Modelul încorporează o aproximare liniară a deteriorării bateriei pe ciclu și optimizează sistemul de baterii pentru fiecare pas de timp

utilizând schema de control al orizontului în retragere. Două surse, [44] și [47], introduc algoritmul de numărare a ciclurilor „ploaie-flux” pentru a distinge între ciclurile complete și cele incomplete. [44] și [47] utilizează abordări de regresie liniară și, respectiv, de modelare pe porțiuni, pentru a preveni neliniaritatea și a obține soluții mai optime în modelele de dimensionare BESS.

*Tabelul 2: Revizuirea modelării existente a degradării bateriei în optimizare*

Referinta	Metode	Tehnica
[38]	MO-PSO	Semi-empiric & Arrhenius
[39]	GA	Pierderi din cauza ciclurilor
[40]	LP	Cost pe kWh, reducerea DoD
[41]	LP	Ecuatia Shepherd modificată
[42]	MIP	Limitarea ciclurilor
[43]	MINLP	DoD și durata de plutire (Floatlife)
[44]	LR	DoD incomplet și complet
[45]	RHC	Descărcare per ciclu
[46]	EA	Cicluri până la defecțiune
[47]	MILP	RCA

MIP - Programare cu numere întregi mixte, LR - Regresie liniară, RHC - Control pe orizont recurent, RCA - Algoritm de numărare prin metoda rain-flow



### 2.3 Implicațiile economice ale funcționării motorului diesel

Din câte știe autorul, există cercetări limitate privind impactul economic al creșterii procentului de încărcare a motoarelor diesel diesel. Cu toate acestea, prin validarea înregistrărilor de întreținere a flotei operatorilor de nave și utilizarea abordării autorilor din [48], se pot realiza economii suplimentare la întreținere printr-un timp extins înainte de revizia motoarelor diesel. Acest lucru este reprezentat grafic în figura 1, care ilustrează timpul minim în ani înainte ca motoarele diesel diesel să necesite o revizie, pe baza procentului de încărcare. Se poate observa că timpul de revizie este semnificativ mai mic dacă motoarele diesel diesel sunt încărcate sub 40% și peste 85%. Această funcție poate reprezenta matematic o funcție polinomială de ordinul opt, cu coeficienții prezentați în Tabelul 3. Dimensiunile coeficientului  $b_i$  sunt reprezentate (kWh)<sup>i</sup>

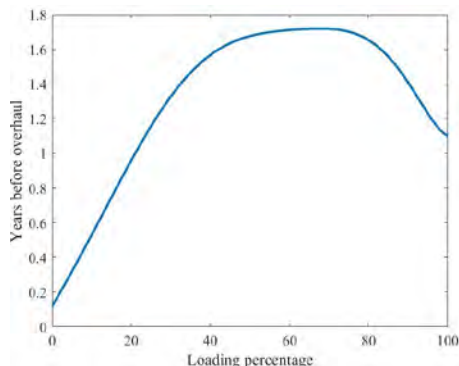


Figura 1: MTBO al setului de motoare diesel

Tabelul 3: Parametrii MTBO din [48]

Coeficient	Valoare
$b_0$	1040.898
$b_1$	$3.429 \times 10^4$
$b_2$	$1.66 \times 10^4$
$b_3$	$4.971 \times 10^4$
$b_4$	$-3.226 \times 10^4$
$b_5$	$-5.504 \times 10^5$
$b_6$	$2.803 \times 10^6$
$b_7$	$-3.174 \times 10^6$
$b_8$	$1.152 \times 10^6$

Funcția este suma fiecărui coeficient  $b_i$  înmulțit cu procentul de încărcare  $\theta_i$ . Autorii [48] susțin că costurile pentru revizia generală pot ajunge până la 50% din costul motorului diesel, o cifră aproximativă similară fiind furnizată de proprietarul nave.

### 3. Nava

Diagrama uniliniară a navei analizate este prezentată în Figura 2. Nava cuprinde 5 DG-uri conectate la o magistrală de curent alternativ de 690 V. Magistrala de curent alternativ este separată în continuare în 3 segmente folosind 2 întrerupătoare de legătură de magistrală (TB1 și TB2). DG1 și DG2 cuprind DG-urile prezente pe partea babord (PS) a navei, care sunt izolate de alte DG-uri atunci când TB1 este deschis. DG3 și DG4 se află pe partea tribord (SB) a navei și sunt izolate de sistem atunci când TB2 este deschis. DG5 este prezent în bara colectoare din mijloc, care este izolată de sistem atunci când TB1 și TB2 sunt deschise. Rețeaua de distribuție este conectată la bara colectoare principală de curent alternativ.

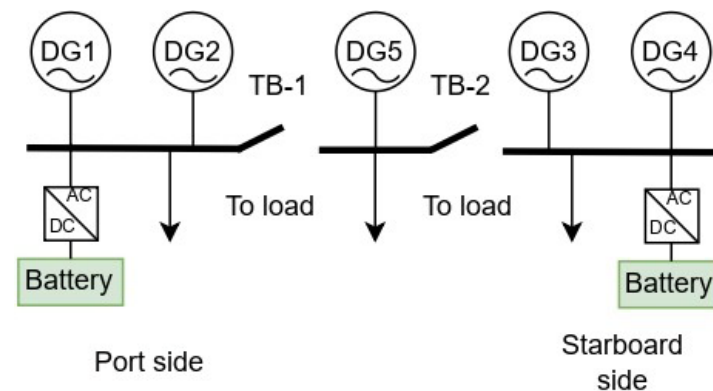


Figura 2: DP-2 vessel

Pe baza stării întrerupătoarelor de legătură de magistrală, nava funcționează în moduri diferite. Adică, în modul DP, ambele întrerupătoare de legătură sunt deschise, izolând PS, SB și secțiunea din mijloc cu DG5. Când TB1 este deschis și TB2 este închis, vasul este considerat a fi în modul DP non-critic (NCDP01). Notația NCDP10 se aplică atunci când TB2 este deschis, iar TB1 este închis. Când TB1

și TB2 sunt închise, se spune că vasul este în modul automat. Se așteaptă să fie redundant în ceea ce privește numărul de generatoare care funcționează în modul DP în caz de defecțiune. Tabelul 4 afișează puterile nominale și SFOC-ul DG-urilor. Coeficienții SFOC sunt reprezentați de  $\alpha$  și  $\beta$ .

Tabelul 4: Revizuirea modelării existente a degradării bateriei în optimizare

DG Number	Power (kW)	$\alpha$ , in $\frac{L}{kWh}$	$\beta$ , in $\frac{L}{h}$
1,4	1912	0.1918	33.778
2,3	2560	0.1869	54.9209
5	1530	0.2351	20.024

Această navă particulară este operațională în două corpuri de apă separate: Taiwan și Marea Nordului. Datele înregistrate pentru aceste două profiluri operaționale acoperă 256 (timp de eșantionare de cinci minute) și respectiv 286 de zile (timp de eșantionare de un minut), așa cum se arată în Figura 3.

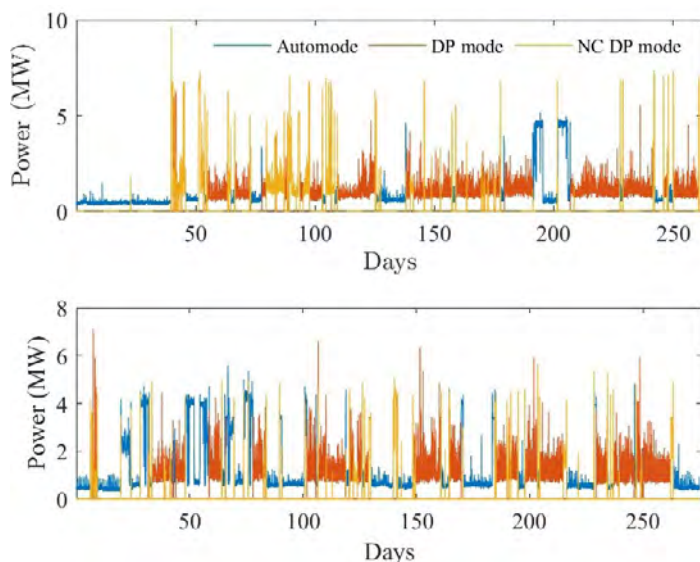


Figure 3: North Sea and Taiwan load profile

## 4. Metodologie, spațiu de soluții și formularea MILP

### 4.1. Metodologie

Figura 4 ilustrează metodologia utilizată. Procesul începe atunci când se primește o solicitare de hibridizare a vaselor. Se identifică preocupările clientului și se definește o matrice cheie de performanță (KPM), constând dintr-o listă de parametri cheie de performanță. În acest studiu, KPM include timpul de rentabilitate a investiției (ROI), perioada de recuperare a investiției și anii de profitabilitate, așa cum se discută în secțiunile ulterioare. Datele sunt preprocesate în etapa următoare pentru a asigura utilizabilitatea lor. Aceasta este urmată de dezvoltarea unui spațiu de soluții cu  $n$  ( $n = 12$ ) soluții posibile. Aceste soluții sunt apoi implementate în model și utilizate pentru optimizarea sistemului energetic folosind MILP. Sistemul este optimizat pentru un orizont de timp de o zi și repetat zilnic pentru întregul profil de sarcină. Cheltuielile operaționale sunt evaluate luând în considerare economiile de combustibil și întreținere, iar parametrii cheie de performanță sunt ulterior evaluați în ceea ce privește durata de viață a bateriei și costurile de capital. După obținerea rezultatelor, acestea sunt prezentate într-un „front de soluții” și discutate cu clientul. KPM este apoi ajustat fin în funcție de cerințele sale specifice. BOOSTER este implementat pentru cea mai bună soluție, unde ETC este luat în considerare în funcția obiectiv, iar impactul său este analizat în consecință.

Avantajele metodologiei propuse sunt următoarele:

1. Metodologia propusă se bazează pe un spațiu inițial de soluții pentru potențialele soluții de baterii pentru hibridizare. Această abordare evită utilizarea neliniarității în dimensionarea componentelor și determinarea numărului de componente.

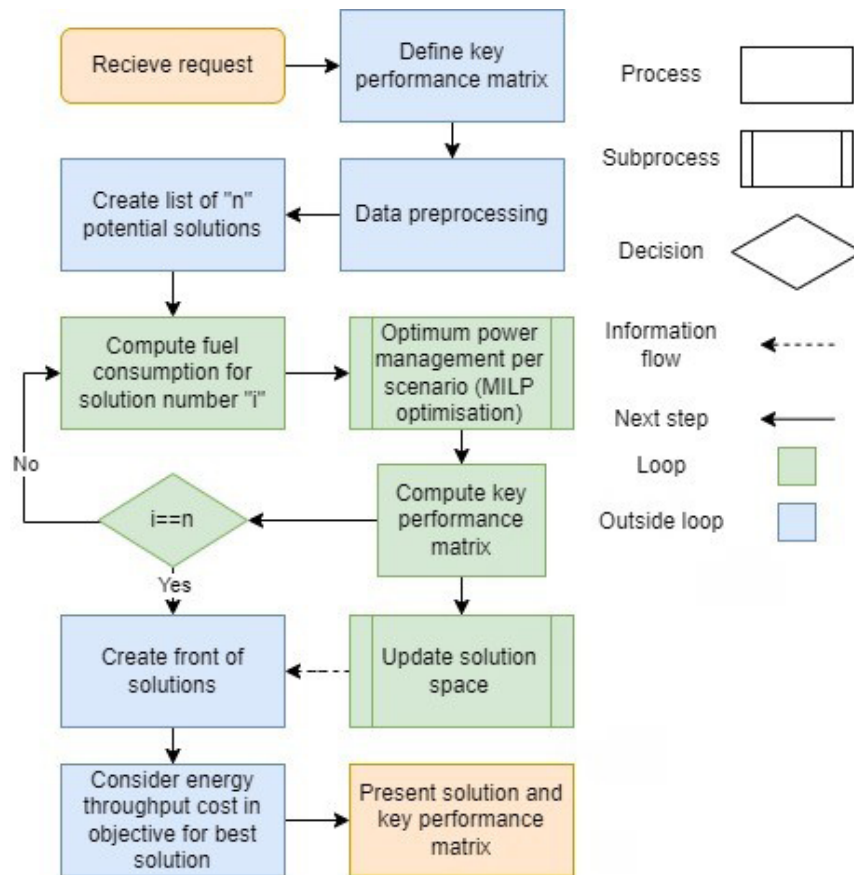


Figure 4: Methodology

- Spațiul de soluții propus pentru navele DP-2 se bazează pe funcțiile potențiale ale bateriei. Spații de soluții similare pot fi create și pentru alte nave hibride, indiferent dacă scopul este înlocuirea unei nave distribuitoare (DG) sau reducerea dimensiunii acesteia în faza inițială de proiectare. Restul metodologiei poate fi urmat în același mod ca și pentru navele DP-2.
- Metodologia ia în considerare nu numai economiile de combustibil obținute prin prezența bateriilor la bord, ci și economiile obținute prin operarea DG-urilor în puncte eficiente și oprirea DG-urilor în timpul operațiunilor DP.

- Metodologia ia în considerare îmbătrânirea sistemului de baterii în afara cadrului de optimizare, reducând sarcina computațională cauzată de neliniaritatea degradării bateriei.
- Fiecare soluție este prezentată, iar indicatorii cheie de performanță (KPI) ai acesteia sunt evaluați, oferind un spațiu de proiectare robust pentru luarea deciziilor.
- Cea mai bună soluție este optimizată din punct de vedere economic prin luarea în considerare a costurilor de debit energetic, permițând crearea de pași acționabil prin matricea operațională BESS. Acest lucru oferă operatorilor de nave și sistemelor de management al energiei îndrumări clare pentru o funcționare eficientă și rentabilă.

Metodologia propusă are următoarele limitări:

- Metodologia depinde în mare măsură de spațiul inițial de soluții creat.
- Calcularea degradării bateriei în afara cadrului de optimizare previne funcționarea conștientă de degradare pentru toate soluțiile. Această considerație este abordată doar parțial pentru cea mai bună soluție, unde ETC sunt incluse în funcția obiectiv.
- Îmbătrânirea calendaristică este fixată la 3% pentru fiecare an în care bateria nu este utilizată. Deși poate varia în funcție de modelele de utilizare. Această variabilitate nu este luată în considerare.
- Costul utilizării bateriei este evaluat pe baza debitului său energetic, care nu ia în considerare ciclurile inegale de încărcare și descărcare.
- Această metodologie nu este relevantă pentru navele cu pile de combustie, deoarece calculează economiile de întreținere pe baza curbelor MTBO ale unui motor diesel. În plus, dimensionarea bateriei pentru navele complet electrice nu se realizează în același mod. Metoda și modelul actuale sunt concepute pentru sisteme hibride în care încărcarea bateriei poate avea loc la bordul navei.

#### 4.2. KPM și spațiul soluțiilor

KPM-urile utilizate în această lucrare pentru a evalua performanța fiecărei soluții sunt ROI, perioada de recuperare a investiției și anii de profitabilitate (YOP). Acestea sunt explicate prin ecuațiile (1)-(3).

$$ROI = \frac{Profit - Initial\ investment}{Initial\ investment} \quad (1)$$

$$Payback\ period\ (years) = \frac{Initial\ investment}{Profit\ per\ year} \quad (2)$$

$$YOP(years) = Battery\ lifetime - Payback\ period \quad (3)$$

Valorile următorilor indicatori de performanță sunt setate la

$$\begin{aligned} Timp\ de\ recuperare\ a\ investiției &\leq 6\ ani, \\ Ani\ de\ rentabilitate &\geq 4\ ani, \\ ROI &\geq 0.9. \end{aligned}$$

Durata de viață a bateriei și profitul sunt furnizate de ecuațiile (4) și (5). Profitul este împărțit în două părți, economii de combustibil și economii de întreținere.

$$Număr\ total\ de\ cicluri \quad (4)$$

$$\begin{aligned} &Cicluri\ pe\ an + \text{îmbătrânire calendaristică (echivalent cicluri)} \\ Profit\ (Euro) &= Economii\ de\ combustibil + Economii\ de\ întreținere \quad (5) \end{aligned}$$

Ecuția (6) arată cum se calculează economiile de întreținere (Euro). Aici, C<sub>dgn</sub> reprezintă costul DG, T reprezintă numărul total de perioade, θ<sub>i</sub> indică procentul de încărcare curent al generatorului n la momentul t în euro, iar i se referă la puterea exponențială. Pe de altă parte, reprezintă procentul de încărcare optimizat al generatorului n la momentul t, unde i este puterea exponențială. Coeficientul b<sub>i</sub> poate fi obținut din Tabelul 3. În orice moment dat, procentul de încărcare al DG poate fi calculat prin împărțirea puterii reale la puterea sa nominală. Metoda de calcul a economiilor de combustibil este discutată în subsecțiunea 4.3.

$$MTBO\ Savings = \sum_{n=1}^5 \left( 0.5 \times C_{dgn} \left( \frac{\sum_t t = 1^T \left( \sum_{i=1}^7 (\theta_{im}^i - \theta_{im}^i) \times b_i \right)}{T} \right) \right) \quad (6)$$

The equations in this subsection are not included in the optimization process. Instead, they are solved using the results from the optimized PMS-EMS system outlined in subsection 4.3. Table 5 presents the solution space for this work. Solutions 1-9 are designed to replace DG1 și DG4 în timpul operațiunilor DP, acționând ca rezervă, în timp ce soluțiile 10-12 sunt destinate utilizării în timpul operațiunilor non-DP. Criteriul pentru ca o soluție să funcționeze ca rezervă este acela că trebuie să poată furniza 80% din puterea DG1/DG4 pentru a le opri în timpul funcționării DP. Tabelul 5 prezintă, de asemenea, costul investiției bateriilor, numărul de cicluri și costurile de debit energetic asociate cu fiecare kWh descărcat de baterie.

Table 5: Solution space

Nr.	Capacitatea (Netto)	DoD (%)	Cost (Million)	Cicluri	TC (Cost kWh)
1	1530 x2	70	2.18	10000	0.05
2	1530 x2	75	2.04	7500	0.0667
3	1530 x2	80	1.91	5000	0.1
4	510 x2	70	1.16	12133	0.0659
5	510 x2	75	1.08	9166	0.0873
6	510 x2	80	1.02	6200	0.129
7	1000+175 x2	70	1.56	10000	0.0548
8	1000+175 x2	75	1.6	7500	0.0803
9	1000+175 x2	80	1.52	5000	0.121
10	1000 x1	70	0.7	10000	0.05
11	1000 x1	75	0.6	7500	0.0667
12	1000 x1	80	0.62	5000	0.1

Costul este reprezentat în euro, ciclurile reprezintă numărul de cicluri pe care le pot suporta până când rămân 80% din capacitate, TC - Costul debitului

#### 4.3. Formularea MILP

După cum s-a menționat anterior, această cercetare utilizează MILP pentru a formula problema de optimizare. Linearitatea atât a funcției obiectiv, cât și a constrângerilor permite utilizarea acestei tehnici de optimizare.

În plus, MILP Problemele au o formă mai structurată, ceea ce este avantajos pentru modelare, analiză și interpretare. Variabilele de decizie și constantele utilizate în optimizare sunt prezentate în tabelele 6 și 7.

Table 6: Variabile de decizie utilizate

Notatie	Descriere	Variabile
$u_{it}$	$DG_i$ Status	Integer
$PG_{it}$	$DG_i$ Power N	Continuous
$Ebat_t$	Energy stored in battery	Continuous
$Ton_{it}$	Minimum on time of $DG_i$	Integer
$Ebatcharging_t$	Charging Energy of Battery	Continuous
$Uon_{it}$	$DG_i$ Turn-On	Integer
$\delta_{it}$	Parallel Loading of DG	Integer
$M_t$	Battery Charging	Integer

UC – Angajarea unităților (Unit Commitment)

Table 7: Constante utilizate

Notatie	Descriere
$C_i$	$DG_i$ Start up cost
$PG_{min}$	DG minimum power
$PG_{max}$	DG max power
$C_{rate}$	Maximum C-rate
$PG_{irated}$	DG rated power (table 4)
$Ri$	Ramp rate of $DG_i$
$TC$	Throughput cost of BS
$M$	Big M integer
$X$	Big M integer
$Max_{NC}$	Maximum number of cycles
$\eta$	One way efficiency



#### 4.3.1. Funcția Obiectiv

Scopul funcției obiectiv este de a minimiza costurile operaționale (OC), care pot fi exprimate ca:

$$OC = \text{Consum Combustibil} \times \text{Preț Combustibil} + ETC. \quad (7)$$

Consumul de combustibil poate fi împărțit în combustibil consumat pentru generarea de putere (FPG) și pentru pornirea generatoarelor diesel (FSG). Consumul de combustibil datorat generării de putere este prezentat în ecuația (8):

$$F_{pg} = \text{Price of Fuel} \times \sum_{t=1}^T \left( \sum_{i=1}^{DG_n} (\alpha_i \times Pg_{it} + \beta_i) \right) \times \Delta t. \quad (8)$$

FSG poate fi modelat liniar folosind metoda întregului „big M”, așa cum se arată în ecuațiile (9)-(11).

$$u_{it} - u_{i(t-1)} \geq 1 + 0.001 - M(1 - Uon_{it}), \quad (9)$$

$$u_{it} - u_{i(t-1)} \leq 1 + M(Uon_{it}), \quad (10)$$

$$F_{SG} = C_i \times \sum_{i=1}^T \sum_{i=1}^{DG_n} (Uon_{it}), \quad (11)$$

este costul de pornire și oprire al  $DG_i$ . Valoarea  $Uon_{it}$  este 1 de fiecare dată când  $DG_i$  trece din starea activă în starea inactivă și 0 în caz contrar. ETC poate fi modelat prin însumarea cantității totale de încărcare prin care trece bateria în timpul fiecărui ciclu sau ciclu parțial și înmulțirea acestuia cu costurile de tranzit din Tabelul 5. Acest lucru este prezentat în ecuația 12.

$$ETC = TC \times \sum_i^T Ebatcharging_t. \quad (12)$$

#### 4.3.2. Constraints

Generatoarele au constrângeri de limită superioară (80% din puterea nominală) și limită inferioară (40% din puterea nominală). Aceste limite se bazează pe SFOC (consumul specific de combustibil) și pe curbele de întreținere ale motorului diesel. Constrângerile sunt modelate conform (13), (14). Valorile  $PG_{min}$  și  $PG_{max}$  sunt 0,4 și, respectiv, 0,8.

$$PG_{it} \geq PG_{min} \times PG_{irated} \quad (13)$$

$$PG_{it} \leq PG_{max} \times PG_{irated} \quad (14)$$

Generatoarele diesel (DG) trebuie, de asemenea, să fie asociate cu un angajament al unității ( $U_{it}$ ) (starea PORNIT-OPRIT). Aceste constrângeri sunt modelate prin ecuațiile (15), (16):

$$PG_{it} \geq U_{it} \times PG_{irated} \times PG_{min} \quad (15)$$

$$PG_{it} \leq U_{it} \times PG_{irated} \times PG_{max} \quad (16)$$

Setul de generatoare diesel (DG) este, de asemenea, constrâns de limite de rampă ascendentă (ramp-up) și descendentă (ramp-down). Limitele de rampă sunt considerate 20% din puterea maximă permisă. La pornire (ON) și oprire (OFF), generatoarele nu au limite de rampă. Acest lucru este încorporat prin adăugarea unui termen de angajament al unității (unit commitment). Limitele de rampă ascendentă și descendentă sunt prezentate de ecuațiile (17) și, respectiv, (18). În ecuația (17), variabila  $u_{i(t-1)}$  este 0 dacă DG este pornit la momentul  $t$ ; procedura este similară în ecuația (18). Acestea sunt condițiile menționate mai sus.

$$PG_{it} - PG_{i(t-1)} \leq ((0.3 \times (1 - u_{i(t-1)})) + Ri_{rate}) \times PG_{irated} \quad (17)$$

$$PG_{i(t-1)} - PG_{it} \leq ((0.3 \times (1 - u_{i(t)})) + Ri_{rate}) \times PG_{irated} \quad (18)$$

Când două sau mai multe generatoare diesel (DG) sunt PORNITE, acestea sunt încărcate în paralel, adică sarcina este împărțită între generatoare proporțional cu puterea lor nominală. De exemplu, încărcarea paralelă a  $DG_1 - DG_3$  este modelată prin ecuațiile (19)-(22).

$$u_{2t} + u_{3t} \geq 1 + 0.001 - M \times (1 - \delta_{1t}), \quad (19)$$

$$u_{2t} + u_{3t} \leq 1 + M \times \delta_{1t}, \quad (20)$$

$$\frac{PG_{3t}}{PG_{3rated}} - M \times (1 - \delta_{1t}) \leq \frac{PG_{2t}}{PG_{2rated}} \quad (21)$$

$$\frac{PG_{2t}}{PG_{2rated}} \leq \frac{PG_{3t}}{PG_{3rated}} + M \times (1 - \delta_{1t}) \quad (22)$$

Atunci când atât DG1, cât și DG3 sunt pornite, valoarea  $\delta_{1t}$  este setată la 1. În acest caz, variabila  $M$  este un număr întreg mare cu valoarea 8000. Pentru a minimiza numărul de constrângeri și variabile, se efectuează încărcarea paralelă doar pentru câteva generatoare diesel (DG) selectate, datorită similitudinilor dintre DG1,4 și DG2,3 și deoarece cererea de putere din profilurile de sarcină nu necesită întreaga capacitate instalată la bord. Timpul minim de funcționare (minimum ON-time) asigură faptul că generatoarele sunt pornite pentru o durată minimă specifică. Acest lucru este descris de următoarea ecuație:

$$\sum_{t=1}^{Min\ Time} (U_{it}) = Min\ Time \times Ton_i \quad \forall T. \quad (23)$$

Aici,  $Ton_i$  este o variabilă de decizie booleană care asigură că suma variabilei de angajament a unității  $U_{it}$  este fie PORNITĂ pentru durata minimă specificată, fie OPRITĂ. Valoarea timpului minim de funcționare (ON-time) este setată la 20 de minute. Capacitatea netă a sistemului de baterii servește ca bază pentru modelarea acestuia. Când se află în modul Auto, sistemul de stocare a energiei poate fi reprezentat prin capacitatea netă combinată a BESS de pe ambele părți, atât de la babord (PS), cât și de la tribord (SB), denumită  $E_{max}$ . Energia stocată ( $E_{batt}$ ) care poate fi utilizată în orice moment dar nu poate depăși capacitatea netă a BESS-ului combinat și nu poate scădea sub zero. Acești parametri sunt modelați matematic prin următoarele ecuații:

$$E_{bat_t} \geq 0, \quad (24)$$

$$E_{bat_t} \leq E_{max}. \quad (25)$$

Restricția minimă a ratei C (C-rate) asigură faptul că sistemul de baterii se încarcă și se descarcă în limitele capacităților sale tehnice. Se ia în considerare o singură rată C pentru încărcare și descărcare. Încărcarea și descărcarea sunt reprezentate de următoarele ecuații (26) și, respectiv, (27).

$$E_{bat_t} - E_{bat_{t-1}} \leq C_{rate} \times E_{max} \times \Delta t, \quad (26)$$

$$E_{bat_{t-1}} - E_{bat_t} \leq C_{rate} \times E_{max} \times \Delta t. \quad (27)$$

Este necesar să se calculeze energia totală de încărcare pentru a determina numărul de cicluri de încărcare complete sau parțiale prin care trece bateria. Așa cum s-a procedat anterior, acest lucru poate fi realizat folosind metoda întregului „big M”. Variabila  $Mt$  este un număr întreg care este egal cu 1 atunci când bateria se încarcă și 0 în caz contrar. Ecuațiile (28)–(31) definesc formularea variabilei de decizie  $E_{batcharging_t}$ , care include doar valorile de încărcare ale bateriei.

$$E_{batcharging_t} \geq 0, \quad (28)$$

$$E_{batcharging_t} \geq E_{bat_t} - E_{bat_{t-1}}, \quad (29)$$

$$E_{batcharging_t} \leq 0 + M \times M_t, \quad (30)$$

$$E_{batcharging_t} \leq E_{bat_t} - E_{bat_{t-1}} + M \times (1 - M_t). \quad (31)$$

According to (28), the battery charging variable can only have values greater than 0 and the maximum possible amount of charge (kWh) for a given period. This is represented by equation (32).

$$E_{batcharging_t} \leq C_{rate} \times E_{max} \Delta t \quad (32)$$

Pe baza acestui fapt, numărul de cicluri pentru o perioadă dată  $T$  poate fi calculat ca:

$$Number\ of\ Cycles = \frac{\sum_{t=1}^T E_{batcharging_t}}{E_{max}} \quad (33)$$

TDegradarea bateriei sau limitarea ciclurilor poate fi restricționată pe segment de timp folosind constrângeri de inegalitate, așa cum se arată în ecuație:

$$\sum_{t=1}^T E_{batcharging_t} \leq E_{max} \times Max_{NC}. \quad (34)$$

Ecuația fluxului de energie sau a echilibrului sarcinii este modelată luând în considerare eficiența de tip „round-trip” a sistemului,  $\eta$ . Există două ecuații principale, respectiv pentru încărcare și pentru descărcare. În timpul încărcării bateriei, s-a stabilit deja că valoarea lui  $Mt = 1$ , fiind 0

în caz contrar. Prin urmare, ecuațiile de echilibru energetic pentru încărcare (ecuațiile (35), (36)) și descărcare (ecuațiile (37), (38)) pot fi modelate astfel:

$$Ebat_t \geq Ebat_{t-1} + \eta \times \Delta t \left( \sum_{i=1}^T PG_{it} - Pdemand_t \right) - X \times (1 - M_t), \quad (35)$$

$$Ebat_t \leq Ebat_{t-1} + \eta \times \Delta t \left( \sum_{i=1}^T PG_{it} - Pdemand_t \right) + X \times (1 - M_t), \quad (36)$$

$$Ebat_t \geq Ebat_{t-1} - \frac{\Delta t \left( Pdemand_t - \sum_{i=1}^T PG_{it} \right)}{\eta} - X \times M_t, \quad (37)$$

$$Ebat_t \leq Ebat_{t-1} - \frac{\Delta t \left( Pdemand_t - \sum_{i=1}^T PG_{it} \right)}{\eta} + X \times M_t. \quad (38)$$

Aici X este un număr întreg mare, egal cu 8 times x 103. Se consideră o eficiență de tip „round-trip” de 96%, prin urmare valoarea lui  $\eta$  este 0,98.

#### 4.4. Moduri de optimizare

Optimizarea este efectuată pentru cele trei moduri de operare, respectiv modul AUTO, modul DP non-critic (NCDP) și modul DP. Valorile constantelor pentru formularea MILP sunt enumerate pentru fiecare mod în Tabelul 8.

Optimizarea se face separat pentru fiecare mod de operare pentru a asigura performanța optimă. După fiecare mod AUTO, sarcina bateriei  $Ebat_{it}$  este setată la valoarea sa maximă pentru a fi utilizată în modurile DP și NCDP. În modul AUTO, cererea de putere combină cererea de pe părțile SB (tribord) și PS (babord), în timp ce în modurile DP și NCDP, părțile SB și PS sunt tratate separat. Rezultatele sunt combinate pentru fiecare mod pentru a produce o optimizare generală. Valoarea  $\Delta t = 1/12$  (5 minute) pentru Taiwan și  $\Delta t = 1/60$  (1 minut) pentru Marea Nordului. Pe lângă cele trei moduri diferite de optimizare, sunt luate în considerare și trei scenarii diferite pentru prețul combustibilului, așa cum se arată în Tabelul 9. Prin urmare, obținem în final rezultate pentru 12 soluții diferite conform Tabelului 5 și pentru trei scenarii diferite, conform Tabelului 9.

Tabelul 8: Valorile constantelor dependente de mod

Notatie	Auto	DP & NCDP
$C_i$	Rated SC	Rated SC
$PG_{min}$	0.4	0.2
$PG_{max}$	0.8	0.8
$C_{rate}$	Rated C-rate	0
$PG_{irated}$	Table 4	Table 4
$R_i$	0.5 NS ; NA Taiwan	0.5 NS, ; NA Taiwan
$TC$	Table 5	NA
$M$	8000	8000
$X$	$8 \times 10^6$	$8 \times 10^6$
$Max_{NC}$	Table 5	0
$\eta$	0.98	0.98
$Pdemand_t$	PS+SB	PS,SB

NA - Nu se aplică (Not applicable) acolo unde valoarea este 0 sau constrângerea este dezactivată;  
PS+SB indică cererea de putere combinată pentru babord (PS) și tribord (SB); aceasta este separată pentru modurile DP/NCDP.

Tabelul 9: Prețul combustibilului per scenario

Scenario Number	450 Euro/ton	Percentage of time 650 Euro/ton	850 Euro/ton
1	33	50	17
2	50	33	17
3	50	50	0

## 5. Rezultate

Economiile de combustibil optimizate combinate per soluție, fără a lua în considerare costurile ETC, sunt prezentate în Tabelul 10. Soluțiile optimizate generează, de asemenea, o creștere a MTBO (intervalul de timp până la revizia generală) a generatoarelor diesel (DG), așa cum se arată în Tabelul 11, și o scădere subsecventă a timpului de funcționare al DG, conform Tabelului 12. Este important de menționat că aceste rezultate sunt obținute prin aplicarea optimizării MILP. Ecuația (6) este

utilizată pentru a determina economiile de mentenanță. În plus, durata de viață estimată a bateriei este calculată prin ecuația (4). Rezultatele ale acestei analize sunt prezentate în Tabelul 13, care prezintă cifrele anualizate. Pe baza prețurilor combustibilului per scenariu (Tabelul 9), perioada de amortizare a fiecărei soluții și rentabilitatea investiției (ROI) sunt calculate prin (3), (1) și prezentate în materialul suplimentar.

Este important de menționat că perioada de amortizare, anii de profitabilitate și ROI sunt calculate în bucla exterioară a optimizării MILP. Pe baza acestor rezultate, soluția cu numărul șapte oferă cele mai bune performanțe conform parametrilor KPM stabiliți în secțiunea 4.2. Prin urmare, metodologia BOOSTER, inclusiv costurile ETC, este implementată prin aplicarea celei de-a șaptea soluții (BOOSTER 7) pentru cele trei scenarii. Performanța KPM a BOOSTER 7 este prezentată în Tabelul 14.

Figura 5 reprezintă vizual comparația între Soluția 7 cu și fără BOOSTER. Optimizarea BOOSTER a dus la o creștere semnificativă de 21,88%, 81,63% și, respectiv, 32,67% a ROI-ului pentru Soluția 7. Acest lucru a fost posibil prin operarea atentă a EMS-PMS, încorporând ETC și prețul de achiziție al combustibilului. Deși economiile totale de combustibil pe an au fost reduse în metoda BOOSTER, numărul de ani de profitabilitate a crescut, ducând la economii de combustibil mai mari pe întreaga durată de viață.

Tabelul 10: Economii de combustibil per scenariu

Solution Number	Fuel Savings (tons)	Number of Cycles
Taiwan		
1-3	425.08	289.7
4-6	424.9	644.7
7-9	416.3	400
10-12	98.3	652.2
North Sea		
1-3	470.9	357.1
4-6	467.3	900.9
7-9	459.6	554.1
10-12	152.6	925.5

Tabelul 11: Timpul minim până la revizia generală (zile)

Solution Number	MTBO (days)				
	DG1	DG2	DG3	DG4	DG5
Taiwan					
1-3	442.6	463.4	464.7	398.3	124.8
4-6	443.5	498.4	436.9	398.3	124.8
7-9	443.5	494.8	436.9	398.3	124.8
10-12	354.7	297.9	228.8	296.2	125.1
Current Scenario					
	326.9	298.8	250.4	326.2	130.4
North Sea					
1-3	486.7	603.3	619.6	414.7	151.3
4-6	505	603.1	619.2	414.7	151.3
7-9	495.2	603.0	619.2	414.7	151.3
10-12	452.1	440.1	369.7	378.4	151.1
Current Scenario					
	378.9	393.6	339.7	406.3	303.8

Acest lucru se datorează economiilor disproporționate de combustibil observate în modul DP. Pentru Scenariul 1, s-a înregistrat o creștere de 9,5% a economiilor de combustibil pe întreaga durată de viață, și creșteri de 16,4% și, respectiv, 21,3% pentru Scenariile 2 și 3. Un alt beneficiu al prelungirii duratei de viață a bateriei este obținerea de economii anuale la costurile de mentenanță pentru un număr mai mare de ani.

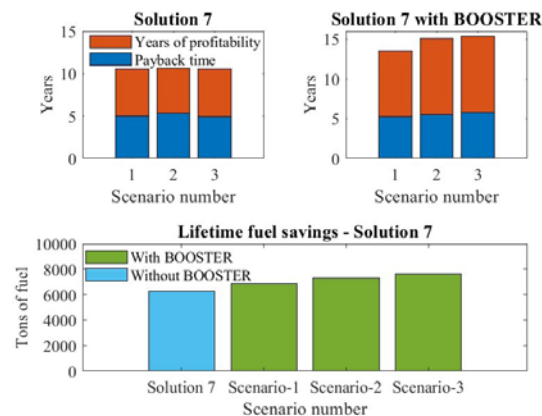
Figura 6 prezintă matricea operațională a BESS pentru rețeaua sistemului energetic dat. Costul combustibilului și cererea de putere sunt luate în considerare atunci când se decide utilizarea sistemului de baterii. Bateriile cu un DoD (grad de descărcare) de 70% au o regiune operațională mai mare în comparație cu celelalte. Se recomandă alegerea soluției 7 datorită costului său scăzut de operare (throughput cost) pentru a atenua riscurile legate de prețurile instabile ale combustibilului.

Figura 7 (sus) oferă o privire de ansamblu asupra tuturor soluțiilor. Cu

toate acestea, nu toate aceste soluții se aliniază cu indicatorii cheie de performanță raportați în secțiunea 4.2. Prin urmare, la aplicarea limitelor KPM, soluțiile sunt prezentate în Figura 7 (jos), iar aceste soluții sunt cunoscute sub numele de soluții lucrative. Graficul cu soluții lucrative arată clar creșterea ROI-ului la implementarea BOOSTER. În plus, soluția 4 de mare putere este, de asemenea, fezabilă în cazul scenariilor 1 și 2 de preț al combustibilului. Soluția 2 este fezabilă doar în cazul scenariului 3 de preț al combustibilului.

*Tablelul 12: Timpul de funcționare al generatoarelor diesel (DG)*

Solution Number	Running time (days)				
	DG1	DG2	DG3	DG4	DG5
Taiwan					
1-3	174.3	56.3	58.2	169.3	134.2
4-6	175.3	72.5	48.4	169.3	134.2
7-9	175.3	70.4	48.4	169.3	134.2
10-12	185	122.2	116.9	147.3	134.4
Current Scenario	187.4	123.5	124.4	188.5	136.1
North Sea					
1-3	145.4	57.5	34.4	127.5	115.6
4-6	168.5	67.3	21.1	127.5	115.6
7-9	155.4	77.7	21.1	127.5	115.6
10-12	140.9	111.3	87.6	79.9	115.7
Current Scenario	145.3	91.6	100.2	107.2	183.4



*Figure 5: Payback period and years of profitability with and without BOOSTER*

*Tablelul 13: Rezultate analizate ale economiilor de combustibil, economiilor de mentenanță și duratei de viață a bateriei*

Annualised average result (Taiwan + North Sea)				
Solution number	Fuel savings (tons)	Maintenance savings (Euros)	BS life time (years)	Investment cost (Million Euros)
1	604.5	101863	13.6	2.68
2	604.5	101863	11.36	2.54
3	604.5	101863	8.54	2.41
4	601.5	100472	8.67	1.66
5	601.5	100472	6.99	1.58
6	601.5	100472	5.07	1.52
7	590	100706	10.64	2.06
8	590	100706	8.67	2.1
9	590	100706	6.33	2.02
10	167.5	16000	7.37	0.88
11	167.5	16000	5.85	0.82
12	167.5	16000	4.14	2.06

Tabelul 14: Performanța BOOSTER pentru Soluția 7

Key performance index	1	2	3
Payback period	5.2	5.5	5.7
Years of profitability	8.3	9.6	9.7
ROI	1.6	1.78	1.5

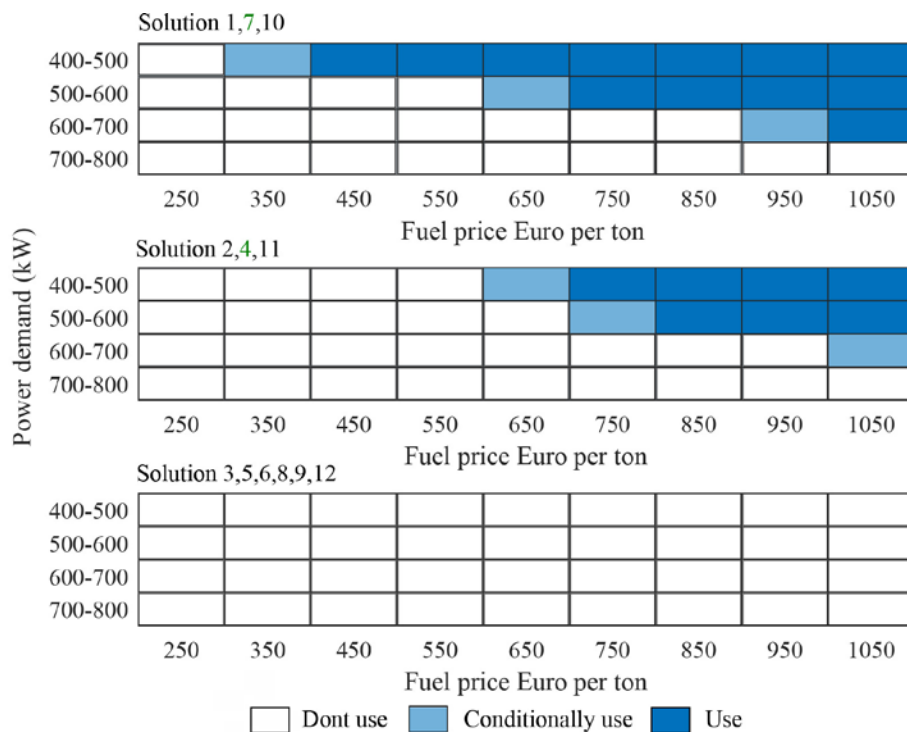


Figure 6: BESS operation matrix

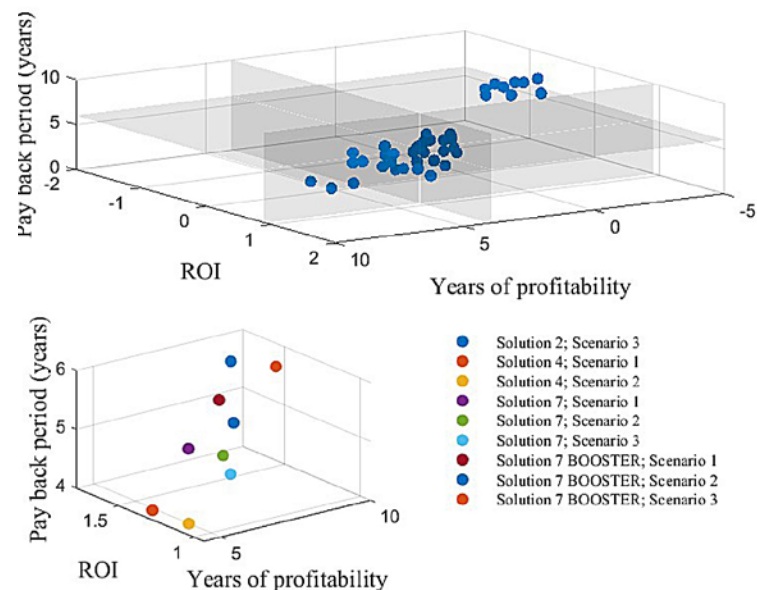


Figure 7: Front of all solutions for all scenarios

## 6. Concluzii

Cercetarea prezentată în această lucrare subliniază importanța unui sistem EMS-PMS inteligent care încorporează metodologia BOOSTER. În loc să se bazeze pe un preț mediu static al combustibilului, metodologia BOOSTER consideră prețurile combustibilului ca o funcție de timp, permițând sistemului EMS-PMS să opereze în mod realist în funcționarea reală a navei. Aceasta include cunoașterea prețurilor combustibilului, a cerințelor de putere pentru diverse sarcini și a ETC (costului total al energiei) al bateriei sau a deciziei de a investi. Există, de asemenea, o disparitate în economiile de combustibil per ciclu observate între rezultatele din Marea Nordului și Taiwan, din cauza cerințelor de putere mai mari din Marea Nordului. Acest lucru întărește și mai mult necesitatea unui sistem de management mai inteligent.

O combinație de baterii HP (înalță putere) și HE (înalță energie) reprezintă o soluție rentabilă pentru proprietarii de nave. Bateriile HE sunt mai ieftine per kWh decât bateriile HP; totuși, dimensiunea lor mare

necesară pentru a îndeplini cerințele clasei DP poate filată traducerea segmentului final al textului în limba română:

costisitoare. Prin urmare, combinarea bateriilor HP + HE este o opțiune mai bună, deoarece necesită o dimensiune mai mică a bateriei pentru a îndeplini cerințele de clasă. În plus, costurile electronicii de putere pentru sistemul HP+HE sunt aceleași cu cele pentru sistemele HP sau HE, iar convertoarele electronice de putere de capacitate mai mică sunt mai ieftine decât un singur convertor mare de mare putere. De asemenea, se poate observa o cantitate considerabilă de economii de combustibil datorită economiilor de mentenanță la revizia generală (overhaul) a generatoarelor diesel (DG). Acest aspect este adesea trecut cu vederea atunci când se calculează sau se estimează fezabilitatea unei investiții.

Această lucrare are limitările sale și este important de menționat că sistemul actual de baterii experimentează o îmbătrânire calendaristică statică de 3% (an de an). Cu toate acestea, cercetările efectuate asupra modului în care SOC (starea de încărcare), temperatura și ciclarea afectează îmbătrânirea calendaristică sunt limitate. Ciclarea adecvată a bateriei poate ajuta la reducerea îmbătrânirii calendaristice, ceea ce este esențial pentru longevitatea soluției BOOSTER, în special atunci când se presupune că va fi utilizată mai mult de 10 ani. Pentru a asigura succesul dezvoltărilor viitoare ale acestui model, îmbătrânirea calendaristică trebuie luată în considerare în raport cu ciclurile, timpul de repaus și starea SOC. Costurile implementării BESS iau în calcul costurile electronicii de putere și ale sistemului de baterii. O altă considerație crucială în calcularea costurilor de investiție este cheltuiala cu integrarea sistemului. Din cauza numeroșilor factori care o influențează, cum ar fi numărul de ore necesare pentru modernizarea sistemului actual PMS-EMS și limitările de spațiu la bord, aceasta a fost exclusă deliberat din analiză. În plus, autorii recunosc lipsa de cunoștințe privind ratele dobânzilor viitoare, ratele inflației și prețurile combustibililor în momentul în care a fost efectuată această cercetare, din cauza schimbărilor geopolitice și financiare în curs. Drept urmare, acești factori au fost excluși din calculul perioadei de amortizare și al ROI-ului pentru a menține simplitatea.

Lucrarea propune o metodologie pentru proprietarii de flote și proiectanții de sisteme pentru a lua decizii și a implementa investițiile asociate în BESS. Pe baza rezultatelor obținute, se recomandă implementarea fie a Soluției 4, fie a Soluției 7, și se pledează ferm pentru implementarea sistemului inteligent BOOSTER EMS-PMS.

### Declarația de contribuție a autorilor (CRediT)

**Sankarshan Durgaprasad:** Metodologie, Analiză formală, Conceptualizare, Redactare - proiect original. **Zoran Malbašić:** Supraveghere, Administrare proiect, Redactare - revizuire și editare. **Marjan Popov:** Supraveghere, Administrare proiect, Redactare - revizuire și editare. **Aleksandra Lekić:** Supraveghere, Administrare proiect, Redactare - revizuire și editare.

### Declarație de interese concurente

Autorii declară că nu au interese financiare concurente cunoscute sau relații personale care ar fi putut părea să influențeze lucrarea raportată în acest articol.

### Declarație de finanțare

Această cercetare nu a primit nicio subvenție specifică din partea agențiilor de finanțare din sectoarele public, comercial sau non-profit.

### Declarație de disponibilitate a datelor

Datele utilizate în acest studiu nu au fost depuse într-un depozit accesibil publicului, deoarece sunt confidențiale.

### Informații suplimentare

Conținutul suplimentar legat de acest articol a fost publicat online la:



## References

- [1] J. Faber, S. Hanayama, S. Zhang, P. Pereda, B. Comer, International Maritime Organization, 2021.
- [2] C. D. Association, Energy efficiency considerations for dredging projects and equipment (2022).  
URL <https://dredging.org/resources/ceda-publications-online/position-and-information-papers>
- [3] BELLONA, Siemens, Decarbonizing maritime transport – a study on the electrification of the european ferry fleet (Sep 2022). URL <https://network.bellona.org/content/uploads/sites/3/2022/09/Decarbonizing-maritime-transport.pdf>
- [4] BELLONA, Siemens, Electric operation makes seven out of ten ferries more profitable – a feasibility study (2015).
- [5] S. Fang, Y. Xu, Z. Li, Z. Ding, L. Liu, H. Wang, Optimal sizing of shipboard carbon capture system for maritime greenhouse emission control, *IEEE Transactions on Industry Applications* 55 (6) (2019) 5543–5553. doi:10.1109/tia.2019.2934088.
- [6] F. Balsamo, P. De Falco, F. Mottola, M. Pagano, Power flow approach for modeling shipboard power system in presence of energy storage and energy management systems, *IEEE Transactions on Energy Conversion* 35 (4) (2020) 1944–1953. doi:10.1109/tec.2020.2997307.
- [7] S. Solem, K. Fagerholt, S. O. Erikstad, N. y. Patricksson, Optimization of diesel electric machinery system configuration in conceptual ship design, *Journal of Marine Science and Technology* 20 (3) (2015) 406–416. doi:10.1007/s00773-015-0307-4.
- [8] C. Bordin, O. Mo, Including power management strategies and load profiles in the mathematical optimization of energy storage sizing for fuel consumption reduction in maritime vessels, *Journal of Energy Storage* 23 (2019) 425–441. doi:10.1016/j.est.2019.03.021.
- [9] A. Anvari-Moghaddam, T. Dragicevic, L. Meng, B. Sun, J. M. Guerrero, Optimal planning and operation management of a ship electrical power system with energy storage system, *IECON 2016 – 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society* (2016). doi:10.1109/iecon.2016.7793272.
- [10] S. Fang, Y. Xu, Z. Li, T. Zhao, H. Wang, Two-step multi-objective management of hybrid energy storage system in all-electric ship microgrids, *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 68 (4) (2019) 3361–3373. doi:10.1109/tvt.2019.2898461.
- [11] F. D. Kanellos, G. J. Tsekouras, N. D. Hatziaargyriou, Optimal demand-side management and power generation scheduling in an all-electric ship, *IEEE Transactions on Sustainable Energy* 5 (4) (2014) 1166–1175. doi:10.1109/tste.2014.2336973.
- [12] Y. Yan, H. Zhang, Y. Long, Y. Wang, Y. Liang, X. Song, J. J. Yu, Multi-objective design optimization of combined cooling, heating and power system for cruise ship application, *Journal of Cleaner Production* 233 (2019) 264–279. doi:10.1016/j.jclepro.2019.06.047.
- [13] P. J. Chauhan, K. S. Rao, S. K. Panda, G. Wilson, X. Liu, A. K. Gupta, Fuel efficiency improvement by optimal scheduling of diesel generators using pso in offshore support vessel with dc power system architecture, *2015 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)* (2015). doi:10.1109/appeec.2015.7380963.
- [14] F. D. Kanellos, A. Anvari-Moghaddam, J. M. Guerrero, A cost-effective and emission-aware power management system for ships with integrated full electric propulsion, *Electric Power Systems Research* 150 (2017) 63–75. doi:10.1016/j.eprsr.2017.05.003.
- [15] H.-M. Chin, C.-L. Su, C.-H. Liao, Estimating power pump loads and sizing generators for ship electrical load analysis, *IEEE Transactions on Industry Applications* 52 (6) (2016) 4619–4627. doi:10.1109/tia.2016.2600653.
- [16] A. Letafat, M. Rafiei, M. Sheikh, M. Afshari-Igder, M. Banaei, J. Boudjadar, M. H. Khooban, Simultaneous energy management and optimal components sizing of a zero-emission ferry boat, *Journal of Energy Storage* 28 (2020) 101215. doi:10.1016/j.est.2020.101215.
- [17] S. Karagiorgis, S. Nasiri, H. Polinder, Implementation of ship hybridisation: Sizing a hybrid crew transfer vessel considering uncertainties, *Proceedings of the International Naval Engineering Conference 16, 16th International Naval Engineering Conference and Exhibition incorporating the International Ship Control Systems Symposium, INEC/iSCSS 2022, INEC/iSCSS 2022 ; Conference date: 08-11-2022 Through 10-11-2022* (2022). doi:10.24868/10643.  
URL <https://www.imarest.org/events/category/categories/imarest-event/international-naval-engineering-conference-and-exhibition-2022>
- [18] X. Wang, U. Shipurkar, A. Haseltalab, H. Polinder, F. Claeys, R. R. Negenborn, Sizing and control of a hybrid ship propulsion system using multi-objective double-layer optimization, *IEEE Access* 9 (2021) 72587–72601. doi:10.1109/access.2021.3080195.

- [19] S. Mashayekh, Z. Wang, L. Qi, J. Lindtjorn, T. Myklebust, Optimum sizing of energy storage for an electric ferry ship, 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting (2012). doi:10.1109/pesgm.2012.6345228.
- [20] C. Yan, G. K. Venayagamoorthy, K. A. Corzine, Optimal location and sizing of energy storage modules for a smart electric ship power system, 2011 IEEE Symposium on Computational Intelligence Applications In Smart Grid (CIASG) (2011). doi:10.1109/ciasg.2011.5953336.
- [21] S. Pang, Y. Lin, G. Liu, D. Ren, Multi-objective optimization configuration of electric energy storage capacity of electric propulsion ship, 2020 IEEE 4th Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC) (2020). doi:10.1109/itnec48623.2020.9084691.
- [22] A. Letafat, M. Rafiei, M. Sheikh, M. Afshari-Igder, M. Banaei, J. Boudjadar, M. H. Khooban, Simultaneous energy management and optimal components sizing of a zero-emission ferry boat, *Journal of Energy Storage* 28 (2020) 101215. doi:https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101215.  
URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X19317177>
- [23] A. Boveri, F. Silvestro, M. Molinas, E. Skjong, Optimal sizing of energy storage systems for shipboard applications, *IEEE Transactions on Energy Conversion* 34 (2) (2019) 801–811. doi:10.1109/TEC.2018.2882147.
- [24] S.-Y. Kim, S. Choe, S. Ko, S.-K. Sul, A naval integrated power system with a battery energy storage system: Fuel efficiency, reliability, and quality of power, *IEEE Electrification Magazine* 3 (2) (2015) 22–33. doi:10.1109/MELE.2015.2413435.
- [25] S. Wen, H. Lan, Y.-Y. Hong, D. C. Yu, L. Zhang, P. Cheng, Allocation of ess by interval optimization method considering impact of ship swinging on hybrid pv/diesel ship power system, *Applied Energy* 175 (2016) 158–167. doi:https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.05.003.  
URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261916305852>
- [26] K. Kim, K. Park, J. Lee, K. Chun, S.-H. Lee, Analysis of battery/generator hybrid container ship for co2 reduction, *IEEE Access* 6 (2018) 14537–14543. doi:10.1109/ACCESS.2018.2814635.
- [27] A. Anvari-Moghaddam, T. Dragicevic, L. Meng, B. Sun, J. M. Guerrero, Optimal planning and operation management of a ship electrical power system with energy storage system, in: *IECON 2016 – 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2016, pp. 2095–2099. doi:10.1109/IECON.2016.7793272.
- [28] A. Eddahech, O. Briat, J.-M. Vinassa, Performance comparison of four lithium-ion battery technologies under calendar aging, *Energy* 84 (2015) 542–550. doi:https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.03.019.  
URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544215003138>
- [29] G. Patry, A. Romagny, S. Martinet, D. Froelich, Cost modeling of lithium-ion battery cells for automotive applications, *Energy Science and Engineering* 3 (1) (2014) 71–82. doi:10.1002/ese3.47.
- [30] M. Brand, S. Glaßer, J. Geder, S. Menacher, S. Obpacher, A. Jossen, D. Quinger, Electrical safety of commercial li-ion cells based on nmc and nca technology compared to lfp technology, in: *2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27)*, 2013, pp. 1–9. doi:10.1109/EVS.2013.6914893.
- [31] Y. Gao, J. Jiang, C. Zhang, W. Zhang, Z. Ma, Y. Jiang, Lithium-ion battery aging mechanisms and life model under different charging stresses, *Journal of Power Sources* 356 (2017) 103–114. doi:10.1016/j.jpowsour.2017.04.084.
- [32] L. Somerville, J. Baren˜o, S. Trask, P. Jennings, A. McGordon, C. Lyness, I. Bloom, The effect of charging rate on the graphite electrode of commercial lithium-ion cells: A post-mortem study, *Journal of Power Sources* 335 (2016) 189–196. doi:10.1016/j.jpowsour.2016.10.002.
- [33] D. Ansea˜n, M. González, J. Viera, V. García, C. Blanco, M. Valledor, Fast charging technique for high power lithium iron phosphate batteries: A cycle life analysis, *Journal of Power Sources* 239 (2013) 9–15. doi:10.1016/j.jpowsour.2013.03.044.
- [34] D. Ansea˜n, M. Dubarry, A. Devie, B. Liaw, V. García, J. Viera, M. González, Fast charging technique for high power lifepo4 batteries: A mechanistic analysis of aging, *Journal of Power Sources* 321 (2016) 201–209. doi:10.1016/j.jpowsour.2016.04.140.
- [35] J. Wang, P. Liu, J. Hicks-Garner, E. Sherman, S. Soukiazian, M. Verbrugge, H. Tataria, J. Musser, P. Finamore, Cycle-life model for graphite- lifepo4 cells, *Journal of Power Sources* 196 (8) (2011) 3942–3948. doi:10.1016/j.jpowsour.2010.11.134.
- [36] M. Ben-Marzouk, A. Chaumond, E. Redondo-Iglesias, M. Montaru, S. Pe´lissier, Experimental protocols and first results of calendar and/or cycling aging study of lithium-ion batteries – the mobicus project, *World Electric Vehicle Journal* 8 (2) (2016) 388–397. doi:10.3390/wevj8020388.
- [37] P. Keil, S. F. Schuster, J. Wilhelm, J. Travi, A. Hauser, R. C. Karl, A. Jossen, Calendar aging of lithium-ion batteries, *Journal of The Electrochemical Society* 163 (9) (2016). doi:10.1149/2.0411609jes.

- [38] J. Ruan, B. Zhang, B. Liu, S. Wang, The multi-objective optimization of cost, energy consumption and battery degradation for fuel cell-battery hybrid electric vehicle, 2021 11th International Conference on Power, Energy and Electrical Engineering (CPEEE) (2021). doi: 10.1109/cpeee51686.2021.9383396.
- [39] M. Alramlawi, P. Li, Design optimization of a residential pv-battery microgrid with a detailed battery lifetime estimation model, IEEE Transactions on Industry Applications 56 (2) (2020) 2020–2030. doi:10.1109/TIA.2020.2965894.
- [40] C. Bordin, H. O. Anuta, A. Crossland, I. L. Gutierrez, C. J. Dent, D. Vigo, A linear programming approach for battery degradation analysis and optimization in offgrid power systems with solar energy integration, Renewable Energy 101 (2017) 417–430. doi:10.1016/j.renene.2016.08.066.
- [41] A. Hamedi, A. Rajabi-Ghahnavieh, Explicit degradation modelling in optimal lead-acid battery use for photovoltaic systems, IET Generation, Transmission and Distribution 10 (4) (2016) 1098–1106. doi:10.1049/iet-gtd.2015.0163.
- [42] S. Kato, I. Taniguchi, M. Fukui, K. Sakakibara, A battery degradation aware optimal power distribution on decentralized energy network, in: 10th IEEE International NEWCAS Conference, 2012, pp. 409–412. doi:10.1109/NEWCAS.2012.6329043.
- [43] M. Amini, A. Khorsandi, B. Vahidi, S. H. Hosseini, A. Malakmahmoudi, Optimal sizing of battery energy storage in a microgrid considering capacity degradation and replacement year, Electric Power Systems Research 195 (2021) 107170. doi:<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107170>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378779621001516>
- [44] X. Ke, N. Lu, C. Jin, Control and size energy storage for managing energy balance of variable generation resources, 2014 IEEE PES General Meeting — Conference and Exposition (Oct 2014). doi:10.1109/pesgm.2014.6939484.
- [45] I. N. Moghaddam, B. Chowdhury, M. Doostan, Optimal sizing and operation of battery energy storage systems connected to wind farms participating in electricity markets, IEEE Transactions on Sustainable Energy 10 (3) (2019) 1184–1193. doi:10.1109/TSTE.2018.2863272.
- [46] M. Belouda, A. Jaafar, B. Sareni, X. Roboam, J. Belhadj, Design methodologies for sizing a battery bank devoted to a stand-alone and electronically passive wind turbine system, Renewable and Sustainable Energy Reviews 60 (2016) 144–154. doi:10.1016/j.rser.2016.01.111.
- [47] J.-O. Lee, Y.-S. Kim, Novel battery degradation cost formulation for optimal scheduling of battery energy storage systems, International Journal of Electrical Power and Energy Systems 137 (2022) 107795. doi:10.1016/j.ijepes.2021.107795.
- [48] C. F. Matt, L. Vieira, G. Soares, P. Faria, Optimization of the operation of isolated industrial diesel stations, 6th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization (05 2005).



Scan to visit website



Scopul nostru este de a crea valoare împreună cu și pentru clienții și partenerii noștri. Ne propunem să dezvoltăm și să îmbunătățim soluții de electrificare și automatizare inovatoare, sustenabile și de cea mai înaltă calitate. Ne concentrăm pe aducerea unei contribuții valoroase la proiecte de succes în sectoarele maritim și industrial.

(Headquarters)  
Energieweg 44  
6541 CX Nijmegen  
The Netherlands

T +31 (0)24 371 6100  
T +31 (0)622 509 009 (24/7 Service)  
info@alewijnse.com  
www.alewijnse.com

# WeConnect.